



ALTEERRA

WAGENINGEN UR

Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest

K.B. Zwart
D.A. Oudendag
P.A.I. Ehlert
P.J. Kuikman



Alterra-rapport 1437, ISSN 1566-7197

Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest

Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest

Kor Zwart
Diti Oudendag
Phillip Ehlert
Peter Kuikman

Alterra-rapport 1437

Alterra, Wageningen, 2006

REFERAAT

Zwart, Kor, Diti Oudendag, Phillip Ehlert & Peter Kuikman, 2006. *Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1437. 70 blz.; 2 fig.; 18 tab.; 50 ref.

Vergisting en co-vergisting van dierlijke mest staan sterk in de belangstelling van de agrarische sector en kunnen een bijdrage leveren aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en het halen van de Kyoto doelstelling van Nederland. In dit project zijn richtlijnen opgesteld voor de beoordeling van de milieueffecten van co-vergisting van mest. Op basis van deze richtlijnen is een transparante, eenvoudige en robuuste systematiek uitgewerkt. Deze beoordeling van de algemene milieuverdienste is breder dan alleen de emissie van broeikasgassen CO₂ en CH₄. Ook ruimtelijke en landschappelijke aspecten zijn van belang. Een dergelijke beoordeling is noodzakelijk om zinvolle keuzes in energie- en klimaatbeleid in relatie tot landbouw te maken. De belangrijkste conclusie over duurzaamheid van co – vergisting: duurzamer dan vergisting van mest alleen, is energetisch duurzamer naarmate het aandeel co – substraat groter wordt maar er zijn dan wel meer emissies van het lachgas (N₂O) maar wel met een netto vermindering van broeikasgassen. Voor een bijdrage 10% aan de vraag naar elektriciteit in Nederland is bijna de helft van het huidige akkerland nodig.

Trefwoorden: – vergisting, dierlijke mest, duurzaamheid, broeikasgassen, energie, CO₂

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2006 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.3 Doelstelling van het project	10
2 Duurzaamheidsaspecten covergisting	11
3 Gevolgde systematiek	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Beschrijving van het systeem	13
3.3 Kwantificeerbare duurzaamheidsfactoren	14
3.3.1 Energieproductie	14
3.3.2 Emissies	15
3.3.3 CO ₂ -balans	15
3.4 Niet kwantificeerbare duurzaamheidsfactoren	16
3.4.1 Landschap	16
3.4.2 Geur	17
3.4.3 Kringlopen van koolstof en nutriënten	17
4 Kenmerken co-vergisting en kengetallen	19
4.1 Technische kengetallen vergistinginstallatie	19
4.2 Kengetallen mest en co-substraat	20
4.3 Kengetallen voor teelt, gewassen en mest	21
4.4 Gebruik digestaat	22
5 Combinaties van mest en co-substraat	25
6 Resultaat berekening	27
6.1 Energieopbrengst	28
6.2 Emissie van broeikasgassen en NH ₃	30
6.3 Effect van emissiereductie	35
6.4 Gebruik van digestaat en benodigde areaal	36
6.5 Effect van covergisting op het landschap	38
6.6 Effect van co – vergisting op geur	39
6.7 Effect van co – vergisting op kringlopen van C en nutriënten	39
7 Conclusies duurzaamheid van co-vergisting mest	43
8 Discussie	45
Literatuur	47
Overige relevante literatuur	49
<i>Bijlagen</i>	
1 Rekenvoorbeeld mestvergisting	51
2 Algemene omrekenfactoren	53
3 Gegevens over biogasopbrengsten per materiaal	57

4	Energiebehoefte Vergistinginstallatie	59
5	Opbrengst en energie-input potentieel co-vergistingsmateriaal	61
6	Bepaling van de emissies van ammoniak en lachgas per ha geproduceerd co-substraat	63
7	Samenstelling van dierlijke mest en cosubstraten	65
8	Berekende energiebalans en emissiebalans voor het systeem	67
9	Emissies en besparing van emissies in het vergistingsysteem	69

Samenvatting

Vergisting en co – vergisting van dierlijke mest staan sterk in de belangstelling van de agrarische sector. Vergisting van dierlijke mest kan een bijdrage leveren aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en het halen van de Kyoto doelstelling van Nederland. De productie van elektriciteit en warmte uit biomassa, het vermijden van gebruik van fossiele brandstoffen en het verlagen van emissie van methaan uit mestopslagen dragen gezamenlijk bij aan de verlaging van de totale emissie. De toevoeging van co–vergistingmaterialen aan dierlijke mest is gunstig: het verhoogt de productie van methaan per kg te vergisten materiaal. Maar de teelt van co–vergistingmaterialen vergt ook bemesting en ruimte en levert daarmee ook een (negatieve) bijdrage aan de emissie van broeikasgassen.

In dit project zijn richtlijnen opgesteld voor de beoordeling van de milieueffecten. De richtlijnen zijn opgesteld in nauw overleg met de opdrachtgever. Op basis van deze richtlijnen is een transparante, eenvoudige en robuuste systematiek uitgewerkt. De beoordeling van de algemene milieuverdienste is breder dan alleen de emissie van broeikasgassen CO₂ en CH₄. Ook ruimtelijke en landschappelijke aspecten zijn van belang. Een dergelijke beoordeling is noodzakelijk om zinvolle keuzes in energie- en klimaatbeleid in relatie tot landbouw te maken.

Een brede milieukundige beoordeling van vergisting is complex doordat er een afweging moet plaatsvinden tussen het belang van energie, broeikasgasemissies en ruimtelijke aspecten. Ook speelt de lastige afwenteling tussen broeikasgassen onderling (CO₂, CH₄ en N₂O) een voorname rol. Naast effecten op emissies van broeikasgassen zijn er andere effecten die soms wel maar niet altijd een positieve bijdrage leveren aan het milieu. Denk bijvoorbeeld aan de energie die nodig is voor transport en productie van co–vergistingmateriaal zoals maïs, de productie en inzet van kunstmest, de productie van additionele dierlijke mest uit co–vergistingmateriaal, emissies bij aanwending van het vergistingproduct (digestaat), landschappelijke aspecten van de teelt van co–vergistingmaterialen.

De milieukundige beoordeling van co-vergisting is gebaseerd op de balans voor energie, koolstof en stikstof op het niveau van installatie en de daarbij aansluitende en qua milieubelasting relevante activiteiten daarbuiten. Deze systematiek weegt behalve de emissies van niet-CO₂ broeikasgassen ook relevante aspecten voor analyse van duurzaamheid zoals gebruik extra dierlijke mest, ruimtebeslag voor teelten en bemesting en landschap.

Energie

Het gebruik van een co-substraat is cruciaal voor de energieopbrengst. Verder heeft (uiteraard) het nuttig inzetten van de warmte een zeer groot effect en ook het effect van de energie die er voor de installatie zelf nodig is is van relatief groot belang. Lekverliezen en teelt en transport hebben slechts een gering effect op de energiebalans van het co-vergistingstelsel.

De besparing van uitstoot van CO₂ uit fossiele brandstoffen is gering of zelfs negatief bij gebruik van mest alleen, en ca 450 ton bij de overige combinaties van mest en co-substraat.

Emissies

Gebruik van mest alleen levert de grootste besparing in emissie van broeikasgassen op, door de aanname van een 95% emissiereductie bij vergisting van mest. In de installatie zelf leveren de inzet van de warmte en lekverliezen een betrekkelijk geringe bijdrage aan de emissiereductie. Als gevolg van de N₂O emissie tijdens de teelt neemt de CO₂-emissie toe naarmate de mengverhouding maïs - mest toeneemt. De totale besparing op CO₂ emissie (verschil tussen besparing CO₂ uit fossiele energie en uitstoot van broeikasgassen) is ongeveer 300 ton per jaar voor de co-vergistingcombinaties. Voor mest alleen is de besparing als gevolg van een lagere emissie veel groter dan de winst als gevolg van een lager gebruik aan fossiele brandstof.

Gebruik van digestaat en afzet

Juist omdat de druk op de mestmarkt groot is zal het deze akkerbouwer moeite kosten om de overtollige mest af te zetten. Daardoor zal hij er naar neigen om relatief minder mest en meer maïs voor de vergistinginstallatie te gebruiken. De gevolgen van verschillende mengverhoudingen mest en maïs op het areaal landbouwgrond dat buiten het bedrijf nog gezocht moet worden is berekend. Bij een verhouding van 25:75 of lager is er geen land van derden meer nodig en kan alles op het eigen bedrijf worden afgezet.

Effect op grondgebruik en landschap

De Nederlandse overheid heeft als beleid om in 2020 10% van ons totale energiegebruik op te wekken uit duurzame bronnen. Op dit moment is er in Nederland een totaal van 10 GW aan elektrisch vermogen opgesteld. We hebben aangenomen dat 10% daarvan, ofwel 1 GW zou moeten worden opgewekt met behulp van co-vergisting uit maïs. Er is 105 ha maïs nodig is voor de opwekking van 250 kW aan elektrisch vermogen. Voor de opwekking van 1 GW is dan 420 duizend ha maïs nodig is, bij de huidige opbrengsten per ha. Het huidige areaal aan maïs is ongeveer 200 duizend ha. Zelfs als de opbrengst drastisch zal stijgen de komende jaren moet rekening worden gehouden met een sterke toename (verdrievoudiging) van het maïs areaal. Dat heeft uiteraard gevolgen voor het landschap, maar ook voor andere teelten in Nederland.

Sleutelfactoren

Co – vergisting is een zaak van techniek, logistiek en van bedrijfsvoering. De belangrijkste sleutelfactoren die de mate van duurzaamheid van co – vergisting bepalen zijn: mengverhouding mest en co-substraat, beperking van lekverliezen voor en tijdens vergisting, effectieve benutting van warmte om fossiel te vermijden en beperking van energie van vergistingsinstallatie zelf. De huidige opzet van vergisting en de keuzes van vergister die ten grondslag liggen aan deze studie zijn op punten te verbeteren. Denk aan: type installatie, omvang installatie, management van de installatie, bewerking van digestaat en werking van digestaat als meststof.

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Co-vergisting (mestvergisting samen met co-vergistingmaterialen¹) staat momenteel sterk in de belangstelling van de agrarische sector. De ontwikkeling van co-vergisting in Nederland komt nu goed op gang nadat de grootste knelpunten vorig jaar zijn weggenomen:

- op het gebied van vergunningen zijn veranderingen doorgevoerd (zie Infomil van VROM)
- er is nu een lijst van producten die als co-vergistingmaterialen aan dierlijke mest mogen worden toegevoegd zonder expliciete ontheffing (zie positieve lijst LNV)².
- een financieel stimuleringskader via de MEP verhoogt de rentabiliteit van de installatie voor co-vergisting.
- Digestaat dat op eigen land wordt uitgereden uit vergisters op boerderijschaal hoeft niet volledig als dierlijke mest te worden beschouwd.

Een interessante ontwikkeling in Nederland is dat agrariërs nu snijmaïs kunnen gaan telen om aan mest toe te voegen om zo de (subsidiabele) biogasopbrengst te verhogen. Mogelijk komen ook andere gewassen en gewasresten hiervoor in aanmerking. Tegelijkertijd zijn er wellicht mogelijkheden om uitsluitend snijmaïs (zonder mest) te vergisten.

1.2 Achtergrond

Energie uit biomassa door middel van co-vergisting levert minimaal op 2 manieren een bijdrage aan de verlaging van de emissie van broeikasgassen en daarmee aan de doelstelling en verplichting die volgt uit het Kyoto Protocol:

- Minder CO₂ door productie van (duurzaam) opgewekte energie (elektriciteit en warmte) door vermijden van het gebruik van fossiele brandstoffen
- Vermindering van emissie van methaan (en lachgas) uit mestopslagen.

Echter, de teelt van die co-vergistingmaterialen, het transport van grondstoffen en producten, de installaties zelf (lekken van methaan) en de voor- en nabehandeling van grondstoffen en producten gaan ook gepaard met emissies. Die aspecten moeten worden meegewogen bij de beoordeling van de milieuprestatie van co-vergisting.

Een dergelijke beoordeling van de algemene milieuverdienste van co-vergisting die, breder is dan alleen de emissie van broeikasgassen CO₂ en CH₄ ontbreekt tot dusver

¹ We spreken in dit projectplan van co-vergistingmaterialen; deze materialen worden ook wel geduid als co-substraat dat wordt toegevoegd aan dierlijke mest. De producten van co-vergisting worden co-vergiste mest dan wel digestaat genoemd.

² In samenwerking met LNV-DK heeft Alterra (Ehlert) een systematiek ontworpen om de landbouwkundige en milieukundige aspecten van co-vergistingmaterialen en co-vergiste mest te beoordelen. Deze is toegepast op producten hetgeen geleid heeft tot de zogenoemde positieve lijst (Staatscourant 112. 2004 en 85, 2005). Op dit moment wordt mede uitvoering gegeven aan de zogenaamde 3^e fase van de beoordeling van co-vergistingmaterialen.

voor Nederland. Een dergelijke beoordeling is gewenst om goed onderbouwde keuzes in energie- en klimaatbeleid in relatie tot landbouw te kunnen maken.

De activiteiten rond co-vergisting (en vergisting van maïs alleen) zijn beoordeeld op hun algemene milieuprestatie met behulp van een transparante, objectieve en robuuste beoordelingmethodiek. Transparantie en objectiviteit verhogen het draagvlak en de bruikbaarheid. Een robuuste methodologie is in meer verschillende situaties toepasbaar.

Een deel van de milieukundige aspecten is redelijk goed te kwantificeren. Moeilijker is dat voor aspecten met een meer gevoelsmatig karakter, zoals effecten op landschap. Om die reden worden die laatste elementen alleen kwalitatief besproken.

1.3 Doelstelling van het project

Bovenstaande leidt tot de volgende doelstelling van het project:

- Het opstellen van richtlijnen voor het beoordelen van de milieuprestatie van co-vergisting op het niveau van teelt, vergistinginstallatie en gebruik van digestaat;
- Het uitwerken van een systematiek op basis van de richtlijnen voor het berekenen van de milieuprestatie van co-vergisting
- Het geven van een transparante en generieke milieubeoordeling van co-vergisting

2 Duurzaamheidsaspecten covergisting

De volgende aspecten spelen een rol bij de beoordeling van de duurzaamheid van covergisting:

Kwantificeerbaar

- Energie
- CO₂, overige broeikasgassen en ammoniak
- Mineralen overschotten als gevolg van de teelt
- Inzet of vermijden van kunstmest
- Accumulatie van contaminanten
- Sluiten van kringlopen (van C en van N)

Niet of moeilijk kwantificeerbaar

- Landschappelijke aspecten en ruimtebeslag voor teelten
- Verdringing van voedsel- en voedergewassen
- Geur

Deze lijst is wellicht niet uitputtend. Bovendien ontbreken sociale en economische elementen.

Het is een bewuste keuze geweest om deze studie te beperken tot een hoofdzakelijk milieukundige duurzaamheid en daardoor komen niet alle hierboven genoemde factoren in dit rapport aan de orde.

3 Gevolgde systematiek

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het vergistingsstelsel besproken evenals de werkwijze voor het berekenen van de kwantificeerbare duurzaamheidsfactoren. Daarnaast wordt ingegaan op de niet kwantificeerbare duurzaamheidsfactoren zoals landschap, geur, en biodiversiteit.

3.2 Beschrijving van het systeem

Co-vergisting is opgedeeld in drie fasen:

1. teelt van co-vergistingsgewassen en transport en gebruik en opslag van mest,
2. de vergisting zelf, inclusief de WKK installatie
3. het gebruik van digestaat, inclusief transport

Deze fasen vormen samen de gehele keten die door gebruik van digestaat voor de teelt weer wordt gesloten (Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Overzicht van de onderscheiden fasen in het co-vergistingsproces

Elk van deze drie stappen kent zijn eigen duurzaamheidsaspecten. Deze duurzaamheidsaspecten zijn samengevat in tabel 3.1.

Een deel van de aspecten in tabel 3.1 kan worden gekwantificeerd (bijvoorbeeld energie en emissies). Voor een ander deel is dat wat lastiger (bijvoorbeeld gevolgen voor landschap); deze aspecten worden in meer kwalitatieve zin besproken. Voor het vaststellen van de kwantitatieve duurzaamheid van co-vergisting is de omvang van de vergistinginstallatie als uitgangspunt genomen en meer in het bijzonder, de netto output aan energie. Gekozen is voor een installatie met een netto output van 500 kW, waarvan 250 kW elektrisch en 250 kW thermisch vermogen. Of met andere bewoordingen een installatie met een geïnstalleerd eclectisch vermogen van 250 kW waarvan de warmte ook effectief wordt gebruikt

Tabel 3.1 Duurzaamheidsaspecten van diverse fasen van co-vergisting

Fase in de keten	Duurzaamheidsaspecten
1. Mest en teelt van gewassen	Energie Emissies van broeikasgassen Mineralen verlies door uitspoeling Landschap Ruimtebeslag Verdringing van voedsel en voeder gewassen
2. Vergisting	Energie Emissies van broeikasgassen
3. Gebruik digestaat	Energie Emissies van broeikasgassen Mineralen verlies door uitspoeling Geur

Voor de bepaling van kwantificeerbare duurzaamheid is gebruik gemaakt van kengetallen voor de diverse duurzaamheidsaspecten. Deze kengetallen zijn gekozen op basis van beschikbare openbare bronnen in de wetenschappelijk en ‘grijze’ literatuur en voorzien van referenties naar deze bronnen.

