

# **HAALBAARHEID VAN CO-VERGISTING VAN OOGSTRESTEN IN DE MESTVERGISTER IN DE WIERINGERMEER**

Drs. M.J.A. Tijmensen (Ecofys)  
Ir. H. Mombarg (CLM)  
Dr. ir. R.C.A. van den Broek (Ecofys)  
Ir. R. Wasser (Ecofys)

**november 2002**  
E30045

## COLOFON

---

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Centrale Aan- en Verkoopvereniging “De Wieringermeer” en Jachtwerf Jongert BV, met subsidie van het programma Reductie Overige Broeikasgassen (ROB) 2001.  
 ROB-projectnummer 0375-01-01-02-003 4800000115

Beheer en coördinatie van het ROB-programma berusten bij:  
 NOVEM B.V.  
 Nederlandse onderneming voor energie en milieu B.V.  
 Catharijnesingel 59  
 3511 GG UTRECHT  
 Postbus 8242  
 3503 RE UTRECHT

Overname en publicatie van informatie uit dit rapport is toegestaan, op voorwaarde van bronvermelding.

Het onderzoek is uitgevoerd door:

naam: Ecofys BV  
 adres: Kanaalweg 16 G  
 postbus: Postbus 8408  
 postcode/woonplaats: 3503 RK Utrecht  
 telefoon: 030 280 83 00  
 contactpersoon: Dr. Ir. R.C.A. van den Broek

naam: CLM  
 adres: Amsterdamsestraatweg 877  
 postbus: Postbus 10015  
 postcode/woonplaats: 3505 AA Utrecht  
 telefoon: 030 2427322  
 contactpersoon: Ir. H. Mombarg

auteurs: Drs. M.J.A. Tijmens (Ecofys)  
 Ir. H. Mombarg (CLM)  
 Dr. Ir. R.C.A. van den Broek (Ecofys)  
 Ir. R. Wasser (Ecofys)

datum rapportage: November 2002

## **SAMENVATTING**

---

Mestvergisting reduceert broeikasgas emissies door vermeden methaanemissie uit de bestaande mestopslag en door de duurzame productie van elektriciteit en warmte. Het co-vergisten van oogstresten, die op het land een verhoogde emissie van het broeikasgas N<sub>2</sub>O (lachgas) veroorzaken (Velthof et al, 2000), zou een drievoudige reductie van broeikasgassen teweeg kunnen brengen.

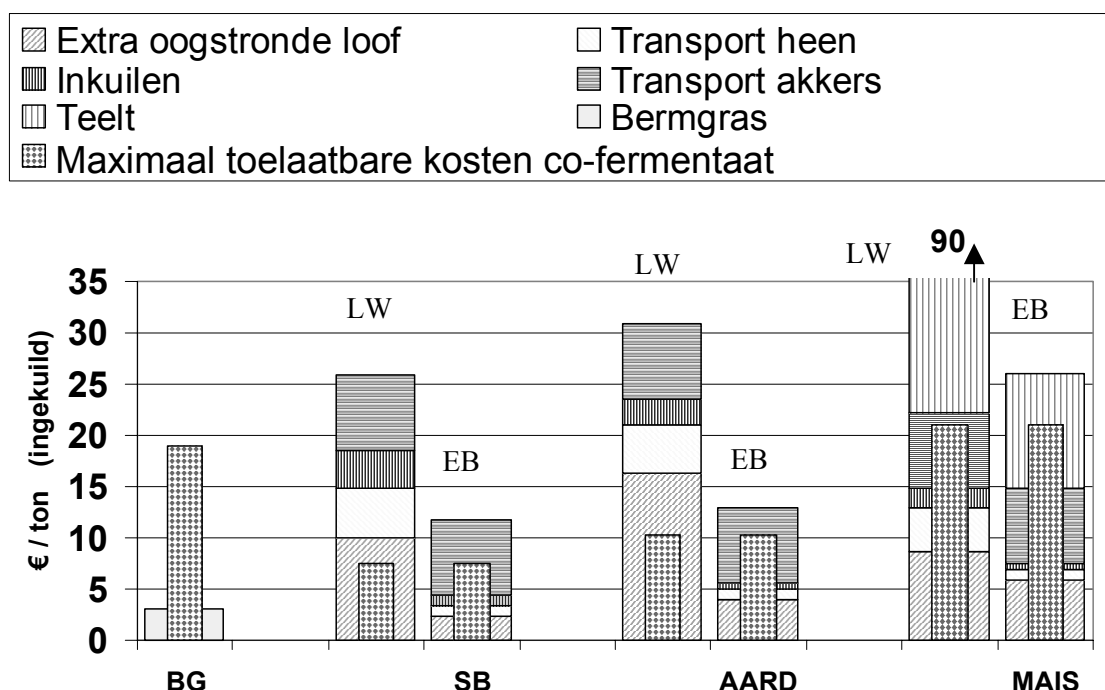
In deze studie is gekeken naar de mogelijke toepassing van de drievoudige broeikasgas emissie optie in Noord Holland, bij de bestaande mestopslaginstallatie van de Coöperatieve Aan- en Verkoopvereniging (CAV) “De Wieringermeer”. De situatie van vergisting van alleen mest (base case) is vergeleken met de situatie waarin er een co-fermetaat gebruikt wordt. Hierbij is naast aardappel- en suikerbietenloof tevens gekeken naar de mogelijkheid om bermgras te co-vergisten, en maïs dat speciaal hiervoor geteeld kan worden op braakliggend land. Voor de verschillende opties is gekeken naar de “worst case” situatie waarbij alle teelt- en oogstactiviteiten door loonwerkers worden uitgevoerd, en de “best case” situatie waarbij alles met eigen arbeid en machines wordt uitgevoerd.

Het inzamelen van aardappel- en suikerbietenloof is technisch haalbaar. Het suikerbietenloof kan na aanpassing van de rooimachine worden opgevangen in een meerrijdende kipwagen. Bij aardappelloof is een zelfde aanpassing mogelijk en kan er, tijdens het klappen, ook een kipwagen meerijden. Alleen het loof van pootaardappelen is geschikt om in te zamelen. Het loof van consumptieaardappelen is op het moment van klappen namelijk reeds grotendeels afgestorven. Er is enige onzekerheid wat de nadelige effecten van het inzamelen van het loof zullen zijn op de bodemstructuur en de gewasopbrengst. Indien men overschakelt op groenrooien is de kans op gewasbeschadiging aanzienlijk kleiner. Het blijft de vraag of in de praktijk akkerbouwers daadwerkelijk bereid zijn om een kipwagen te laten meerijden tijdens het koppen of rooien. Het combineren van oogsten van loof met groenrooien, of het uitrusten van de kipwagen met dikke banden, kan deze bereidheid vergroten maar is geen garantie hiervoor.

Vergisting van alleen mest zal in vergelijking tot de huidige situatie leiden tot een afname van de hoeveelheid aanwezige pathogenen en onkruiden. In geval van co-vergisting van bermgras, suikerbietenloof, aardappelloof of maïs zal er een extra sanitatiestap moeten plaatsvinden om voldoende afdoding van pathogenen en onkruiden te garanderen.

Het vergisten van mest (en co-fermentaten) zal leiden tot een betere beschikbaarheid van nutriënten. De minerale stikstof neemt toe, terwijl de functie als bodemverbeteraar behouden blijft. Hierdoor kan er bespaard worden op de kunstmestgift, wat zich uit in een kostenvoordeel voor de akkerbouwers. Er is enige onzekerheid over de mate waarin de beschikbaarheid van nutriënten toeneemt. Door mest te vergisten neemt de geuremissie af.

In Figuur S.1 staan de kosten van de verschillende co-fermentaten weergegeven, en de kosten die hier maximaal voor gemaakt mogen worden om kostendekkend, d.w.z. zonder winstmarge, deze handelingen uit te voeren. Hierbij is uitgegaan van de kosten die additioneel gemaakt worden t.o.v. de situatie van vergisting van alleen mest.



Figuur S.1: werkelijke kosten van de co-fermentaten (brede balken) en maximaal toelaatbare kosten om kostendekkend te vergisten (smalle balken). Kosten zijn additioneel t.o.v. vergisting van alleen mest beschouwd. BG = bermgras, SB= suikerbietenloof, AARD = (poot)aardappelloof, LW = loonwerk, EB = eigen beheer

De kosten voor bermgras zijn lager dan de maximaal toelaatbare kosten om kostendekkend dit co-fermentaat toe te passen. Dit komt voornamelijk doordat het innametarief, na aftrek van kosten door de extra aanvoer van nutriënten en extra transportkosten, relatief laag is. Voor suikerbieten- en aardappelloof is dit niet het geval. De ‘best case’ van deze oogstresten, de situatie waarin alles wordt

uitgevoerd in eigen beheer, heeft reeds te hoge kosten. De teelt van maïs is in beide situaties niet kostendekkend.

Het vergisten van alleen mest heeft een terugverdientijd van 5.7 jaar. Indien er bermgras wordt co-vergist is de terugverdientijd van de additionele investering 3.0 jaar. De gehele installatie voor de vergisting van mest en bermgras zal zich in 3.9 jaar terugverdienen. Het inzamelen van suikerbieten- en aardappelloof is economisch niet rendabel. In de ‘best case’ situatie, waarbij alles in eigen beheer wordt uitgevoerd, zijn de kosten te hoog om kostendekkend te kunnen vergisten. Ook het telen en oogsten van maïs is in de ‘best case’ situatie niet rendabel. De ‘worst case’ situatie, waarbij alles door loonwerkers wordt uitgevoerd, brengt aanzienlijk hogere kosten met zich mee dan de ‘best case’ situatie. In geen van de bekeken varianten van co-vergisting van oogstresten kan de additionele investering worden terugverdiend.

De terugverdientijd is het meest gevoelig voor de variatie in de gasopbrengst. Dit komt omdat de inkomsten (van elektriciteit en warmte) direct afhankelijk zijn van de hoeveelheid biogas die geproduceerd wordt. De gasopbrengst van mest is in de praktijk relatief goed te voorspellen. Aangezien er minder praktijkervaring is met de gasopbrengst van de co-fermentaten is de mogelijke variatie hiervan groter. De terugverdientijd is tevens gevoelig voor de elektriciteitsprijs. Een daling van de terugleververgoeding voor duurzaam opgewekte elektriciteit lijkt onwaarschijnlijk, en kan afgedekt worden door langlopende teruglevercontracten. Bij een stijging van de terugleververgoeding tot 8.5 eurocent zou het vergisten van aardappelloof, in geval van inzameling in eigen beheer, kostendekkend worden. Variatie in de investeringskosten heeft een beperkte invloed op de terugverdientijd. De innamevergoeding van bermgras is moeilijk in te schatten, daar er weinig praktijkervaring is met het versnijden en sealen hiervan. Om deze reden is de mogelijke variatie van deze parameter groter. Bij een daling van de het innametarief van bermgras tot € 0 (exclusief derving MINAS inkomsten en transport na vergisting) zal de terugverdientijd van 4 naar bijna 6 jaar stijgen. De additionele investering voor het vergisten van bermgras is kostendekkend bij een te betalen innametarief van bermgras van maximaal € 8.

Door de vergisting van 21,400 ton mest bij de mestopslag van de CAV kan er een emissie van 1,300 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar gereduceerd worden. Door het toevoegen van bermgras kan er ruim 1,100 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar extra gereduceerd worden. Dit verbetert tevens de rentabiliteit van de vergister als geheel. Het toevoegen van suikerbieten- of aardappelloof zorgt voor een toename in de hoeveelheid gereduceerde CO<sub>2</sub>-equivalenten van respectievelijk 1,600 en 1,400 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar. Het aandeel van vermeden lachgasemissie uit de oogstresten is bij co-vergisting van suikerbietenloof 15% en bij co-vergisting van aardappelloof 3%. In de ‘best case’ situatie moet er voor het co-vergisten van suikerbieten- of aardappelloof respectievelijk € 24 en 16 per ton vermeden CO<sub>2</sub>-

equivalent worden toegelegd, voor het co-vergisten van maïs € 12. In de ‘worst case’ situatie, een situatie die in de Wieringermeer qua praktische realisatie waarschijnlijker is dan de ‘best case’, zijn deze kosten meer dan € 100 per ton CO<sub>2</sub>-equivalent.

De situatie bij de bestaande mestopslag van het CAV in de Wieringermeer lijkt redelijk representatief voor andere akkerbouw gebieden in Nederland. Derhalve lijkt het co-vergisten van oogstresten in Nederland op korte termijn niet haalbaar. Op de lange termijn zouden er mogelijkheden kunnen zijn indien danwel de vergoedingen voor duurzame elektriciteit zullen toenemen, danwel de waarde van gereduceerde CO<sub>2</sub> equivalenten aanzienlijk zal stijgen. Verder is het waarschijnlijk dat de nu nog negatieve kosten voor bermgras in de nabije toekomst zullen gaan stijgen bij een toenemende vraag uit de energiesector.

## INHOUDSOPGAVE

---

<b>1</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>9</b>
1.1	Achtergrond en aanleiding	9
1.2	Doelstelling	9
1.3	Opbouw rapportage	10
<b>2</b>	<b>VERGISTING IN DE WIERINGERMEER.....</b>	<b>11</b>
2.1	De vergistingsinstallatie bij de Oude Zeug	11
2.2	Aanpak: systeemvergelijking	12
<b>3</b>	<b>INZAMELEN EN VERGISTEN VAN AARDAPPEL- EN SUIKERBIETENLOOF .....</b>	<b>15</b>
3.1	Huidige praktijk: oogst zonder inzameling loof	15
3.1.1	Suikerbieten	15
3.1.2	Consumptie- en pootaardappelen	15
3.2	Mogelijke technieken voor inzameling loof	16
3.2.1	Suikerbietenloof	16
3.2.2	Aardappelloof	16
3.3	Conclusie	17
<b>4</b>	<b>LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN VAN VERGISTE MEST .....</b>	<b>19</b>
4.1	Pathogenen	19
4.1.1	Literatuuronderzoek	19
4.1.2	Situatie in Denemarken	20
4.1.3	Verspreiding pathogenen bij co-vergisting met aardappelloof, bietenloof of bermgras	21
4.1.4	Conclusie en aanbeveling	23
4.2	Onkruiden	23
4.2.1	Literatuuronderzoek	23
4.2.2	Situatie in Denemarken	24
4.2.3	Verspreiding onkruidzaden bij co-vergisting met aardappelloof, bietenloof of bermgras	24
4.2.4	Conclusie en aanbeveling	25
4.3	Bemestingswaarde vergiste mest	25
4.3.1	Algemeen	25
4.3.2	Literatuuronderzoek	25
4.3.3	Conclusie en aanbevelingen	27
4.4	Geuremissie	28
4.4.1	Literatuuronderzoek	28

4.4.2	Conclusie	28
<b>5</b>	<b>AANWENDING VAN VERGISTE MEST EN CO-FERMENTATEN OP HET LAND: IMPACT OP MINAS ....</b>	<b>29</b>
5.1	Nutriëntenstromen en volume	29
5.2	De MINAS boekhouding	29
5.2.1	Afvoer bij akkerbouwbedrijven	29
5.2.2	Aanvoer en afvoer bij CAV “De Wieringermeer”	30
5.2.3	Aanvoer bij akkerbouwbedrijven	30
5.2.4	Conclusie en aanbeveling	30
5.3	Gebruik van vergiste mest	31
5.3.1	De teelt van suikerbieten	31
5.3.2	De teelt van aardappelen	31
5.3.3	Conclusie en aanbeveling	32
<b>6</b>	<b>ECONOMISCHE ANALYSE .....</b>	<b>33</b>
6.1	Additionele investeringskosten	33
6.2	Kosten mest en co-fermentaten	33
6.3	Additionele kosten voor onderhoud	34
6.4	Additionele opbrengsten	34
6.5	Gevoeligheidsanalyse	37
<b>7</b>	<b>POTENTIELE BROEIKASGAS EMISSIEREDUCTIE .....</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>DISCUSSIE.....</b>	<b>40</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIES .....</b>	<b>41</b>
	<b>BIJLAGE 2: KARAKTERISTIEKEN CO-FERMENTATEN .....</b>	<b>50</b>
	<b>BIJLAGE 3: BEREKENING HOEVEELHEDEN VERGISTE MEST.....</b>	<b>52</b>
	<b>BIJLAGE 4: BEREKENING HOEVEELHEDEN VAN MET BERMGRAS CO-VERGISTE MEST .....</b>	<b>53</b>
	<b>BIJLAGE 5: UITWERKING INVESTERINGSKOSTEN.....</b>	<b>56</b>
	<b>BIJLAGE 6: BEREKENING KOSTEN CO-FERMENTATEN ...</b>	<b>57</b>



# 1 INLEIDING

---

## 1.1 ACHTERGROND EN AANLEIDING

Nederland heeft als doelstelling om 6% reductie van de uitstoot van broeikasgassen te bewerkstelligen, over de periode 2008-2012 ten opzichte van 1990. Deze broeikasgassen zijn, zoals vastgelegd in het Kyoto protocol, CO<sub>2</sub>, methaan, lachgas, en drie fluorverbindingen. Het ROB (Reductie Overige Broeikasgassen) programma is opgesteld om het reductiebeleid van de 5 niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen te ondersteunen. Volgens de huidige inzichten moet het mogelijk zijn om de broeikasgasemissies met 15 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar te reduceren in de periode 2008-2012 (van de in totaal geplande 50 Mton/jr in deze periode) door emissiereductie van de niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen.

Mestvergisting kan op twee manieren bijdragen aan de reductie van broeikasgas emissies. Allereerst wordt er CO<sub>2</sub>-emissie vermeden door de productie van elektriciteit en warmte. Ten tweede wordt er door de toepassing van vergisting methaanemissie vermeden uit de bestaande mestopslag.

Recentelijk is gebleken dat achterblijvende oogstresten op het land een verhoogde emissie van het broeikasgas N<sub>2</sub>O (lachgas) veroorzaken (Velthof et al, 2000). Het co-vergisten van deze oogstresten kan deze emissie van lachgas op het land verminderen. Het vergisten van mest en oogstresten zou op deze manier een drievoudige reductie van broeikasgassen teweeg kunnen brengen. Een dergelijke broeikasgas reductie optie zou mogelijk geïmplementeerd kunnen worden in Noord Holland.

Bij de bestaande mestopslaginstallatie van de Coöperatieve Aan- en Verkoopvereniging (CAV) “De Wieringermeer” is jaarlijks zo’n 21,000 ton mest beschikbaar om vergist te worden. Een nabijgelegen jachtwerf, Jongert BV, is geïnteresseerd in samenwerking met de CAV dit project te ontwikkelen en de geproduceerde warmte af te nemen. De akkerbouwers aangesloten bij de CAV telen onder andere suikerbieten en aardappels. De oogstresten van deze teelt blijven in de huidige praktijk op het land achter. De situatie in de Wieringermeer biedt de mogelijkheid de haalbaarheid van het co-vergisten van oogstresten te onderzoeken aan de hand van dit praktijkvoorbeeld.

## 1.2 DOELSTELLING

Het doel van deze studie is het onderzoeken van de economische, technische, en praktische haalbaarheid van een drievoudige broeikasgas reductie optie door middel van het co-vergisten van oogstresten met mest. Dit zal worden onderzocht aan de hand van de situatie bij de bestaande mestopslaginstallatie van CAV “De Wieringermeer”. Als uitgangssituatie (base case) wordt gekeken naar de vergisting van alleen mest. Hiernaast is er gekeken naar de situatie waarin oogstresten, te weten suikerbieten- en aardappelloof, co-vergist worden. De verschillende opties om de oogstresten te verzamelen zijn hiervoor in kaart gebracht. Deze optie wordt vergeleken met een referentiescenario waarin alleen mest wordt vergist en met een scenario waarin mest en bermgras wordt vergist. Hiernaast wordt er, in mindere mate, gekeken naar de mogelijkheid om maïs, dat speciaal hiervoor geteeld kan worden op braakliggend land, aan de vergister toe te voegen. Voor alle onderzochte situaties is gekeken naar een aantal positieve en negatieve neveneffecten, namelijk de bemestende

waarde van vergist materiaal, het effect op de MINAS boekhouding en de gevaren van onkruidzaden en pathogenen.

### **1.3 OPBOUW RAPPORTAGE**

In hoofdstuk 2 zal de huidige situatie bij CAV “de Wieringermeer” wat betreft mestopslag en aangesloten akkerbouwers beschreven worden. Tevens wordt hier de in de studie gebruikte systeemvergelijking toegelicht. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de voor- en nadelen van de verschillende mogelijke technieken om het aardappel- en suikerbietenloof in te zamelen. In hoofdstuk 4 zullen aspecten met betrekking tot pathogenen en onkruidzaden in detail uitgewerkt worden. Tevens wordt de bemestende waarde van vergiste mest toegelicht. In hoofdstuk 5 zullen de gevolgen van co-vergisting op de MINAS boekhouding besproken worden. In hoofdstuk 6 zal de economische haalbaarheid van de verschillende opties bepaald en vergeleken worden. In hoofdstuk 7 wordt dit gekoppeld aan de potentiële broeikasgas emissiereductie. Door het uitvoeren van een algehele ketenanalyse van de broeikasgasemissies worden de kosten per ton vermeden CO<sub>2</sub>-equivalent in dit hoofdstuk inzichtelijk gemaakt. Het geheel zal worden afgesloten met een discussie en een conclusie.