3.3 Kwantificeerbare duurzaamheidsfactoren

Voor de volgende duurzaamheidsfactoren zijn gekwantificeerd:

- Energieproductie (E)
- Emissie van broeikasgassen (Em)
- CO₂-balans (C)
- Toepassing van digestaat en bemesting(M)

Hieronder worden de hoofdlijnen van de gevolgde werkwijze beschreven. De specifieke elementen voor elk onderdeel apart worden in hoofdstuk 4 besproken.

3.3.1 Energieproductie

De netto energieproductie (E) is de som van de productie door de vergister (E_i) minus het verbruik door de vergistinginstallatie (e_i), de teelt (e_t) en het gebruik van digestaat (e_d). In tabel 3.1 zijn deze onderdelen verder uitgesplitst.

$$E = E_i - (e_i + e_t + e_d)$$

Tabel 3.1 Onderdelen en subonderdelen die energie gebruiken en/of produceren

Onderdeel	Subonderdeel	Productie (P) of gebruik (G)
Teelt	Transport	G
	Productie van het gewas	G
Vergister	Productie warmte en electriciteit	P
	Eigen gebruik	G
	Transport	G
Gebruik digestaat	Transport	G
	Aanwenden	G

3.3.2 Emissies

De totale emissie (E_m) uitgedrukt in equivalente hoeveelheden CO_2 is gelijk aan de som van de emissies uit teelt (E_{m_t}), vergisting (E_{m_v}) en gebruik van digestaat (E_{m_d})

$$E_m = E_{m_t} + E_{m_v} + E_{m_d}$$

Van elk onderdeel van de vergisting is de emissie van methaan, N_2O en CO_2 berekend en vervolgens is die uitgedrukt in CO_2 -equivalenten. De CO_2 equivalenten zijn berekend aan de hand van gangbare conversiefactoren voor omrekening van voor methaan en lachgas naar CO_2 van respectievelijk 21 en 310 maal CO_2 per mol.

3.3.3 CO_2 -balans

De CO_2 -balans (C), uitgedrukt in CO_2 -equivalenten is gelijk aan de emissiebesparing van CO_2 door het gebruik van niet fossiele brandstoffen minus de CO_2 als gevolg van emissie van broeikasgassen. De CO_2 balans wordt bepaald door de vergister (C_v) en het al dan niet gebruiken van mest en/of co-substraat daarin, de opslag van mest en co-substraat, de teelt (C_t) en het gebruik van het digestaat. In tabel 3.2 is een uitsplitsing van de onderdelen weergegeven. Opslag van mest leidt tot emissie van broeikasgassen. Gebruik van verse mest beperkt de emissie van broeikasgassen doordat de methaan niet direct ontwijkt in de mestopslag maar kan worden omgezet in elektriciteit en warmte en doordat N_2O emissie uit de mestopslag wordt voorkomen. Aan de andere kant moet co-substraat zoals maïs tijdelijk worden opgeslagen. Meestal zal dat gebeuren in de vorm van silage. Door de emissie uit deze opslag van silage zal een deel van de vermeden emissie van mest in de mestopslag weer teniet worden gedaan.

Tabel 3.2 Onderdelen waarbij emissies kunnen optreden of worden bespaard

Onderdeel	subonderdeel	Productie (P) of besparing (B)
Teelt	Transport	P
	Productie van het gewas	P
	Emissie uit opslag van mest en co-substraat	B/P
Vergister	Lekverlies	P
	Emissie uit mest en co-substraat	P
	Electriciteit of gas voor derden	B
Gebruik digestaat	Transport	P
	Aanwenden	P

Mineralenbalans

Voor de teelt van co-substraat zijn mineralen nodig. De teelt van co-vergisting heeft daarmee een effect op de mineralenbalans van een bedrijf of systeem. De mineralenbalans (M) op bedrijfsniveau is gelijk aan de hoeveelheid mineralen die wordt aangevoerd met de bemesting (Mb), minus de hoeveelheid die wordt afgevoerd met het geogste product (Mp).

$$M = Mb - Mp$$

Als het digestaat (het eindproduct van de vergisting) zodanig kan worden gebruikt dat er geen extra aanvoer van stikstof noodzakelijk is, is er sprake van een gesloten stikstofkringloop en is de stikstofbalans in evenwicht. Maar als er voor de teelt aanvoer van extra stikstof (uit kunstmest of uit organische mest) noodzakelijk is, heeft dat een negatief effect op de mineralenbalans. De mineralenbalans is dus sterk afhankelijk van de wijze waarop het co-substraat wordt toegepast voor bemesting en de mate van vervanging van kunstmest.

3.4 Niet kwantificeerbare duurzaamheidsfactoren

3.4.1 Landschap

Als gewassen specifiek geteeld worden voor gebruik als (co) vergistingsmateriaal dan kan dit de teelt van andere gewassen gaan verdringen, waaronder die van gewassen die nu worden gebruikt voor de voedselproductie. De mate van verdringing hangt waarschijnlijk sterk af van het economische succes van de co-vergisting aan de ene kant en de behoefte aan voeder- en consumptiegewassen aan de andere kant.

In dit stadium is een toekomstvoorspelling over verdringing nog speculatief. De aandacht is nu sterk gericht op energieproductie. Indien dat zo blijft en er een groot areaal aan energiegewassen komt, heeft dat gevolgen voor de inrichting en het aanzicht van het agrarische landschap. De kans is dan groot dat het areaal met een enkel gewas (monocultuur) met de meeste potentie voor energie zal gaan overheersen. Maar uiteindelijk zullen ook niet-energetische factoren bepalen hoe omvangrijk de teelt van energiegewassen zal worden.

3.4.2 Geur

De belangrijkste geur componenten bij dierlijke mest zijn vluchtige organische componenten en ammoniak. De eventuele veranderingen in geuremissie bij vergisting van mest zijn gerelateerd aan (1) de veranderingen in de duur en vorm van opslag van mest voorafgaand aan vergisting en (2) de veranderingen in de mest tijdens de vergisting en de gevolgen daarvan voor geur bij het aanwenden van de vergiste mest.

3.4.3 Kringlopen van koolstof en nutriënten

Een kringloop van een bepaalde stof of element is gesloten als er geen verliezen optreden. In het geval van co-vergisting hebben we te maken met twee kringlopen: de C-kringloop en de nutriënten kringloop.

Voor *koolstof* is er sprake van een *korte* en een *lange* kringloop. In de *lange* kringloop is ook de koolstof uit fossiele brandstof gesloten. Deze koolstof is ooit in een verleden opgenomen uit de atmosfeer en komt daarin nu weer vrij. Het nadeel van gebruik van die fossiele brandstoffen is de relatief omvangrijke en snelle toename in de hoeveelheid atmosferische CO₂. Ook nu wordt CO₂ vastgelegd in plantaardig materiaal. Wanneer dit plantaardig materiaal vervolgens kan worden gebruikt voor de productie van energie komt CO₂ weer vrij in de atmosfeer en spreken we van de korte C-kringloop.

De kringloop van *nutriënten* bij de teelt van gewassen is niet gesloten. Dat komt door het optreden van verliezen tijdens de teelt en door de afvoer van geoogste producten van de boerderij. De verliezen tijdens de teelt van gewassen zijn vooral uitspoeling (N, P en K) en denitrificatie (N) met als bijproduct lachgas (N₂O). Bij veeteelt zijn de belangrijkste verliezen de emissie van N (ammoniak en denitrificatie) uit de stal en de mestopslag en de afvoer van dieren van de boerderij.

4 Kenmerken co-vergisting en kengetallen

4.1 Technische kengetallen vergistinginstallatie

Dit hoofdstuk beschrijft de kenmerken en de kengetallen van het vergistingsstelsel. Onder het vergistingsstelsel wordt het stelsel verstaan zoals dat in hoofdstuk drie beschreven is. Dat wil zeggen de vergistinginstallatie inclusief de productie, aanvoer en opslag van biomassa; de aanvoer en opslag van mest, en de afvoer en het gebruik van digestaat. De kenmerken van de vergistinginstallatie als zodanig staan in Tabel 4.1. De kenmerken die beschreven staan in Tabel 4.1 bepalen de hoeveelheid energie die de installatie levert in de vorm van elektriciteit en warmte en de hoeveelheid energie die nodig is om die nuttige energie op te wekken.

Tabel 4.1 Kenmerken van de vergistinginstallatie

Systeem	Vergister plus na-vergister, gesloten
Totaal nuttig vermogen installatie (kW)	500 kW
Elektrisch vermogen	250 kW
Operationele uren per jaar	7000
Rendement gasmotor %	35
Rendement incl. WKK (%)	70
Verblijfstijd reactor (dagen)	60
Eigen energieverbruik (MJ/ton) elektrisch	33
Eigen energieverbruik (MJ/ton) warmte	250
Lekverliezen (%)	1

Voor de huidige studie hebben we dus gekozen voor een opzet waarbij de nuttige energieproductie van de installatie centraal staat. De nuttige energie productie is de hoeveelheid energie in de vorm van elektriciteit en warmte die nuttig gebruikt kan worden. Een deel daarvan zal gebruikt worden voor de installatie zelf en het overige deel kan aan het net worden geleverd (electriciteit) of kan elders in de omgeving van de installatie worden afgezet als warmte.

De nuttige energieproductie bepaalt, samen met het conversierendement en de gasvormige verliezen, hoe groot de aanvoer van mest en co-substraat moet zijn. En die aanvoer heeft weer gevolgen voor de teelt, transport en opslag van gewassen en mest. Er is voor gekozen om niet alleen het elektrische vermogen van de installatie als uitgangspunt te kiezen, maar de gecombineerde productie van elektriciteit en warmte. Daarbij is een conversierendement van 70% aangenomen voor de omzetting van biomassa energie in elektrische energie plus warmte (35% elektrisch en 35% warmte). Het verbruik aan energie door de vergistinginstallatie zelf is afgeleid van Berglund en Börjesson (2005) en Melse et al (2004) en is verschillend voor installaties van verschillende omvang. Hier is uitgegaan van een vergister op boerderijschaal. Bijlage 4 bevat meer details over het eigen gebruik van de installatie. Het eigen energieverbruik van de installatie is 283 MJ per ton te vergisten materiaal. Het lekverlies van methaan uit de installatie is op 1% gesteld; de gerapporteerde lekverliezen uit een installatie kunnen zowel lager als aanmerkelijk hoger zijn.

Met behulp van de kengetallen uit tabel 4.1 en een aantal algemene kengetallen (tabel 4.2) kan worden berekend dat er voor de jaarlijkse productie 350000 kWh (12.6 duizend GJ) ruim 450 duizend m³ methaan nodig is. Als daar het lekverlies bij worden opgeteld is dat bijna 457 duizend m³ methaan met een energie inhoud van ruim 18.2 duizend GJ.

Vervolgens kan met behulp van de gegevens uit Tabel 4.3 berekend worden hoeveel mest of biomassa er nodig is om 457 duizend m³ methaan of 18.2 duizend GJ te leveren. Een uitgebreid rekenvoorbeeld staat in bijlage 1.

Tabel 4.2 Algemene omrekenfactoren Een uitgebreider overzicht is te vinden in bijlage 2.

Kengetal	Waarde	Eenheid
1 kWh	3.6	MJ
Energie inhoud biogas (55% methaan)	22	MJ/m ³
1 m ³ methaan	39.8	MJ / m ³
Energie voor transport	12	MJ per km per 20 ton biomassa
1 MJ transport	0.073	kg CO ₂ equivalenten per MJ
1 MJ elektriciteit	0.0694	kg CO ₂ equivalenten per MJ
1 MJ aardgas	0.056	kg CO ₂ equivalenten per MJ
1 kg N ₂ O	310	kg CO ₂ equivalenten per kg
1 kg CH ₄	21	kg CO ₂ equivalenten per kg

4.2 Kengetallen mest en co-substraat

Voor de voeding van de installatie kunnen verschillende combinaties van mest en gewassen of gewasresten worden gebruikt. In deze studie is de keuze gemaakt voor dunne rundveemest of dunne varkensmest en de gewassen snijmaïs, rogge en gerst. Gebruik van dunne rundveemest zal waarschijnlijk hoofdzakelijk plaatsvinden op boerderijschaal niveau op een melkveehouderij en dan hoofdzakelijk in combinatie met snijmaïs. Gebruik van varkensmest vindt waarschijnlijk meer plaats op akkerbouwbedrijven en in industriële vergisters. De omvang van de gekozen installatie van 250 kW *elektrisch* vermogen sluit nog goed aan bij een boerderijschaal.

De samenstelling van te vergisten materialen en hun specifieke biogasproductie de zijn weergegeven in tabel 4.3. De gegevens zijn afkomstig uit meerdere bronnen (zie bijlage 3). Uit de samenstelling van dierlijke mest en die van de gewassen en de biogasproductie per ton organische stof valt al snel af te leiden dat de biogasproductie uit gewassen veel aantrekkelijker is dan die uit mest.

Tijdens de opslag van mest treedt emissie op van methaan, N₂O en ammoniak. Voor deze studie is aangenomen dat voor vergisting vooral gebruik gemaakt zal worden van mest die zo vers mogelijk is, waardoor er een verlaging optreedt in deze emissies. Verondersteld is dat de verlaging van de emissie van methaan, lachgas en ammoniak door het gebruik van verse mest, nog slechts 5% is van die van langdurig opgeslagen mest.

Tabel 4.3 Biogasproductie vanuit een aantal gewassen plus bijbehorende methaangehaltes

	Drogestof %	Organische stof %	Biogas m3/ton organische stof		CH4 %
			gemiddeld	range	
Dunne rundveemest	8-13	6-9	300	200-400	60
Dunne varkensmest	6-9	5-6	350	200-500	60
Snijmaïs	25-35	20-30	575	400-650	55
Rogge (silage)	33-45	30-40	450	300-600	55
Gerst (silage)	30-35	25-33	630	230-1100	60

Echter, bij gebruik van co-substraat is er ook sprake van opslag. Aangenomen is dat gewassen die worden geteeld als co-substraat zullen worden opgeslagen in de vorm van silage en aangezien een deel daarvan langdurig zal zijn opgeslagen is er dan dus geen sprake is van emissieverlaging. Aangenomen is dat de emissie uit silage gelijk is aan de emissie van langdurig opgeslagen mest.

4.3 Kengetallen voor teelt, gewassen en mest

Voor het berekenen van de energie die nodig voor de teelt van gewassen is gebruik gemaakt van de kengetallen in tabel 4.5. Tabel 4.5 bevat ook kengetallen over de emissies die optreden gedurende de teelt en de stikstofbemesting van de gewassen

Tabel 4.5 Kengetallen voor de teelt

Gewas	Productie (ton ds per ha)	Energie-input voor productie en oogst (GJ per ha)*	Emissie (Kg N/ha)		Stikstofbemesting (kg N per ha)	
			N ₂ O	NH ₃	dierlijke mest	kunstmest
Mais	15	12.1	4.2	17.0	123	225
Gerst	6.8	8.0	3.6 (1.8)	11.3 (3.6)	180	90
Rogge	7.6	8.9	2.4	2.4	0	120
Rogge na een teelt van maïs **	4	4.7	2.4	2.4	0	0
Energiemaïs	25	12.1	4.2	17	205	375

* Voor gerst en rogge afgeleid van die van wintertarwe

** Bij een vroege oogst van de maïs (begin september) kan winterrogge als volggewas worden geteeld en in het daarop volgend voorjaar worden geoogst, waarna opnieuw maïs kan worden ingezaaid. Voor de energieopbrengst van maïs heeft dit waarschijnlijk geen gevolgen

De cijfers voor opbrengst en energie-input zijn afgeleid uit Biewinga et al (1996, bijlage 5), die voor emissie en bemesting uit van Bruggen (2004) en Biewinga et al (1996, bijlage 6). Opgemerkt moet worden dat opbrengsten van 25 ton drogestof per ha voor energimaïs alleen nog maar op proefvelden in Zuid Duitsland zijn bereikt. Voor een Nederlandse praktijksituatie is aangenomen dat die lager zijn (15 ton drogestof ofwel 45 ton vers product/ha).

Voor het berekenen van emissies tijdens de teelt, uit de mestopslag en de opslag van covergistingsmaterialen is gebruik gemaakt van emissiefactoren. De emissie factoren

voor de teelt staan in Tabel 4.5. De uit mest en co-substraat wordt bepaald door de emissiefactoren (Tabel 4.6) in combinatie met samenstelling van mest en co-substraten (Tabel 4.7). Door de mest zo snel mogelijk af te voeren naar de vergister wordt 95% van de emissie uit opslag vermeden. Dat geldt, zoals eerder al vermeld, niet voor de opslag van co-vergistingsmateriaal.

De samenstelling van mest (Van Bruggen, 2004) en co-substraten (Biewinga et al, 1996) is weergegeven in tabel 4.7. Voor een uitgebreider overzicht van achterliggende data, wordt verwezen naar bijlage 7.