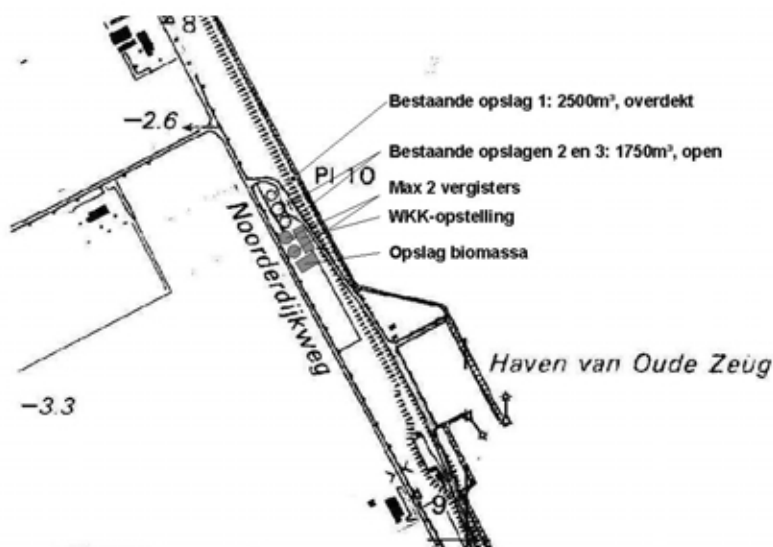
## 2 VERGISTING IN DE WIERINGERMEER

### 2.1 DE VERGISTINGSINSTALLATIE BIJ DE OUDE ZEUG

Vergisting is een proces waarbij organische stoffen, zoals mest en/of andere “vochtige biomassastromen” zoals bermgras en /of oogstresten, worden afgebroken door bacteriën onder uitsluiting van zuurstof (anaëroob). Bij dit proces komt biogas vrij, dat voor ongeveer 65% bestaat uit methaan en voor 35% uit CO<sub>2</sub>. Dit brandbare biogas kan gebruikt worden voor de opwekking van elektriciteit en /of warmte middels een gasmotor (Tijmensens 2002).

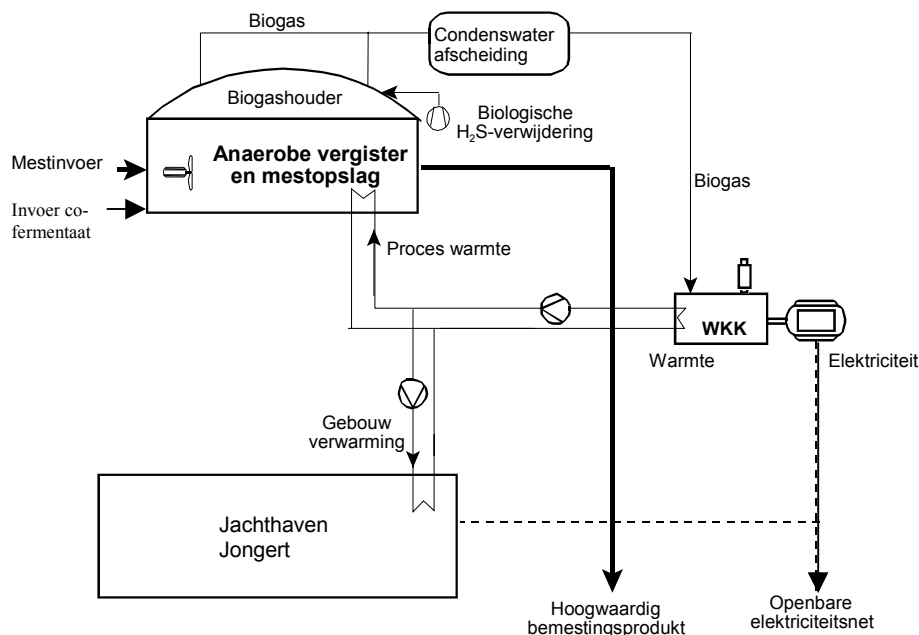
Op dit moment is het traject ingezet om bij de bestaande mestopslagen van CAV “De Wieringermeer” aan de Noorderdijkweg één of maximaal twee vergistingstanks te bouwen voor de vergisting van mest en eventueel andere biomassa zoals oogstresten en/of bermgras. Dit gaat in samenwerking met Jachtwerf Jongert BV, die geïnteresseerd is in de afname van de geproduceerde warmte. De locatie bestaat op dit moment uit drie tanks voor de opslag van varkensdrijfmest: de twee oudste tanks (tank 2 en 3) zijn gebouwd vóór 1989 en hebben ieder een volume van 1750 m<sup>3</sup>, bij een hoogte van ca 4 meter. De nieuwste (tank 1, uit het jaar 1994) heeft een volume van ca 2500 m<sup>3</sup>.

De maximaal twee te bouwen vergistingstanks zullen een gezamenlijke capaciteit van ca 1750 m<sup>3</sup> hebben. De tanks hebben een diameter van ca. 15 meter en een hoogte van 5 meter. De nok van de afdekking kan nog ca 1.25 meter boven de rand van de vergister uitsteken.



Figuur 1 : situatieschets van de geplande vergister bij de Oude Zeug

Een vergistingsinstallatie kan opgedeeld worden in drie functionele delen: de productie van biogas, de benutting van biogas en de voor- en na-opslag van mest. Het vergistingsproces zal plaatsvinden op een mesofiele temperatuur van 30-37°C, bij een verblijftijd van 20-30 dagen. In Figuur 2 wordt de beoogde vergistingsinstallatie bij de Oude Zeug schematisch weergegeven.



Figuur 2: een schematische weergave van de beoogde vergisting bij de Oude Zeug (vrij naar: Bijman, 2001)

Het biogas wordt geproduceerd in de anaërobie vergister en benut in de WKK. Eventueel kan de WKK vervangen worden door een warmwaterketel. Voor- en na-opslag van de mest zal in de meeste gevallen in een aparte opslag gebeuren. In Bijlage 1 wordt een gedetailleerde beschrijving gegeven van de gehele biogasinstallatie.

## 2.2 AANPAK: SYSTEEMVERGELIJKING

In deze studie zal gekeken worden naar 5 verschillende manieren om bovenstaande vergistingsinstallatie van biomassa te voorzien.

### Case I: Vergisting van alleen mest.

Ruim 20 kton mest zal jaarlijks vergist worden. De mest wordt na het vergisten op de akkers van de bij de CAV aangesloten akkerbouwers uitgereden. Deze situatie is de uitgangssituatie (base case).

Verder bestaat er de mogelijkheid om naast mest ook andere organische stromen te gebruiken. Hierbij wordt de hoeveelheid co-fermentaat zo gekozen dat er evenveel droge stof uit het co-fermentaat als uit mest aanwezig is in de vergister. Deze keuze komt voort uit eisen m.b.t. vergunningen. Een maximale droge stof gehalte van 50% staat toe dat het fermentaat nog als meststof beschouwd wordt. Hiernaast zal toevoeging van extra co-fermentaat leiden tot een hoger droge stof gehalte in de vergister. Bij een droge stof gehalte van meer dan 14% zullen er andere pompen en andere procesregeling nodig zijn. De volgende situaties, waarbij telkens de mest en het co-fermentaat na het vergisten op de akkers zal worden uitgereden, worden onderscheiden.

**Case II:** Co-vergisting van bermgras.

Bermgras zal worden aangevoerd van buitenaf, door een externe leverancier.

**Case III:** Co-vergisting van suikerbietenloof.

Suikerbietenloof wordt in de huidige praktijk achtergelaten op de akkers. Er zal gekeken worden naar de mogelijkheden om dit loof in te zamelen en mee te vergisten met de mest.

**Case IV:** Co-vergisting van aardappelloof.

Ook aardappelloof wordt in de huidige praktijk achtergelaten op de akkers, maar kan verzameld en mee vergist worden.

**Case V:** Co-vergisting van maïs.

Er zal binnen deze studie gekeken worden naar de mogelijkheid om energiegewassen te telen, op braakliggende grond, om met de mest mee te vergisten. om maïs te co-vergisten.

Bij case III, IV en V (oogstresten en maïs) zullen er extra handelingen op de akkers verricht moeten worden, eventueel met andere machines dan in de huidige situatie het geval is. Dit kan door een loonwerkbedrijf gebeuren maar kan ook, indien de vereiste machines aanwezig zijn, mogelijk tegen lagere kosten door de akkerbouwer zelf uitgevoerd worden. Om de uitersten te schetsen zal er gekeken worden naar een ‘worst case’, waarbij alles wordt uitgevoerd door een loonwerkbedrijf en naar een ‘best case’, waarbij alles in eigen beheer wordt uitgevoerd door de akkerbouwer, met eigen machines. In de praktijk zal het veelal een combinatie zijn van beiden. In de Wieringermeer wordt wat betreft de suikerbienteelt 95% momenteel door loonwerkers uitgevoerd, bij het aardappelplanten dit 10% en bij de aardappeloogst 40%. De situatie dat het telen van de maïs geheel door de akkerbouwers zelf zal worden uitgevoerd is onwaarschijnlijk, daar deze normaliter niet over maïshakselaars beschikken.

We vergelijken de additionele kosten en baten die voortkomen uit de toevoeging van de co-fermentaten (case II-V) met de kosten en baten in case I. De additionele kosten zullen onder andere bestaan uit extra investeringskosten, extra onderhouds- en bedrijfskosten en kosten voor het co-fermentaats. De additionele baten zullen bestaan uit extra inkomsten door de verkoop van warmte en elektriciteit. Op basis van deze additionele kosten en additionele baten zal beoordeeld worden of co-vergisting volgens case II-V economisch aantrekkelijker is dan pure mestvergisting en hoe de verschillende co-vergistingsopties zich tot elkaar verhouden.

In Tabel 1 staan de karakteristieken van de verschillende mogelijke co-fermentaten m.b.t. de biogasproductie. De samenstelling van de mest is aangeleverd door de CAV. De overige waarden voor de mest zijn expert judgements gebaseerd op ervaringen binnen Ecofys. De waarden voor suikerbietenloof, aardappelloof en maïs zijn een inschatting op basis van verschillende bronnen. Deze bronnen zijn weergegeven in Bijlage 2.

Tabel 1: karakteristieken van de verschillende mogelijke co-fermentaten m.b.t. de biogasproductie

	Samenstelling			Biogasproductie		Elektriciteit
	DS vers	DS ingekuild	OS/DS	m <sup>3</sup> /kg OS	Nm <sup>3</sup> /ton	kWh per ha <sup>1</sup>
Mest	7.5%	nvt	67%	0.35	18	nvt
Suikerbietenloof	12%	18%	70%	0.69	85	4,284
Aardappelloof	15%	20%	79%	0.69	109	3,409
Maïs	32%	40%	80%	0.69	222	14,730
Bermgras	nb	40%	80%	0.60	192	nvt

DS = droge stof; OS = organische stof; nvt = niet van toepassing; nb = niet beschikbaar

<sup>1</sup> Bij een netto elektrische efficiency van 34% en een netto thermische efficiency van 28.8%

In de vergister zal 21,400 ton mest per jaar vergist worden. Dit komt neer op ongeveer 1,600 ton droge stof. Een overzicht van de verschillende systemen wordt gegeven in Tabel 2.

Tabel 2: overzicht van de verschillende cases en de bijbehorende hoeveelheden fermentaat en biogasopbrengst

	Case I	Case II	Case III	Case IV	Case V
<b>Fermentaats</b>	<b>varkensmest</b>	<b>varkensmest</b>	<b>varkensmest</b>	<b>varkensmest</b>	<b>varkensmest</b>
Hoeveelheid (ton/jr)	21,400	21,400	21,400	21,400	21,400
Hoeveelheid (ton droge stof/jr)	1600	1600	1600	1600	1600
<b>Co-fermentaats</b>	-	<b>bermgras</b>	<b>suikerbietenloof</b>	<b>aardappel-loof</b>	<b>maïs</b>
Hoeveelheid (ton/jr)	-	4,000	9,200	8,000	4,300
Hoeveelheid (ton droge stof/jr)	-	1600	1600	1600	1600
Biogasproductie (m <sup>3</sup> /jr)	343,800	716,500	738,400	830,600	843,600

In Tabel 3 staat weergegeven welke arealen tot de CAV “de Wieringermeer” behoren en wat er op deze arealen aan hoofdproduct en loof wordt geproduceerd. Een overzicht van de gebruikte bronnen voor het bepalen van de loofopbrengst is weergegeven in Bijlage 2.

Tabel 3: arealen van CAV “de Wieringermeer” en de productie hiervan

	<i>Areaal (ha.)</i>	<i>Hoofdproduct (ton/ha)</i>	<i>Loof (ton/ha)</i>
Suikerbieten	3,000	60	37
Pootaardappelen	4,000	35	20
Consumptieaardappelen	2,000	39	20 <sup>1</sup>
Maïs	-	40	

<sup>1</sup> Tijdens het oogsten is een gedeelte van het loof reeds afgestorven, zie paragraaf 3.1.2

De arealen suikerbieten, pootaardappelen en consumptieaardappelen zijn ieder op zich voldoende om in de vraag naar het desbetreffende loof, zoals weergegeven in Tabel 2, te voorzien.

## **3 INZAMELEN EN VERGISTEN VAN AARDAPPEL- EN SUIKERBIETENLOOF**

---

### **3.1 HUIDIGE PRAKTIJK: OOGST ZONDER INZAMELING LOOF**

#### **3.1.1 SUIKERBIETEN**

Suikerbieten worden tijdens de oogst in één gang gekopt (het afhakken van de bovenkant van de suikerbiet), nagekopt en opgelicht. Dit kan met een 1-fase of een 2-fase bietenoogstmachine. Vroeger werd het loof verzameld en gebruikt als veevoer. Tegenwoordig wordt het loof door de oogstmachine zijwaarts het land op gegooid alwaar het blijft liggen. Uiteindelijk zal het loof ondergeploegd worden.

#### **3.1.2 CONSUMPTIE- EN POOTAARDAPPELEN**

Het loof van consumptieaardappelen wordt 3-4 weken voor het rooien geklapt of doodgespoten. Klappen betekent dat het loof met een hakselaar stuk geslagen wordt. Het doodspuiten van het loof, wat vaak gedaan wordt, gebeurt met zogenaamde loofdodingsmiddelen. Op het moment dat consumptieaardappelen worden geklapt of doodgespoten is nog maar 40-50% van de grond bedekt met loof<sup>1</sup>. Dit loof is al gedeeltelijk afgestorven. Na het klappen of doodspuiten van het loof rijpen de aardappelen af zodat de schil van de nog niet gerooide aardappels dikker wordt. Hierdoor kunnen de aardappels met minder beschadigingen gerooid worden. Soms wordt het loof eerst gedood en later geklapt om het te verwijderen. Hierdoor verbetert de rooibaarheid van consumptieaardappelen. Tijdens het rooien is er weinig meer over van het loof, hoogstens kunnen er nog wat stengelresten overblijven.

Pootaardappelen kunnen geklapt of loofgetrokken worden. Looftrekken is een techniek waarbij de aardappel blijft liggen terwijl het loof van de plant wordt afgetrokken. Bij het looftrekken wordt het loof dus als het ware van de knollen los getrokken. Zowel klappen als looftrekken gebeurt 3 tot 4 weken voor de oogst en is bedoeld om de pootaardappelen af te laten rijpen. Er is bij pootaardappelen aanzienlijk meer loof aanwezig dan bij consumptieaardappelen, omdat pootaardappelen op het moment van klappen of looftrekken, in tegenstelling tot consumptieaardappelen, in de bloei van hun leven zitten. Omdat de pootaardappelen op moment van klappen of looftrekken dus zeer vitaal zijn, worden de stengelresten hierna doodgespoten. Doodspuiten van het loof bij vochtige omstandigheden is nodig om ziekten te voorkomen. Er is bij pootaardappelen aanzienlijk meer loof aanwezig dan bij consumptieaardappelen.

De huidige praktijk in Nederland is dat in bijna alle gevallen, zowel bij consumptie- als bij pootaardappelen, geklapt en gespoten wordt. Het loof wordt na het klappen normaalgesproken

---

<sup>1</sup> Dit is gerelateerd aan het percentage lichtopvang. Een bedekkingsgraad van 100% betekent een geheel gesloten gewas.

versnipperd en verspreid. Na het spuiten is het loof afgestorven. Het is onduidelijk of de organisch stof intact blijft. Gelijktijdig klappen en rooien is niet voordelig, omdat de aardappels beschadigd kunnen worden. Dit gebeurt in de praktijk dan ook alleen bij fabrieksaardappelen. Bij de CAV Wieringermeer wordt er eerst geklapt en (2-4 weken) later pas geroid bij 100% van de consumptieaardappelen en bij 80% van de pootaardappelen. Bij de overige 20% van de pootaardappelen wordt loofgetrokken.

## **3.2 MOGELIJKE TECHNIEKEN VOOR INZAMELING LOOF**

### **3.2.1 SUIKERBIETENLOOF**

Oude oogstmachines hadden de mogelijkheid om suikerbietenloof apart op te vangen. Bestaande machines hebben deze optie voor het overgrote deel niet meer. Aanpassing van bestaande 2-fasen suikerbietenrooiers (rooier met koper waarbij het blad apart wordt gehouden, de bieten worden op het zwad gelegd en in dezelfde gang geroid) is mogelijk voor zowel de 6- als de 2-rijige machines. Bij 2-fase machines wordt het loof en de koppen normaal gesproken na een ontbladeraar door een ronddraaiende schijf naar de zijkant geworpen. Deze schijf moet vervangen worden door een bak met een lange vijzel (schroef). De vijzel drukt het loof via een lang kanaal naar buiten, alwaar het opgevangen kan worden in een meerrijdende kipwagen. De 1-fase oogstmachines kunnen niet het loof apart opvangen omdat het loof eerst verhakseld wordt.

Een probleem wat hierbij speelt is dat het laten meerijden van een kipwagen enige schade aan de bodemstructuur kan veroorzaken. Bovendien zijn de weersomstandigheden tijdens het rooien vaak vochtig waardoor er door het extra rijden met een kipwagen wateroverlast kan ontstaan. Het gebruik van een kipwagen met extra brede banden zou deze nadelige effecten kunnen verkleinen. Eventueel zou een kleine aanhangwagen achter de rooimachine kunnen meerijden, die meerdere malen geleege wordt in een aan de rand van de akker gereed staande kipwagen. Een groot nadeel hiervan is dat het rooien dan vertraagd wordt, wat hoge kosten met zich mee zal brengen. Kosten voor de technische aanpassing van de rooimachine worden geschat op 15-20 duizend gulden (van Zonneveld, 2001). Eventueel zijn er ook 2<sup>e</sup> hands rooiers met vijzel beschikbaar (van Zonneveld, 2001).

### **3.2.2 AARDAPPELLOOF**

Het inzamelen van aardappelloof is in de praktijk voor zover bekend niet eerder toegepast. Indien er geklapt en gespoten wordt, en later geroid, zijn er 4 opties om het loof in te zamelen.

#### **1. Tijdens het klappen**

- a) Dezelfde techniek die vroeger bij suikerbietenloof toegepast werd, een bak om het loof op te vangen met een vijzelpers om het naar buiten te persen, kan in principe ook voor aardappelloof gebruikt worden. Er is echter geen ervaring op dit gebied (Nooteboom, 2001; Titulaer, 2001). Deze techniek kan alleen gebruikt worden tijdens het klappen, anders is het loof reeds losgemaakt van de aardappel (Krebbels, 2001). Een groot probleem bij deze techniek is dat voor de rooigang het rijden op het land met een kipwagen leidt tot beschadiging van het gewas. Het klappen van het loof wordt reeds als hinderlijk ervaren aangezien de aardappelruggen beschadigd kunnen worden (Quist, 2001; van Ree, 2001). Ook hier geldt dat de weersomstandigheden tijdens het rooien vaak vochtig zijn waardoor er door het extra rijden met een kipwagen wateroverlast kan ontstaan.



- b) Het is mogelijk om een container met beperkte opslagcapaciteit op de klapper te monteren. Na enkele keren op en neer rijden zal deze bak vol zitten en dient deze geleegd te worden. Dit kan in een aan de kant van het perceel opgestelde kipwagen. Dit zal het klappen vertragen, maar voordelig is dat er niet over het land hoeft te worden gereden met een kipwagen.

## **2. Na het klappen**

Na het klappen kan het loof handmatig verzamelen worden, bijvoorbeeld met een hark. Dit is een zeer arbeidintensief proces (vergelijk: er is ongeveer 120 uur per hectare nodig voor handmatig aardappelen rapen (KWIN 97/98)) en hierom niet erg voor de hand liggend.

## **3. Na de rooigang**

Na de rooigang kan er zonder nadelige effecten op het land gereden worden. Na de rooigang zal het loof echter los op de grond liggen en (gedeeltelijk) afgestorven zijn, en er zal meer zand met het loof meekomen. Een aparte techniek voor de inzameling van het aardappelloof zal voor deze situatie verzonden moeten worden. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een sterke ventilator op een wagen. Nadeel hiervan is dat dit veel tijd kost en dat er veel zand met het loof mee zal komen.

De opties waarbij tijdens het klappen het loof direct verzameld wordt bieden het meeste perspectief daar dit de minste extra arbeid vergt. De meest voordelige optie is het laten meerijden van een kipwagen tijdens het klappen (optie a). Het klappen loopt hierdoor geen vertraging op (zoals bij optie b). Groot nadeel is echter de mogelijke beschadiging van het gewas. Om dit te ondervangen kan er gebruikt gemaakt worden van de techniek van het groenrooien. Bij groenrooien worden twee rijen aardappels in één gang machinaal geklapt, losgewoeld, en vervolgens ondergewerkt in één rij. Daarin kunnen de aardappels afhardnen. Na ongeveer twee weken vindt de feitelijke oogst plaats. Het voordeel van het groenrooien m.b.t. het verzamelen van het loof is dat een kipwagen wel over het land kan rijden, omdat er extra ruimte tussen de rijen gecreëerd wordt, omdat 2 rijen tot 1 rij omgevormd worden. Een bijkomend voordeel van groenrooien ten opzichte van het traditionele loofspuiten en loofklappen is dat het gebruik van loofdodende middelen niet meer nodig is. Bovendien krijgt dankzij het vroegtijdig loswoelen van de aardappelen een aantal grondgebonden ziekten minder kans het pootgoed nadelig te beïnvloeden. In Nederland wordt groenrooien slechts in 1% van de gevallen toegepast (NAK, 2000). De belangrijkste reden daarvoor is de mogelijke beschadiging aan de aardappels, maar ook is er de mogelijkheid om het land te beschadigen bij nat weer. Dit is bij klappen ook het geval, maar deze kans wordt kleiner ingeschat. Tevens is groenrooien lastiger bij consumptieaardappelen, daar het loof bij deze soort reeds voor een groot gedeelte is afgestorven tijdens het klappen. Groenrooien is een techniek die vanuit de overheid sterk gestimuleerd wordt, vnl. vanwege het niet gebruiken van loofdodende middelen.

De bereidheid om groenrooien toe te gaan passen lijkt aanwezig bij de akkerbouwers die aangesloten zijn bij de CAV (Quist, 2001). Er is ruimschoots onderzoek gedaan naar de techniek van het groenrooien. Het IMAG geeft aan dat groenrooien ongeveer dezelfde kosten met zich meebrengt als de normaal gebruikte oogsttechniek (Goedhart, 2001). De arbeidsintensiteit zal eveneens niet toenemen.