Tabel 4.6 De emissie per materiaal uit mestopslag

Materiaal	CH ₄ (kg per ton)	NH ₃ (% van N)	N ₂ O (% van N)
Rundveedrijfmest	1.80	0.96	0.1
Vleesvarkendrijfmest	4.65	2.0	0.1
Covergistingsmateriaal	3.1	1.0	0.1

Bron CH₄: Protocol 5429, 5430 en 5431 (2005). Bron NH₃: van der Hoek (2002)

Bron N₂O: IPCC Guidelines (1996 revised)

Tabel 4.7 Samenstelling van de mest voor een aantal diersoorten (in kg per m³) en van co-substraten (in kg per ton ds)

Materiaal	Productie per dier (m ³ per jaar)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Dunne rundveemest	26	4.3	1.5	6.4
Dunne varkensmest	1.2	7.7	3.7	6.2
Mais (of energiemaïs)		13	2.2	14.9
Gerst		15.6	6.6	6.5
Rogge		15.6	6.6	6.5

4.4 Gebruik digestaat

Voor gebruik van digestaat is gekozen voor een volledige inzet in de landbouw. Dat kan zijn voor de teelt van de energiegewassen of andere gewassen op hetzelfde bedrijf, waardoor de keten gesloten wordt, of voor gebruik elders indien dat noodzakelijk mocht zijn. Daarvoor is transport noodzakelijk en er is aangenomen dat de gemiddelde transportafstand 20 km bedraagt. De benodigde hoeveelheid energie kan worden afgeleid uit Tabel 4.2 in combinatie met de hoeveelheid te transporteren digestaat. Die is weer afhankelijk van de verhouding tussen mest en co-substraat. Bij alleen gebruik van mest wordt meer digestaat geproduceerd dan bij een mengsel van mest en co-substraat.

Voor het berekenen van het areaal land dat nodig is voor de afzet van digestaat is rekening gehouden met de gegevens over de stikstofbemesting (tabel 4.5) als ook met de regelgeving voor meststoffen. Daarbij is het huidige stelsel van gebruiksnormen gehanteerd. De gebruiksnormen voor stikstof op zandgronden zijn weergegeven in tabel 4.8.

Tabel 4.8 Stikstofgebruiksnormen voor zandgrond (kg N per ha per jaar) Tussen haakjes staan de getallen voor bedrijven met derogatie

Gebruiksnorm	2006	2009
Dierlijke mest	170 (250)	170 (250)
NWC %		
- runderdrijfmest	35	45
- varkensdrijfmest	60	60
Snijmaïs	205 (160)	185 (160)
Winterrogge	140	140
Wintergerst	140	140
Zomergerst	90	80

Voor fosfaat geldt in 2006 voor bouwland een gebruiksnorm van 95 kg P₂O₅ ha⁻¹. Deze norm wordt geleidelijk afgebouwd. In 2008 is de norm 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ en in 2015 60 kg P₂O₅ ha⁻¹.

Verder is digestaat gelijkgesteld aan dierlijke mest indien het op een ander bedrijf wordt toegepast dan waar het wordt geproduceerd. Indien het op het eigen bedrijf wordt toegepast dan is het aandeel aan co-substraat gelijk gesteld aan een organisch product met een zekere werkingscoëfficiënt voor stikstof, fosfaat en kali die gelijk is aan die van dierlijke mest. De werkingscoëfficiënt voor dierlijke mest is gelijk aan de werkingscoëfficiënt in de Nederlandse regelgeving.

5 Combinaties van mest en co-substraat

De keuze van 2 mestsoorten en 3 typen co-substraat in deze studie zorgt ervoor dat er in theorie diverse combinaties ontstaan van producten waarmee de vergistinginstallatie kan worden gevoed: met mest alleen, met mest plus co-substraat en met co-substraat alleen. Bovendien kan de energie die wordt geproduceerd op verschillende manieren worden toegepast zoals omzetting in elektriciteit alleen of als combinatie van elektriciteit en warmte d.m.v. een WKK installatie. Ook kan gas direct aan het net worden geleverd. Omdat op dit moment alleen de levering van elektriciteit aan het net de gegarandeerde MEP subsidie oplevert wordt directe levering van gas aan het net verder niet meegewogen. Daarbij speelt ook nog dat het leveren van gas aan het gasnet een extra complicatie oplevert doordat niet bekend is met welke omzettingsefficiëntie gas uit het gasnet wordt verbrand. Een goede vergelijking met de prestatie van de gasmotor is dan niet mogelijk.

Het gebruik van een deel van de warmte die ontstaat bij de opwekking van elektriciteit zorgt voor een hoger rendement van de installatie als geheel. De beide uitersten, geen gebruik en zoveel mogelijk gebruik van warmte worden onderzocht. Het rendement van de gehele installatie is gesteld op 35% als alleen elektriciteit wordt opgewekt en op 70% als de ook de warmte zo volledig mogelijk kan worden gebruikt. Tot slot is onderzocht wat het effect was van de variatie van een aantal andere factoren zoals energiebehoefte van de installatie zelf en variatie in de lekverliezen van methaan uit de vergistingsinstallatie.

De verschillende combinaties die zijn onderzocht staan in tabel 5.1. Doordat rundveemest hoogstwaarschijnlijk alleen op een melkveehouderijbedrijf zal worden vergist en in dat geval de combinatie van rundveemest met maïs de meest voor de hand liggende is, is alleen die combinatie onderzocht. Voor varkensmest zijn ook de effecten van het gebruik van rogge en gerst onderzocht.

Tabel 5.1 Verschillende combinaties van mest en co-substraat

Scenario	Mest	Aandeel %	Co-substraat	Aandeel %	Overig
1	Rundveemest	100			
2	Varkensmest	100			
3	Rundveemest	50	Mais	50	
4	Varkensmest	50	Mais	50	
5	Varkensmest	50	Rogge	50	
6	Varkensmest	50	Gerst	50	
7	Als 4	25	Mais	75	
8	Als 4				rendement WKK 35% alleen elektriciteit
9	Als 4				Energiebehoefte vergister 50% van 283 MJ
10	Als 4				Energiebehoefte vergister 200% van 283 MJ
11	Als 4				Lekverliezen 2% i.p.v 1%
12	Als 4				Transportafstand gehalveerd

6 Resultaat berekening

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van de verschillende scenario's besproken. Als eerste komt aan de orde hoeveel mest en co-substraat er nodig is om een installatie van 500 kW volledig te benutten. In bijlage 1 is een uitgebreid voorbeeld van een dergelijke berekening weergegeven.

Met behulp van de kengetallen uit tabel 4.1 en een aantal algemene kengetallen (tabel 4.2) kan worden berekend dat er voor de jaarlijkse productie 350000 kWh (12.6 duizend GJ) ruim 450000 m³ methaan nodig is. Als daar het lekverlies bij worden opgeteld is dat bijna 457000 m³ methaan met een energie inhoud van ruim 18.2 duizend GJ.

Tabel 6.1 Hoeveelheid mest (m³) eventueel in combinatie met co-vergistingmateriaal (ton vers product) voor een vergister met WKK met een totaal vermogen van 500 kW

Materiaal	Hoeveelheid nodig bij vergisting van alleen	Aantal stuks vee	Aantal ha's van het co-substraat
Rundveedrijfmest (rdm)	36360	1400 melkkoeien	
Varkensdrijfmest (vdm)	42500	35500 vleesvarkens	
Maïs	4745		105
Rogge	5195		217
Gerst	3635		152
Rundveemest 50% en snijmaïs 50%	4195	161 melkkoeien	93
Varkensmest 50% en snijmaïs 50%	4266	3555 vleesvarkens	94
	4266		

In Nederland hebben ruim 40% van de melkveebedrijven 50 tot 100 melkkoeien. Voor 10% van de bedrijven geldt dat ze meer dan 100 melkkoeien hebben (Land- en tuinbouwcijfers, 2005). Voor vleesvarkens geldt dat op een ruime 10% van de bedrijven 1000 vleesvarkens of meer worden gehouden.

Ook de bedrijfsoppervlakte is beperkend. Een gemiddeld melkveebedrijf heeft een ruime 40 ha cultuurgrond waarvan 8 ha voedergewas. De grote melkveebedrijven (met globaal meer dan 100 koeien) geldt een gemiddelde bedrijfsoppervlakte van 80 ha waarvan 20 ha voedergewas (Binternet, LEI). Een gemiddeld vleesvarkenbedrijf heeft 6-7 ha cultuurgrond waarvan 3 ha voedergewassen.

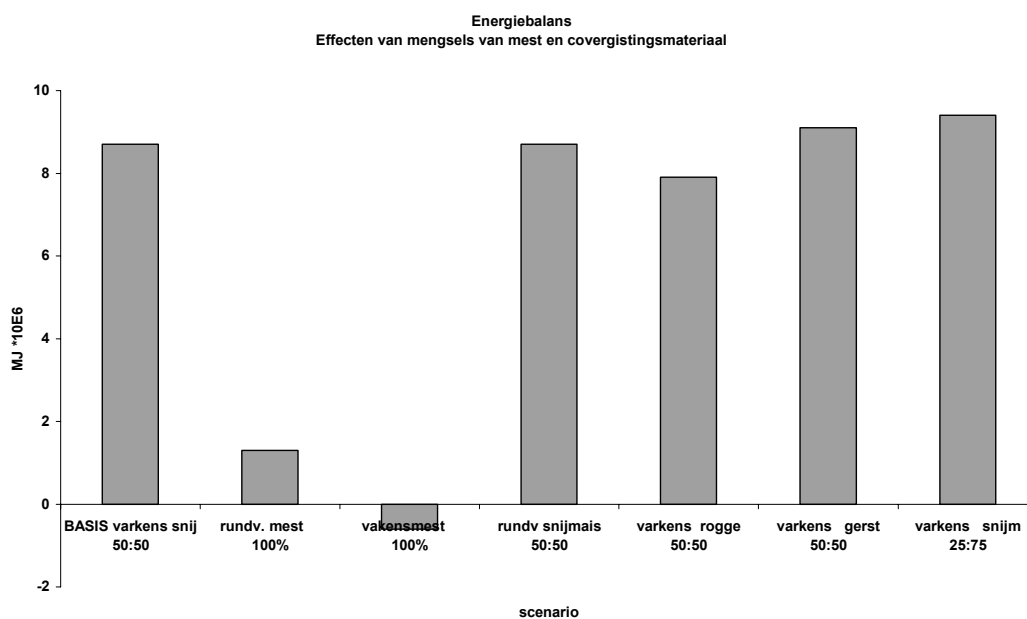
Uit Tabel 6.1 blijkt dan dat een dergelijk bedrijf onvoldoende land heeft om zelf voldoende energiegewassen te kunnen telen.

De vergistinginstallatie met de capaciteit van 500 kW is voor een gemiddeld bedrijf in Nederland op korte termijn vrijwel niet toepasbaar als gevolg van de ten opzichte van het buitenland relatief kleine bedrijfsomvang. Een samenwerkingsverband tussen bedrijven kan wel leiden tot gunstigere omstandigheden om te gaan vergisten met deze omvang.

Het is duidelijk (tabel 6.1) dat de energie-inhoud van mest alleen te laag is om een dergelijke installatie te kunnen voeden. De installatie zou veel te groot worden. Men kan zich zelfs afvragen of het zelfs wel verstandig is om mest toe te voegen. De huidige ontwikkeling om installaties zonder mest te gaan gebruiken lijkt een logische ontwikkeling.

6.1 Energieopbrengst

De netto energieopbrengst (productie minus eigen gebruik installatie, minus energie voor teelt en transport) staat weergegeven in Figuur 6.1 voor verschillende combinaties .



Figuur 6.1 De effecten van mengsels van mest en covergistingmateriaal op de energiebalans

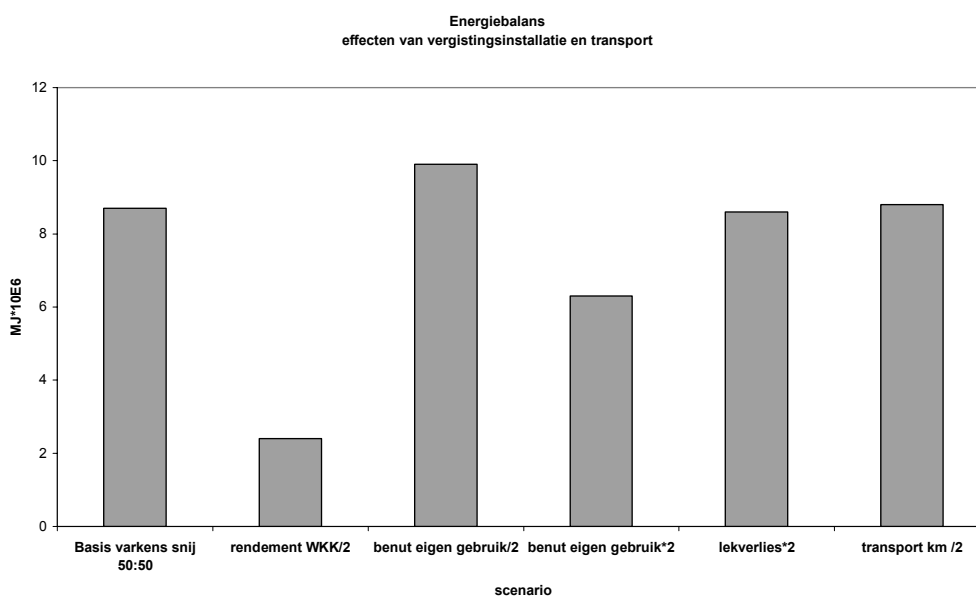
De netto opbrengst is het laagst bij vergisting van mest alleen en is zelfs negatief bij vergisting van varkensmest alleen. De oorzaak ligt in de lage energie-inhoud van de mest. Daardoor is er een groot volume aan vergistinginstallatie nodig en daardoor stijgt ook het eigen verbruik van de installatie zelf. De verschillen tussen een mengsel van 50:50 snijmaïs met varkensmest of rundveemest zijn vrij gering. Zodra mest wordt gemengd met snijmaïs overheerst het aandeel van de energie uit snijmaïs zodanig dat de verschillen in energieopbrengst tussen rundveemest en varkensmest daarbij wegvallen. Maïs levert per ton materiaal 9 keer zoveel energie als mest. Het effect van maïs blijkt ook uit Tabel 6.2, waarin het effect van verschillende mengverhoudingen tussen rundveemest en maïs zijn weergegeven. De grootste stijging in energie productie vindt plaats tussen 0% en 25% maïs bijmengen. Het verschil tussen rogge en gerst ontstaat door de lagere energieopbrengst van rogge. (Tabel 4.3)

Tabel 6.2 Effect van de mengverhouding mest en maïs op de energieproductie

Dunne rundveemest	Snijmaïs	Nuttige energie (GJ x 1000)
100%	0%	1.3
75%	25%	7.4
50%	50%	8.8
25%	75%	9.4
0%	100%	9.8

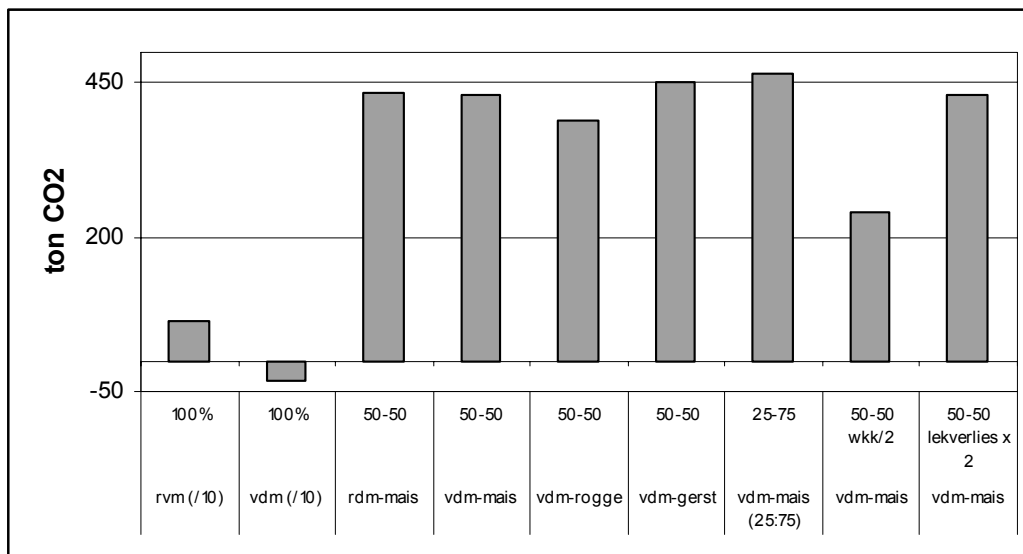
Het effect van variaties in rendement van de vergister, de hoeveelheid energie die voor het eigen gebruik nodig is, de gevolgen van een twee keer zo hoog lekverlies en halvering van de transportafstand is te zien in Figuur 6.2. Ze worden vergeleken met de basis variant 50% varkensmest en 50% snijmaïs.