### **3.3 CONCLUSIE**

Inzameling van suikerbietenloof kan het eenvoudigst gebeuren door de rooimachine aan te passen en een kipwagen te laten meerijden. Het aanbrengen van dikke banden op de kipwagen kan beschadiging aan de bodemstructuur en wateroverlast beperken.

De meest aantrekkelijke manier voor het verzamelen van het aardappelrooif is om groen te rooien en tegelijkertijd een kipwagen te laten meerijden. Dit is het best toepasbaar bij pootaardappelen, en zal bij deze soort het meeste rooif opbrengen. Bij de bepaling van de economische haalbaarheid zullen we van deze optie uitgaan. Het areaal pootaardappelen bij de CAV is ruim toereikend om in de rooifbehoefte van de vergister te voorzien (zie Tabel 2 en Tabel 3, paragraaf 2.2).

## 4 LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN VAN VERGISTE MEST

---

*In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de overleving en de verspreiding van pathogenen (ziekteverwekkers) en onkruidzaden bij co-vergisting behandeld. Daarna gaat het hoofdstuk in op de bemestingswaarde van vergiste mest en wordt de geuremissie van vergiste mest besproken.*

### 4.1 PATHOGENEN

#### 4.1.1 LITERATUURONDERZOEK

Er is vrij veel literatuur beschikbaar over de doding en overleving van pathogenen bij vergisting. Hieronder volgt een overzicht van de aanwezige literatuur. Hier wordt onderscheid gemaakt tussen literatuur over:

- Alleen mesofiele (30-40 °C) vergisting;
- Mesofiele en thermofiele (50-60 °C) vergisting en
- Alleen thermofiele vergisting.

#### **Mesofiele vergisting**

Termorshuizen et al. (2001) hebben proeven gedaan naar de overleving van zes pathogenen in huishoudelijk organisch afval bij mesofiele vergisting (35-40 °C) gedurende 6 weken bij een organisch stofgehalte van 35%. De verhouding tussen vergist en vers organisch afval betrof 50/50. Een aantal van deze pathogenen vormen overlevingsstructuren. Het experiment betrof de plantpathogenen *Fusarium oxysporum* f.sp.*asparagi* (overlevingsstructuur<sup>2</sup>: chlamydosporen (schimmel)), *Ralstonia solanacearum* (vormt geen overlevingsstructuren; veroorzaker bruinrot aardappel (bacterie)), *Plasmodiophora brassicae* (rustsporen; bladvlekkenziekte kool (schimmel)), *Sclerotium cepivorum* (sclerotia; ui (schimmel)) en de menselijke pathogeen *Salmonella typhimurium* (veroorzaker vorm van parathyfus (bacterie)) en een groep bacteriën die *Salmonella* bevat (Enterobacteriaceae). Deze groep bacteriën fungeert als indicator voor de hygiëne (Lund et al., 2000).

Overleving van de pathogenen *Fusarium oxysporum* f.sp.*asparagi*, *Ralstonia solanacearum* en *Salmonella typhimurium* was beneden de detectie-grens. Overleving van de pathogeen *Plasmodiophora brassicae* was in één herhaling laag en in de twee andere herhalingen beneden de detectie-grens. Echter, sclerotia van de pathogeen *Sclerotium cepivorum* bleven tenminste gedeeltelijk levensvatbaar. Het aantal Enterobacteriaceae nam af van  $4.7 \times 10^6$ /ml na 1 dag vergisting tot  $1.1 \times 10^2$ /ml na 21 dagen vergisting.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij mesofiele vergisting van 6 weken veel pathogenen gemakkelijk geïnactiveerd worden, maar dat er een aantal ziekte-hygiënische problemen overblijven. Brummeler et al. (1991) concluderen dat doding van alle plantpathogenen niet optreedt onder 40 °C.

---

<sup>2</sup> Overlevingsstructuur: een structuur die een schimmel maakt om ongunstige omstandigheden zoals de winter te overleven

Turner et al. (1983) rapporteren een volledige doding na 4, 7 en 10 dagen van respectievelijk de plantpathogenen *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*, *Corynebacterium michiganense* en *Globodera pallida* bij anaërobe vergisting met materiaal van tomatenplanten bij 35 °C.

Bollen (1993) vermeldt een complete vernietiging van *Sclerotium cepivorum* in een anaërobe vergister met plantmateriaal van uien bij 32 °C binnen 7 dagen.

### **Mesofiele en thermofiele vergisting**

Engeli et al. (1993) beschrijven enkele proeven met vergisting in een laboratorium. De experimenten werden uitgevoerd met de schimmel *Plasmodiophora brassicae* (veroorzaker knolvoet bij kool). Deze schimmel kan aërobe compostering overleven (Bruns et al. 1990). Vanwege haar hitte-resistentie is deze schimmel gebruikt als indicator om de mate van hygiëne te toetsen gedurende de compostering (Vogtmann et al., 1979).

Uit de proeven blijkt dat bij 55 °C (thermofiele vergisting) gedurende een verblijftijd van 14 dagen er nagenoeg geen infectie meer plaatsvond. Na een verblijftijd van 7 dagen was er nog wel infectie.

Bij 35 °C (mesofiele vergisting) bij een verblijftijd van 7 dagen trad er geen reductie in infectie op.

Vergisting van 14 dagen bij 55 °C kan worden toegepast in de agrarische praktijk omdat de infectiedruk in de praktijk significant lager is dan in deze experimenten.

Anonymus (1992) komt tot de volgende conclusies:

Thermofiele vergisting veroorzaakt een snellere reductie van dierpathogenen in drijfmest dan mesofiele vergisting. Zo vindt bij thermofiele vergisting van drijfmest gedurende 1-2 uur een bijna totale reductie van dierpathogenen plaats.

Bij mesofiele vergisting van drijfmest verloopt de afname van het aantal dierpathogenen sneller dan bij anaërobe opslag van drijfmest.

Sporevormende bacteriën overleven alle vormen van vergisting van drijfmest, terwijl de vegetatieve bacteriën en de vegetatieve vormen van de sporevormers bij vergisting afsterven afhankelijk van de verblijfsduur. Mest-eigen vegetatieve bacteriën blijven langer leven dan toegevoegde vegetatieve bacteriën.

### **Thermofiele vergisting**

Oechsner (1996) meldt dat bij thermofiele vergisting (bij temperaturen van minimaal 52°C) de doding van Salmonella, E. coli en streptococci zeer goed was, bij mesofiel veel minder, daar is pasteuriseren nodig (minimaal 30 minuten 70 °C).

## **4.1.2 SITUATIE IN DENEMARKEN**

In Denemarken is een onderzoeksprogramma opgesteld naar de overleving van bacteriën, virussen en dierlijke parasieten in biogas installaties. Deze moesten afdoende gedood worden. Bendixen (1999) geeft een samenvatting van diverse onderzoeken naar de overleving van pathogenen. Het artikel beschrijft de verwerkingsmethoden van slib en afvalwater en gecomposteed afval uit diverse industrieën en huishoudens voor gebruik in de landbouw. Alle typen organisch afval mogen worden verwerkt in biogas installaties. De resultaten uit dit onderzoeksprogramma hebben geresulteerd mededeling no. 823 (1996) over het gebruik van afval en riool-bezinksel in de landbouw (Deense Ministerie voor Energie en Milieubescherming). Hierin staan de regels voor een goed gecontroleerde afvalverwerking in een biogas installatie. Deze moet plaats vinden gedurende minimaal 1 uur bij minimaal 70 °C. Tevens worden de gelijkwaardige alternatieven vermeld (Tabel 4), welke voor de in deze studie beschouwde co-fermentaten gehanteerd mogen worden.

Tabel 4: regels voor een goed gecontroleerde afvalverwerking in een biogas installatie.  
Mededeling no. 823 (1996) over het gebruik van afval en riool-bezinksel in de landbouw (Deense Ministerie voor Energie en Milieubescherming).

Temperatuur	Minimale verblijftijd in een thermofiele vergistingstank	Minimale verblijftijd bij een behandeling in een aparte tank	
		Vóór of ná vergisting in een thermofiele vergistingstank van ten minste 52 °C.	Vóór of ná vergisting in een mesofiele vergistingstank van 20 °C tot 52 °C.
52,0 °C	10 uur		
53,5 °C	8 uur		
55,0 °C	6 uur	5,5 uur	7,5 uur
60,0 °C		2,5 uur	3,5 uur
65,0 °C		1,0 uur	1,5 uur

Uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat na 1 uur anaërobe vergisting bij 70 °C alle pathogenen afdoende gedood worden. Verder zijn er alternatieve vergistingprocedures met dezelfde werking.

#### 4.1.3 VERSPREIDING PATHOGENEN BIJ CO-VERGISTING MET AARDAPPELLOOF, BIETENLOOF OF BERMGRAS

##### Aardappelen

De bij de teelt van aardappelen voorkomende ziekten zijn: *Phytophthora*, *Alternaria*, *Fusarium*, Roodrot en Bruinrot.

De laatste jaren overleeft de schimmel *Phytophthora* niet alleen via de knol (vegetatief), maar ook via oösporen. Deze oösporen worden op het aardappelblad gevormd en vallen bij het afsterven van het aardappelblad op de grond. Oösporen van *Phytophthora* kunnen drie tot vier jaar actief blijven. Jaarlijks kiemt er een gedeelte van de oösporen in de grond. Deze kieming is onafhankelijk van de aanwezigheid van een aardappelgewas. Gekiemde oösporen vormen weer gewone sporen die via het bodemvocht of opspattend water aardappelplanten kunnen infecteren.

Door co-vergisting van aardappelloof kunnen oösporen van *Phytophthora* in het vergiste mengsel komen. Deze mest wordt bij alle akkerbouwers verspreid. Verspreiding gebeurt dus ook op gronden waar binnen 4 jaar aardappelen komen te staan. Door co-vergisting kan het risico op aantasting door *Phytophthora* worden vergroot. Daarom is het van groot belang dat oösporen van *Phytophthora* tijdens het vergistingproces worden gedood (Schepers, 2001).

De schimmel *Alternaria* is bij de teelt van aardappelen geen algemeen probleem. Aan het eind van het seizoen kan er oogstreductie optreden. *Alternaria* kent geen overwinteringstructuur en overleeft de winter via vegetatieve sporen. Hierdoor zal ze waarschijnlijk door co-vergisting bij hogere temperaturen sneller worden gedood (Schepers, 2001).

De schimmel *Fusarium* is een grondgebonden schimmel en komt niet in het loof voor. Deze schimmel vormt dus geen probleem.

Roodrot wordt veroorzaakt door een phytophthora-soort die niet overwintert in het loof en is dus geen probleem bij co-vergisting (Schepers, 2001).

Bruinrot wordt veroorzaakt door een bacterie die bijna alleen in de knol voor komt. Voor co-vergisting met aardappelblad vormt bruinrot dus geen extra risico (Schepers, 2001).

### **Suikerbieten**

De bij de teelt van Suikerbieten belangrijkste ziekten zijn: *Cercospora*, *Ramularia*, Roest en Meeldauw (Heijbroek, 2001).

*Cercospora* is een schimmel die afkomstig is uit Mediterrane streken en bladvlekkenziekte bij bieten veroorzaakt. De aantasting door *cercospora* heeft zich in de afgelopen twintig jaar vanuit Limburg over het gehele land verspreid. Zij is de belangrijkste ziekte bij de teelt van suikerbieten. Een vroege aantasting kan leiden tot een wortelopbrengstverlies tot 30% en een suikergehalteverlies tot 25%. Het infectieverloop van *cercospora* is voor een groot deel afhankelijk van de weersgesteldheid.

De schimmel vormt rustsporen die in de grond overleven. Doordat tijdens de oogst van suikerbieten het blad in de grond wordt gewerkt kunnen niet allen rustsporen overleven, maar kan de schimmel ook op het in de grond aanwezige bietenblad overleven. Hierdoor wordt een extra infectiedruk gecreëerd. Rustsporen kiemen in het voorjaar. Zij kunnen dan een nieuw bietengewas aantasten. De overlevingsstrategie van *cercospora* in de bodem, evenals de oorsprong van de eerste infectie, is nog niet duidelijk. Het is dan ook onduidelijk of dit alleen kan als het vervolggewas ook bieten is, of dat de gekiemde rustsporen een (grote) afstand kan overbruggen.

Ervan uitgaande dat door co-vergisting altijd een deel van de pathogenen wordt vernietigd, zal ook *Cercospora* deels worden vernietigd. Hierdoor wordt de infectiedruk ten opzichte van de huidige situatie verlaagd.

*Ramularia* is ook een schimmel die een ander type bladvlekkenziekte bij suikerbieten veroorzaakt. Deze schimmel is eens in de 5 tot 10 jaar van belang. Alleen bij een lage temperatuur en een hoge luchtvochtigheid kan deze schimmel zich goed verspreiden. Deze schimmel kent onkruidwaardplanten waarop zij kan overwinteren. Deze schimmel is dus niet erg van belang.

Roest is bij suikerbieten een afrijpingsziekte en komt alleen aan het eind van het seizoen voor. Ook roesten overwinteren op een andere waardplant. Daarom is zij niet erg van belang.

Meeldauw komt bij suikerbieten afhankelijk van de omstandigheden ook aan het eind van het seizoen voor, maar is niet erg van belang.

### **Bermgras**

Bermgras bestaat uit een mengsel van diverse grassoorten en andere plantensoorten. De belangrijkste ziekten bij de grassen zijn roesten en bladvlekkenziekten (*Drechslera sp.*) (van Loo, 2001).

Roest is bij bermgras het meest voorkomende probleem. Vooral in de maand augustus kunnen roesten op grassen voorkomen. Ze vormen oranje sporen. Grassen met roest wordt door het vee slecht opgenomen. In de teelt van grassen wordt dan ook veredeld op resistentie/tolerantie voor roesten.

Roesten vormen zwarte sporen die als wintersporen overblijven.

Voor co-vergisting van bermgras en aanwending in de akkerbouw zullen roesten geen probleem vormen. Er komen geen roesten voor die zowel bermgras als een akkerbouwgewas als waardplant hebben. Bovendien zit roest overal en kan via de wind makkelijk verspreid worden.

*Drechslera sp.* zijn de veroorzakers van verschillende bladvlekkenziekten bij grassen. Vooral in het gazon kunnen bladvlekkenziekten vervelende gevolgen hebben. Bij de veredeling van grassen voor het gazon wordt dan ook op resistentie/tolerantie voor bladvlekkenziekten beoordeeld. Voor voedergrassen is dit niet het geval.

Voor co-vergisting lijken bladvlekkenziekten dan ook geen probleem.

*Fusarium* (slijtersziekte) komt voor in tarwe. Er kan niet uitgesloten worden dat er *Fusarium*-typen zijn die zowel gras als tarwe als waardplant hebben. Plant Research International kan hier tegen betaling mogelijk wel uitsluitel over geven.

#### **4.1.4 CONCLUSIE EN AANBEVELING**

Vergisting van alleen mest zal in vergelijking tot de huidige situatie leiden tot een afname van de hoeveelheid aanwezige ziekten.

Wat betreft het co-vergistingsproces zullen met name oösporen van de schimmel *Phytophthora* door hun lange levensduur goed gedood moeten worden. Omdat vergiste mest ook op gronden wordt aangewend waar bijvoorbeeld 3 jaar later aardappels komen te staan vormt zij anders een extra infectiebron bij de akkerbouwers. Mogelijk geldt dit ook voor *Fusarium* bij grassen. Om hierop antwoord te krijgen is extra onderzoek nodig om na te gaan of er een fusariumsoort bestaat die zowel tarwe als grassen als waardplant heeft.

In een enquête onder akkerbouwers naar de kwaliteit en de samenstelling van mest stelden akkerbouwers de eis dat er geen ziektekiemen in de mest aanwezig mogen zijn (van Well, 2001). Dit betekent dat door co-vergisting alle ziektekiemen gedood moeten worden.

Hiervoor zal dus een korte periode van sanitatie van de mest nodig zijn. De duur van deze sanitatie is 1 uur bij minimaal 70 °C. Er zijn alternatieven mogelijk (Tabel 4).

Door het co-vergisten van loof van zowel aardappelen, suikerbiet als bermgras kunnen ook gronddeeltjes worden meegenomen. Hierin kunnen schadelijke aaltjes zitten. Echter, door de sanitatie zullen deze, evenals *Phytophthora* en *Fusarium*,gedood worden.

## **4.2 ONKRUIDEN**

### **4.2.1 LITERATUURONDERZOEK**

Er is weinig literatuur beschikbaar over de doding en overleving van zaden bij:

- Mesofiele en thermofiele vergisting.

Omdat er zo weinig literatuur beschikbaar was is ook gekeken naar literatuur over:

- Doding van onkruidzaden bij hoge temperaturen en
- Doding van onkruidzaden bij composteren.

#### **Mesofiele en thermofiele vergisting**

Engeli et al. (1993) rapporteert een complete vernietiging van zaden van *Rumex obtusifolius* (ridderzuring) en *Solanum lycopersicum* (tomaat) na 7 en 14 dagen thermofiele vergisting (55°C). Na 14 dagen mesofiele vergisting (35 °C) worden de zaden van *Rumex obtusifolius* ook volledig gedood. Vanwege een mogelijke fout in het experiment is het niet duidelijk of tomatenzaad na 14 dagen vergisting bij 35 °C ook gedood wordt.. Bij de behandelingen waarbij geen fout was opgetreden is tomatenzaad bij deze omstandigheden wel gedood. Tomatenzaad staat bekend als sterk resistent tegen fysisch-chemische behandeling (temperatuur, pH, etc.).

Doding van zaden bij vergisting gebeurt door hydrolytische enzymen die cellulose materiaal afbreken en in hoge concentraties aanwezig zijn. Deze enzymen zijn in staat onder zure omstandigheden de onkruidzaden te vernietigen.

#### **Doding van onkruidzaden bij hoge temperaturen**

Scheepens (2001) heeft onderzoek gedaan naar de doding van geweekt onkruidzaad bij verhitting in een oven bij 75 °C. Voor bijna alle soorten onkruidzaad was dit voldoende om gedood te worden. Zaad van fluweelblad bleek bij deze temperatuur niet volledig gedood te worden.

Lotz (2001) geeft aan dat een aantal kleinzadigen met een hoog oliegehalte persistenter zijn dan tomatenzaad en dat een goede sanitatie waarbij al het aanwezige materiaal tot 70 °C wordt verwarmd van wezenlijk belang is.

#### **Doding van onkruidzaden bij composteren**

Omdat er zo weinig bekend is over de doding van zaden is het zinvol om ook de resultaten van de belangrijkste onderzoeken van het doden van onkruidzaden bij het aërobe composteren te vermelden.

Uit diverse onderzoeken komt naar voren dat wanneer bij de compostering een temperatuur van 60 °C bereikt wordt de aanwezige onkruidzaden hun kiemkracht hebben verloren (Lavake en Wiese, 1977) (Griifis en Mote, 1978) (Silbert, 1983).

Bij compostering van 70 °C worden binnen 1 week alle zaden gedood (Eghball, 2000). In ditzelfde onderzoek verloren vrijwel alle onkruidzaden hun kiemkracht, als ze 3 maanden in stalmeest bij een temperatuur van maximaal 45 °C verbleven.

### **4.2.2 SITUATIE IN DENEMARKEN**

In het Deense onderzoeksprogramma die hebben geresulteerd mededeling no. 823 (1996) over het gebruik van afval en riool-bezinksel in de landbouw (Deense Ministerie voor Energie en Milieubescherming) is ook tomatenzaad meegenomen. Tomatenzaad staat bekend als een zeer persistent zaad. Bij 1 uur en minimaal 70 °C werd ook het aanwezige tomatenzaad gedood (Bendixen, 1999; Postma, 2001; Kuikman, 2000).

### **4.2.3 VERSPREIDING ONKRUIDZADEN BIJ CO-VERGISTING MET AARDAPPELLOOF, BIETENLOOF OF BERMGRAS**

Bij co-vergisting van aardappellood en bietenlood zullen zaden van de aanwezige akkeronkruiden zoals melganzevoet, roodbeent en varkensgras meevergisten. Door het open gewas van suikerbieten zullen er dit bij deze teelt meer zijn dan bij de aardappelteelt.

Door de percelen van de akkerbouwers (die het loof hebben geleverd) met de vergiste mest te bemesten zal de onkruiddruk niet toenemen. Immers, normaal gesproken zou het aardappellood en/of



bietenloof met de aanwezige onkruiden door de huidige oogstmethode toch al op het land blijven. Echter, een schoon werkende akkerbouwer zal het gezamenlijk vergiste mest, waarin ook onkruid van zijn mogelijk minder schoon werkende collega akkerbouwer zit, niet accepteren.

Bermgras bevat de meeste en veel verschillende onkruidzaden. Zaden die het vergistingproces overleven zullen bij de akkerbouwers waar de mest naar toe gaat op het land terecht komen. Hierdoor zal de onkruiddruk (aanzienlijk) toenemen.

#### **4.2.4 CONCLUSIE EN AANBEVELING**

Om onkruidzaden afdoende te doden zal een korte periode van sanitatie van de mest nodig zijn. Uit literatuuronderzoek blijkt dat sanitatie van 1 uur bij minimaal 70°C voldoende is om (bijna) alle onkruidzaden te doden. Er zijn alternatieven mogelijk (Tabel 4). Het is niet geheel uitgesloten dat enkele zaden met een hoog oliegehalte (gedeeltelijk) zullen overleven. Hiervoor is extra onderzoek nodig.

### **4.3 BEMESTINGSWAARDE VERGISTE MEST**

#### **4.3.1 ALGEMEEN**

Mest bestaat voor een gedeelte uit minerale (vrijwel direct opneembare) nutriënten en organisch gebonden nutriënten. Deze laatste komen vrij door omzetting van de organische stof. Deze organische stof is gedeeltelijk makkelijk (in het eerste jaar na toediening) en gedeeltelijk moeilijk (na enkele jaren) afbreekbaar. Afbraak van organische stof wordt bevorderd door een stijgende temperatuur. Uiteindelijk is de organische stof volledig omgezet en blijft er stabiele organische stof over. Stabiele organische stof met daarin complexe organische verbindingen zoals lignine geldt als de belangrijkste bodemverbeteraar.