Wanneer alleen de elektriciteit nuttig wordt gebruikt, daalt e nuttige energieproductie van het systeem sterk. Die daling is meer dan 50% omdat de hoeveelheid energie die nodig voor de installatie zelf, niet daalt met 50% maar gelijk blijft. Het effect van een verhoging van de eigen behoefte is dan ook groot. Een verhoging van de eigen consumptie met een factor 2 leidt tot een verlaging van de totale output met bijna 30%. Variatie in lekverliezen van methaan en energie benodigd voor teelt en transport hebben slechts een zeer klein effect op de totale energiebalans.



Figuur 6.2 De effecten van inrichting van de installatie en de transportafstand op de energiebalans

Tot slot is berekend welk effect de verschillende combinaties van Figuur 6.1 hebben op het gebruik van fossiele brandstof. Daarvoor is de netto productie in GJ omgerekend naar ton methaan bespaard uit fossiele brandstof en daarmee is vervolgens berekend hoeveel lager de CO₂ uitstoot uit fossiele brandstof zal zijn. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 6.3. Met behulp van de mengsels van mest en co-substraat kan ca 450 ton CO₂ uitstoot uit fossiele brandstof worden vermeden. Bij mest alleen is die hoeveelheid veel lager en bij varkensmest alleen zelfs negatief. De efficiëntie van de WKK installatie heeft een relatief groot effect op de besparing van CO₂ uit fossiele brandstoffen.



Figuur 6.3 Besparing van uitstoot van CO₂ uit fossiele brandstoffen bij diverse combinaties mest en co-vergistingmateriaal

Samenvattend:

Het gebruik van een co-substraat is cruciaal voor de energieopbrengst. Verder heeft (uiteraard) het nuttig inzetten van de warmte een zeer groot effect en ook het effect van de energie die er voor de installatie zelf nodig is is van relatief groot belang. Lekverliezen en teelt en transport hebben slechts een gering effect op de energiebalans van het co-vergistingssysteem.

De besparing van uitstoot van CO₂ uit fossiele brandstoffen is gering of zelfs negatief bij gebruik van mest alleen, en ca 450 ton bij de overige combinaties van mest en co-substraat.

6.2 Emissie van broeikasgassen en NH₃

Voor een aantal situaties uit Tabel 5.1 is de emissie van broeikasgassen berekend en is de besparing ten opzichte van mestopslag zonder vergisting berekend. De verschillende situaties zijn:

- Varkensmest alleen
- Rundveemest alleen
- Varkensmest 50% en maïs 50%
- Rundveemest 50% en maïs 50%

De emissie is berekend voor CH₄, N₂O en met behulp van omrekenfactoren omgerekend naar emissie van CO₂-equivalenten. Daarnaast is de NH₃-emissie berekend. Voor een uitgebreide berekening van de emissies van methaan en lachgas wordt opnieuw verwezen naar bijlage 1.

CH₄ emissie

De methaanemissie van niet vergiste mest is gelijk aan de hoeveelheid mest die nodig is voor de opwekking van 500 kW maal de emissiefactor voor mest (tabel 4.6). De methaanemissie van mest die wordt vergist is gesteld op 5% van die van onvergiste mest, omdat aangenomen wordt dat alleen verse mest wordt gebruikt voor de vergisting. Door het gebruik van verse mest wordt de emissie uit de opslag vrijwel helemaal tegengegaan.

Dezelfde redenering is toegepast voor de methaanemissie uit co-substraat, met dien verstande dat bij vergisting van mest alleen, de emissie uit co-substraat gelijk is aan 0. Het is niet goed bekend hoe groot de emissiefactor voor methaan uit co-substraat is. Aangenomen is dat emissiefactor voor silage tussen die van varkensmest en rundermest in ligt en dit komt overeen met de weinige gegevens in de literatuur. Omdat bij gebruik van maïs deze langdurig moet worden opgeslagen als silage, is het goed mogelijk dat de emissie-reductie-factor uit silage veel kleiner is dan 95%. Bij de berekening van emissie uit varkensmest plus maïs is aangegeven hoe hoog de emissie is zonder emissie-reductie.

Het lekverlies uit de vergistinginstallatie is gesteld op 1%; er emitteert dan 1% van de methaanproductie uit de installatie.

N₂O emissie

Voor de emissie van lachgas (N₂O) uit mest en silage geldt dezelfde redenering als voor methaan; een emissiereductie van 95% bij gebruik van verse mest en silage. Ook hier is onderzocht wat het effect is van geen emissiereductie uit silage.

Bij gebruik van co-substraat is de N₂O emissie als gevolg van de teelt berekend.

CO₂-emissie

De berekende methaan en N₂O emissies zijn omgerekend naar CO₂-equivalenten door ze te vermenigvuldigen met respectievelijk een factor 21 en 310. Daarbij is de berekende CO₂-emissie voor de teelt opgeteld die het gevolg is van gebruik van kunstmest en bestrijdingsmiddelen (Bijlage 6. tabel B6.2).

NH₃-emissie

Voor mest en silage is dezelfde redenering gevolgd als voor methaan, een emissiereductie van 95% bij gebruik van vers materiaal.

Verder is net als voor methaan aangenomen dat 1% van de ammoniak uit de installatie verdwijnt als gevolg van lekverlies. Daarbij is dezelfde emissiefactor gebruikt als voor mest. Dit is waarschijnlijk een onderschatting van de werkelijke ammoniak emissie uit de vergister. In de eerste plaats is de temperatuur hoger dan bij mestopslag en bovendien wordt het systeem (dis-) continu geroerd.

Tot slot is ook hier rekening gehouden met de ammoniak emissie tijdens de teelt van co-substraat gewassen.

Besparing in de emissie

De besparing in de emissie is op verschillende manieren berekend. Hieronder volgt de beschrijving voor methaan, voor de overige verbindingen is dezelfde methodiek gevolgd

De besparing van methaanemissie is gelijk aan de emissie zonder vergisting minus de emissie als gevolg van vergisting (situatie bij vergisting van mest alleen).

Voor mest met co-substraat zijn twee situaties vergeleken:

1. De besparing ten opzichte van de werkelijk gebruikte hoeveelheid mest die niet zou zijn vergist.
2. De besparing ten opzichte van de hoeveelheid mest alleen

Of in een schema:

	Emissie	Emissie besparing	
		1	2
Mest alleen zonder vergisting	A		
Mest alleen met vergisting	B	A-B	
Mest plus co-substraat zonder vergisting	C		
Mest plus co-substraat met vergisting	D	C-D	A-D

De emissie van methaan, N₂O, CO₂ en NH₃ en de besparing daarop door vergisting van varkensmest en varkensmest met maïs is weergegeven in Tabel 6.3. De methaan emissie van niet vergiste mest is 143.3 ton en 10.4 ton van vergiste mest, een besparing van 132.9 ton (Tabel 6.3A). De emissie van mest met co-substraat is veel geringer (10.4 ton) dan de emissie uit mest alleen doordat er in dit geval veel minder mest wordt gebruikt (zie tabel 6.1). Daardoor is de besparing in methaan emissie ook veel lager (10.4 ton). Echter, wordt de emissie van mest plus co-substraat vergeleken met die van onvergiste mest, dan is de besparing nog steeds groot (138.9 ton).

Voor N₂O ligt dat anders. De N₂O besparing door vergisting van mest alleen is 315.6 kg. Bij vergisting van mest plus maïs is de N₂O emissie na vergisting hoger dan zonder vergisting, voornamelijk als gevolg van de emissie gedurende de teelt van maïs (404 kg). Daardoor is er ook geen besparing in N₂O emissie ten opzichte van die van onvergiste mest alleen.

Omgerekend naar CO₂ equivalenten bedraagt de besparing in CO₂ emissie 2889 ton bij vergisting van mest alleen en -37 ton bij covergisting. Het verschil is opnieuw het gevolg van het gebruik van veel minder mest. Ten opzichte van mest alleen bedraagt de besparing 2763 ton.

Tabel 6.3 Emissie van methaan, N₂O (A), CO₂ en NH₃ (B) uit varkensmest en snijmaïs en de besparing als gevolg van vergisting

A	CH ₄	Besparing (ton)		N ₂ O	Besparing (kg)	
	ton	1	2	kg	1	2
Varkensmest alleen	143.3			332.2		
Varkensmest alleen vergist	10.4	132.9		16.6	315.6	
Mest plus maïs	14.4			33.4		
Mest plus maïs, vergist	4.4	10.4	138.9	406.8	-373.5	-74.6

B	CO ₂	Besparing (ton)		NH ₃	Besparing (kg)	
	ton	1	2	kg	1	2
Varkensmest alleen	3112			6664		
Varkensmest alleen vergist	223	2889		339	6245	
Mest plus maïs	312			667		
Mest plus maïs, vergist	349	-37	2556	1362	-695	5852

De besparing in ammoniak emissie is 6245 kg na vergisting van mest alleen en -695 kg bij co-vergisting (5852 ten opzichte van mest alleen), opnieuw door een veel geringer mestgebruik.

Het maakt dus erg veel uit hoe de besparing op de emissie wordt berekend. Er zijn in feite twee mogelijkheden die elk op een eigen wijze meer of minder aansluiten bij het doel van de studie. Geen van deze twee mogelijkheden is wetenschappelijk juist of onjuist.

In berekening 1 worden vergelijkbare situaties met elkaar vergeleken met als enige verschil wel of niet vergisten. In berekening 2 wordt de emissie uit 42500 ton mest (Tabel 6.1) vergeleken met die van 4745 ton mest en 4745 ton maïs. Het is aannemelijk dat er bij co-vergisting veel minder mest zal worden vergist dan bij vergisting van mest alleen. De mest die niet in de co-vergisting wordt gebruikt wordt (langdurig) opgeslagen en zal de daarbij gebruikelijke emissies geven.

Maar omdat juist bij de vergisting van mest alleen de besparingen op de emissies van methaan en daarmee ook de berekende CO₂-emissies en de ammoniak emissies zo groot zijn en bij co-vergisting veel minder groot, is het ook passend om die effecten van co-vergisting weer te geven. En dat kan het beste op de wijze van berekening 2. Hierbij wordt het doel om het effect van verschillen in de samenstelling van de te vergisten grondstoffen geanalyseerd bij een vaststaande energie opbrengst van de vergister. Deze wijze van berekenen past o.i. het beste bij de doelstelling van de studie.

Tabel 6.4 bevat dezelfde informatie als Tabel 6.3 maar nu voor rundermest met snijmaïs.

Tabel 6.4 Emissie van methaan, N₂O (A), CO₂ en NH₃ (B) uit rundermest en snijmaïs en de besparing als gevolg van vergisting

A	CH ₄	Besparing (ton)		N ₂ O	Besparing (kg)	
	ton	1	2	kg	1	2
Rundermest alleen	122.6			158.7		
Rundermest alleen vergist	9.4	113.2		7.9	150.8	
Mest plus maïs	14.1			18.3		
Mest plus maïs, vergist	13.4	0.8	109.2	416.7	-398.4	-258.0

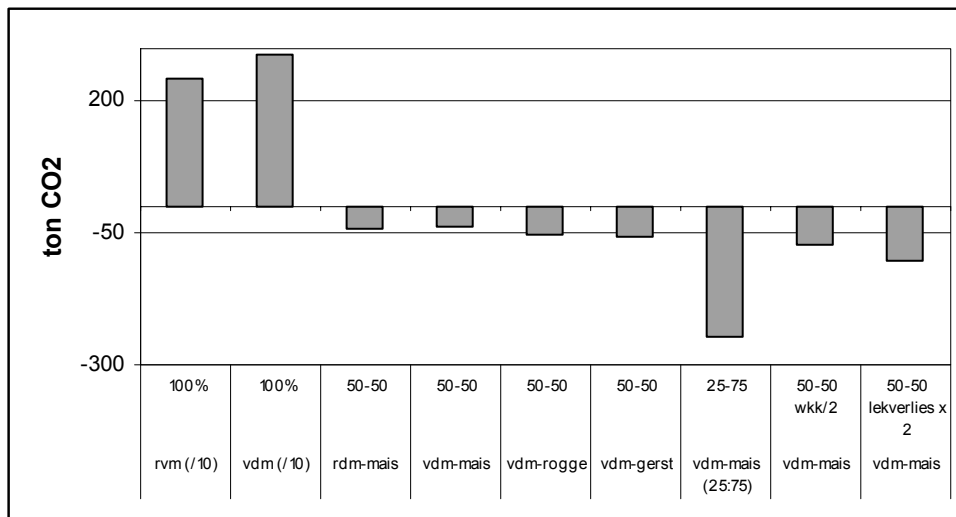
B	CO ₂	Besparing (ton)		NH ₃	Besparing (kg)	
	Ton	1	2	kg	1	2
Rundermest alleen	2624			3174		
Rundermest alleen vergist	199	2425		190	2984	
Mest plus maïs	303			366		
Mest plus maïs, vergist	344	-41	2086	1670	-1303	1505

De emissies bij rundveemest zijn lager zijn dan bij varkensmest maar de resultaten laten min of meer hetzelfde patroon zien. De oorzaak van de lager emissies ligt in de lagere emissiefactoren en de lagere gehalten aan stikstof in rundermest in vergelijking met varkensmest.

Figuur 6.4 laat het effect zien van de verschillende situaties van Tabel 5.1 op de besparing in CO₂ emissie uitgerekend volgens methode 1. Om alle balken zichtbaar te maken in deze Figuur 6.4 is de emissiebesparing van 'mest alleen' gedeeld door 10. (die is in werkelijkheid dus 10 keer hoger) Uit Figuur 6.4 blijkt opnieuw dat de besparing op CO₂-emissie bij het vergisten van mest alleen veel groter is dan bij vergisten van mest plus een co-substraat. Bovendien blijkt uit Figuur 6.4 dat de onderlinge verschillen tussen verschillende co-substraten gering zijn. Bij gebruik van een hogere maïs-mest verhouding daalt de besparing in CO₂-emissie relatief gezien het meest. Het effect van een lagere WKK efficiëntie of lekverliezen op de emissie van broeikasgassen is gering. Hetzelfde geldt overigens voor de emissie van ammoniak (resultaten niet getoond).

De verlaging van de emissie uit mest alleen en uit mest met co-substraat is vergeleken met de verlaging van CO₂ uitstoot door een lager inzet van fossiele brandstof (Vergelijk Figuren 6.4 en 6.3). Daaruit blijkt dat de besparing op emissie uit opslag van mest als gevolg van de vergisting van mest alleen veel hoger is dan de winst die kan worden behaald door een verlaging van de emissie van CO₂ uit besparing op gebruik van fossiele brandstoffen.

Echter als de verschillende combinaties co-vergisting onderling worden vergeleken, dan blijkt de besparing op de uitstoot uit fossiele brandstof ca 300 ton groter is dan uitstoot als gevolg van emissie uit de opslag van mest. Als het aandeel maïs groter wordt, neemt de emissie van broeikasgassen toe als gevolg van vooral emissie bij bemesting en wordt het verschil tussen besparing van CO₂ uit fossiele brandstoffen en emissie kleiner. Het verschil blijft echter positief, zelfs als 100% maïs zou worden vergist (niet getoond)



Figuur 6.4 Besparingen in CO₂-equivalenten emissie als het gevolg van het vergisten van mest alleen of mest met co-substraten Besparing volgens methode 1. Let op: de omvang van de emissie van vergisting van mest alleen die omwille van leesbaarheid van de gegevens door 10 is gedeeld (zie tekst)

Samenvattend:

Gebruik van mest alleen levert de grootste besparing in emissie van broeikasgassen op, door de aanname van een 95% emissiereductie bij vergisting van mest. In de installatie zelf leveren de inzet van de warmte en lekverliezen een betrekkelijk geringe bijdrage aan de emissiereductie. Als gevolg van de N₂O emissie tijdens de teelt neemt de CO₂-emissie toe naarmate de mengverhouding maïs - mest toeneemt.

De totale besparing op CO₂ emissie (verschil tussen besparing op CO₂ uit fossiele energie en uitstoot van broeikasgassen) is ongeveer 300 ton per jaar voor de co-vergistingcombinaties. Voor mest alleen is de besparing als gevolg van een lagere emissie veel groter dan de winst als gevolg van een lager gebruik aan fossiele brandstof.

6.3 Effect van emissiereductie

Zoals hierboven al is aangegeven is er vrijwel niets bekend over de broeikasgasemissie uit opgeslagen silage van maïs of andere gewassen. Nu is aangenomen dat de emissie min of meer vergelijkbaar is met die van mest en dat er reductie van de emissie van 95% zal optreden bij co-vergisting. De resultaten van die aannames zijn in hoofdstuk 6.3 weergegeven.

Om aan te geven hoe groot het effect is van die aanname wordt hier het resultaat vergeleken tussen een emissiereductie van 95% en 0% uit maïssilage bij covergisting met varkensmest (50:50). Voor de duidelijkheid, de emissie uit opgeslagen maïs is 0 bij vergisting van mest alleen. De berekening van de emissiebesparing is volgens methode 1 van hoofdstuk 6.3. In absolute zin is het effect vrij groot, maar ten opzichte van de effecten van de teelt is het effect op de N₂O emissie vrij gering.