Met vergisting wordt de makkelijk afbreekbare organische stof (zoals vetzuren) in de mest afgebroken. Hierdoor worden eenvoudige verbindingen zoals methaan (CH<sub>4</sub>) en kooldioxide (CO<sub>2</sub>) gevormd. Door deze afbraakprocessen komen de nutriënten die aan deze stoffen gekoppeld zijn (N, P en K) vrij. Dit betekent dat de aanwezige nutriënten in de mest beter beschikbaar komen voor opname door de plant (Anonymus, 2000).

#### **4.3.2 LITERATUURONDERZOEK**

In het literatuuronderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen literatuur over:

- Stikstof en ammoniak;
- Fosfaat;
- Organisch stof en de
- Opbrengst bij het gebruik van vergiste mest.

#### **Stikstof en ammoniak**

Henkens (1983) geeft aan dat door vergisting de hoeveelheid minerale stikstof (N<sub>min</sub>) in de mest toeneemt. Dit is te zien in Tabel 5.

Tabel 5: De totale hoeveelheid stikstof ( $N_{\text{totaal}}$ ), de hoeveelheid minerale stikstof ( $N_{\text{mineraal}}$ ), de stikstof uit makkelijk afbreekbare organische stof (breekt in het eerste jaar na toediening af) ( $N_{\text{makkelijk}}$ ) en de stikstof uit moeilijk afbreekbare organische stof (breekt pas na meerdere jaren af) ( $N_{\text{moeilijk}}$ ) in vergiste en onvergiste mest (kg per ton mest).

	$N_{\text{totaal}}$	$N_{\text{mineraal}}$	$N_{\text{makkelijk}}$	$N_{\text{moeilijk}}$
Onbehandelde mest	5	2,5	1,25	1,25
Vergiste mest	5	3,125	0,625	1,25

Deze auteur vond ook dat er bij vergiste mest meer ammoniakemissie kan optreden.

Van Nes et al. (1990) vonden een toename van het  $N_{\text{mineraal}}$ -gehalte bij rundermest met gemiddeld 0,3 gram per kilogram en bij varkensmest met 0,7 gram per kilogram. De relatieve stijging is in beide gevallen 15%. De pH stijgt met 0,2 tot 0,7 eenheden bij rundermest en 0,8 tot 1,0 eenheden bij varkensmest. Dubbelboer en Schelhaas (1990) en Holm Nielsen et al. (1993) vonden soortgelijke resultaten.

Gijsman en Hamwijk (1986) vonden in potproeven dat bij vergiste mest de  $N_{\text{makkelijk}}$  en  $N_{\text{moeilijk}}$  hoger was dan bij onbehandelde mest. In veldproeven kwamen minder duidelijke verschillen naar voren. Dit werd mogelijk veroorzaakt door de  $\text{NH}_3$ -verliezen die optreden bij het bovengronds toedienen van mest. De stikstofopname van gras, dat met vergiste mest is bemest, was gelijk aan die bij bemesting met niet-vergiste mest.

Knudsen en Birkmose (1996) beschrijven enkele proeven in Denemarken. Hieruit bleek dat de stikstofwerking van vergiste mest niet beter was. De oorzaak was dat mest niet of niet snel genoeg werd ingewerkt, zodat een groot deel van de extra stikstof al emitterde als  $\text{NH}_3$ .

Voor de Nederlandse situatie zijn kwantitatieve gegevens omtrent de betere betrouwbaarheid en daardoor betere werking van vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest (nog) niet bekend. Daarom is een inschatting onder begeleiding van een expert judgement gedaan. Aarts (2001) geeft aan dat een toename van de N-werking van 10% aannemelijk is voor vergiste mest ten opzichte van onvergiste mest.

De betere N-werking kan kunstmest uitsparen. Kunstmest wordt nu gebruikt ter aanvulling van onvergiste mest om snel beschikbare nutriënten aan de bodem toe te voegen en zodoende het aanbod van mineralen af te stemmen op de vraag van het gewas.

### Fosfaat

De fosfaatwerking van rundermest is diverse keren onderzocht maar de resultaten zijn niet eenduidig. Sommigen vinden een hogere fosfaatwerking, anderen vinden geen verschil. Henkens (1993) stelt dat door vergisting de oplosbaarheid en daardoor de werking van fosfaat kan toenemen.

Anonymus (2000) meldt dat naast de verbeterde beschikbaarheid van stikstof ook de beschikbaarheid van fosfor toeneemt. De opname van fosfor uit runderdrijfmest neemt toe met 20 tot 40% (60% per groeiseizoen bij onvergiste mest tot 80-100% bij vergiste mest).

### Organische stof

Met mestvergisting wordt alleen de gemakkelijk afbreekbare organische stof zoals vetzuren en slijmstoffen afgebroken. De complexe organische verbindingen zoals lignine, blijven in de mest aanwezig (Anonymus, 2000). Het zijn juist deze laatste stoffen die de bodemverbeterende

eigenschappen herbergen. Daardoor behoudt vergiste mest de bodemverbeterende eigenschappen van verse mest.

Vanwege het behoud van bestendige organische stof tijdens vergisting en de toevoeging van organische reststromen zijn vergiste meststoffen in principe geschikt voor instandhouding en verbetering van de bodemstructuur en de bodemvruchtbaarheid (Holm-Nielsen et al., 1997). Deze invloed is mede afhankelijk van de samenstelling en hoeveelheid vezels van de organische reststromen die worden toegevoegd. Zo mag bij co-vergisting van mest en bermgras een relatief hoog gehalte aan bestendige organische stof in de vergiste biomassa worden verwacht (Kuikman, 2000).

### **Opbrengst**

Kunz (1995) stelt dat vergiste mest dunner is en beter vloeibaar (de slijmstoffen zijn afgebroken). De droge stofopbrengst op blijvend grasland was over meerdere jaren onderzoek bij toepassing van vergiste mest in vergelijking tot toepassing van onvergist mest gemiddeld 3% hoger.

Van Geneijgen en Hakvoort (1985) vonden in de eerste snede na toediening een positief effect van vergiste mest op de opbrengst. Dit werd in de latere sneden tenietgedaan door iets lagere opbrengsten. Per saldo was de jaaropbrengst gelijk. Een mogelijke verklaring hiervoor is, de naar verwachting hogere NH<sub>3</sub> emissie van vergiste mest.

### **4.3.3 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN**

Uit de literatuur blijkt dat de stikstofwerking van vergiste mest over het algemeen iets hoger is dan van niet-vergist mest. Op basis van de samenstelling is een betere en betrouwbaarder benutting te verwachten. Dit komt omdat door het gebruik van vergiste mest het mogelijk is het aanbod van nutriënten beter af te stemmen op de behoefte van het gewas.

Omdat in vergiste mest meer direct opneembare stikstof aanwezig kan door gebruik van deze mest kunstmest worden uitgespaard. In de buitenlandse praktijk wordt een hogere gewasproductie vaak niet geconstateerd door de hogere ammoniakverliezen bij de bovengrondse toediening van vergiste mest. Er is geen enkel onderzoek voorhanden dat met emissiearme mesttoedieningstechnieken is uitgevoerd, zoals die in Nederland verplicht zijn. Er zijn wel inschattingen gemaakt over een betere opneembaarheid van de stikstof uit vergiste mest voor de Nederlandse situatie. Deze is geschat op 10%. Er zullen praktijkproeven met vergiste mest moeten komen om het extra opgenomen percentage stikstof uit vergiste mest te bepalen.

Door vergisting van mest neemt de beschikbaarheid van fosfaat toe met 0 tot 40%. Ook hiervoor zijn praktijkproeven zinvol om het extra opgenomen percentage fosfaat uit vergiste mest te bepalen.

Vanwege het behoud van bestendige organische stof in vergiste mest is zij geschikt voor instandhouding en verbetering van de bodemstructuur en de bodemvruchtbaarheid. Wanneer meer organische stof aan het vergiste mengsel wordt toegediend neemt de verbeterende werking op de bodemstructuur en de bodemvruchtbaarheid toe.

## 4.4 GEUREMISSIE

### 4.4.1 LITERATUURONDERZOEK

Mestvergisting heeft stankreductie tot gevolg. Dit komt omdat de vluchtige vetzuren (stankcomponenten) worden afgebroken. Van Velsen (1981) toonde bij varkensmest aan dat de gehalten van stankveroorzakende stoffen door vergisten sterk afnemen (Tabel 6).

Tabel 6: gehalten aan stankveroorzakende stoffen bij verse varkensmest en na 20 dagen vergisten bij 30 °C in mg/l.

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

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

### 4.4.2 CONCLUSIE

Door vergisting van mest neemt de stank van mest sterk af omdat de gehalten van stankveroorzakende stoffen door vergisten sterk afnemen.

## 5 AANWENDING VAN VERGISTE MEST EN CO-FERMENTATEN OP HET LAND: IMPACT OP MINAS

---

*In dit hoofdstuk wordt besproken wat de gevolgen zijn van vergisting van mest en co-fermentaten op het bemestingspatroon en de MINAS boekhouding.*

### 5.1 NUTRIËNTENSTROMEN EN VOLUME

De benodigde mest voor de vergistingsinstallatie bij de Oude Zeug is van elders afkomstig. Door het toevoegen van co-fermentaten stijgt de totale hoeveelheid nutriënten en het volume van het vergiste mengsel. Deze toename is gelijk aan de hoeveelheid nutriënten en het volume van het toegevoegde product. Er zal dus extra opslagruimte voor de vergiste mest nodig zijn. De benodigde extra ruimte is afhankelijk van de momenten waarop de vergiste mest naar de akkerbouwers wordt getransporteerd (bemestingspatroon).

### 5.2 DE MINAS BOEKHOUDING

#### 5.2.1 AFVOER BIJ AKKERBOUWBEDRIJVEN

Voor de afvoer van aardappelen, suikerbieten en snijmaïs op akkerbouwbedrijven gelden volgens MINAS vaste afvoerposten voor fosfaat en stikstof. Door de extra afvoer van aardappelloof en/of bietenloof mogen de afvoerposten niet verhoogd worden (MINAS tabellenbrochure 2001 en Mestloket 2001, persoonlijke med.).

De afvoerposten (kg/ha) voor fosfaat en stikstof bij aardappelen, suikerbieten zijn volgens MINAS (MINAS tabellenbrochure 2001) weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: afvoerposten (kg/ha) voor fosfaat en stikstof bij aardappelen en suikerbieten volgens MINAS

Afvoer (kg/ha)	Fosfaat (P)	Stikstof (N)
Aardappelen	65	165
Suikerbieten	65	165

Voor ingekuuld snijmaïs wordt gerekend per ton afgevoerd product en gelden volgens MINAS de afvoerposten (MINAS tabellenbrochure 2001) zoals weergegeven in Tabel 8

Tabel 8: afvoerposten (kg/ton) voor snijmaïs volgens MINAS

Afvoer (kg/ton product)	Fosfaat (P)	Stikstof (N)
Snijmaïs (kuil)	1,4	4,3

### 5.2.2 AANVOER EN AFVOER BIJ CAV “DE WIERINGERMEER”

Elke vracht van extern aangevoerde mest bij CAV “De Wieringermeer” moet volgens MINAS verplicht bemonsterd worden. Hierbij wordt het gewicht én het fosfaatgehalte bepaald. Omdat CAV ‘De Wieringermeer’ geen erkenning heeft als monsternemer gebeurt dit door een erkende of onafhankelijke monsternemer (Bureau Heffingen, 2001 b).

Op CAV “De Wieringermeer” wordt de mest niet rechtstreeks aan de afnemers geleverd, maar vindt opslag en, in het geval van co-vergisting, vermenging, plaats. Daarom zal zowel de aangevoerde mest als het afgevoerde product bemonsterd moeten worden (Bureau Heffingen, 2001 b)

Zoals al gezegd neemt door de toevoeging van aardappelloof, bietenloof of bermgras de hoeveelheid nutriënten in het vergiste mengsel toe. Aardappelloof, bietenloof en bermgras vallen niet onder de meststoffenwet. Het is dan ook onduidelijk of loof en bermgras voor intermediairs als aanvoerpost wordt gezien. Bij aanwending van deze vergiste mest op de akkerbouwbedrijven zal deze vergiste mest opnieuw bemonsterd moeten worden. Maar omdat aardappelloof, bietenloof en bermgras vallen niet onder de meststoffenwet is het ook hier onduidelijk of loof en bermgras voor intermediairs als afvoerpost wordt gezien (Bureau Heffingen, 2001 b).

Waarschijnlijk wordt het loof en bermgas niet als aanvoerpost en wel als afvoerpost gezien, Dit is natuurlijk erg vreemd. Echter, dit kan veranderen indien co-vergisting een milieuhygenische goede optie zal blijken te zijn.

### 5.2.3 AANVOER BIJ AKKERBOUWBEDRIJVEN

De door de akkerbouwers aangewende mest bestaat voor meer dan 50% van het werkelijk gewicht uit dierlijke mest. Daarom valt dit wel onder de meststoffenwet. Voor de akkerbouwers die de vergiste mest aanwenden op het eigen bedrijf betekent dit dat het loof/bermgrass wel als aanvoerpost binnen MINAS wordt gezien (Bureau Heffingen, 2001 b)

Voor de extra toegevoegde mineralen (per ton aangevoerd product) kan Tabel 9 als uitgangspunt genomen worden (Bureau Heffingen, 2001 a).

Tabel 9: extra toegevoegde mineralen per ton aangevoerd product

Aanvoer (kg/ton product)	Fosfaat (P)	Stikstof (N)
Bietenblad (incl. Koppen)	0,9	3,8
Snijmaïs (kuil)	1,4	4,3
Aardappelloof	onbekend	onbekend

### 5.2.4 CONCLUSIE EN AANBEVELING

Samenvattend kan gezegd worden dat MINAS geen extra afvoerpost bij de akkerbouwers voor aardappelloof, bietenloof en bermgrass kent, maar dat door co-vergisting deze, evenals bermgrass wel als aanvoerpost op de akkerbouwbedrijven moet worden meegenomen. Dit is natuurlijk erg vreemd. Echter, dit kan veranderen indien co-vergisting een milieuhygenische goede optie zal blijken te zijn.

Onder de huidige regelgeving zal er mest uit de vergistinginstallatie over blijven waarvoor nieuwe afzet gevonden moet worden. Indien er binnen MINAS bij de aangesloten akkerbouwers nog ruimte is kan deze extra mest op de eigen bedrijven aangewend worden.

Deze mest bevat een extra hoeveelheid nutriënten die gelijk is aan de hoeveelheid nutriënten die in de totale hoeveelheid toegevoegde aardappelloof, bietenloof of bermgras zit. Aangezien de af- en aanvoer van oogstresten een gesloten circuit vormen is er netto geen aanvoer van nutriënten. Het is zelfs zo dat de vergiste oogstresten beter opneembare nutriënten bevat. Het lijkt onwaarschijnlijk dat binnen de huidige regelgeving, die niet voorziet in deze toepassing van oogstresten, geen ontheffing of aanpassing mogelijk is. Bij de economische berekeningen is er daarom vanuit gegaan dat de gesloten cirkel van aan- en afvoer van nutriënten uit oogstresten geen netto effect op de MINAS hebben. Voor snijmaïs kent MINAS wel een afvoerpost. Door het vergisten wordt een hoeveelheid stikstof verwerkt. Hiervoor moet door CAV “De Wieringermeer” een erkenning aangevraagd worden.

### **5.3 GEBRUIK VAN VERGISTE MEST**

Uit de literatuur is bekend dat door vergisting de hoeveelheid minerale stikstof ( $N_{\min}$ ) in de mest toeneemt met 10 tot 15% toe (Van Nes et al. (1990), Dubbelboer en Schelhaas (1990), Holm Nielsen et al. (1993), Anonymus, 2000)). Vergiste mest zal in de grond ingewerkt moeten worden zodat er minder ammoniak verliezen optreden (Henkens (1983), Gijsman en Hamwijk (1986), Knudsen en Birkmose (1996), Birkmose (1997), Van Geneijgen en Hakvoort (1985)).

Hieronder wordt dit gegeven voor de teelt van suikerbieten en aardappelen uitgewerkt.

#### **5.3.1 DE TEELT VAN SUIKERBIETEN**

Bij de teelt van suikerbieten wordt in het najaar 20 ton varkensdrijfmest per hectare aangewend. Varkensdrijfmest bevat gemiddeld 2,0 kg fosfaat en 3,5 kg stikstof per ton mest (Bureau Heffingen, 2001 a). In het voorjaar wordt 500 kg kunstmest per hectare in een NPK- verhouding van 17-17-17 gegeven (Quist, 2001)

Door de aanwending van het co-vergiste product in het najaar zal meer stikstof uitspoelen ten opzichte van onvergiste mest wat zeer ongunstig is. Daarom lijkt het gebruik van co-vergiste mest bij de teelt van suikerbieten ongunstig.

#### **5.3.2 DE TEELT VAN AARDAPPELEN**

Bij de teelt van aardappelen wordt in het voorjaar 20 ton varkensdrijfmest per hectare aangewend. De bij CAV “de Wieringermeer” gebruikte varkensdrijfmest bevat gemiddeld 4,2 kg fosfaat en 7,2 kg stikstof per ton mest. Bovendien wordt in het voorjaar 200 kg kunstmest per hectare in een NPK- verhouding van 26-14-0 gegeven (Quist, 2001)

#### **Aanwenden van vergiste mest**

Voor de berekening van de hoeveelheid nutriënten in, het volume en de aanwending van vergiste mest wordt verwezen naar Bijlage 3. De totale hoeveelheid gegeven stikstof wordt bij aanwending van vergiste mest 182 kg. De verliesnorm volgens MINAS is voor 2002: 150 kg/ha voor kleigrond. Aanvoer – afvoer van stikstof is:  $182 - 165 = 17$  kg/ha. Ook de nieuwe situatie blijft dus ruim onder de MINAS-norm voor stikstof.

Fosfaat uit drijfmest is in de nieuwe situatie gelijk aan de oude situatie: 84 kg/ha. De verliesnorm volgens MINAS is voor 2002: 30 kg/ha. Aanvoer – afvoer van fosfaat is  $84 - 65 = 19$  kg/ha. Ook de

nieuwe situatie blijft dus onder de MINAS-norm voor fosfaat. Fosfaat uit kunstmest hoeft niet meegenomen te worden voor MINAS.

#### **Aanwenden van met bermgras co-vergiste mest**

Voor de berekening van de hoeveelheid nutriënten, het volume en de aanwending van co-vergiste mest wordt verwezen naar Bijlage 4. Er is nog geen onderzoek gedaan naar welk deel van Ntotaal uit bermgras uit direct opneembare stikstof (Nmineraal), makkelijk en moeilijk opneembare stikstof bestaat. Daarom is ook voor bermgras een aanname gedaan dat door co-vergisting bij bermgras 10% van Ntotaal extra wordt gemineraliseerd tot direct opneembare stikstof. Fosfaat uit drijfmest daalt in de nieuwe situatie tot 70 kg/ha. De afvoer volgens MINAS is 65 kg fosfaat per hectare. Het overschot is dan 5 kg/ha; onder de norm voor 2002 (30 kg/ha). Fosfaat uit kunstmest hoeft niet meegenomen te worden voor MINAS.

### **5.3.3 CONCLUSIE EN AANBEVELING**

Bij het huidige bemestingpatroon is de toepassing van co-vergiste mest in het najaar bij de teelt van suikerbieten niet zinvol/aanbevelingswaardig vanwege de extra uitspoeling in de winter. Hier moet een slag om de arm gehouden worden omdat de samenstelling van het vergiste product ten opzichte van varkensdrijfmest niet bekend is. Het gebruik van vergiste en co-vergiste mest bij de teelt van aardappelen in het voorjaar is wel goed mogelijk. Beide toepassingen blijven binnen de MINAS-normen. Echter, de eventuele besparing op kunstmestgebruik bij aanwending van co-vergiste mest is onduidelijk vanwege de onduidelijke N-samenstelling van bermgras. Hiervoor is onderzoek nodig.



## 6 ECONOMISCHE ANALYSE

---

*In dit hoofdstuk zal de economische rentabiliteit van de verschillende cases bepaald worden. Dit zal gedaan worden aan de hand van de additionele (investerings)kosten en de additionele baten. Voor de belangrijkste parameters zal een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd.*

### 6.1 ADDITIONELE INVESTERINGSKOSTEN

Indien er alleen mest vergist wordt bedragen de netto investeringskosten 280 k€ (inclusief kosten voor projectontwikkeling). Netto investeringskosten zijn de kosten na aftrek van de fiscale maatregelen EIA en VAMIL<sup>3</sup>.

In Tabel 10 staan de additionele netto investeringskosten weergegeven voor het co-vergisten van 1600 ton droge stof per jaar. Sanitatie van de co-fermentaten is hierin meegenomen. De investeringskosten in geval van bermgras of maïs zijn het laagst, omdat er door het hoge droge stofgehalte minder co-fermentaats nodig is en een kleinere vergistingsinstallatie volstaat dan in geval van co-vergisting van loof.

Tabel 10: additionele netto investeringskosten voor het co-vergisten van 1600 ton droge stof per jaar, naast de netto investeringskosten voor een mestvergister (280 k€). Netto na aftrek van EIA en VAMIL.

<i>Co-fermentaats</i>	<i>Additionele investering (k€)</i>
Bermgras	275
Suikerbietenloof	345
Aardappelloof	340
Maïs	280

Een uitgebreidere weergave van de opbouw van de investeringskosten van de verschillende cases, welke gebaseerd zijn op offertes van Ecogas BV (Nederland) en BWSC (Denemarken), staat weergegeven in Bijlage 5.

### 6.2 KOSTEN MEST EN CO-FERMENTATEN

Bij de bepaling van de kosten van de verschillende co-fermentaten moeten verschillende aspecten bekeken worden. Allereerst zijn er de kosten om co-fermentaats bij de vergister te krijgen. De verschillende acties die ondernomen moeten worden zijn: teelt (alleen bij maïs), oogst (bij maïs, suikerbieten- en aardappelloof), transport naar de vergister, opslag (inkuilen bij maïs, suikerbieten- en aardappelloof, bermgras wordt in gesealde balen aangeleverd).

---

<sup>3</sup> De Energie Investeringsaftrek (EIA) voorziet in een extra afschrijving van de investering van 55%. De VAMIL (Regeling Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen) houdt in dat de investering in de vergister in een te kiezen jaar afgeschreven mag worden. Beide regelingen zijn bij Jongert BV volledig benutbaar in het eerste jaar, wat leidt tot een rentevoordeel van 40% van de investering (voor belasting).