Tabel 6.5 Effect van de reductiefactor op de emissie van methaan, N₂O en CO₂ uit maïssilage bij reductie-emissie uit silage van 95 of 0 %

Emissiereductie	CH ₄ (ton)	N ₂ O (kg)	CO ₂ (ton)
0%	13.4	18.6	207
95%	0.5	0.9	10

6.4 Gebruik van digestaat en benodigde areaal

De huidige mestwetgeving voor de toepassing van digestaat als messtof is nogal ingewikkeld. De tekst lijkt eenvoudig maar de uitwerking ervan is complex, zoals hieronder zal worden geschetst.

De mestwetgeving stelt dat niet meer dan 170 kg stikstof uit dierlijke mest mag worden gebruikt. Alleen melkvee bedrijven met minimaal 70% grasland kunnen een derogatie aanvragen om maximaal 250 kg stikstof te mogen gebruiken. Daarboven geldt nog een maximum voor de hoeveelheid fosfaat die mag worden toegepast. Hier beperken we ons tot de gevolgen voor de stikstofbemesting.

Voor vergiste mest uit installaties waarin alleen dierlijke mest is vergist geldt dat het product uit de vergister volledig als dierlijke mest moet worden aangemerkt. Daarvan mag dus niet meer dan 170 kg stikstof worden toegepast en 250 kg bij bedrijven met die een vergister en derogatie hebben.

Bij digestaat van mengsels van mest en co-substraat geldt dat het deel van de stikstof dat uit mest afkomstig is moet worden aangemerkt als mest. Voor het overige deel, dat van maïs of een ander co-substraat afkomstig is gelden verschillende regels.

In theorie zijn er verschillende bedrijven waar co-vergisting kan plaatsvinden de belangrijkste zijn:

1. Varkensbedrijven zonder eigen land, die co-substraat moeten aankopen
2. Melkveebedrijven met eigen land zonder derogatie
 - a. Die digestaat volledig zelf kunnen toepassen
 - b. Die digestaat voor een deel moeten afzetten
3. Melkveebedrijven met eigen land met derogatie
 - a. Die digestaat volledig zelf kunnen toepassen
 - b. Die digestaat voor een deel moeten afzetten
4. Akkerbouwbedrijven met eigen land die digestaat zelf volledig toepassen
5. Akkerbouwbedrijven met eigen land die een deel van het digestaat moeten afzetten.

Uit de regelgeving voor de toepassing van digestaat blijkt dat toediening van digestaat op al deze bedrijven verschillend kan zijn. Op het varkensbedrijf zonder eigen land is de situatie eenvoudig: voor alle digestaat geldt een maximum toepassing van 170 kg stikstof per ha.

Veel complexer is de situatie op bedrijfstype 5, akkerbouwbedrijven die een deel van het digestaat elders moeten afzetten. Voor het dierlijke mestdeel geldt overal het

maximum van 170 kg N. Datzelfde geldt voor het co-substraat deel dat elders moet worden gebruikt.

Maar het voor co-substraat dat op het bedrijf zelf wordt geproduceerd en als digestaat wordt toegepast, geldt dat het mag worden aangemerkt als een organische meststof. Die mag worden toegepast volgens een stelsel van gebruiksnormen, waarbij rekening mag worden gehouden met de werkingscoëfficiënt van de meststof.

Onduidelijk is de situatie waar gewasmateriaal van buitenaf wordt aangevoerd en op het bedrijf waar de vergisting plaatsvindt zelf wordt geproduceerd.

Voor deze studie beperken we ons tot één soort bedrijf: het akkerbouwbedrijf met eigen land dat een deel van het digestaat moet afvoeren. Een dergelijk bedrijf lijkt vrij representatief voor de huidige Nederlandse situatie. Veel van de nieuwe vergistinginstallaties worden op akkerbouwbedrijven gebouwd. Zij voeren mest aan van buitenaf en hebben vaak niet voldoende land om zelf alle maïs te verbouwen die nodig is voor de installatie.

De betreffende akkerbouwer heeft een bedrijf met 150 ha eigen grond en vergistinginstallatie met de zelfde kenmerken als in deze studie wordt beschreven. Hij gebruikt een mengsel van 50% varkensmest en 50% maïs. De mest voert hij aan van buiten zijn bedrijf. Een deel van de maïs verbouwt hij zelf. De rest koopt hij elders in. We gaan er hier vanuit dat hij de stikstof die uit digestaat dat afkomstig en die hij op zijn eigen bedrijf wil gebruiken, niet als dierlijke mest hoeft aan te merken, ook al komt de maïs eventueel van andere bedrijven.

De aanname is dat deze akkerbouwer zoveel mogelijk digestaat op zijn eigen bedrijf wil gebruiken; dat is voor hem financieel gezien het meest voordelig. Door het mestoverschot kost het bedrijven die mest moeten afzetten aanzienlijke hoeveelheden geld. Bovendien wordt aangenomen dat alle 150 ha kan worden gebruikt voor bemesting met digestaat. Dat is een optimistische vereenvoudiging, want een deel van de akkerbouwgewassen (vooral granen) leent zich minder goed voor organische bemesting.

Verder gaan we er vanuit dat de akkerbouwer zelf alle maïs teelt die voor de vergister nodig is (105 ha, Tabel 6.1) en dat hij die alleen bemest met digestaat. De gebruiksnorm voor maïs is 185 kg/ha voor bedrijven zonder derogatie. De stikstofwerking-coëfficiënt (N-WC) van digestaat is gesteld op 0.6, gelijk aan die van dierlijke mest. Dan kan worden berekend hoeveel digestaat deze akkerbouwer kan gebruiken voor de teelt van maïs en of hij dan nog digestaat moet gebruiken op andere delen van zijn eigen land of bij derden.

Bij een mengsel van 50% varkensmest en 50% maïs bevat het digestaat in totaal bijna 52 duizend kg stikstof. Daarvan is 33.4 duizend kg afkomstig van dierlijke mest en 18.6 duizend kg van maïs.

De 18.6 duizend kg N met een netto werkingscoëfficiënt van 0.6 bevat in totaal 11.2 duizend kg werkzame stikstof. Daarmee kan in totaal $11.2 / 185 = 60$ ha maïs worden bemest. Op het overige deel van de akkers, waarvan 45 ha (105-60) voor maïs en 45 voor overige gewassen kan hij nog $90 \times 170 = 15.2$ duizend kg stikstof uit dierlijke mest toepassen. Voor de rest van de stikstof die afkomstig is uit dierlijke mest (18.1 duizend kg) is nog 107 ha buiten het eigen bedrijf nodig.

Tabel 6.6 Ha landbouwgrond die nodig is naast de 150 ha van het voorbeeldbedrijf, voor de afzet van digestaat, bij verschillende mengverhoudingen

Varkensmest : maïs	Ha extra nodig
100 : 0	1804
75 : 25	540
50 : 50	107
25 : 50	0
0 : 100	0

Juist omdat de druk op de mestmarkt groot is zal het deze akkerbouwer moeite kosten om de overtollige mest af te zetten. Daardoor zal hij er naar neigen om relatief minder mest en meer maïs voor de vergistinginstallatie te gebruiken. De gevolgen van verschillende mengverhoudingen mest en maïs op het areaal landbouwgrond dat buiten het bedrijf nog gezocht moet worden is berekend en staat vermeld in Tabel 6.6. Bij een verhouding van 25:75 of lager is er geen land van derden meer nodig en kan alles op het eigen bedrijf worden afgezet.

6.5 Effect van covergisting op het landschap

Voor het maken van een inschatting van de mogelijke effecten van co-vergisting op het landschap is het nodig om iets te over de omvang die co-vergisting zal aannemen. Daarvoor hebben we ons gebaseerd op het Nederlandse beleid op het gebied van productie van Duurzame Energie.

De Nederlandse overheid heeft als beleid om in 2020 10% van ons totale energiegebruik op te wekken uit duurzame bronnen³. Op dit moment is er in Nederland een totaal van 10 GW aan elektrisch vermogen opgesteld. We hebben aangenomen dat 10% daarvan, ofwel 1 GW zou moeten worden opgewekt met behulp van co-vergisting uit maïs. Uit Tabel 6.1 blijkt dat er 105 ha maïs nodig is voor de opwekking van 250 kW aan elektrisch vermogen. Voor de opwekking van 1 GW is dan 420 duizend ha maïs nodig is, bij de huidige opbrengsten per ha. Het huidige areaal aan maïs is ongeveer 200 duizend ha. Zelfs als de opbrengst van maïs drastisch zal stijgen in de komende jaren moet rekening worden gehouden met een sterke toename (verdrievoudiging) van het maïs areaal. Dat heeft uiteraard gevolgen voor het landschap dat monotoner wordt maar ook voor andere teelten in Nederland die onder druk zullen komen te staan.

De mate waarin verdringing van huidige gewassen door gewassen voor energieteelt optreedt is een gevolg van economische afwegingen en factoren:

³ <http://www.mnp.nl/mnc/i-nl-0050.html>

- Wordt covergisting een industriële activiteit of een activiteit op de boerderijschaal
- de druk op de grondmarkt ook van buiten de landbouw
- de afzet mogelijkheden van het digestaat
- de mogelijkheid om voedergewassen/krachtvoer te importeren en de daarbij horende prijs en gevolgen voor de nationale mineralenbalans

Theoretisch kan op basis van economische afwegingen het volgende gebeuren:

1. als eerste zullen die gewassen verdwijnen die nu een lage financiële opbrengst geven; de teelt van gewassen voor vergisting levert dan al snel een hoger financieel rendement op
2. vervolgens ontstaat druk om ook gebieden waar nu bos en natuur voorkomt geschikt te maken voor energieteelten. Dit zal vooral gebeuren wanneer de druk op een verdere beperking van het gebruik van fossiele brandstoffen groter wordt.
3. tot slot komen ook de nu nog rendabele teelten onder druk te staan en daarmee de voedselproductie. Dit kan gebeuren wanneer de teelt van energiegewassen economisch aantrekkelijker is dan de teelt van voedselgewassen. Bij een voldoende gegarandeerde aanvoer uit het buitenland hoeft dat overigens niet tot problemen op het gebied van voeding in Nederland te leiden.

Bij een gunstige prijs voor stroom en warmte uit productie van biogas, zou het dan uiteindelijk kunnen komen tot een grootschalige monocultuur van bijvoorbeeld energiemais waarbij de oorspronkelijke landbouw in Nederland op de helft van het areaal voor akkerbouw verdwijnt met alle mogelijke gevolgen voor het landschap. De voedselproductie zal in dat geval elders plaatsvinden waarbij de emissies die daarbij horen overigens gehandhaafd zullen blijven. Als die verschuiving zou leiden tot ontbossing elders om het niveau van voedselproductie te handhaven dan gaat dit gepaard met een tijdelijke toename van de CO₂-emissie.

6.6 Effect van co – vergisting op geur

In het vergistingsproces worden stankcomponenten afgebroken. Bij het aanwenden van vergiste mest is dan ook de verwachting dat er minder geuremissie optreedt omdat vluchtige vetzuren zijn verdwenen; ze zijn omgezet in methaan tijdens vergisten. Bij de vergister zijn er lekverliezen van methaan uit het systeem te verwachten en een emissie van methaan (en ammoniak en lachgas) uit de mest en het co-vergistingsmateriaal uit de vooropslag. Verkorting van de duur van de opslag van verse mest zou dit in de hand moeten kunnen houden. Maar het zou kunnen leiden tot puntbronnen van extra geurhinder. Daar staat tegenover dat de lekverliezen van de mestopslag lager kunnen worden indien er verse mest voor de co-vergisting wordt gebruikt.

6.7 Effect van co – vergisting op kringlopen van C en nutriënten

We hebben eerder onderscheid gemaakt tussen de lange en de korte kringloop van C. In het kader van het vermijden van een snelle toename van CO₂ in de atmosfeer is

het nodig om zoveel mogelijk af te blijven van de *lange* C-kringloop en de *korte* C-kringloop zoveel mogelijk gesloten te houden.

Vergisting op zich verandert de korte C-kringloop niet. De C-kringloop als geheel wordt meer gesloten bij de toepassing van co-vergisting, doordat er dan minder fossiele energiebronnen gebruikt hoeven te worden voor de opwekking van energie. De CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van biogas kan door planten weer worden omgezet in organische vorm die dan vervolgens weer kan worden gebruikt voor de productie van plantaardig materiaal en via vergisting de vorming van nieuw biogas. Daarmee is de *korte* kringloop gesloten. De impact ervan hangt uiteraard sterk af van de efficiëntie van de vergistinginstallatie en het aandeel van biogas in de totale energievoorziening.

De verliezen van nutriënten kunnen kleiner worden bij toepassing van co-vergisting. Dat komt doordat de vergisting plaatsvindt in een gesloten systeem waardoor de emissie vanuit de mest kleiner zal worden. Het effect is het grootst bij de toepassing van mest die zo vers mogelijk is. Als mest eerst wordt opgeslagen voor gebruik in een vergister kunnen tijdens deze opslag nog steeds emissies van N optreden.

De afvoer van nutriënten van de boerderij met gewassen die gebruikt zijn voor de co-vergisting is nihil, zodat alleen daardoor al de nutriënten kringloop op de boerderij beter gesloten wordt. Tenminste, als het product van de vergisting, het digestaat, op een zorgvuldige wijze wordt gebruikt voor de bemesting. Dat effect kan zelfs nog verbeteren indien niet alleen speciaal geteelde gewassen voor de vergisting worden gebruikt, maar ook zoveel mogelijk gewasresten. Nu worden gewasresten meestal ondergeploegd waarna ze worden afgebroken en voedingsstoffen mineraliseren. Een deel van de nutriënten kan na mineralisatie gebruikt worden door het volgende gewas maar een deel gaat verloren door uitspoeling. Indien deze gewasresten worden gebruikt voor co-vergisting komen de nutriënten voor een belangrijk deel in het digestaat terecht en kunnen ze, afhankelijk van de werkingscoëfficiënt van het digestaat door het volgende gewas worden opgenomen. Bij een goede toepassing van het digestaat zullen de nutriënten verliezen kleiner zijn dan in het geval van onderploegen. Daardoor wordt de nutriëntenkringloop op de boerderij beter gesloten.

Uit berekeningen van PPO (Van der Voort et al, 2006) blijkt dat voor een akkerbouwbedrijf van 100 ha bij een standaardrotatie de stikstofbesparing op kleigrond een stikstofbesparing op kunstmest van 1018 kg bedraagt (op een totaal van 1894 kg) indien de gewasresten in de co-vergisting worden gebruikt. Op zandgrond is dat 882 kg N op een totaal van 1637 kg.

Voor de boerderijschaal geldt dat voor de afvoer van digestaat dat voor een deel uit gewasresten bestaat in het algemeen meer grond nodig is dan er beschikbaar is op dat bedrijf. Met andere woorden: er moeten mineralen worden afgevoerd en is de kringloop niet gesloten. Als het bedrijf dan ook de maïs teelt specifiek voor toepassing in de vergister en voer voor het vee importeert, dan is er zeker minder sprake van een gesloten kringloop.

Op industriële schaal met 100% vergisting van gewassen kan er wel sprake zijn van het beter sluiten van de kringloop mits er geen gebruik gemaakt wordt van gewassen die gevoelig zijn voor dierlijke mestgiften (zoals de meeste granen). Voor alle situaties geldt dat het sluiten van de kringloop kan worden verbeterd als de mineralen uit digestaat als kunstmest mogen worden aangemerkt. Bij de huidige mestwetgeving leidt dit dan niet tot overschotten aan mineralen.

7 Conclusies duurzaamheid van co-vergisting mest

In dit hoofdstuk worden puntsgewijs de conclusies vermeld. Een aanvullende discussie is opgenomen in hoofdstuk 8.

Energie

- Vergisting van alleen mest is niet duurzaam; de netto energieopbrengst is laag of zelfs negatief
- Co-vergisting wordt energetisch duurzamer naarmate het aandeel co-substraat groter wordt
- In een 500 kW installatie kan 157 duizend m³ aan fossiel methaan worden bespaard bij vergisting van 50% varkensmest en 50% snijmaïs
- Essentieel is het zoveel mogelijk gebruik maken van de warmte uit de verbrandingsmotoren. Dit kan op boerderijschaal problemen geven in verband met beperkte afzetmogelijkheden voor warmte.
- Lage lekverliezen verhogen de netto energieopbrengst en daarmee de energetische duurzaamheid
- Transport van mest, co-substraat of digestaat is een relatief onbelangrijke factor in het energiegebruik van het gehele systeem
- Energiekosten van teelt hebben slechts een gering effect op de totale energieopbrengst
- Het energiegebruik van de vergistinginstallatie zelf heeft een relatief groot effect op de energiebalans
- De besparing op de uitstoot aan CO₂ uit fossiele brandstoffen is het grootst (ca 350 ton) bij co-vergisting en het laagst bij vergisting van mest alleen

Emissies van broeikasgassen

- Het gebruik van verse mest in de covergisting is van zeer groot belang doordat alleen dan de emissieverliezen uit mestopslag tot 5% kunnen worden beperkt.
- Vergisting van mest alleen levert de hoogste verlaging van emissie van het broeikasgas methaan op.
- Vergisting van mengsels van mest en co-substraat verhoogt de emissie van de broeikasgassen lachgas en CO₂, vooral door emissie die optreedt gedurende de teelt van gewassen
- Lekverliezen en vooral de productie van gewassen zijn de belangrijkste emissiebronnen bij co - vergisting
- De WKK, de energiebehoefte van de installatie zelf en de transportafstand van grondstoffen of digestaat hebben bijna geen effect op de emissie.
- Een toenemend aandeel van maïs in de vergisting verhoogt de emissie van broeikasgassen

Afzet van digestaat en effect op het landschap

- Voor een 500 kW installatie is 105 ha maïs nodig
- Voor de afzet van de stikstof in het digestaat dat uit maïs afkomstig is, is ca 60 ha maïsland noodzakelijk
- Voor de afzet van de stikstof uit mest in digestaat is ca 152 ha akkerland nodig
- Door de druk op de mestmarkt zal een akkerbouwer met een co-vergisting-installatie streven naar een mengsel met zo weinig mogelijk mest en zoveel mogelijk maïs
- Om 10% van de Nederlandse elektriciteit te winnen uit maïs is 420 duizend ha extra maïs-teelt nodig; dit heeft een aanzienlijk effect op de diversiteit van het landschap waarin monocultures sterk zullen kunnen toenemen en teelt van voedselgewassen elders in de wereld plaats zal moeten vinden.