Vervolgens dient het co-fermentaats na het gistingsproces op het land te worden uitgereden (bij alle co-fermentaten). De CAV rekent hiervoor een tarief van 8 € per ton, ongeveer gelijk aan het bedrag dat zij betaald krijgt voor de inname van mest. De akkerbouwer betaalt dus netto niets voor het laten uitrijden van de mest op het land. Als laatste dient te worden meegenomen dat nutriënten in het co-fermentaats binnen de MINAS als aanvoerpost beschouwd worden en een verlies aan afzetcontracten voor mest betekent. Per kg gecontracteerde stikstof in mest wordt € 0.55 betaald aan de akkerbouwers, per kg daadwerkelijk uitgereden fosfaat € 0.45. De besparing op het gebruik van kunstmest (zie paragraaf 4.3) zal een kostenvoordeel voor de akkerbouwer zijn. Dit voordeel wordt daarom niet toegekend aan de vergistingsinstallatie. In Tabel 11 worden de kosten van het gebruik van de verschillende co-fermentaten weergegeven. De berekening van de kosten van maïs en van suikerbieten- en aardappelloof, geoogst en ingekuuld bij de vergister, is weergegeven in Bijlage 6.

Tabel 11: kosten voor de verschillende co-fermentaten, in € per ton ingekuuld materiaal en in € per m<sup>3</sup> biogas. LW=Loonwerk EB=Eigen beheer

	<i>Mest</i>	<i>Berm- gras</i>	<i>Suikerbietenl oof</i>		<i>Aardappelloof</i>		<i>Maïs</i>	
			LW	EB	LW	EB	LW	EB
Innametarief (€/ton)	-7.8	-10.7 <sup>1</sup>	25.9	4.2	23.5	5.6	79.5	18.5
Transport na vergisting <sup>2</sup> (€/ton)	7.8	6.2	7.4	7.4	7.4	7.4	6.2	6.2
Derving MINAS inkomsten <sup>3</sup> (€/ton)		7.6 <sup>4</sup>	0 <sup>5</sup>	0 <sup>5</sup>	0 <sup>5</sup>	0 <sup>5</sup>	0 <sup>5</sup>	0 <sup>5</sup>
<b>Totaal (€/ton)</b>	<b>0</b>	<b>3.1</b>	<b>25.9</b>	<b>11.8</b>	<b>30.9</b>	<b>13.0</b>	<b>85.7</b>	<b>24.7</b>
<b>€ per m<sup>3</sup> biogas</b>	<b>0</b>	<b>0.016</b>	<b>0.24</b>	<b>0.11</b>	<b>0.28</b>	<b>0.12</b>	<b>0.36</b>	<b>0.11</b>

<sup>1</sup> Het innametarief, bij levering van versneden bermgras in gesealde balen, zal in de praktijk kunnen variëren (zie paragraaf 6.5).

<sup>2</sup> Het tarief van de CAV is vast € 8 per ton vergist materiaal, dus geen verschil tussen LW en EB. Het vergistingsproces zorgt voor gewichtsafname doordat er massa achterblijft in de vorm van biogas. Dit varieert voor de verschillende co-fermentaten.

<sup>3</sup> Berekend met € 0.55 per kg netto aangevoerde stikstof, € 0.45 per kg fosfaat.

<sup>4</sup> Bermgras bevat per ton 12.5 kg stikstof en 1.8 kg fosfaat.

<sup>5</sup> Bij loof en maïs is uitgegaan van geen netto aanvoer van nutriënten (zie paragraaf 5.2).

### 6.3 ADDITIONELE KOSTEN VOOR ONDERHOUD

Naast de kosten voor de verschillende fermentaten en de investeringkosten zullen er kosten voor onderhoud zijn. In geval van vergisting van alleen mest worden de kosten hiervoor ingeschat op 3.5% van de investering. Indien er co-vergist wordt zullen de onderhoudskosten 3.5% van de additionele investering zijn. Er zal evenveel of iets meer onderhoud aan de vergister nodig zijn. De onderhoudskosten worden voor de additionele investering toch op 3.5% gesteld, daar er ook arbeid nodig is voor het invoeren van het co-fermentaats. Dit komt neer op extra kosten van ongeveer € 3 per ton bermgras of maïs, of € 2 per ton oogstrest. De invoerkosten voor bermgras en maïs zijn hoger daar het om kleinere fracties per keer gaat. Er zal weinig verschil zitten in de arbeidskosten voor de invoer van 10 of 20 ton per dag. De kosten voor onderhoud van de WKK zijn in een apart all-inn onderhoudscontract vastgelegd.

### 6.4 ADDITIONELE OPBRENGSTEN

De opbrengsten komen voort uit de additionele teruglevering van groene elektriciteit aan het net en uit het additionele vermeden aardgasgebruik door de warmtebenutting op de jachthaven van Jongert BV. Hierbij is uitgegaan van een maximale jaarlijkse warmtevraag van 160,000 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten.

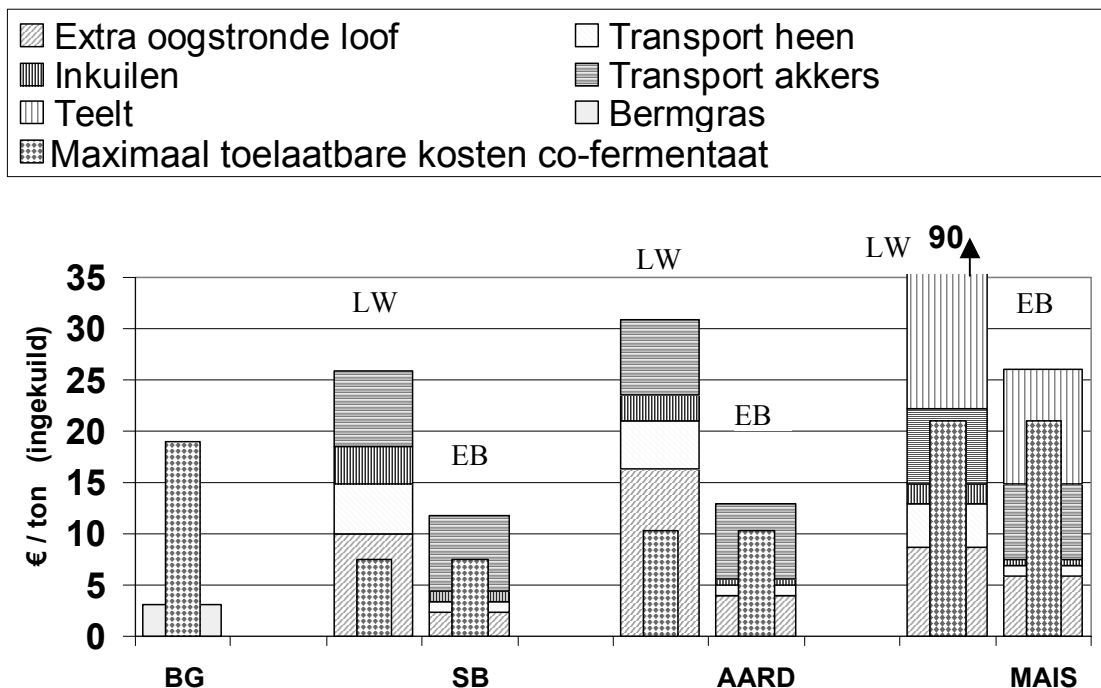
In Tabel 12 staan de voornaamste techno-economische kentallen die voor de kosten baten/analyse gebruikt zijn.

Tabel 12: voornaamste uitgangspunten economische analyse

<i>Parameter</i>	<i>Waarde</i>
Onderhoud	
- onderhoud mestvergister	3.5% van de bruto investering excl. WKK
- onderhoud additionele investering co-vergisting (incl. extra arbeid invoer co-fermentaats)	3.5% van de bruto investering excl. WKK
- onderhoud WKK (all-in contract)	€ 0.0086 (volgens offerte HABO BV)
Opbrengsten elektriciteit (teruglevering)	€ 0.073 per kWh
Opbrengsten warmte:	
- basistarief	€ 0.214 per m <sup>3</sup>
- REB aardgas 0-5000 m <sup>3</sup> /jaar	€ 0.120 per m <sup>3</sup> in deze schaal
- REB aardgas 5000-170000 m <sup>3</sup> /jaar	€ 0.056 per m <sup>3</sup> in deze schaal
Rente	5.5%
Levensduur	15 jaar
Rendement WKK (netto)	
- Elektrisch	34.0% (bruto 36.3%)
- Thermisch	28.8% (bruto 56.3%)
Bedrijfstijd WKK	7000
Deellast WKK	80%

In Figuur 3 staan de kosten van de verschillende co-fermentaten weergegeven, en de kosten die hier maximaal voor gemaakt mogen worden om kostendekkend<sup>4</sup> te zijn. Hierbij is uitgegaan van de kosten die additioneel gemaakt worden t.o.v. de situatie van vergisting van alleen mest. De maximale kosten voor het co-fermentaats worden bepaald door de additionele inkomsten door de productie van elektriciteit en warmte, minus de additionele kosten voor afschrijving (incl. rentelasten) en onderhoud van de installatie. Een gedetailleerd overzicht van de berekening van de rentabiliteit staat weergegeven in Bijlage 7.

<sup>4</sup> Kostendekkend wordt gedefinieerd als de situatie waarin de rentelasten precies gedekt kunnen worden, zonder winstmarge. Bij een levensduur van 15 jaar en een rente van 5.5% is de terugverdientijd bij kostendekkend vergisten 10 jaar.



Figuur 3: werkelijke kosten van de co-fermentaten (brede balken) en maximaal toelaatbare kosten om kostendekkend te vergisten (smalle balken). Kosten zijn additioneel t.o.v. vergisting van alleen mest beschouwd. BG = bermgras, SB= suikerbietenloof, AARD = (poot)aardappelloof, LW = loonwerk, EB = eigen beheer

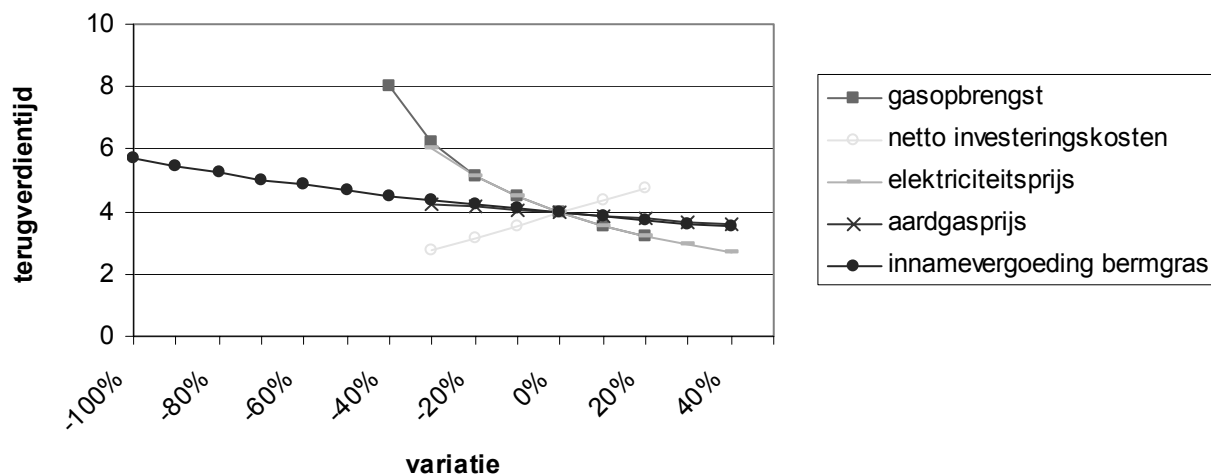
In Figuur 3 is te zien dat de kosten voor bermgras lager zijn dan de maximale kosten om kostendekkend te zijn. Dit komt voornamelijk doordat het innametarief, na aftrek van verliezen door de aanvoer van nutriënten, relatief laag is. Voor suikerbieten- en aardappelloof is dit niet het geval. De ‘best case’, de situatie waarin alles wordt uitgevoerd in eigen beheer, heeft reeds te hoge kosten. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de hoge kosten van het transport terug naar de akkers. Bij de ‘worst case’, de situatie waarin alles wordt uitgevoerd door loonwerkers, zijn de oogstkosten van het loof reeds dermate hoog dat de maximale kosten worden overschreden. De kosten voor transport heen, naar de vergister, en het inkuilen van het materiaal zijn relatief beperkt van omvang. De teelt van maïs is in beide situaties niet kostendekkend. De grootste kostenpost komt voort uit de teelt zelf (alles excl. oogst). Indien de teelt wordt uitgevoerd door loonwerkers zijn de hieraan verbonden kosten reeds hoger dan de maximaal toelaatbare kosten. Hiernaast zijn ook de kosten voor oogst en transport relatief hoog vergeleken met de maximaal toelaatbare kosten. De oogstkosten in eigen beheer zijn ook relatief hoog, vnl. omdat de maïshakselaar hoge afschrijvingskosten heeft.

In geval van vergisting van alleen mest is de terugverdientijd 5.7 jaar. Indien er bermgras co-vergist wordt is de terugverdientijd over de additionele investering 3.0 jaar. De terugverdientijd van de investering in de gehele installatie, voor het vergisten van mest en bermgras, is hierdoor 3.9 jaar. De additionele investering voor het co-vergisten van suikerbietenloof, aardappelloof of maïs verdient zich niet terug, ook niet in eigen beheer. In geval van het co-vergisten van aardappelloof in eigen beheer

wordt de terugverdientijd van de investering in de gehele installatie, voor het vergisten van mest en aardappelloof, 10 jaar. Dit betekent echter niet dat de investering in de co-vergister zich terug verdient.

## 6.5 GEVOELIGHEIDSANALYSE

Voor de belangrijkste parameters is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In Figuur 4 staan de resultaten hiervan weergegeven voor de vergistingsinstallatie van mest en bermgras (case II).



Figuur 4: effect van mogelijke variatie van belangrijke parameters op de terugverdientijd, uitgevoerd voor de vergisting van mest en bermgras

De terugverdientijd is het meest gevoelig voor de variatie in de gasopbrengst. Dit komt omdat de inkomsten (van elektriciteit en warmte) direct afhankelijk zijn van de hoeveelheid biogas die geproduceerd wordt. De gasopbrengst van mest is in de praktijk relatief goed te voorspellen. Aangezien er minder praktijkervaring is met de gasopbrengst van de co-fermentaten is de mogelijke variatie hiervan groter. De terugverdientijd is tevens gevoelig voor de elektriciteitsprijs. Bij een stijging van de terugleververgoeding tot 8.5 eurocent zou het vergisten van aardappelloof, in geval van uitvoering van alle handelingen in eigen beheer, kostendekkend zijn. In geval van uitvoering door loonwerkers is een stijging tot 16.7 eurocent nodig. Een daling van de terugleververgoeding voor duurzaam opgewekte elektriciteit lijkt onwaarschijnlijk, en kan afgedekt worden door langlopende teruglevercontracten. Variatie in de investeringskosten heeft een beperkte invloed op de terugverdientijd. Variatie in de prijs van aardgas heeft relatief weinig effect op de terugverdientijd. De innamevergoeding van bermgras is moeilijk in te schatten, daar er weinig praktijkervaring is met het versnijden en sealen hiervan. Om deze reden is de mogelijke variatie van deze parameter groter. Bij een daling van de het innamevergoeding van bermgras tot € 0 (exclusief derving MINAS inkomsten en transport na vergisting) (-100% in Figuur 4) zal de terugverdientijd van 4 naar bijna 6 jaar stijgen. De additionele investering voor het vergisten van bermgras is kostendekkend bij een te betalen innamevergoeding van bermgras van maximaal € 8.

## 7 POTENTIELE BROEIKASGAS EMISSIEREDUCTIE

Ten opzichte van de huidige situatie aan de Oude Zeug wordt er op verschillende punten broeikasgasemissie vermeden. In Bijlage 8 is de broeikasgas emissie reductie voor de verschillende ketens uitgewerkt d.m.v. een algehele ketenanalyse. In Tabel 13 staan de resultaten hiervan, de potentiële broeikasgas emissiereductie per systeem. Belangrijk hierbij is dat 1 kg lachgas een zelfde broeikaseffect heeft als 310 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten en 1 kg methaan als 21 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten.

Tabel 13: algehele ketenanalyse van de vermeden broeikasgas emissies per systeem.

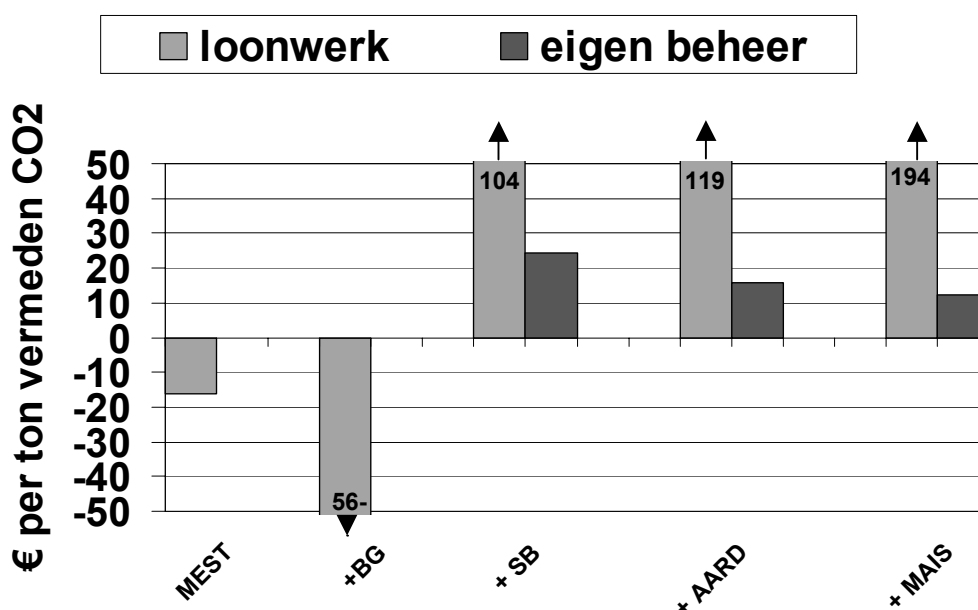
Weergegeven voor het systeem als geheel in vergelijking tot de huidige situatie.

BG = bermgras, SB= suikerbietenloof, AARD = (poot)aardappelloof

	<b>Mest</b>	<b>Mest +BG</b>	<b>Mest +SB</b>	<b>Mest + AARD</b>	<b>Mest + MAIS</b>
Elektriciteit	479	1,476	1,507	1,634	1,565
Warmte	116	282	282	282	282
Lachgas oogstresten	-	-	450	86	-
Extra transport (incl. extra oogst)	-	-29	-21	-22	-47
Methaan mestopslag	749	749	749	749	749
Vergisterbouw	-16.8	-16.8	-16.8	-16.8	-16.8
<b>Totaal</b>	<b>1,327</b>	<b>2,461</b>	<b>2,950</b>	<b>2,713</b>	<b>2,532</b>

Het vermijden van methaanemissie uit de onafgedekte silo's heeft het grootste aandeel in de totale broeikasgas emissiereductie in geval van vergisting van alleen mest. Bij co-vergisting heeft elektriciteit het grootste aandeel in de totale broeikasgas emissiereductie, omdat er relatief veel extra elektriciteit opgewekt wordt uit de co-fermentaten. De vermeden lachgasemissie uit suikerbietenloof heeft een substantieel aandeel, bij aardappelloof is dit marginaal. De additionele broeikasgas emissies voortkomend uit de vergisterbouw en oogst en transport van co-fermentaten zijn zeer beperkt.

Door deze potentiële broeikasgas emissiereductie per systeem te koppelen aan de economische analyse kunnen de kosten per ton vermeden CO<sub>2</sub>-equivalent bepaald worden. Dit is weergegeven in Figuur 5. Hierbij zijn de financiële voordelen zoals EIA en VAMIL en de hogere terugleververgoeding voor elektriciteit, als gevolg van de terugsluis (36o) en nihil tarief voor de REB (36i), reeds meegenomen in de economische analyse.



Figuur 5: kosten van de potentiële broeikasgas emissiereductie per systeem. Bij de cases met co-fermentaten is gekeken naar de additionele tonnen die vermeden kunnen worden en de additionele kosten en baten die hieruit voortkomen. BG = bermgras, SB= suikerbietenloof, AARD = (poot)aardappelloof.

Door de vergisting van alleen mest kan er een emissie 1,300 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar gereduceerd worden, dit kan ruim kostendekkend uitgevoerd worden. Door het toevoegen van bermgras kan er ruim 1,100 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar extra gereduceerd worden. Het toevoegen van suikerbieten- of aardappelloof zorgt weliswaar voor een toename in de hoeveelheid gereduceerde CO<sub>2</sub>-equivalenten van respectievelijk ruim 1,600 en 1,400 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar, maar de hieraan verbonden kosten zijn hoog. In de ‘best case’ situatie, waarbij alles in eigen beheer wordt uitgevoerd, moet er voor het co-vergisten van suikerbieten- of aardappelloof respectievelijk € 24 en € 16 per ton vermeden CO<sub>2</sub>-equivalent worden toegelegd, voor het co-vergisten van maïs € 12. In de ‘worst case’ situatie, waarbij alles door loonwerkers wordt uitgevoerd, zijn deze kosten aanzienlijk hoger, meer dan € 100 per ton vermeden CO<sub>2</sub>-equivalent. In de afgelopen tender van het CO<sub>2</sub>-reductieplan lag de gewogen gemiddelde kosteneffectiviteit op €4.6 per ton CO<sub>2</sub> (www.CO2reductie.nl). In de komende tender zal de maximale kosteneffectiviteit op € 9 liggen. Dit betekent dat een dergelijke subsidie deze ‘best case’ situaties niet economisch haalbaar zal maken.

## 8 DISCUSSIE

---

Er is enige onzekerheid wat de neveneffecten van het inzamelen van het loof zullen zijn op de bodemstructuur en de gewasopbrengst. Het blijft de vraag of in de praktijk akkerbouwers daadwerkelijk bereid zijn om een kipwagen te laten meerijden tijdens het koppen of rooien. Het combineren hiervan met de introductie van groenrooien, of het uitrusten van de kipwagens met dikke banden, kan deze bereidheid vergroten maar is geen garantie hiervoor.