Conclusies over meetbare effecten van vergisting

- Voor beperking van de emissie van broeikasgassen is het verstandig om alleen mest in de vergister te verwerken.
- Voor het winnen van zoveel mogelijk energie uit biomassa is het verstandig om geen mest in het de vergister te verwerken maar alleen andere biomassa.
- Met betrekking tot de mate van duurzaamheid van co – vergisting is er geen optimale verhouding tussen mest en co – substraat; hoe meer co – substraat hoe hoger de energieopbrengst maar tegelijkertijd nemen wel de emissies van overige broeikasgassen toe; er is wel sprake van een netto vermindering van de emissies broeikasgassen op basis van netto CO₂ equivalenten.
- Met een goed management (lekverliezen en emissies uit opslag in de vergister) kan de emissie uit opslag in de vergister en de lekverliezen worden beperkt. Dit draagt sterk bij aan een verbeterde energiebalans en CO₂-balans
- Een goed rendement van de WKK draagt essentieel bij aan een verbeterde energiebalans en CO₂-balans.
- Gebrek aan afzetmogelijkheden van warmte uit vergisters op boerderijschaal kan het overall rendement van de installatie sterk verlagen.
- Voor de afzet van het digestaat is het belangrijk te kiezen voor gewassen met een relatief laag fosfaatgehalte. Maïs heeft dan de voorkeur boven gerst en rogge.
- Voor het verkrijgen van het predikaat “duurzaam” is de afzet van het digestaat de meest beperkende factor.

Sleutelfactoren

Kwantificeerbare sleutelfactoren voor de duurzaamheid van covergisting zijn:

- De mengverhouding mest covergistingmateriaal
- Lekverliezen voor vergisting uit mestopslag en silage en tijdens vergisting uit de reactor zelf.
- Benutting en rendement van de WKK
- Gebruik van energie voor het vergistingsproces zelf

8 Discussie

Draaiknoppen voor duurzaamheid van co - vergisting

Co – vergisting en de mate van duurzaamheid daarvan is een zaak van optimalisatie van techniek, logistiek en van bedrijfsvoering. De draaiknoppen op basis van die sleutelfactoren die de mate van duurzaamheid duurzaamheid van co – vergisting in de meest belangrijke manier bepalen zijn:

- De mengverhouding mest covergistingmateriaal
- Lekverliezen voor vergisting uit mestopslag en silage en tijdens vergisting uit de reactor zelf.
- Benutting en inzet en het rendement van de WKK
- De benodigde energie voor het vergistingsproces zelf

Alleen mest vergisten of co-vergisting

Het is duidelijk (tabel 7.1) dat de energie-inhoud van mest alleen te laag is om een installatie van 500 kW te kunnen voeden. De installatie zou veel te groot worden. Men kan zich zelfs afvragen of het zelfs wel verstandig is om mest toe te voegen. De huidige ontwikkeling om installaties zonder mest te gaan gebruiken lijkt een logische ontwikkeling.

Welke type reactor?

Een volgende vraag die men dan zou kunnen stellen is de volgende: Is de technologie van een enkelvoudige reactor (afbraak en biogasproductie in één reactor) wel de beste optie voor de vergisting van bijvoorbeeld maïs alleen?

De noodzakelijke verblijfstijd om een omzettingspercentage van ca 70-75% te bereiken in een enkelvoudige reactor is lang (30-60 dagen). Dat wordt hoofdzakelijk bepaald door de eerste stappen in de keten van afbraakreacties, de hydrolyse en de verzuring, waarin de plantaardige biopolymeren worden omgezet in monomeren en vervolgens in vluchtige vetzuren. Koeien en andere dieren met een pensysteem zijn in staat om de eerste twee stappen in een veel kortere periode van ca 4-5 dagen uit te voeren. Al in de beginjaren tachtig is aangetoond dat de totale verblijfstijd veel korter was in een systeem dat was afgeleid van de pens en dat bestond uit twee reactoren, eentje voor de hydrolyse en de verzuring en een andere waarin de vetzuren werden omgezet tot biogas. De technologie van een dergelijk tweefasen systeem gaat dat van boerderijniveau te boven en kan alleen op gespecialiseerde bedrijven worden gehanteerd. Maar in een reactor van 1500 m³ kan dan wel 8 tot 15 keer zoveel materiaal worden vergist als in de huidige boerderijvergisters. Gezien de beperkte invloed op de energiebalans en de emissie van broeikasgassen bij transport op de balans van vergisting als geheel verdient deze optie van technologische verbetering serieuze overweging.

Vergisting en voordelen voor landbouw?

Een volgende relevante vraag is of co – vergisting voordelen heeft voor het gebruik van nutriënten in de landbouw? En heeft de akkerbouwer meer stuurmogelijkheden

om digestaat aan te wenden dan bij mest en leidt dat tot een vermindering van verliezen? Er is inderdaad een in potentie belangrijk voordeel als de werking respectievelijk benutting van stikstof uit digestaat beter is dan die van onvergiste mest. Op dit punt ontbreken onderzoeksgegevens. Zo ontbreken ook gegevens over de emissies tijdens opslag van gewassen als silage voorafgaand aan de co – vergisting. Dit bemoeilijkt een volledige winst en verlies rekening voor emissies waarbij vermeden emissies als gevolg van verkorting van opslag en minder fossiele energie versus emissies uit opslag van silage en emissies bij vergisting.

Indien vergisting overigens wordt gekoppeld met vormen van scheiding in organische en minerale fractie ontstaat in principe wel een betere benuttingsmogelijkheid van stikstof in digestaat van mest en maïs ten opzichte van onbewerkte mest en is uiteindelijk minder kunstmest nodig om eenzelfde productie te behalen. En zo is co – vergisting gunstig voor vermindering van emissies broeikasgassen uit kunstmestproductie doordat de kringloop van N beter kan worden gesloten.

Met co – vergisting is vermindering van geuremissie uit opslagen van mest en toepassing van mest realistisch. Een aanzienlijke vermindering van de emissie van NH₃ uit mestopslagen is haalbaar bij gebruik van verse mest en sterke beperking van de duur van de opslag van mest.

De toekomst

De huidige opzet van vergisting en de keuzes van vergister die ten grondslag liggen aan deze studie zijn op punten te verbeteren. Denk aan: type installatie, omvang installatie, management van de installatie, bewerking van digestaat en werking van digestaat als meststof. Co – vergisting van dierlijke mest met geteelde gewassen in enige omvang leidt tot een verandering in het landschap die in potentie omvangrijk is. Voor een bijdrage met 10% door co – vergisting aan onze elektriciteitsbehoefte in Nederland is ongeveer de helft van het akkerland in Nederland nodig. Dit leidt tot verplaatsing van voedselproductie en in principe van bijhorende emissie naar elders en tot een ‘vershraling’ landschap in Nederland bij uitbreiding van teelten van monocultures van maïs.

Literatuur

Berglund, M., P. Börjesson. *Assesment of energy performance in the life-cycle of biogas production*. In: Environmental and Energy Systems Studies LTH (2006)

Biewinga, E.E., G. van der Bijl (1996). *Sustainability of energy crops in Europe; A methodology developed and applied*. Utrecht, CLM, report CLM 234-1996.

Biogashandbuch Bayern (2004). Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz.

Bosker, Thijs, Anton Kool (2004). *Emissies bij aanwending van vergiste mest; een verkenning van internationale literatuur*. Culemborg, CLM Onderzoek en Advies BV, rapport 595-2004.

Bruggen, C. van (2006). *Dierlijke mest en mineralen 2004*. Voorburg/Heerlen, CBS.

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005). *Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung*. Gülzow.

Dijk, W. van, J.R. van der Schoot, A.M. van Dam, L.J.M. Kater, F.J. de Ruijter, H. van Reuler, A.A. Pronk, Th.G.L. Aenderkerk, M.P. van der Maas (2005). *Onderbouwing gebruiksnormen akker- en tuinbouw*. Wageningen, PPO, 2005.

Formulier TEWI-mestvergisting (2006). Op www.senternovem.nl

Hartung, E., Monteny, G.J. (2000) *Emission von Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) aus der Tierhaltung*. Agrartechnische Forschung 6, Heft 4. S. 62-69.

Heiermann, M., H. Schelle, M. Plöchl. *Biogaspotenziale pflanzlicher Kosubstrate*. In: Bornimer Agrartechnische berichte 32

Hoek, K.W. van der (2002). *Uitgangspunten voor de mest- en ammoniakberekeningen 1999 t/m 2001 zoals gebruikt in de Milieubalans 2001 en 2002, inclusief dataset landbouwemissies 1980-2001*. Bilthoven, RIVM, rapportnummer 773004013/2002.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reporting Instructions (Revised 1996)

Kroeze, C. (1994). Nitrous oxide; *Emission inventory and options for control in the Netherlands*. Bilthoven, RIVM, raportnr:773001004.

Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2003-2004 (2003). Wageningen, Animal Science Group, Praktijkboek 28.

Kool, A. G.J. Hilhorst, D.Z. van der Vegte (2005). *Realisatie van mestvergisting op de Marke; Onderzoek en demonstratie*. Culemborg, CLM Onderzoek en Advies, rapportnummer 608-2005.

Kool¹, Anton, Maikel Timmerman², Herman de Boer², Hendrik-Jan van Dooren², Bas van Dun³, Michiel Tijmensens³ (2005). *Kennisbundeling covergisting*. Culemborg, CLM Onderzoek en Advies BV¹, P-ASG² en Ecofys³, rapport 621-2006.

Land- en tuinbouwcijfers 2005 (2005). Den Haag, LEI; Voorburg/Heerlen, CBS.

Melse, R.W., F.E. de Buissonjé, N.Verdoes, H.C. Willers (2004). *Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest*. Wageningen, Animal Science group, rapportnummer 1390938000 (nummer SenterNovem).

Menkveld, M. (2001). *Verificatie CO₂-meter voor de stichting FACE*. Petten, ECN, rapport ECN-C—01-106

Nitsch, J., M. Nast, M. Pehnt, F. Trieb, C. Rösch, J. Kopfmüller (2001). *Schlüsseltechnologie Regenerative Energien; Teilbericht im Rahmen des HGF-Projektes "Global zukunfts-fähige Entwicklung-Perspektiven für Deutschland"*. Stuttgart, DLR-Institut für Technische Thermodynamik; Karlsruhe, Forschungszentrum.

Protocol 5429: *Mest(N₂O)*, (2005). 4B: *N₂O mestmanagement*. Den Haag Directoraat-Generaal Milieu.

Protocol 5430: *Mest rundvee (CH₄)*, (2005). 4B1: *CH₄ uit mest van rundvee*. Den Haag Directoraat-Generaal Milieu.

Protocol 5431: *Mest varkens (CH₄)*, (2005). 4B1: *CH₄ uit varkensmest*. Den Haag Directoraat-Generaal Milieu.

Scharlebelt (2004). *Grootschalige mestverwerking De Scharlebelt*. Novemprojectnummer 0375-01-01-02-009.

Teeltbeleiding winterrogge (2003). Wageningen, PPO (web-hit).

Timmerman, M., H.J.C. van Dooren, G. Biewenga (2005). *Mestvergisting op boerderijschaal*. Wageningen, Animal Sciences Group, Praktijkrapport Varkens 42.

Velthof, G.L., P.J. Kuikman (2000). *Beperking van lachgasemissie uit gewasresten; Een systeemanalyse*. Wageningen, Alterra, rapport 114.3

www.biogas.nl

www.infomil.nl

www.lei.wur.nl -> statistieken -> Binternet

www.robklimaat.nl

[www.senternovem.nl/epn/epc_in_2006/CO₂-emissie.asp](http://www.senternovem.nl/epn/epc_in_2006/CO2-emissie.asp)

www.wikipedia.org

Overige relevante literatuur

Adolph, J., Beck, J., Mukengele, M., Jungbluth, T. (2004) *Monofermentation von Nahrungsmittelabfällen in Biogasanlagen, Laboruntersuchungen*. Agrartechnische Forschung 10, S. 16-22.

Broeze, J., Hoeksma, P., Willers, H. (Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen UR); Corré, Wim (Plant Research International, Wageningen UR) (2005) *De waarde van digestaat van co-vergisting ten opzichte van dierlijke mest*. Een bijdrage aan het project 'Op zoek naar de meerwaarde van digestaat'. Wageningen, Agrotechnology and Food Innovations B.V. Rapport nr. 411.

Daniels, B.W. , Farla J.C.M. (2006). *Potentieelverkenning klimaatdoelstellingen en energiebesparing tot 2020*, ECN-C-05-106, MNP773001039.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2000). *Energetische Nutzung von Biomasse durch Kraft-Wärme-Kopplung: Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum*. Gülzow,

Fachverband Biogas e.V. (2006). *Biogas-das Multitalent für die Energiewende; Fakten in Kontext der Energiepolitik Debatte*.

Hartung, E., Monteny, G.J. (2000) *Emission von Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) aus der Tierhaltung*. Agrartechnische Forschung 6, Heft 4. S. 62-69.

Hellebrand, H.J., Scholz. (2000) *Bestimmung bodenbürtiger Spurengasflüsse beim Anbau nachwachsender Rohstoffe*. Agrartechnische Forschung 6, Heft 4. S. 74-97.

Hellebrand, H.J., Scholz, V., Kern, J., Kavdir, Y. *N₂O-Freisetzung beim Anbau von Energiepflanzen*. Potsdam, ATB.

Infomil (2005). *Handreiking (co-)vergisting van mest*. Den Haag, Infomil.

InfoMil (2001) *Mestverwerkingsinstallaties*. Den Haag, InfoMil.

Kramer, K.K.J., H.C. Moll & S. Nonhebel, 1999. *Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system*. Agriculture, Ecosystems & Environment 72: 9-16.

Kusch, S., Oechsner, H., Jungbluth, T. (2005) *Vergärung landwirtschaftlicher Substrate in diskontinuierlichen Feststofffermentern*. Agrartechnische Forschung 11, Heft 4, S. 81-91.

Meuleman, B. (Ecofys), Wasser, R. (Evelop) (2004) *Ombouw van een bestaande mestverwerkingsinstallatie tot een biomassa vergistingsinstallatie*. Utrecht. Evelop BV.

Link, B. *Biogas aus Energiepflanzen; Ergebnisse aus Langzeitversuchen im Labor* (2003). In Landtechnik nr 5.

Seadi, Teodorita (2000). *Danish Centralised Biogas Plants; Plant Description*. University of Southern Denmark, Bioenergy Department.

Scholwin, F., Weber, M., Minkos, A., Daniel, J., Jahraus, B., Klinski, S., Vetter, A. (2005) *Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, 1. Zwischenbericht*. Leipzig, Institut für Energetik und Umwelt gGmbH.

Schwab, M., Reinhold, G. *Biogaserträge aus Energiepflanzen – Eine kritische Bewertung des Datenpotentials*. Darmstadt, KTBL.

Sommer, S.G., H.B. Møller (2000). *Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production; effect of straw content*. In: *Journal of Agricultural Science* 134: p327-335

Sommer, S.G., S.O. Petersen, H.B. Møller (2004). *Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management*. In *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69: p143-154.

Stinner, P.-W., Deuker, A. *Biogaserzeugung: Erweiterung pflanzenbaulicher Möglichkeiten*.

Svensson, L.M., Christensson, K., Björnsson, L. (2005) *Biogas production from crop residues on a farm-scale level: is it economically feasible under conditions in Sweden?* Lund, Sweden, Department of Biotechnology.

Timmerman, M., Claessen, P., Andre, G. *Praktijkproef covergisting van dierlijke mest met organische additieven op boerderijschaal*. (2006) Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Versluis, H.P., Radersma, S., Dijk, W. van. (2005) *Ondersteuning duurzame mestbe- en verwerkingsproducten, werkingscoëfficiënten*. PPO nr. 500024. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Voort, Marcel, Arjen van der Klooster, Jakob van der Wekken, Henk Kemp en Peter Dekker (2006). *Covergisting van gewasresten; Een verkennende studie naar praktische en economische haalbaarheid*. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant en omgeving BV, rapport 530030.

www.host.nl [“biogasproductiesystemen –anaerobe vergisting-“]

www.lim-info.nl [“energie uit mest”]

www.thecogas.nl/biogastechniek.asp [“Ontwikkelingen binnen de biogasbranche”]

Bijlage 1 Rekenvoorbeeld mestvergisting

In deze bijlage wordt een voorbeeldberekening gepresenteerd voor de vergisting van varkensmest met snijmais bij een gewichtsverhouding 50:50%. De belangrijkste resultaten zullen worden voorgerekend.

Stap 1: bepaal omvang systeem

Omvang vergister:

$$500 \text{ kW} * 7000 \text{ uur} = 3.5 * 10^6 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$$

$$3.5 * 10^6 \text{ kWh} = 12.6 * 10^6 \text{ MJ}$$

Rendement 70%:

om $12.6 * 10^6 \text{ MJ}$ te leveren is een productie nodig van

$$100/70 * 12.6 * 10^6 \text{ MJ} = 18 * 10^6 \text{ MJ}$$

Lekverlies 1% van de productie:

$$\text{Lekverlies } 180 * 10^3 \text{ MJ}$$

Stap 2 Hoeveel vergistingsmateriaal is nodig om $18 * 10^6 \text{ MJ}$ te leveren ?

We nemen het scenario met vergisting varkensmest met snijmais op basis van een gewichtsverhouding van 50:50.⁴

2.1 Bepaling biogasopbrengst mengsel

a) varkensmest

kengetallen: os% varkens mest 5.5% en m^3 biogas per ton organische stof is 350. Berekening: per m^3 mest is de biogasopbrengst $0.055 * 350 = 19.25 \text{ m}^3$

b) snijmais

kengetallen: os% snijmais 25% en m^3 biogas per ton organische stof is 575. Per m^3 mest is de biogasopbrengst $0.25 * 575 = 172.5 \text{ m}^3$

c) mengsel 50:50

$$(19.25 + 172.5)/2 = 95.875 \text{ m}^3 \text{ gas per ton mengsel.}$$

2.2 Bepaling aantal eenheden mengsel

kengetal: 1 m^3 biogas met een methaangehalte van 55% komt overeen met $22 \text{ MJ}/\text{m}^3$.

Er is dan $18 * 10^6 \text{ MJ}/22 = 818181 \text{ m}^3$ biogas nodig om de hoeveelheid gewenste MJ's te produceren.

Dit komt overeen met $(818181/95.875) = 8534$ ton mengsel

Dit betekent 4267 ton varkensmest en 4267 ton snijmais. Dit komt

overeen met $4267/1.2 = 3556$ vleesvarkens en $4267/45 = 94.8$ ha snijmais.

(1 varken produceert 1.2 m^3 mest en 1 ha snijmais levert 45 ton vers product).

⁴ Voor het gemak is er van uitgegaan dat 1 m^3 mest gelijk is aan 1 ton (gewicht) mest en 1 m^3 covergistingsmateriaal gelijk is aan 1 ton (gewicht).

2.3 Bepaling transport

Vrachtlading 20 ton per vracht.

Aanvoer dierlijke mest 10 km

Aanvoer vergistingsmateriaal 20 km

12 MJ per km

$$\text{Transport energie} = (4267/20) * 10 * 12 + \\ (4267/20) * 20 * 12 = 76800 \text{ MJ}$$

Stap 3 Mineralen en emissies

3.1 Vermeden emissie van methaan, ammoniak en lachgas uit mestopslag

Methaan: $4267 * 4.65/1000 = 19.5 \text{ ton CH}_4$

$(\text{m}^3 \text{ mest} * \text{emissiefactor per m}^3 \text{ mest})$
 $\text{NH}_3 = 4267 * 7.7 * 0.02 = 657 \text{ kg NH}_3 (\text{m}^3 \text{ mest} * \text{Ngehalte} * \\ \text{emissiefractie NH}_3)$

$\text{N}_2\text{O} = 4267 * 7.7 * 0.001 = 32.86 \text{ kg N}_2\text{O} (\text{m}^3 \text{ mest} * \text{Ngehalte} * \\ \text{emissiefractie N}_2\text{O})$

3.2 Emissies mest uit vergister

Uit de vergister emissie emitteerd 5% van de methaan, ammoniak en lachgas die normaliter uit de opslag in of bij de stal zou zijn geemitteerd. De emissie van methaan is het product van de hoeveelheid mest en de emissiefactor per eenheid mest (kg CH₄ per m³). Voor ammoniak en lachgas geldt dat de emissie gelijk is aan de hoeveelheid stikstof in de mest maar een emissiepercentage. De hoeveelheid stikstof in de mest (covergistingsmateriaal) is het volume maal het N-gehalte.

$$\text{Methaan} = 0.05 * 19.5 = 1 \text{ ton CH}_4$$

$$\text{NH}_3 = 0.05 * 657 = 0.03 \text{ ton NH}_3$$

$$\text{N}_2\text{O} = 0.05 * 32.9 = 0.0016 \text{ ton N}_2\text{O}$$

3.3 Emissies uit cosubstraat

Voor de emissies uit cosubstraat is het zelfde aangenomen als voor dierlijke mest (emissiecoëfficiënten conform dierlijke mest (voor methaan het gemiddelde van rundvee- en varkensmest) en emissiebeperking 95%)

$$\text{Methaan: } (0.05 * 4267 * 3.1)/1000 = 0.66 \text{ ton CH}_4$$

$$\text{NH}_3: (0.05 * 4267 * 4.3 * 0.01)/1000 = 0.009 \text{ ton N-NH}_3$$

$$\text{N}_2\text{O: } (0.05 * 4267 * 4.3 * 0.001)/1000 = 0.0009 \text{ ton N-NH}_3$$

3.4 Lekverliezen

De lekverliezen zijn $180 * 10^3 \text{ MJ}$

$1 \text{ m}^3 \text{ biogas is } 22 \text{ MJ}$ bij een methaangehalte van 55%

De lekverliezen komen overeen met $180 * 10^3 / 22 = 8181 \text{ m}^3 \text{ biogas}$

Dit is $8181 * 0.55 = 4500 \text{ m}^3 \text{ methaangas}$

Dit komt overeen met $4500 * 1.13 \text{ (sg van methaangas)} = 5085 \text{ kg CH}_4$

Dit is gelijk aan $5085 * 21 = 107 * 10^3 \text{ CO}_2\text{-equivalenten}$

Bijlage 2 Algemene omrekenfactoren

Tabel B2.1 Algemene omrekenfactoren en kentallen voor de vergister

Kental	Eenheid en omvang	Bron
Uitgangspunt WKK	500 kW	Uitgangspunt
Draaiuren	7000	Uitgangspunt
Totale productie	3.5 *10 ⁶ kWh	Berekening
Biogas	22 MJ/m ³	Bijlage 2
Omrekenfactor	3.6 MJ/kWh	Bijlage 2
Rendement	70%	uitgangspunt
Biogas per m ³ rundermest	22.5	Bijlage 6
Biogas per m ³ varkensmest	20	Bijlage 6
Biogas per ton os snijmaïs	575	Bijlage 6
Biogas per ton os rogge-silage	450	Bijlage 6
Mestproductie per koe	26 m ³	Van Bruggen (2004)
Mestproductie per vleesvarken	1.2 m ³	Van Bruggen (2004)
Opbrengst snijmaïs	15 ton ds	Bijlage 5
Opbrengst rogge-silage	9 ton ds	Bijlage 5

Energiegebruik transport

Transport van mest en covergistingmateriaal zal plaats vinden met behulp van vrachtauto's (eventueel trekkersbij kleine afstanden). Beide vervoerstypen maken gebruik van diesel.

1 liter diesel staat voor een energie inhoud van 36 MJ (www.wikipedia.com).

Het dieselgebruik van een vrachtauto is globaal 1 liter op 3 kilometer (www.milieuwinst.be).

Dus per km transport is het energiegebruik 12 MJ.

Dit getal wordt ook genoemd in Menkveld (2001).

Het energiegebruik is wel enigszins afhankelijk van de gemiddelde snelheid en het gewicht van de vracht.

In Berglund en Borjesson worden de volgende getallen genoemd (tabel B2.2)

Tabel B.2.2 Het energiegebruik van transport van mest, co-vergistingmateriaal en digestaat

Transportmiddel	Lading In ton	Energie in MJ per ton per km		Materiaal
		Incl leeg terug	Excl leeg terug	
Truck	16	1.6	1.0	Mest, digestaat
Truck	30	1.1	0.7	Maïs
Truck	16	2.9	1.7	Stro
Tractor	8	3.5		Vast digestaat
Tractor	15	2.5		Vloeibaar digestaat

Bron: tabel 3 uit Berglund and Borjesson (2005)

Uitgaande van een lading van 16 ton geldt voor de 12 MJ per km een energiegebruik van 0.75 MJ per ton per km.

In Biewinga et al wordt gerekend met 0.8 MJ per ton per km.

We besluiten uit te gaan van 12 MJ per km bij leeg transport en 0.8 MJ per ton per km bij geladen transport.

De emissie van CO₂ is 0.073 kg per MJ.
Dus per km is de emissie 0.88 kg CO₂
(uit Menkveld, 2001).

Overige eenheden en omrekenfactoren

Bron:

Home.hetnet.nl/~vadovv/

1 kWh = 3.6 MJ

1 Giga = 10E3 MG = 10E6 kilo

Bron

<http://users.telenet.be>

Calorische waarde biogas 20 MJ/m³

Dit komt overeen met 5.6 kW

Dit betekent 1 kW = 20/5.6 = 3.6 MJ en dat komt weer overeen met de hierboven genoemde bron.

Bron:

TEWI-mestvergisting(2006) uit www.robklimaat.nl

Calorische waarde methaangas 39.8 MJ/m³

Zij gaan uit van 62 % methaan per m³ biogas=> Biogas 24.7 MJ/m³

Samenvattend⁵: er wordt uitgegaan van 22 MJ/m³ biogas (dit is afhankelijk van het gehalte aan methaan !). Dit betekent een gemiddeld gehalte aan methaan in biogas van 55%. Gegeven alle onzekerheden (bijlage 2 en 3) is dat een aardige richtwaarde.

⁵ Biogas is altijd een mengsel van methaan en CO₂ (plus andere gassen). Meestal wordt gerekend met 45% CO₂ en 55% methaan, soms ook met 40/60. Een keuze zou hier gemaakt kunnen worden. TZT zou hier een beslissingsknop van gemaakt kunnen worden. Naarmate de gewasresten rijker zijn aan mineralen en wordt een lagere opbrengst aan methaan verkregen.

Bijlage 3 Gegevens over biogasopbrengsten per materiaal

Er zijn veel gegevens over de samenstelling van mest. Voor een aantal bronnen zijn deze gegevens in deze bijlage weergegeven. Uiteindelijk is er een selectie gemaakt welke gebruikt wordt bij de berekeningen.

Databronnen

Biogashandbuch Bayern 2004

	Ds%	os%	m ³ gas/ton os	%CH ₄ /m ³
Rundveedrijfmest	7.5-13	6.4-10	170-630 (280)	53-62 (55)
Varkensdrijfmest	2.3-11	1.3-7.1	300-880 (400)	47-68 (58)
Snijmaïs	25-37	24-36	300-1130 (600)	47-69 (54)
Rogge	25-61	23-58	490-680	59-62
Rogge silage	33-46	32-42	570-790 (600)	50-68 (51)
Gerst silage	25-38	24-35	750-990	61-70

Heiermann et al.

	Ds%	os%	m ³ gas/ton os	%CH ₄ /m ³
Snijmaïs	25-37	24-35	64-69	
Rogge silage	33-46	30-43	780	66-69
Gerst silage	25-38	23-35	700-950	61-70

Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung

	Ds%	os%	m ³ gas/ton os	%CH ₄ /m ³
Rundveedrijfmest	8-11	6-9	200-500	60
Varkensdrijfmest	7	5-6	300-700	60-70
Snijmaïs	20-35	17-33	450-700	50-55
Rogge silage	30-35	27-34	550-680	55

Kool et al, 2005

	Ds%	os%	m ³ gas/ton os	%CH ₄ /m ³
Rundveedrijfmest	8.6	6.4	200-350	60
Varkensdrijfmest	5.5-9	3.5-6	230-500	60
Snijmaïs	37.4	28.6	420-668	60
Rogge silage	37.4	34.4	230-818	60
Gerst silage	37.3	34.4	580-1100	60

Kool, Hilhorst en van der Vegte (2005)

Rundveedrijfmest 15-19 m³ gas per m³ mest
260-330 m³ biogas per ton os
rundveedrijfmest met 12.5% mais (op gewichtsbasis)
43 m³ biogas per ton mengsel

Nitsch et al, (2001)

	Ds%	os%	m ³ gas/ton os
Rundveedrijfmest	12-25	7.8-22	200-300
Varkensdrijfmest	2.5-9.7	1.5-8.2	260-450

Scharlebelt (2004)

Drijfmest (varkens?) 20m³ per ton mest
Maïs 300 m³ per ton vers product
Energierijke snijmaïs 600 m³ per ton vers product

www.infomil.nl

Rundveedrijfmest 10-13 m³ methaangas per m³ mest
Varkensdrijfmest 15-20 m³ methaangas per m³ mest
Als je dit omrekent naar biogas bij een gehalte van 60% dan kom je op
Rundveedrijfmest 16-22 m³ biogas per m³ mest
Varkensdrijfmest 25-33 m³ biogas per m³ mest

Conclusie en samenvatting

De gasproductie is onder andere afhankelijk van de mestsamenstelling. Bovendien is de gasproductie niet los te zien van het methaangehalte. Daarom is er niet voor gekozen op basis van de minimale en maximale hierboven aangegeven waarden de range aan te geven maar op basis van een samenvatting op het 'oog' (ook wel expert judgement genoemd) . We komen dan tot de volgende tabel.

Te hanteren gasopbrengsten

	Ds%	os%	m ³ gas/ton os (gemiddeld)	%CH ₄ /m ³
Rundveedrijfmest	8-13	6-9	200-400 (300)	60
Varkensdrijfmest	6-9	5-6	200-500 (350)	60
Snijmaïs	25-35	20-30	400-650 (575)	55
Rogge silage	33-45	30-40	300-600 (450)	55
Gerst silage	30-35	25-33	600-1000 (750)	60

Bijlage 4 Energiebehoefte Vergistinginstallatie

De bepaling van het energieverbruik van een vergister vindt plaats op basis van de schattingen van Berglund en Börjesson (2005) en Melse et al (2004)

Tabel B4.1 Energiegebruik (MJ/ton) voor een vergister op boerderijschaal en een grote mestvergister gesplitst naar energiedrager (warmte en elektriciteit)

Type	Warmte	Elektriciteit
Boerderijschaal	250	33
Grote vergister	110(70-180)	66 (55-80)
Overig		
Ontwatering digestaat		10
Zuiveren van het gas	11% van de energie inhoud van het geproduceerde gas	

Bron: Berglund en Börjesson (2005)

In Melse et al (2004) staan gegevens over het energieverbruik van verschillende nabewerkingsstappen (tabel B6.2).

Tabel B4.2 Energiegebruik bij verschillende nabewerkingsstappen

Nabewerking	Omschrijving	MJ/ton
Scheiding	0.5-7 kWh per ton	2 - 25
Vergisting/nitrificatie/indampen/korrelen	70 kWh per ton en 31m ³ aardgas	600
Vergisten/scheiden/indampen en pelleteren	20 kWh per ton mest	72

Bron: Melse et al (2004)

Aargas calorische waarde 11.2 MJ per m³ (www.wikipedia.nl)

Het energieverbruik voor scheiding is vergelijkbaar met de energiebehoefte voor ontwatering van het digestaat (B4.1).

Bijlage 5 Opbrengst en energie-input potentieel co-vergistingmateriaal

Afgeleid uit Biewinga en van der Bijl (1996).

Snijmaïs

Teelt snijmaïs 20.4 GJ/ha

DS snijmaïs 14.8 ton ds per ha

Een ton ds (snijmaïs) bevat 13 kg N, 2.2 kg P en 14.9 kg K

Energiekosten voor de mineralen 38.6 MJ/kg N, 7.6 MJ/kg P en 3 MJ/kg K

De mineralen in de ds vertegenwoordigen een waarde van $13.0 * 38.6 + 2.2*7.6+14.9*3 = 563$ MJ per ton ds.

Netto zijn de energiekosten $20.4 - 0.563*14.8 = 12.1$ GJ/ha ofwel 0.82 GJ per ton ds.

Wintertarwe

Teelt wintertarwe 18.4 GJ/ha

Ds wintertarwe 5.9 ton ds zaden per ha

4.1 ton ds vezels per ha

10.0 ton ds per ha

Een ton ds wintertarwe stro : 5.9 kg N, 0.8 kg P en 9.8 kg K

Zaden: 23.5 kg N, 4.4 kg P en 4.9 kg K

1 ha wintertarwe levert $(5.9*23.5 + 4.1*5.9)*38.6 + (5.9*4.4+4.1*0.8)*7.6 + (5.9*4.9+4.1*9.8)*3$ aan MJ

1 ha wintertarwe levert 10 ton ds.