De situatie waarin alle teelt- en oogstactiviteiten door de akkerbouwers zelf worden uitgevoerd zal in de praktijk niet altijd haalbaar zijn. De akkerbouwers aangesloten bij de CAV hebben in veel gevallen zelf niet de benodigde machines. Met betrekking tot de loonkosten moet er opgemerkt worden dat het tarief voor arbeid in het geval van eigen beheer relatief laag is ingeschat (nl. € 10). Dit is gedaan om een ondergrens in de kosten te kunnen aangeven. Het is echter de vraag of dit voldoende zal zijn voor de betrokken akkerbouwers om daadwerkelijk een dergelijke activiteit te gaan beginnen.

MINAS kent momenteel geen extra afvoerpost bij de akkerbouwers voor aardappel- en bietenloof, maar door co-vergisting moet dit wel als aanvoerpost (via het co-vergiste mengsel van mest en co-fermentaten) op de akkerbouwbedrijven worden meegenomen. Onder de huidige regelgeving zullen er dus extra nutriënten aangevoerd worden. Hiervoor moet nieuwe afzet gevonden worden. Aangezien de af- en aanvoer van oogstresten een gesloten circuit vormen is er netto geen aanvoer van nutriënten. Het is zelfs zo dat de vergiste oogstresten beter opneembare nutriënten bevat. Het lijkt derhalve waarschijnlijk dat binnen de huidige regelgeving, die niet voorziet in deze toepassing van oogstresten, ontheffing of aanpassing mogelijk is, wanneer deze optie op de markt geïntroduceerd zou worden. Ondanks het feit dat hier momenteel geen zekerheid over is, hebben we dit wel als uitgangspunt in de studie genomen.

Er is enige onzekerheid over de mate waarin de nutriënten in de vergiste mest en co-fermentaten beter opgenomen kunnen worden dan met de huidige vorm van bemesting. De omvang van de mogelijke kunstmestbesparing zal hiervan afhangen. De verbeterde bemestende waarde van het vergiste materiaal is beschouwd als een voordeel waarvan de financiële baten bij de akkerbouwers liggen. Deze zijn echter niet meegenomen in de berekening, die uitging van de exploitant van de vergistingsinstallatie.



## 9 CONCLUSIES

---

Deze studie heeft gekeken naar de mate waarin vergisting van mest en co-fermentaten kan bijdragen aan de reductie van broeikasgas emissies. Allereerst wordt er CO<sub>2</sub>-emissie vermeden door de duurzame productie van elektriciteit en warmte. Ten tweede wordt er door de toepassing van vergisting vaak methaanemissie vermeden uit de bestaande mestopslag. Ten derde zal het co-vergisten van oogstresten, namelijk aardappel- en suikerbietenloof dat in de huidige praktijk op het land achterblijft, de emissie van lachgas op het land verminderen. In detail is er gekeken naar de mogelijkheden om vergisting toe te passen bij de bestaande mestopslag van het CAV in de Wieringermeer. De situatie van vergisting van alleen mest is vergeleken met de situatie waarin er een co-fermentaatsysteem wordt gebruikt. Hierbij is naast aardappel- en suikerbietenloof tevens gekeken naar de mogelijkheid om bermgras te co-vergisten, en maïs dat speciaal hiervoor geteeld kan worden op braakliggend land. Voor de verschillende opties is gekeken naar de “worst case” situatie waarbij alle teelt- en oogstactiviteiten door loonwerkers worden uitgevoerd, en de “best case” situatie waarbij alles met eigen arbeid en machines wordt uitgevoerd.

Het inzamelen van aardappel- en suikerbietenloof is technisch haalbaar. Het suikerbietenloof kan na aanpassing van de rooimachine worden opgevangen in een meerrijdende kipwagen. Enige schade aan de bodemstructuur is mogelijk. Het gebruik van een kipwagen met extra brede banden kan dit nadelige effect verminderen. Bij aardappelloof is een zelfde aanpassing mogelijk en kan er ook een kipwagen meerijden, tijdens het klappen. Alleen het loof van pootaardappelen is geschikt om in te zamelen. Het loof van consumptieaardappelen is op het moment van klappen namelijk reeds grotendeels afgestorven. Om te voorkomen dat er schade aan de gewassen veroorzaakt zal worden door de kipwagen is er de mogelijkheid om te groenrooien.

Vergisting van alleen mest zal in vergelijking tot de huidige situatie leiden tot een afname van de hoeveelheid aanwezige pathogenen en onkruiden. In geval van co-vergisting van bermgras, suikerbietenloof, aardappelloof of maïs zal er een extra sanitatiestap moeten plaatsvinden om voldoende afdoding van pathogenen en onkruiden te garanderen. Deze sanitatie moet plaatsvinden door verhitting tot 70°C gedurende 1 uur. Er bestaan ook een aantal equivalenten hiervan, waarbij gedurende iets langere tijd tot een wat lagere temperatuur verhit wordt.

Het vergisten van mest (en co-fermentaten) zal leiden tot een betere beschikbaarheid van nutriënten. De minerale stikstof neemt toe, terwijl de functie als bodemverbeteraar behouden blijft. Hierdoor kan er bespaard worden op de kunstmestgift, wat zich uit in een kostenvoordeel voor de akkerbouwers. Door mest te vergisten neemt de geuremissie af.

Het vergisten van alleen mest heeft een terugverdientijd van 5.7 jaar. Indien er bermgras wordt co-vergist is de terugverdientijd van de additionele investering 3.0 jaar. De gehele installatie voor de vergisting van mest en bermgras zal zich in 3.9 jaar terugverdienen. Het inzamelen van suikerbieten- en aardappelloof is economisch niet rendabel. In de ‘best case’ situatie, waarbij alles in eigen beheer

wordt uitgevoerd, zijn de kosten te hoog om kostendekkend te kunnen vergisten. Ook het telen en oogsten van maïs is in de ‘best case’ situatie niet rendabel. De ‘worst case’ situatie, waarbij alles door loonwerkers wordt uitgevoerd, brengt aanzienlijk hogere kosten met zich mee dan de ‘best case’ situatie. In geen van de bekeken situaties kan de additionele investering worden terugverdiend.

De terugverdientijd is het meest gevoelig voor de variatie in de gasopbrengst. Dit komt omdat de inkomsten (van elektriciteit en warmte) direct afhankelijk zijn van de hoeveelheid biogas die geproduceerd wordt. De gasopbrengst van mest is in de praktijk relatief goed te voorspellen. Aangezien er minder praktijkervaring is met de gasopbrengst van de co-fermentaten is de mogelijke variatie hiervan groter. De terugverdientijd is tevens gevoelig voor de elektriciteitsprijs. Een daling van de terugleververgoeding voor duurzaam opgewekte elektriciteit lijkt onwaarschijnlijk, maar zou eventueel afgedekt kunnen worden door langlopende teruglevercontracten. Bij een stijging van de terugleververgoeding tot 8.5 eurocent zou het vergisten van aardappelloof, in geval van inzameling in eigen beheer, kostendekkend worden. Variatie in de investeringskosten heeft een beperkte invloed op de terugverdientijd. De innamevergoeding van bermgras is moeilijk in te schatten, daar er weinig praktijkervaring is met het versnijden en sealen hiervan. Om deze reden is de mogelijke variatie van deze parameter groter. Bij een daling van de het innamevergoeding van bermgras tot € 0 (exclusief derving MINAS inkomsten en transport na vergisting) zal de terugverdientijd van de investering in een vergister van mest en bermgras van 4 naar bijna 6 jaar stijgen. De additionele investering voor het vergisten van bermgras is kostendekkend bij een te betalen innamevergoeding van bermgras van maximaal € 8.

Door de vergisting van 21,400 ton mest bij de mestopslag van de CAV kan er een emissie van 1,300 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar gereduceerd worden. Door het toevoegen van bermgras kan er ruim 1,100 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar extra gereduceerd worden. Dit verbetert tevens de rentabiliteit van de vergister als geheel. Het toevoegen van suikerbieten- of aardappelloof zorgt voor een toename in de hoeveelheid gereduceerde CO<sub>2</sub>-equivalenten van respectievelijk 1,600 en 1,400 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar. In de ‘best case’ situatie moet er voor het co-vergisten van suikerbieten- of aardappelloof respectievelijk € 24 en 16 per ton vermeden CO<sub>2</sub>-equivalent worden toegelegd, voor het co-vergisten van maïs € 12. In de ‘worst case’ situatie, een situatie die in de Wieringermeer waarschijnlijker is dan de ‘best case’, zijn deze kosten meer dan € 100 per ton CO<sub>2</sub>-equivalent.

Samenvattend kan gesteld worden dat vergisting van mest bij de opslag van het CAV in de Wieringermeer economisch rendabel is. Er zal een positief effect zijn op de bemestende waarde van de mest en er zullen minder pathogenen en onkruiden in de vergiste mest aanwezig zijn. Co-vergisting van bermgras verbetert de terugverdientijd. Co-vergisting van suikerbietenloof, aardappelloof of maïs is economisch niet aantrekkelijk. Indien er co-vergist wordt zal er een positief effect zijn op de bemestende waarde van het fermentaat. Pathogenen en onkruiden zullen door middel van sanitatie afdoende worden afgedood.

De situatie bij de bestaande mestopslag van het CAV in de Wieringermeer lijkt redelijk representatief voor andere akkerbouw gebieden in Nederland. Derhalve lijkt het co-vergisten van oogstresten in Nederland op korte termijn niet haalbaar. Op de lange termijn zouden er mogelijkheden kunnen zijn indien danwel de vergoedingen voor duurzame elektriciteit zullen toenemen, danwel de waarde van gereduceerde CO<sub>2</sub> equivalenten aanzienlijk zal stijgen. Verder is het waarschijnlijk dat de nu nog

negatieve kosten voor bermgras in de nabije toekomst zullen gaan stijgen bij een toenemende vraag uit de energiesector.

## REFERENTIES

---

- Aarts, F. (2001). Plant Research International, Wageningen. Persoonlijke mededeling.
- Amstel, A.R. van, R.J. Swart, M.S. Krol, J.P. Beck, A.F. Bouwman & K.W. van der Hoek, Methane. The other greenhouse gas. Research and policy in the Netherlands. Report no: 481507001, RIVM, 1993.
- Anonymus, 1992. Kwantificering van de nevenaspecten van mestvergisting. Haskoning, Nijmegen.
- Anonymus, 2000. Met mestvergisting op weg naar een duurzame landbouw. ETC Energy, Leusden.
- Bendixen H.J., 1999. Hygienic and environmental aspects of anaerobic digestion: legislation and experiences in Europe. International Energy Agency Task-Group 24. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V., German Veterinary Medical Society, 29 to 31 March 1999.
- Bijman T., Mestvergisting op boerderijschaal: Resultaten van het demonstratieproject in Denekamp, Ecogas International BV, EWAB Projectnummer: 355599/5130, 2001.
- Birkmose, T., 1997. Utilization of slurry from Danish biogas systems. Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung, Statusseminar KTBL, Arbeitspapier 242.
- Bollen, G.J., 1993. Factors involved in inactivation of plant pathogens during composting of crop residues. In: Science and engineering of composting (H.A.J. Hoitink & H.M. Keener, eds). Renaissance Publ. Cy, Worthington, Ohio, p. 301-319.
- Broek R. van den, Sustainability of biomass electricity systems: an assessment of costs, macro-economic and environmental impacts in Nicaragua, Ireland and the Netherlands, proefschrift Universiteit van Utrecht, ISBN 90 5166 800 7, Eburon Press Delft, 2000.
- Brummeler, E. ten, Horbach, H.C.J.M., Koster, I.W., 1991. Dry anaerobic batch digestion of the organic fraction of municipal solid waste. J. Chem. Technol. Biotechnol. 50, 191-209.
- Bruns C., Gottschall R., Schüller C., Vogtmann H., Unger J., Wolf G., Zeller W., 1990. Untersuchungen zur Ueberlebensfähigkeit einiger phytopathologisch bedeutender Schaderreger in Kompostierungsanlagen bei unterschiedlichen Rottebedingungen. 47. Deutsche Pflanzenschutz-Tagung in Berlin, 1.-5. Oktober 1990. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem 226, pp. 24ff.
- Bureau Heffingen, 2001 a. MINAS tabellenbrochure. Ministerie van LNV.
- Bureau Heffingen, 2001 b. MINAS voor intermediairs en monsternemers. Ministerie van LNV.
- CBS, Statistisch Jaarboek 2000
- Dubbelboer N., Schelhaas, 1990. Vergelijkend onderzoek naar de waarde van vergiste mest en onvergiste runderdrijfmest, rapportage 8932 in 'Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afval-stoffen (NOH), Novem, Utrecht.
- Ecofys, Methodiek DE-scan, DE scan Oirschot, Utrecht, 2001
- Eghball, B., Lesoing, G.W., 2000. Viability of weed seeds following manure windrow composting. In: Compost Science & utilization, Vol 8, no I, pag. 46-53.
- Engeli, H., Edelmann, W., Fuchs, J., Kottermann, K., 1993. Survival of plant pathogens and weed during anaerobic digestion. Wat. Sci. Tech. Vol. 27, No 2, pp. 69-76.
- Geneijgen, J., van, Hakvoort, B.J., 1985. Gering effect van vergisting op bemestingswaarde van mengmest. Jaarverslag Proefstation Rundveehouderij.
- Gijsman A., Hamwijk, E., 1986. Een vergelijkend onderzoek naar de bemestende waarde en gebruiksmogelijkheden van drijfmest en gegiste mest op een rundveehouderij. Rijksuniversiteit Utrecht.
- Goedhart, expert van het IMAG op het gebied van groenrooien, persoonlijke communicatie, 2001
- Goudriaan Prof. J., WAU, persoonlijke mededeling, 2001
- Griifis, C.L., Mote, C.R., 1978. Weed and viability as effected by the composting of cotton gin trash. In: Arkansas Farm Research 27 (5): 8. Sci. Soc. 13 th. Annual meeting, Dallas, Texas., pag:167.

- Haaksma, IRS, persoonlijke mededeling, 2001
- Haigh P.M., Ensilage of sugar beet tops, *Exp. Husbandry* 35, 14-18, 1979
- Harreveld, A.P.H., van, 1981. De geuremissie tijdens en na het verspreiden van varkensmest, IMAG, Wageningen, rapport nr. 37.
- Heijbroek, 2001. Instituut voor de Rationele Suikerproductie (IRS), Roosendaal. Persoonlijke mededeling.
- Henkens, Ch. H., 1983. Bemestingswaarde van vergiste mest, lezing op informatiedag 'Biogas uit mest' NVTL, Ede 7 juni 1983.
- Hilhorst M.A., Monteny G.J., Gijssel P. de, Dooren H.J.C. van, Lent A.J.H. van, duurzame energie en vermindering methaanemissies: emissiearme mestopslag, IMAG BV en PR, Wageningen en Lelystad, 2001
- Hofman J, Grundlagen der biogaserzeugung, gemaakt voor de overheid van Niederbayern, afdeling Technischer Umweltschutz
- Holm-Nielsen, J.B., Halsberg, N., Sally Huntingford, M., 1993. Joint biogas plant, agricultural advantages-circulation of N, P and K. Danish Energy Agency, Copenhagen, Denmark.
- IRS, Bietenstatistiek 2000, 2000
- Keymer/Silcher, LBA Munchen in: Arendt F., Schmidt W. , Mathes B., Forschungsthema Abfall, Forschungszentrum Karlsruhe, PSA, Ta-Datenbank Nachrichten. Nr. 1, 9. Jg., Maart 2000
- Knudsen, L., Birknose, T., 1996. DAAC Aarhus, Denmark.
- Krebbels, expert oogsttechnieken bij DLV, persoonlijke communicatie, 2001
- Kuhn E. et al, Kofermentation. Arbeitspaper 219, Hrsg.: KTBL e.V. Darmstadt, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Munster-Hiltrup, 1995.
- Kuikman, P.J., Buiters, M., Dolfinf, J., 2000. Perspectieven van co-vergisting voor beperking van emissies van broeikasgassen uit de landbouw in Nederland. Alterra, Wageningen.
- Kunz, H., 1995. Düngung mit Biogasgülle im Futterbaubetrieb. Tagungsband: Niedersachsieschen Biogastagung , 24 und 25 November 1995, p. 22-28.
- KWIN 1997/1998, PAV, publicatie nr. 85, 1997
- Lavake, D.E., Wiese, A.F., 1977. Effect of composting on weed seed gemination. In: Proc. Southern Weed.
- Loo, R. van, 2001. Plant Research International, Wageningen. Persoonlijke mededeling.
- Lotz, B., 2001. Plant Research International, Wageningen. Persoonlijke mededeling.
- NAK, nieuwsbrief nr. 3, 2000
- Neeteson J.J., Greenwood D.J., Draycott A., A dynamic model to predict yield and optimum nitrogen fertilizer application rate for potatoes, *Proceedings* 262, The fertiliser Society, London, 31 pp., 1987
- Nes, W.J., van, F.M.P. van Diemen, A.H.H.M. Schomaker, 1990. Mestvergisting in Nederland, tien jaar kennis en praktijkervaring, Novem, Utrecht.
- Nooteboom, expert oogsttechnieken bij AMAC, persoonlijke communicatie, 2001
- Novem, Protocol Monitoring Duurzame Energie, september 1999
- Oechsner, H., 1996. Gemeinsame Vergärung van Flussigmist und Speiseabfällen. Tagung: Biogas in de Lantwirtschaft, Fachverband biogas, Kirchberg, 2-5 Jan 1996.
- Overvest J., Verliezen bij het inkuilen van suikerbietenblad, publicatie nr. 10 PR, 1978
- Postma, J., 2001. Plant Research International, Wageningen. Persoonlijke mededeling.
- Praktijkgids mest, 2001. Uitgeverij Roodbont. Zutphen.
- Quist C., medewerker CAV, persoonlijke communicatie, 2001
- Quist C., medewerker CAV, persoonlijke mededeling, 2001
- Quist, C. 2001. CAV "De Wieringermeer". Schriftelijke mededeling.
- Ree R.J. van, expert oogsttechnieken bij DLV, persoonlijke mededeling, 2001
- Richter G.M. N-dynamics and nitrate leaching under rotational and continuous set-aside – a case study at the field and catchment scale, *Agriculture Ecosystems & Environment* 68 (1998) 125-138, Elsevier
- Safley Jr., L.M. & P.W. Westerman, 1994. Low-temperature digestion of dairy and swine manure. *Bioresource Technology* 47:165 – 171

- Safley, L.M., M.E. Casada, J.W. Woodbury & K.F. Roos,. Global methane emissions from livestock and poultry manure. EPA, United States Environmental Protection Agency, Air and Radiation (ANR-445) EPA/400/1-91/048, February 1992.
- Salo M.L., Laakso E., The digestibility and nutritive value of sugar beet top silage for sows, J. of Sc. Agric. Soc. of Finland 49, 203-208
- Scheepens, P., 2001. Plant Research International, Wageningen. Persoonlijke mededeling.
- Schepers, 2001. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad. Persoonlijke mededeling.
- Schmack D., Biotechnologie von Vergarungsprozessen – Möglichkeiten der Verbesserung und Optimierung, 2000, Schmack Biogas GmbH, Burglenfeld
- Sibert, M., 1983. Einflüsse der Kompostierung auf das Keimverhalten von Unkrautsamen. Examenarbeit, Ökologische Umweltsicherung der Gh Kassel.
- Smits B. en Haaksma J., De verteerbaarheid en voederwaarde van ingekuild bietenblad voor varkens, rapport IVVO 135, oktober 1980
- Termorshuizen, A.J., Volker, D., Blok, W.J., Brummeler, E. ten, Hartog, B.J., Janse, J.D., Knol, W., Weneker, M., 2001. Survival of human plant pathogens during anaerobic mesophilic digestion of vegetable, fruit, and garden waste.
- Tijmensen M., Broek R. van den, Wasser R., Kool A., Hilhorst M., Mol R. de, Mestverginging op boerderijschaal in bestaande opslagsystemen, Ecofys i.o.v. Novem, Utrecht, 2002
- Titulaer H., expert oogsttechnieken bij PPO-AGV, persoonlijke communicatie, 2001
- Turner, J., Stafford, D.A., Hughes, D.E., Clarkson, J., 1983. The reduction of three plant pathogens (Fusarium, Corrynebacterium and Globodera) in anaerobic digesters. *Agricult. Wastes* 6, 1-11.
- Velsen, F.M., van, 1981. Anaerobic digestion of piggery waste. Proefschrift, Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Velthof G.L., Kuikman P.J., Beperking van lachgasemissie uit gewasresten – een systeemanalyse, Alterra rapport 114.3, Novem, Utrecht, 2000
- Vogtmann, H., Fricke, K., Kehres, B., Turk T., 1989. Bioabfall-Kompostierung: Kompostierung biogener Abfallstoffe aus der getrennten Sammlung organischer Haushalts- und Gartenabfälle im modell Witzhausen, der Hessische Minister für Umwelt und Reaktorsicherheit, D-6200 Wiesbaden (Ed).
- Well, E.A.P. van., Rougoor, C.W., Schans, F.C. van der, Kool, A., Nolet R.P.H.E, 2001. Op weg met mest, mestafzetcontracten in de praktijk. Centrum voor Landbouw en Milieu Utrecht.
- [www.CO2reductie.nl](http://www.CO2reductie.nl)
- [www.robklimaat.nl](http://www.robklimaat.nl)
- Zonneveld van, WKM Munnikezuil (verkoop van suikerbietenrooiers), persoonlijke communicatie, 2001

## BIJLAGE 1: TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE VERGISTER

---

De beoogde vergistingsinstallatie bij de Oude Zeug omvat verschillende componenten, welke hieronder besproken worden.

- Vergister, bestaande uit maximaal twee betonnen of metalen (geëmailleerde) silo zoals die veelal voor de opslag van mest wordt gebruikt. De silo is voorzien van een kunststof silodak, van het type zoals op dit moment reeds bij één van de bestaande silo's van de Oude Zeug wordt aangetroffen. Deze vergister verschilt in de volgende punten van een normale mestsilosilo:
  - Isolatie  
Om het warmteverlies te beperken wordt de silo geïsoleerd. De wand wordt meestal met PUR geïsoleerd, de vloer met PS.
  - Afdekking mestoppervlak en gasopslag  
De silo dient gasdicht afgedekt te worden om het gas niet te laten ontsnappen. Hiertoe kan gebruik gemaakt worden van een drijfzeil, welke aan de rand van de silo in de mest gedrukt is. Een drijfzeil op een silo van 1900 m<sup>3</sup> heeft een gasopslag van maximaal 200 m<sup>3</sup> biogas (100 kg methaan). Deze hoeveelheid gas wordt in ongeveer 2 uur geproduceerd.
  - Mengsysteem  
Een mengsysteem is nodig om te zorgen dat de mest en het bermgras in de vergister goed gemengd blijven en er geen drijf- en bezinklagen ontstaan. De menging van gras met mest zal plaatsvinden in een voormengput van 30 m<sup>3</sup>. Twee 15 kW dompelmixers zorgen voor de menging in de vergister. De mogelijkheden voor toepassing van een drogestof injector worden onderzocht.
  - Verwarmingssysteem  
Het verwarmingssysteem bestaat uit een warmtewisselaar voor opwarming van de binnenkomende meststroom, een interne warmtewisselaar voor compensatie van het warmteverlies, warmwaterleidingen, een warmwaterpomp en een warmtebron. Er kan in principe gebruik gemaakt worden van een in- of externe warmtewisselaar. Een interne warmtewisselaar is aangebracht in de vergister of in de wand. Een externe warmtewisselaar bevindt zich buiten de vergister, waarbij de mest (en bermgras) met een pomp door de wisselaar wordt gestuurd. Interne warmtewisselaren worden voor deze processen het meest gebruikt.
  - Veiligheidsvoorzieningen  
De gaszijde van de vergister wordt beveiligd tegen onder- en overdruk door een overdrukventiel (die een fakkel in werking stelt) plus een waterslot. Meetapparatuur, voor de meting van het H<sub>2</sub>S en het CO<sub>2</sub> gehalte in het biogas, alsmede een H<sub>2</sub>S melder en een explosiemelder (voor methaan) maken deel uit van de installatie.
  - Gasbehandeling  
Het geproduceerde biogas bevat naast methaan en kooldioxide ook nog waterdamp en zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S). Het water condenseert bij afkoeling van het gas en wordt ter plekke onder zwaartekracht verwijderd. Meevoeren van schuim, dat het transport van gas kan blokkeren, wordt voorkomen door een ontschuimvat te plaatsen vlak achter de gasafvoer uit de vergister.

Zwavelwaterstof is een corrosief gas dat schadelijk is voor de verbrandingsmotor. Voor de verwijdering hiervan wordt gebruik gemaakt van een biologische techniek voor zwavelverwijdering, waarvoor o.a. een lichte beluchting van het biogas, onder het drijfzijl, nodig is voor verlaging van de H<sub>2</sub>S concentratie.

### **Benutting van biogas**

Om het geproduceerde biogas om te zetten in elektriciteit en warmte, wordt een warmtekracht koppeling (WKK) gebruikt. De basis van deze WKK vormt de gasmotor van hetzelfde type dat voor aardgas kan worden gebruikt en waarvoor meerdere merken en typen in de handel zijn. Er zal gebruik gemaakt worden van een motor met een elektrisch vermogen van ca 300-350 kW en een thermisch vermogen van ca. 500 kW. De motor zet het gevormde biogas om in elektriciteit met een efficiëntie van 32-36%.

De WKK bestaat uit de volgende onderdelen:

- Basisset, bestaande uit gasmotor en aangekoppelde synchroon generator;
- Warmtewisselaars voor warmteterugwinning op motorkoeling en uitlaat, rookgasafvoer en geluidtempers;
- Radiatorset voor noodkoeling ;
- Akoestische behuizing voor buitenopstelling;
- Besturingspaneel met telemetrisch meet-, besturings- en veiligheidssysteem,
- All-in onderhoudscontract.

De warmte wordt in de warmtewisselaars afgevangen en opgenomen in een waterstroom en wordt op een temperatuurniveau van 80°C getransporteerd naar het bedrijventerrein om te worden gebruikt binnen reguleren warmtetoepassingen (gebouwverwarming, warmwater productie).

Naast de WKK dient een voorziening te worden aangebracht om gas te verbranden indien de WKK buiten gebruik is. Dit kan een fakkelinrichting zijn maar kan, indien van vergunningswege toegestaan, ook een warmwaterketel zijn die in veel gevallen in prijs niet veel duurder is dan een fakkel en als voordeel biedt dat bij langduriger gebruik geen energie onbenutbaar verloren gaat. De keuze tussen fakkel- en ketelinrichting zal dus afhangen van overwegingen van vergunningstechnische en financiële aard. Bij deze studie is uitgegaan van de keuze voor een fakkel.

### **Voor- en na- opslag van mest**

- Vooropslag mest  
De vooropslag van de mest zal plaatsvinden in één van de twee bestaande, onafgedekte silo's van 1700 m<sup>3</sup> (silo 2 of 3).
- Co-substraatvoer  
De invoer van het co-fermetaat zal gebeuren met behulp van een droge injector, voor directe versnijding en invoer in de vergister. Een alternatieve optie is menging van mest en co-fermetaat in een voormengput van 30 m<sup>3</sup>.
- Mestaanvoer  
Toevoer van mest aan de vergister is niet onder vrij verval mogelijk, daarom zal gebruik gemaakt worden van een mestpomp. Een mestpomp is reeds aanwezig voor aanvoer van mest uit de haven naar de opslag van CAV Wieringermeer. Additionele pompen zijn nodig voor de invoer van mest van vooropslag naar de vergister.
- Naopslag vergiste mest



Vanuit de vergister wordt het materiaal opgeslagen in de bestaande afgedekte silo van 2500 m<sup>3</sup>. De massa die uit de vergister komt zal nog nagisten; om die reden zal de bestaande afdekking van deze silo gasdicht worden gemaakt. Het ontwijkende biogas wordt teruggeleid naar de gasopslag in de vergister.

- Mestafvoer  
 Afvoer uit de vergister is onder vrij verval mogelijk. Om zoveel mogelijk bezinkende mestdeeltjes te verwijderen wordt de afvoerbuis nabij de bodem van de vergister bevestigd. Via een sifon komt de mest in de opslag terecht, een van de overige silo's van de CAV.

## BIJLAGE 2: KARAKTERISTIEKEN CO-FERMENTATEN

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de beschikbare literatuur over samenstelling biogasproductie van aardappel- en suikerbietenloof en maïs en de hoeveelheid geoogst (rest)materiaal. Op basis van deze waarden is een inschatting gemaakt van de meest waarschijnlijk geachte samenstelling en biogasopbrengst en de verwachte hoeveelheid geoogst (rest)materiaal.

Tabel 14: samenstelling en biogasproductie van aardappel(loof) en suikerbieten(loof)

	DS (%)	OS (os/ds)	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg os	Biogas m <sup>3</sup> /kg nat	bron
Aardappels					
Aardappelloof	25	79	0.504	0.166	Keymer/Silcher, 2000
Aardappelloof			0.260		Hofman
Aardappelloof	14	90	0.4-0.65	0.084-0.137	Ecofys, 2001
Aardappelresten (gemorst)	12-15	90	0.55	0.111	Kuhn, 1995
Suikerbieten					
Suikerbieten (ingekuild)			0.51		Schmack, 2000
Suikerbietenloof	14	90	0.4-0.65	0.084-0.137	Ecofys, 2001
Suikerbietenloof (ingekuild)	18	81	0.371	0.098	Keymer/Silcher, 2000
Suikerbietenloof (niet voor voer)	11.5	70			Haaksma, 2001
Suikerbietenloof voor veevoer (incl. koppen)	16	70			Haaksma, 2001
Suikerbietenloof voor veevoer (incl. koppen), ingekuild	17.5	70			Haaksma, 2001
Suikerbietenloof voor veevoer (incl. koppen), ingekuild	14.1	80			Overvest, 1978
Suikerbietenloof voor veevoer (incl. koppen), ingekuild	15.5	74			Haigh, 1979
Suikerbietenloof voor veevoer (incl. koppen), ingekuild	22.0	79			Salo en Laakso
Suikerbietenloof voor veevoer, ingekuild	20-21.4	70-74			Smits en Haaksma, 1980

Tabel 15: productie van aardappel- en suikerbietenloof

	Hoofdproduct (natte ton/jr)	Loof (natte ton/jr)	bron
Aardappels	35 (poot)		KWIN 97/98 (noordelijk kleigebied)
	39 (cons.)		KWIN 97/98 (noordelijk kleigebied)
		28	Ecofys, 2001
		1.5-3.5 ton droge stof (10-23 ton vers bij 15% vocht)	Goudriaan, 2001
		29% van ds totale productie (= 14 t.o.v. 35 nat geoogst)	Richter, 1998
		1.5-3 ton droge stof (10-20 ton vers bij 15% vocht)	Neeteson, 1987
		20-30	van Ree, 2001
		30	Quist, 201
Suikerbieten	60		IRS, 2000
		45% van ds totale productie (= 49 t.o.v. 60 nat geoogst)	Richter, 1998
		37	Ecofys, 2001
		60	van Zonneveld, 2001
		37.5	Haaksma, 2001
		35	Quist, 2001
		30-60	Titulaer, 2001

NB: er is minder ingekuilde dan verse loof. Hoeveelheid droge stof blijft gelijk.

Tabel 16: samenstelling en biogasproductie van maïs

	DS (%)	OS (os/ds)	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg os	bron
<b>Maïs</b>	25	80	0.41	Ecofys, 2001
<b>Maïs (ingekuild)</b>			0.351	Schmack, 2000
<b>Maïs (ingekuild)</b>	35	78	0.480	Keymer/Silcher, 2000
<b>Snijmaïs (vers)</b>	32			KWIN 1997/1998

De opbrengst van maïs in het noordelijk kleigebied is gemiddeld 37 natte ton/ha/jr en 44 natte ton/ha/jr in het centrale kleigebied. (KWIN 97/98). De opbrengst bij de akkerbouwers aangesloten bij de CAV kan oplopen tot 40-50 ton/ha/jr (Ruijter, 2001).

## BIJLAGE 3: BEREKENING HOEVEELHEDEN VERGISTE MEST

Bij de teelt van aardappelen bij de CAV “de Wieringermeer” wordt in het voorjaar 20 ton varkensdrijfmest per hectare aangewend. De bij CAV gebruikte varkensdrijfmest bevat gemiddeld 4,2 kg fosfaat en 7,2 kg stikstof per ton mest. Bovendien wordt in het voorjaar 200 kg kunstmest per hectare in een NPK- verhouding van 26-14-0 gegeven (Quist, 2001)

Aanname: De vergiste varkensdrijfmest bevat 10% meer minerale stikstof t.o.v. N-totaal dan niet-vergiste varkensdrijfmest (Aarts, 2001); zie ook de argumentatie in paragraaf 4.3 in de hoofdtekst.

Prijs kunstmest (26-14-0): 22,92 € per 100kg

Prijs kunstmest: (17-17-17): 25,75 € per 100 kg

Door co-vergisting neemt de hoeveelheid minerale stikstof met 10% toe ten opzichte van N-totaal. Dit is 14,4 kg. Hierdoor kan er 14 kg N uit kunstmest per hectare worden bespaard. In de nieuwe situatie wordt dus 38 kg N uit kunstmest per hectare gegeven.

Stikstof uit varkensdrijfmest bestaat voor 50% uit minerale stikstof, 33% uit stikstof dat binnen 1 jaar beschikbaar ( $N_{mak}$ ) en 17% uit stikstof dat pas naar meerdere jaren vrijkomt ( $N_{moeil}$ ) (Handboek rundveehouderij, 1993). De extra gevormde minerale stikstof komt uit de makkelijk afbreekbare stikstof (Henkens (1983)).

Tabel 17: berekening van de hoeveelheid nutriënten, het volume en de aanwending van vergiste mest

Teelt van Aardappelen	N-totaal mest (kg/ha)	$N_{min}$ mest (kg/ha)	$N_{mak}$ mest (kg/ha)	$N_{moeil}$ Mest (kg/ha)	P2O5 mest (kg/ha)	N-totaal (= $N_{min}$ ) kunstmest (26-14-0) (kg/ha)	Totaal hoeveelheid gegeven N (kg/ha)	Kosten kunstmest (€/ha)
Onvergist en Vergiste mest								
Onvergist mest 20 ton/ha	144	72	48	24	84	52	196	45,83
Vergiste mest 20 ton/ha	144	86	34	24	84	38	182	33,14
Besparing								12,69

<sup>1)</sup> Door gebruik van vergiste mest gaan we ervan uit dat 10% van N-totaal mest extra wordt gemineraliseerd, dit is 14 kg/ha (10% van 144kg/ha). Hierdoor kan er 14 kg/ha minder kunstmest worden gegeven.

## BIJLAGE 4: BEREKENING HOEVEELHEDEN VAN MET BERMGRAS CO-VERGISTE MEST

---

Bij de teelt van aardappelen wordt in het voorjaar 20 ton varkensdrijfmest per hectare aangewend. De bij CAV “de Wieringermeer” gebruikte varkensdrijfmest bevat gemiddeld 4,2 kg fosfaat en 7,2 kg stikstof per ton mest. Bovendien wordt in het voorjaar 200 kg kunstmest per hectare in een NPK-verhouding van 26-14-0 gegeven (Quist, 2001)

Aanname: Ook de met bermgras co-vergiste varkensdrijfmest bevat 10% meer minerale stikstof t.o.v. N-totaal dan het niet co-vergiste varkensdrijfmest.

Prijs kunstmest (26-14-0): 22,92 € per 100kg

Prijs kunstmest: (17-17-17): 25,75 € per 100 kg

Door co-vergisting neemt de hoeveelheid minerale stikstof met 10% toe. Dit is 14,4 kg. Hierdoor kan er 14 kg N uit kunstmest per hectare worden bespaard. In de nieuwe situatie wordt dus 38 kg N uit kunstmest per hectare gegeven.

Varkensdrijfmest heeft een droge stof percentage van 7,5%, bermgras heeft een droge stof percentage van 40%. Bij co-vergisting is de mengverhouding 50-50 op basis van het droge stof percentage. Dit betekent dat 5,33 eenheden varkensdrijfmest wordt vermengd met 1 eenheid bermgras.

Dit betekent dat 1 ton varkensdrijfmest wordt vermengd met 0,18 ton bermgras.

1 ton varkensdrijfmest bevat 7,2 kg N en 4,2 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

1 ton bermgras bevat uit 12,5 kg N en 1.78 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>5</sup>. 0,18 ton bermgras bevat dus 2,3 kg N en 0.32 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

In totaal bevat de gemengde mest per 1,18 ton: 7,2 kg N uit varkensdrijfmest) + 2,3 kg N uit bermgras = 9,5 kg N en 4,2 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> uit varkensdrijfmest + 0.32 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> uit bermgras = 4.52 kg fosfaat.

1 ton gemengde mest bevat dus  $9,5/1,18 = 8,1$  kg N en  $5,7/1,18 = 4,8$  kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Ten opzicht van drijfmest bevat de met bermgras vermengde mest per volume-eenheid 12,5% meer N en 9% minder P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Samengevat:

Door co-vergisting met bermgras neemt het gewicht met 18% toe. 21.500 ton wordt dus 25.370 ton.

Deze 25.370 ton bevat 12,5% meer N en 14,3% meer P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dan de nu gebruikte varkensdrijfmest.

Hierdoor zal de totale hoeveelheid mineralen in de nieuwe situatie met ongeveer 18% + ongeveer 13,5% =  $1,18 \times 1,135 = 1,339 = 33,9%$  toenemen.

Verder zit er in co-vergiste mest verhoudingsgewijs minder fosfaat Dit is gunstig voor MINAS.

Bij aanwending van 144 kg N-totaal per hectare komt 109 kg uit varkensdrijfmest en 35 kg uit bermgras (berekend uit: 1,18 ton co-vergiste mest bevat 9,5 kg N waarvan 7,2 kg N uit varkensdrijfmest en 2,3 kg N uit bermgras. 144 kg N bevat dan 109 kg N uit varkensdrijfmest en 35 kg

---

<sup>5</sup> Persoonlijke mededeling van Dhr. Hotsma van het Ministerie van LNV, Expertisecentrum LNV te Ede (2002).

N uit bermgras. De totale hoeveelheid fosfaat (uit varkensdrijfmest en bermgras) is bij gebruik van 144 kg N-totaal per hectare: 68 kg/ha (berekend uit mineralensamenstelling gemengde mest; 1 ton gemengde mest bevat 8,1 kg N en 3.8 kg fosfaat, 17,8 ton bevat 144 kg N en 68 kg fosfaat).

Stikstof uit varkensdrijfmest bestaat voor 50% uit minerale stikstof, 33% uit stikstof dat binnen 1 jaar beschikbaar ( $N_{mak}$ ) en 17% uit stikstof dat pas naar meerdere jaren vrijkomt ( $N_{moeil}$ ) (Handboek rundveehouderij, 1993). De extra gevormde minerale stikstof komt uit de makkelijk afbreekbare stikstof (Henkens (1983)).

Door co-vergisting met bermgras ontstaat dan de situatie, zoals weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18: berekening van de hoeveelheid nutriënten, het volume en de aanwending van met bermgras co-vergiste mest

Teelt van	N-totaal mest (kg/ha)	N <sub>min</sub> mest (kg/ha)	N <sub>mak</sub> mest (kg/ha)	N <sub>moeil</sub> mest (kg/ha)	N-totaal bermgras (kg/ha)	N <sub>min</sub> bermgras (kg/ha)	N <sub>mak</sub> bermgras (kg/ha)	N <sub>moeil</sub> bermgras (kg/ha)	N-totaal (= N <sub>min</sub> ) kunstmest (26-14-0) (kg/ha)	Totaal hoeveelheid gegeven N (kg/ha)	Totale hoeveelheid gegeven P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	Kosten kunstmest (€/ha)
Aardappelen	144	72	48	24					52	196	84	45,83
Onvergist en Co-vergiste mest												
Onvergist mest 20 ton/ha	109	55	36	18	35	X <sup>1)</sup>	Y <sup>1)</sup>	Z <sup>1)</sup>		68		
Onvergist mengsel 17,8 ton/ha	109	66	25	18	35	X + 4 <sup>2)</sup>	Y 4 <sup>2)</sup>	Z <sup>2)</sup>	58-(X+4) <sup>3)</sup>	109+35+58-(X+4) <sup>4)</sup>	68	? <sup>5)</sup>
Besparing												? <sup>5)</sup>

1) Er is nog geen onderzoek verricht naar de verhouding tussen de minerale, de makkelijk afbreekbare en de moeilijk afbreekbare stikstof.

2) Door co-vergisting nemen we aan dat 10% van N-totaal bermgras (35 kg/ha) = 4 kg/ha extra zal mineraliseren (N<sub>min</sub>). Deze 4 kg gaat ten koste van Nimak. De moeilijk afbreekbare stikstof in bermgras blijft door co-vergisting gelijk.

3) Door het gebruik van co-vergiste mest zal er 6 kg/ha (72-66kg/ha) minder minerale stikstof aangewend worden. Dit moet gecompenseerd worden door 6 kg/ha extra kunstmest te geven, verminderd met het minerale deel van de stikstof uit bermgras.

4) Dit is een optelling van N-totaal co-vergiste mest met N-totaal co-vergist bermgras en N-totaal kunstmest.

5) Omdat X, Y en Z onbekend zijn kan hierover geen uitspraak gedaan worden.

## BIJLAGE 5: UITWERKING INVESTERINGSKOSTEN

Bij het bepalen van de investeringskosten zijn de schaalfactoren gebruikt. Een schaalfactor geeft de relatie tussen grootte en prijs als volgt weer:

$$\text{Prijs B} = \text{Prijs A} * [\text{Grootte B} / \text{Grootte A}]^{\text{schaalfactor}}$$

De volgende schaalfactoren zijn gehanteerd: WKK en fakkel 0.8, warmteleiding 0.4, droge stof injector 0.6, (co-)vergistingstank en sanitatietank 0.4 en de opslag van het co-fermetaat 1.

Tabel 19: investeringskosten voor de verschillende cases. Investeringskosten voor de cases met co-fermetaat zijn additioneel aan de investering voor de vergister van alleen mest. Bedragen in €.

	Mest	+ Bermgras	+ Bietenloof	+ Aardappellof	+ Maïs
<b>Invoer</b>					
- varkensmest (m <sup>3</sup> /jr)	21,400	-	-	-	-
- biomassa		4,000	9,200	8,000	4,300
Input DS (ton/jr)					
- varkensmest	1,600	-	-	-	-
- biomassa	-	1,600	1,600	1,600	1,700
<b>Biogasproductie (m<sup>3</sup>/jr)</b>	<b>343,800</b>	<b>716,500</b>	<b>738,400</b>	<b>830,200</b>	<b>843,600</b>
<b>Investeringskosten</b>					
- vergister	197,400	87,400	109,200	104,400	88,700
- WKK	97,000	141,800	145,700	162,100	164,400
- fakkel / ketel	18,200	9,100	9,100	9,100	9,100
- warmteleiding	43,300	18,500	18,500	18,500	18,500
- opslag co-fermetaat	-	32,600	74,400	64,800	35,100
- injector	-	45,200	74,000	68,200	47,200
sanitatie	-	92,600	99,700	98,100	93,000
Onvoorzien (10%)	35,600	33,400	43,100	42,700	36,300
<b>TOTAAL</b>	<b>391,400</b>	<b>460,500</b>	<b>573,600</b>	<b>567,800</b>	<b>492,300</b>
Net EIA-Vamil (40%) <sup>1</sup>	-156,800	-184,500	-229,800	-227,500	-197,200
Projectontwikkeling	45,400	-	-	-	-
<b>Netto investering</b>	<b>280,000</b>	<b>276,000</b>	<b>343,800</b>	<b>340,300</b>	<b>295,000</b>
Specifieke investering (€/kWe)	2,550	1,640	1,800	1,650	1,510

<sup>1</sup> Voor de berekening van het voordeel van de EIA en de VAMIL is uitgegaan van een vennootschapsbelasting van 35% en de mogelijkheid om 155% in jaar 1 af te schrijven. Dit resulteert in een voordeel van 40% (voor belasting, bij een belastingtarief van 35%) van de bruto investering.