Dus de mineralen in de ds vertegenwoordigen een waarde van 6715 MJ/10 = 671.5 MJ per ton ds

Netto zijn de energiekosten: $18.4 - 0.6715*10 = 11.69$ GJ per ha of te wel 1.17 GJ per ton ds.

Als je alleen het stro gebruikt zou je de energiekosten van de teelt kunnen verdelen op basis van de ds productie. Met andere woorden 10 ton hoort bij 18.4 GJ energie. Stroproductie is 5.9 ton dus energie voor de teelt van stro is 10.86 GJ/ha.

De energieinhoud van mineralen in stro is 1553 MJ in 5.9 ton ds. (dat is dus per ha) Dus 263.2 MJ per ton ds uit stro.

Netto zijn de energiekosten $10.86 - 5.9*0.263 = 9.31$ GJ/ha ofwel 1.57 GJ per ton ds.

Rogge⁶

Voor rogge en gerst zijn op basis van de gegevens voor wintertarwe de opbrengsten toegeedeeld aan droge stof en is de omvang van het bijproduct bijgeschat (tabel B5.1). Hierbij wordt er dus vanuit gegaan dat de droge stofgehalten van wintertarwe gelijk zijn aan die van gerst en rogge en dat de verhouding hoofdproduct/bijproduct voor granen gelijk is.

Tabel B5.1 Omrekeningen op basis van opbrengst volgens CBS en Biewinga (2000).

Gewas	opbrengst (hoofd in ds		bijprod	bijprod
	prod in ton/ha)			
Gerst	6.4	5.4	2.2	2.6
Rogge	5.6	4.8	2.0	2.4

Teelt rogge 15.2 GJ/ha

We houden dezelfde mineralengehalten aan voor rogge als voor wintertarwe (en gerst).

Een ton ds rogge stro : 5.9 kg N, 0.8 kg P en 9.8 kg K
zaden: 23.5 kg N, 4.4 kg P en 4.9 kg K
1 ha rogge bevt $(4.8 \cdot 23.5 + 2.0 \cdot 5.9) \cdot 38.6 + (4.8 \cdot 4.4 + 2.0 \cdot 0.8) \cdot 7.6 +$
 $(4.8 \cdot 4.9 + 2.0 \cdot 9.8) \cdot 3$ aan MJ (51 MJ)
1 ha rogge levert 7.2 ton ds.

Netto zijn de energiekosten: $15.2 - 0.05 = 15.1$ GJ per ha of te wel 2.1 GJ per ton ds.

Gerst⁷

Teelt gerst 14 GJ/ha. Dit is minder als voor rogge omdat er minder mest en minder vaak mest wordt aangewend.

De opbrengst is voor zomergerst (www.cbs.nl) is 6.4 ton ds per ha.

Een ton ds gerst stro : 5.9 kg N, 0.8 kg P en 9.8 kg K
zaden: 23.5 kg N, 4.4 kg P en 4.9 kg K
1 ha gerst bevat $(5.4 \cdot 23.5 + 2.2 \cdot 5.9) \cdot 38.6 + (5.4 \cdot 4.4 + 2.2 \cdot 0.8) \cdot 7.6 +$
 $(5.4 \cdot 4.9 + 2.2 \cdot 9.8) \cdot 3$ aan MJ (57 MJ)
1 ha gerst levert 8.0 ton ds.

Netto zijn de energiekosten: $14 - 0.06 = 14.4$ GJ per ha of te wel 1.9 GJ per ton ds.

⁶ Rogge op basis van schattingen: geen dierlijke mest en een lager gebruik aan kunstmest ten opzichte van wintertarwe. Ook het gebruik van machines is hiervoor gekort.

⁷ Rogge en gerst op basis van schattingen: geen dierlijke mest en een lager gebruik aan kunstmest ten opzichte van wintertarwe. Ook het gebruik van machines is hiervoor gekort.

Bijlage 6 Bepaling van de emissies van ammoniak en lachgas per ha geproduceerd co-substraat

Op basis van Biewinga et al (1996) zijn de emissies van ammoniak en lachgas bepaald voor verschillende akkerbouwgewassen. Daarbij heeft een herberekening plaats gevonden voor het gebruik van emissiearme aanwendtechnieken. In Biewinga wordt gerekend met oppervlakkig aanwenden terwijl de huidige wetgeving emissie arme aanwendtechnieken vereist.

Dit betekent voor de ammoniakemissie een afname van de emissie met 70% (inschatting op basis van van der Hoek (2002)) en voor lachgas een toename van de emissie met 100% (een verdubbeling) op basis van Kroeze (1994) op zand en klei. Dus globaal een toename van 80% voor snijmaïs op alle grondsoorten (ongeveer 20% veengrond). Voor wintertarwe en suikerbieten mag je er wel vanuit gaan dat die niet op veengrond worden geteeld.

Voor ammoniak uit dierlijke mest geldt dat 68% van de toegediende minerale N vervluchtigd bij oppervlakkig aanwenden en dat voor kunstmest de emissie 2% is. Voor lachgas is de emissie 1% van de toegediende N en bij emissiearm aanwenden 2%.

Er zou al snel vanuit kunnen worden gegaan dat voor rogge dezelfde emissies gelden als voor wintertarwe (tabel B6.1). Het hangt vooral af van het bemestingsniveau. Het bemestingsadvies voor rogge is globaal een N gebruiksnorm van 110 kg N per ha (Dijk et al, 2005). Een dierlijke mestgift is geen aanrader (Teelthandleiding winterrogge) daarom zal het grootste deel van de stikstof in de vorm van kunstmest worden gegeven. Dat betekent dus dat het eindproduct van het vergistingsproces niet op rogge kan worden aangewend.

Tabel B6.1 Emissies van N₂O en NH₃ (in kg N per ha) bij de productie van 1 ha co-vergistingsmateriaal

Gewas	N input Dierlijke mest	N input Kunstmest	Emissie NH ₃ -N	*) Emissie *) N ₂ O-N
Snijmaïs	123	225	17.0	4.2
Wintertarwe	110	170	14.6	3.9
Suikerbieten	103	147	3.5	3.5
Rogge	0	120	2.4	2.4
Gerst **)	180	90	3.6-11.3	1.8-3.6

x) Bewerkt door Alterra ivm emissiearm aanwenden.

**) Voor gerst zijn de uitersten weergegeven. 100% dierlijke mest of 100% kunstmest.

Bron: Biewinga et al, 1996

Voor rogge wordt uitgegaan dat er geen dierlijke mest wordt aangewend en dat de stikstofgift uit kunstmest ook lager is. Dat betekent dat ten opzichte van wintertarwe het energieverbruik lager ligt (tabel B6.2).

Tabel B6.2 Emissies van CO₂ (in ton per ha) bij de productie van 1 ha co-vergistingsmateriaal

Energievrager					
Gewas	Zaden	Bemesting	Pesticiden	Machines	Totaal
Snijmaïs	0.01	0.69	0.01	0.64	1.35
Wintertarwe	0.04	0.54	0.02	0.64	1.24
Suikerbieten	0.01	0.50	0.02	0.75	1.28
Rogge x)	0.02	0.35	0.02	0.60	0.99
Gerst x)	0.02	0.17	0.02	0.15	0.36

x) Bewerkt door Alterra op basis van minder bemesting. Voor (zomer)gerst wordt gebruik gemaakt van 1 bemestingsronde en voor rogge minimaal 2. Dit is het verschil in het energiegebruik van de machines. Bron: Bieninga et al, 1996

Bijlage 7 Samenstelling van dierlijke mest en cosubstraten

Er zijn veel gegevens over de samenstelling van mest. Voor een aantal bronnen zijn deze gegevens in deze bijlage weergegeven. Uiteindelijk is er een selectie gemaakt welke gebruikt wordt bij de berekeningen.

Databronnen

Kwin, 2003-2004

In kg per 1000 kg mest

	Ds	os	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Rundvee drijfmest	90	66	4.9	1.8	6.8
Vleesvarkens drijfmest	90	60	7.2	4.2	7.2
Zeugen drijfmest	55	35	4.2	3.0	4.3

Timmerman et al, 2005 (Gemeten waarden op bedrijf Sterksel)

In kg per 1000 kg mest

	Ds	os	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Rundvee drijfmest	88	64	5.5	1.4	4.6
Vleesvarkens drijfmest	86	57	9.0	5.0	5.3
Zeugen drijfmest	52	33	5.1	3.6	2.8

Kool et al, 2005

In kg per 1000 kg mest

	Ds	os	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Rundvee drijfmest	86	64			
Varkens drijfmest	55-90	35-60			

Gemiddelde samenstelling in g per kg vers (?) product

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Snijmais	4	1.4	5
Rogge	15.7	7.3	5.3
Gerst	16.5	8.0	5.9

Velthof en Kuikman, 2000

Gewas	N-gehalte (g per kg vers product)	opbrengst (ton/ha)
Maïs	4.6	45.9
Gerst	17	5.4 (dit is de korrel) !!
Rogge	14	4.2 (dit is de korrel) !!

Biewinga, 1996

Mineralengehalte in kg per ton ds.

Gewas		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)
Maïs		13	2.2	14.9
Wintertarwe	Zaad	23.5	4.4	4.9
	Stro	5.9	0.8	9.8
Gerst *)		15.6	2.9 (6.6)	5.4 (6.5)
Rogge *)		15.6	2.9 (6.6)	5.4 (6.5)

*) berekend aan de hand van bijlage 6 en uitgedrukt in kg per ton **vers** materiaal

Van Bruggen, 2004Samenstelling van de mest voor een aantal diersoorten (in kg per m³)

Diersoort	mestprod (m ³)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Melkkoeien	26	4.3	1.5	6.4
Vleesvarkens	1.2	7.7	3.7	6.2

Conclusie en samenvatting

Voor de mineraleninhoud van de gewassen maken we gebruik van de gegevens van Biewinga. Voor zover er andere gegevens over gewassen zijn, liggen deze niet ver uit de buurt. Voor de mineraleninhoud van mest maken we gebruik van de WUM-cijfers (van Bruggen, 2004) omdat dit dan in relatie staat met de gehanteerde mestproductiecijfers in het systeem.

Een voorbeeld berekening is de samenstelling van 50% rundveemest met 50% snijmaïs. Dit product heeft de volgende gehalten (N, P₂O₅, K₂O) 4.3, 1.6, 6.2.

50% rundveemest met 50% gerst levert een product met 10 kg N per 1000 kg, 4 kg P₂O₅ per 1000 kg en 6.5 kg K₂O per 1000 kg. Globaal betekent dat op basis van stikstof er in het eerste geval 2 keer zoveel land nodig is om het product af te zetten en in het tweede geval 4.5 keer zo veel land nodig is. Bij gebruik van rogge ontstaat zeker een probleem omdat dat gewas slecht tegen dierlijke mest kan (Teelt van winterrogge, 2003).

Bijlage 8 Berekende energiebalans en emissiebalans voor het systeem

De energieopbrengst voor de verschillende combinaties staat weergegeven in tabel B8.1. Daarbij is onderscheid gemaakt in de verschillende posten voor de teelt, de vergistingsinstallatie en het gebruik van digestaat. Een uitgebreider overzicht van de tabellen in deze bijlage is te vinden in bijlage 9.

Tabel B8.1 Energiegebruik en productie (10^6 MJ) voor verschillende combinaties (zie voor beschrijving tabel 5.1)

Scenario	Teelt		Vergistingsinstallatie			Gebruik digestaat	Totaal netto
	transport	gewas-productie	productie	eigen verbruik	lekverliezen		
1	0.22	0	12.6	10.3	0.18	0.66	24.0
2	0.26	0	12.6	12	0.18	0.77	25.8
3	0.08	1.13	12.6	2.4	0.18	0.15	16.5
4	0.08	1.15	12.6	2.4	0.18	0.15	16.7
5	0.08	1.77	12.6	2.6	0.18	0.17	17.2
6	0.06	1.33	12.6	1.9	0.18	0.12	16.2
7	0.03	0.41	12.6	1.7	0.18	0.11	15.0
8	0.08	1.15	6.3	2.4	0.18	0.15	10.3
9	0.08	1.15	12.6	1.2	0.18	0.15	15.4
10	0.08	1.15	12.6	4.8	0.18	0.15	19.0
11	0.08	1.15	12.6	2.4	0.36	0.15	16.7
12	0.04	1.15	12.6	2.4	0.18	0.07	16.4

De emissie van broeikasgassen (lachgas, methaan en kooldioxide uitgedrukt in CO₂-equivalenten) voor de verschillende combinaties, is weergegeven in tabel B8.2. Hierbij is een uitsplitsing gemaakt naar de verschillende fasen van het vergistingstraject.

Tabel B8.2 Emissie (in ton CO₂-equivalenten) voor verschillende combinaties (zie voor beschrijving tabel 5.1)

Scenario	Teelt		Vergistingsinstallatie		Gebruik digestaat		Totaal
	transport	gewas-productie	opslag	lekverliezen	transport	aanwenden	
1	16	0	73.6	107			197
2	18.7	0	213.6	107			339
3	5.5	124.1	26.8	107	5.5	6.2	276
4	5.6	124.1	43.2	107	5.6	6.3	292
5	6.1	142.8	48.2	107	6.1	26.7	326
6	4.4	117.9	35.2	107	4.4	18.3	287
7	2	40.3	17.1	107	3	4.9	174
8	5.6	124.1	26.8	107	5.6	6.3	289
9	5.6	124.1	26.8	107	5.6	6.3	289
10	5.6	124.1	26.8	107	5.6	6.3	289
11	5.6	124.1	26.8	214	5.6	6.3	396
12	2.8	124.1	26.8	107	2.8	6.3	283

Naast emissies zijn er ook besparingen op emissies (tabel B8.3).

Tabel B8.3 De besparing op emissies (in ton CO₂-equivalenten) en de uiteindelijke CO₂-balans

	Teelt	Vergistings- installatie	Totaal besparing	Totaal emissie	Netto	Netto per m³
1	1463	790	2253	197	2056	0.05
2	4016	790	4806	339	4467	0.10
3	169	790	959	276	583	0.08
4	417	790	1207	292	915	0.11
5	457	790	1247	326	921	0.11
6	328	790	1118	287	831	0.11
7	168	790	958	174	784	0.56
8	417	437	854	289	565	0.07
9	417	790	1207	289	915	0.11
10	417	790	1207	289	915	0.11
11	417	790	1207	396	811	0.09
12	417	790	1207	283	924	0.11

Bijlage 9 Emissies en besparing van emissies in het vergistingsysteem

Emissies

Tabel B9.1 De emissies bij de teelt van het systeem (in 1000 kg)

Scenario	Transport	Teelt			Totaal
	CO ₂	CH ₄	NH ₃ *)	N ₂ O	CO ₂ -equi
1	16				16
2	18.7				18.8
3	5.5	0.13	1.6	0.4	129.6
4	5.6	0.13	1.6	0.4	129.7
5	6.1	0.19	0.5	0.46	148.9
6	4.4	0.07	1	0.38	122.3
7	4.7	0.14	1.71	0.42	136.3
12	2.8	0.13	1.6	0.4	126.9

*) NH₃ wordt niet omgerekend naar CO₂-equivalenten

Tabel B9.2 De emissies bij de vergister (in 1000 kg)

Scenario	Mest			Cosubstraat			Totaal
	CH ₄	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	NH ₃	N ₂ O	CO ₂ -equi
1	3.3	0.16	0.016				73.6
2	9.7	0.33	0.016				211.6
3	0.4	0.009	0.001	0.65	0.009	0.001	26.8
4	1.0	0.033	0.002	0.67	0.009	0.001	43.2
5	1.1	0.036	0.002	0.72	0.036	0.004	48.1
6	0.8	0.026	0.001	0.52	0.026	0.003	35.2
7	0.4	0.012	0.001	0.71	0.01	0.001	22.4

Tabel B9.3 De emissies bij het aanwenden digestaat (in 1000 kg)

Scenario	Transport	Aanwenden		Totaal
	CO ₂	NH ₃	N ₂ O	CO ₂ -equivalent
1 en 2				
3	5.5	0.2	0.02	11.7
4	5.6	0.22	0.022	11.9
5	6.1	0.88	0.088	32.8
6	4.4	0.6	0.06	22.7
7	4.6	0.23	0.023	11.8

Besparing emissies

Besparing op aardgas en elektriciteitsproductie als resultaat van gebruik van energie van de vergistingsinstallatie.

Aardgas 353 ton CO₂-equivalenten
Electriciteit 437 ton CO₂-equivalenten
Samen 790 ton CO₂-equivalenten

Tabel B9.4 Bespaarde emissies uit mestopslag

Scenario	Opslag			Totaal
	CH ₄	NH ₃	N ₂ O	CO ₂ -equivalent
1	62.7	3.1	0.31	1463
2	184.3	6.3	0.65	4016
3	7.6	0.2	0.02	169
4	19	0.6	0.04	417
5	20.9	0.7	0.04	457
6	15.1	0.5	0.02	328
7	6.7	0.23	0.012	144