## BIJLAGE 6: BEREKENING KOSTEN CO-FERMENTATEN

*In deze bijlage worden de kosten berekend om de verschillende co-fermentaten (ingekuuld) bij de vergister te krijgen.*

### Case II: Bermgras

Bij de berekening van de kosten van bermgras is er vanuit gegaan dat het bermgras wordt aangeleverd in gesealde balen, en dat de aangevoerde nutriënten inkomsten derven uit de afzet van stikstof en fosfaat uit mest. In Tabel 20 staat de berekening van de kosten van bermgras weergegeven. Voor de bermgras die de vergister ingaat worden kosten gemaakt van € 3.1 per ton.

Tabel 20: berekening van de kosten van het gebruik van bermgras in het vergistingsproces. Bedragen in € per ton ingekuuld materiaal.

Kostenpost	Waarde	Uitleg
Innametarief	-13.6 €/ton	De huidige marktprijs variëren van € 0 tot – 25, afgeleverd bij de vergister
Derving afzetcontracten stikstof	6.8 €/ton	Per ton bermgras wordt 12.5 kg stikstof aangevoerd, wat €0.55 per kg aan gemiste afzetcontracten van mest kost.
Derving gerealiseerde afzet fosfaat	3.7 €/ton	Per ton bermgras wordt 8.1 kg fosfaat aangevoerd, wat € 0.45 per kg aan mogelijke afzet van fosfaat uit mest kost.
Transport terug naar de akkers	6.2 €/ton	Per ton ingaand materiaal, door de biogasproductie komt er minder gewicht uit de vergister
<b>Totale kosten</b>	<b>3.1 €/ton</b>	

### Case III en IV: Aardappel- en suikerbietenloof

Bij de berekening van de kosten om het loof van het land af te halen is bij suikerbieten uitgegaan van een aanpassing van de bestaande suikerbietenrooier. Bij het aardappelloof is uitgegaan van dezelfde techniek, toegepast op een aardappelrooier. Hierbij is het toepassen van groenrooien om beschadiging van de grond te voorkomen aan te raden (zie paragraaf 3.2.2). Voor de verschillende benodigheden voor het inzamelen van het loof zijn de kosten zoals weergegeven in Tabel 21 als uitgangspunt genomen. Met betrekking tot de loonkosten moet er opgemerkt worden dat het tarief voor arbeid in het geval van eigen beheer relatief laag is ingeschat. Het is de vraag of dit acceptabel zal zijn voor de betrokken agrariërs. Het genoemde tarief is gesteld om een ‘best case’ te schetsen.

Tabel 21: verrekentarieven m.b.t. de benodigde machines en mankracht voor het inzamelen van aardappel- en suikerbietenloof.

	Loonwerk	Eigen beheer	Eenheid	Bron
Kipwagen, zelfrijdend	96	16	€ per uur	KWIN 97/98
Trekker (40-50 kW, 4W)	49	8	€ per uur	KWIN 97/98
Arbeid	23	10	€ per uur	inschatting
Transport terug naar de akkers <sup>1</sup>	7.4	7.4	€ per ton	CAV
Aanpassing oogsmachines <sup>2</sup>	9,000	9,000	€ per machine	WKM, 2001

<sup>1</sup> Standaard tarief van de CAV, dus geen verschil tussen case 'loonwerk' en case 'eigen beheer'.

<sup>2</sup> Een roomachine kan per jaar ongeveer 200 hectare rooien en heeft een vervangingspercentage van 15.5% (KWIN 97/98). Hiermee komen de kosten van de aanpassing van de roomachine(s) op € 6.8 per hectare.

Met behulp van de bovenstaande uitgangspunten kunnen de kosten per hectare en per ton, berekend worden (Tabel 22). De verschillende stappen zijn achtereenvolgens oogst, transport heen, inkuilen en transport terug. De benodigde tijdsduur voor de verschillende acties en de kosten van de benodigde machines zijn ontleend aan KWIN 97/98. Bij het transport naar de vergister is uitgegaan van 20 tonners, die 25 km/uur rijden en een gemiddelde afstand van 20 km (inclusief terugreis).

Tabel 22: berekening van de kosten van het gebruik suikerbieten- (SB) en aardappelloof (AARD) van in het vergistingsproces.

	Loonwerk		Eigen beheer	
	SB	AARD	SB	AARD
<b>Extra oogstronde loof</b>				
Tijd (uren/ha)	2	2	2	2
Kipwagen (zelfrijdend) excl. arbeid (hfl/uur)	96	96	16	16
Aanpassingen machines (€/uur/ha)	7	7	7	7
Totale kosten incl. arbeid (€/ha)	245	245	59	59
<b>Transport heen</b>				
Tijd (uren/ha)	1.0	0.6	1.0	0.6
Kipwagen (zelfrijdend) excl. arbeid (€/uur)	96	96	16	16
Totale kosten incl. arbeid (€/ha)	116	71	25	16
<b>Inkuilen</b>				
Tijd (uren/ha)	1.2	0.5	1.2	0.5
Trekker - excl. arbeid (€/uur)	49	49	8	8
Totale kosten incl. arbeid (€/ha)	88	36	22	9
<b>Transport terug (incl. uitrijden)</b>				
per ton	7.4	7.4	7.4	7.4
<b>Kosten loof - excl. terugrijden (€/ ha)</b>	449	352	106	83
<b>Kosten loof (incl. terugrijden) (€/ton)</b>	<b>25.9</b>	<b>30.9</b>	<b>11.8</b>	<b>13.0</b>
<b>Kosten biogas (€/m<sup>3</sup>)</b>	0.24	0.28	0.11	0.12
<b>Kosten biogas (€/GJ)</b>	10.76	12.84	4.91	5.40
<b>Kosten per kWh elektrisch (€/kWh)</b>	0.11	0.14	0.05	0.06
<b>Extra arbeid akkerbouwer uur/ha</b>		3.10	4.21	3.10

## Case V: Maïs

Indien er maïs als co-fermentaat gebruikt gaat worden, kan dit op braakliggend land geteeld worden. De braakpremie zal in dit geval behouden worden, daar de maïs als non-food gewas gebruikt wordt. Bij de berekening van de teeltkosten van maïs is uitgegaan van de bewerkingen zoals aangegeven in KWIN 97/98. Bij de benodigde apparaten is de omvang van de bijbehorende trekker afgeleid van (van den Broek, 2000).

Tabel 23: berekening teeltkosten maïs, respectievelijk door loonwerkers en in eigen beheer.

	Uren per ha	Machine	Kosten machine (€/ uur)	Kosten trekker (€/ uur)	Totale kosten (€/ ha)
<b>Loonwerk</b>					
Grondbewerking	2	Ploeg	68.1	45.4	267.8
Grondbewerking	1	Eg	80.3	20.4	146.2
Bemesting	1.5	Bemestertank	110.7	20.4	264.8
Zaaibed/plantenbereiding	1	Zaaibedcombinatie	95.8	45.4	161.6
Zaaien/planten	1.5	Maïszaaimachine	89.0	20.4	232.2
Gewasbescherming	1	Veldspuit	73.1	20.4	138.9
Overige teeltactiviteiten	3	Nb	68.1	20.4	401.7
Na-oogst veldbewerking	1	Nb	68.1	20.4	133.9
Totale uren teelt	12		22.7		272.3
<b>Totale kosten bij loonwerk</b>					<b>1,747</b>
<b>Eigen beheer</b>					
Grondbewerking	2	Ploeg	16.8	45.4	69.9
Grondbewerking	1	Eg	22.2	20.4	40.4
Bemesting	1.5	Stalmeststrooier	8.6	20.4	40.2
Zaaibed/plantenbereiding	1	Zaaibedcombinatie	15.4	45.4	33.6
Zaaien/planten	1.5	Maïszaaimachine	18.2	20.4	54.5
Gewasbescherming	1	Veldspuit	11.3	20.4	29.5
Overige teeltactiviteiten	3	Nb	8.6	20.4	80.3
Na-oogst veldbewerking	1	Nb	8.6	20.4	26.8
Totale uren teelt	12		10.0		120.0
<b>Totale kosten bij eigen beheer</b>					<b>495</b>

Met behulp van de verrekentarieven in Tabel 21 kan nu eenzelfde berekening als voor suikerbieten- en aardappelloof gemaakt worden. Aanvullend op de machines in Tabel 21 wordt hier een verrekentarieef voor een maïshakselaar gebruikt van € 248 per hectare bij loonwerk en € 156 bij eigen beheer. Aangezien de akkerbouwers die aangesloten zijn bij de CAV geen eigen maïshakselaar bezitten is het onwaarschijnlijk dat het lage tarief gebruikt kan worden. Om het basisidee van een 'best case' aan te houden wordt er toch met dit bedrag gerekend.

Tabel 24: berekening van de kosten van het gebruik van maïs in het vergistingsproces.

	<b>Loonwerk</b>	<b>Eigen beheer</b>
<b>Teelt</b>		
Landkosten (€/ha)	0	0
Verlies braakpremie (€/ha)	0	0
Totale teeltkosten (€/ha)	2,056.1	495.1
Extra afzetcontracten stikstof <sup>1</sup> (€/ha)	92.6-	92.6-
Extra afzetruimte fosfaat <sup>1</sup> (€/ha)	43.7-	43.7-
<b>Oogstronde excl. inkuilen</b>		
Tijd (uren/ha)	3.0	3.0
Maïshakselaar (zelfrijdend) excl. arbeid (€/ha)	248.3	156.1
Totaal oogst & inkuilen (incl. arbeid) (€/ha)	278.3	186.1
<b>Transport</b>		
Tijd (uren/ha)	1.3	1.3
Machines excl. arbeid (€/uur)	96.2	15.9
Totale kosten (incl. arbeid) (€/ha)	136.0	33.1
<b>Inkuilen</b>		
Tijd (uren/ha)	1.1	1.1
Trekker excl. arbeid (€/ha)	49.0	8.2
Totaal inkuilen (incl. arbeid) (€/ha)	59.7	18.8
<b>Transport terug (incl. uitrijden)</b>		
Transport (€/ton)	6.2	6.2
<b>Kosten maïs excl. terugrijden (€/ha)</b>	2,347.8	591.8
<b>Totale kosten maïs (€/ton ingekuild materiaal)</b>	79.6	24.7
<b>Kosten biogas (€/m<sup>3</sup>)</b>	0.4	0.1
<b>Kosten biogas (€/GJ)</b>	16.3	5.1
<b>Kosten per kWh elektrisch (€/kWh)</b>	0.2	0.1

<sup>1</sup>Hierbij is uitgegaan van een afzet van 165 kg stikstof per hectare en 110 kg fosfaat

## BIJLAGE 7: BEREKENING ECONOMISCHE HAALBAARHEID

In Tabel 25 staan de kosten/baten analyse van de verschillende systemen weergegeven voor het systeem als geheel. In Tabel 26 is hetzelfde gedaan voor de additionele investering die gemaakt wordt door het toevoegen van het co-fermentaats, feitelijk het verschil in kosten/baten met de case ‘alleen mest’.

Tabel 25: kosten/baten analyse van de verschillende systemen als geheel.

Bedragen in €. BG = bermgras, SB= suikerbietenloof, AARD = (poot)aardappelloof

			Loonwerk			Eigen beheer		
	Mest	Mest +BG	Mest +SB	Mest + AARD	Mest + MAIS	Mest +SB	Mest + AARD	Mest + MAIS
Netto investering	279,990	555,978	623,764	620,301	563,259	623,764	620,301	563,259
<b>Opbrengsten</b>								
elektriciteit	51,878	159,988	163,299	177,148	169,632	163,299	177,148	169,632
warmte	13,974	33,960	33,960	33,960	33,960	33,960	33,960	33,960
<b>Kosten</b>								
co-fermentaats	-	-12,505	-237,675	-247,189	-318,871	-108,373	-103,911	-99,018
afschrijving + rente	-27,894	-55,390	-62,143	-61,798	-56,115	-62,143	-61,798	-56,115
- onderhoud WKK	-6,210	-19,152	-19,548	-21,206	-20,306	-19,548	-21,206	-20,306
- onderhoud vergister	-10,306	-21,461	-25,281	-24,508	-21,485	-25,281	-24,508	-21,485
Exploitatieresultaat	21,441	85,440	-147,388	-143,592	-213,186	-18,086	-314	6,667
<b>Terugverdientijd (jr)</b>	<b>5.68</b>	<b>3.95</b>	<b>nt</b>	<b>nt</b>	<b>nt</b>	<b>14.16</b>	<b>10.09</b>	<b>8.97</b>
Interne rentevoet	15.6%	24.4%	< 0	< 0	< 0	0.7%	5.4%	7.2%

nt = niet terug te verdienen

Tabel 26: analyse van de additionele kosten/baten van de verschillende systemen. Bedragen in €. BG = bermgras, SB= suikerbietenloof, AARD = (poot)aardappelloof

Additioneel	Mest	Loonwerk				Eigen beheer		
		+BG	+SB	+ AARD	+ MAIS	+SB	+ AARD	+ MAIS
Netto investering	-	275,988	343,774	340,311	283,269	343,774	340,311	283,269
<b>Opbrengsten</b>								
elektriciteit	-	108,110	111,421	125,271	117,754	111,421	125,271	117,754
warmte	-	19,986	19,986	19,986	19,986	19,986	19,986	19,986
<b>Kosten</b>								
co-fermentaat	-	-12,505	-237,675	-247,189	-318,871	-108,373	-103,911	-99,018
afschrijving + rente	-	-27,495	-34,249	-33,904	-28,221	-34,249	-33,904	-28,221
- onderhoud WKK	-	-12,942	-13,338	-14,996	-14,096	-13,338	-14,996	-14,096
- onderhoud vergister	-	-11,155	-14,975	-14,202	-11,179	-14,975	-14,202	-11,179
Exploitatieresultaat	-	63,999	-168,830	-165,034	-234,628	-39,528	-21,755	-14,774
<b>Terugverdientijd (jr)</b>	-	<b>3.02</b>	<b>nt</b>	<b>nt</b>	<b>nt</b>	<b>nt</b>	<b>28.01</b>	<b>21.07</b>
Interne rentevoet	-	32.7%	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0

nt = niet terug te verdienen

## BIJLAGE 8: KETENANALYSE BROEIKASGASEMISSIES

### *Vermeden emissie uit de mestopslag*

De methaanemissie van de mestopslag bij de Oude Zeug zal afnemen indien er vergist gaat worden. In Safley et al. (1992) wordt de volgende formule gebruikt voor de berekening van de methaanemissie bij de productie en opslag van mest met definities als in Tabel 27:

$$TM = VS \cdot B_0 \cdot MCF \cdot CAF \cdot \text{Density}$$

Tabel 27: definitie van symbolen in formule van Safley et al. (1992) voor de berekening van methaanemissie.

<i>Symbol</i>	<i>Engelse naam</i>	<i>Omschrijving</i>	<i>Eenheid</i>
TM	total methane	totale methaanproductie	kg CH <sub>4</sub> /jaar
VS	volatile solids	vluchtige bestanddelen in de mest; berekend als fractie van de mestproductie per jaar	kg VS/kg mest·jaar
B <sub>0</sub>	Biodegradability	methane emission potential, het methaanemissie-potentieel afhankelijk van de diersoort en de voeding	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
MCF	methane conversion factor	methaanconversiefactor, geeft aan in hoeverre B <sub>0</sub> wordt gerealiseerd, afhankelijk van het bedrijfs-systeem	%
CAF	climate adjustment factor	klimaataanpassingsfactor, geeft de invloed van het klimaat (temperatuur en vochtigheid)	%
Density		dichtheid van methaan, omrekening van m <sup>3</sup> naar kg	0,662 kg CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>

Deze formules worden gebruikt, onder meer door de IPCC, voor de berekening van de methaanemissie op landelijk niveau. De varkensmest bij de CAV heeft 7.5% droge stof, waarvan 67% organisch is. Invulling van de formule met behulp van de IPCC-waarden voor Nederland is gedaan in Van Amstel et al.(1993): B<sub>0</sub>=0.45, MCF\*CAF=15% (bij een gemiddelde temperatuur van 12°C). Hieruit volgt een methaanemissie uit varkensmest van 3.39 kg CH<sub>4</sub> per ton mest. Bij deze IPCC-methodiek wordt geen rekening gehouden met de opslagmethode en de opslagduur.

De methaanemissie uit mest kan per dag variëren van 5-300 ml CH<sub>4</sub>/kg mest, afhankelijk van de omgevingscondities (o.a. temperatuur en mate van menging) en de herkomst van de mest (Hilhorst et al., 2001). Hilhorst et al.(2001) hanteren een gemiddelde emissie van 60 ml CH<sub>4</sub>/kg mest per dag bij 20°C voor de eerste 50 dagen (voor ongeroerde mest). Bij 10°C zal dit ongeveer de helft zijn volgens Hilhorst et al. (2001). Safley et al. (1994)

hebben met experimenten aangetoond dat een temperatuursverlaging van 20°C naar 10 °C een afname in de biogasproductie van 23-36% veroorzaakt. In deze studie wordt een methaanemissie van 45 ml CH<sub>4</sub>/kg mest per dag gehanteerd, oftewel 29.8 g/ton mest per dag. In de huidige situatie wordt de mest eerst per boot aangevoerd. Tijdens dit traject, inclusief de vooropslag, is er dus reeds de nodige methaanemissie. We nemen aan dat dit traject 30 dagen duurt en dat de vooropslag in een kelder plaatsvindt (wat een grotere emissie tot gevolg heeft dan opslag in een afgedekte opslag). Gedurende dit traject zal er de volgende emissie optreden:

$29.8 \text{ g/ton per dag} * 30 \text{ dagen} = 0.89 \text{ kg CH}_4/\text{ton mest}$

Dat betekent dat er per ton mest nog  $3.39 - 0.89 = 2.50 \text{ kg CH}_4/\text{ton mest}$  geëmitteerd kan worden bij aankomst in de drie silo's bij de Oude Zeug. Twee van de drie silo's zijn in de huidige situatie onafgedekt, maar zullen in geval van vergisting afgedekt worden. De emissie uit een afgedekte silo is zeer beperkt (Tijmensens et al., 2002) en gebruik van de lucht uit deze opslagen als verbrandingslucht in de WKK, zoals voorzien in de huidige configuratie, zal eventuele emissie voorkomen (Tijmensens et al., 2002). Voor de berekening van de haalbare emissiereductie is er vanuit gegaan dat de mest gelijk verdeeld is over de silo's (dus 2/3 in onafgedekte silo's). Vergisting van 21,400 ton mest per jaar leidt met deze aannames tot de volgende methaanemissie reductie:

$21,400 \text{ ton/jr} * 2/3 \text{ in onafgedekte silo's} * 2.50 \text{ kg CH}_4/\text{ton} = 35,667 \text{ kg CH}_4/\text{jr}$ .

Aangezien 1 kg CH<sub>4</sub> overeenkomt met 21 ton CO<sub>2</sub> is de jaarlijkse methaanemissie reductie door vergisting 749 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar.

De lachgasemissie uit stallen en andere mestopslagen is volgens de IPCC 1 kg N<sub>2</sub>O-N/1000 kg stikstof voor runder- of varkensmest. De lachgasemissie is in alle systemen beperkt omdat er uitgegaan wordt van dunne-mestssystemen. In de berekeningen is lachgas niet meegenomen<sup>6</sup>.

#### *Vermeden emissie uit de het suikerbieten- en aardappelloop*

In de huidige situatie komt er per hectare jaarlijks 3.86 kg N<sub>2</sub>O-emissie<sup>7</sup> voort uit het suikerbietenloop (Velthof et al., 2000). Bij aardappels komt er per hectare jaarlijks 0.52 kg N<sub>2</sub>O-emissie voort uit het loop (Velthof et al., 2000). Aangenomen wordt dat er door het inzamelen (voordat het los op het land ligt) en inkuilen direct erna geen N<sub>2</sub>O emissie meer zal plaatsvinden. Voor consumptieaardappelen kan dit anders zijn, doordat een gedeelte van het loop reeds is afgestorven voordat er ingezameld wordt.

#### *Vermeden emissie door de opwekking van duurzame elektriciteit en warmte.*

Per kWh aan het net terug geleverde elektriciteit wordt 0.67 kg CO<sub>2</sub> vermeden (68 kg CO<sub>2</sub>/GJ) (Novem, 1999)<sup>8</sup>. Door het gebruik van (een gedeelte van) de warmte van de vergistingsinstallatie bij de jachthaven van Jongert BV wordt aardgasgebruik vermeden.

<sup>6</sup> In Tijmensens et al. (2002) wordt het volgende voorbeeld voor vleesvarkens gegeven: 7.2 kg N/ton mest komt neer op 7.2 mg N<sub>2</sub>O emissie per ton mest. Indien wordt aangenomen dat 1 ton N<sub>2</sub>O gelijk staat aan 310 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten, is het aantal CO<sub>2</sub> equivalenten per ton mest 2.3 gram. Dit is ongeveer een factor 1000 lager dan de emissies van methaan uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Tevens is onduidelijk wat het verschil is tussen onvergiste en vergiste mest.

<sup>7</sup> 1 ton N<sub>2</sub>O is gelijk aan 310 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten.

<sup>8</sup> Hierbij is uitgegaan van vervanging van de gemiddelde elektriciteitsmix in Nederland.



Per m<sup>3</sup> vermeden aardgasverbruik wordt 1.87 kg CO<sub>2</sub> vermeden (56 kg CO<sub>2</sub>/GJ) (Novem, 1999).

*Additionele emissie door de bouw van de vergistingsinstallatie*

Hierbij gaat het om de emissies van broeikasgassen die nodig zijn voor de productie van de extra componenten van een biogasinstallatie t.o.v. de bestaande faciliteiten voor opslag en management van mest. Te denken valt aan de motor/WKK, isolatiemateriaal, de biogasopvang, extra mestpompen, ontzwavelinstallatie, affakkelininstallatie, etc. Door gebruik te maken van een bestaande opslag als reactor kan bij de bouw van een installatie bespaard worden op bouwmaterialen. Uit eerdere studies (Van den Broek, 2000) is gebleken dat staal hier in veel gevallen een bepalende factor in is. In Tijmensen et al. (2002) wordt aangegeven dat dit zich vooral bevindt in de gasmotor/WKK en de additionele silo's. Het gewicht aan staal van een gasmotor/WKK voor 350 kW is ongeveer 1 ton. Een stalen silo voor een vergister van 800 m<sup>3</sup> kan een wanddikte hebben van 5 mm en een hoogte van 4 meter. Deze silo weegt ongeveer 26 ton. Het geheel van 2 vergisters en WKK bevat dus ongeveer 53 ton staal. Volgens tabel A-II.3 van de TEWI richtlijnen komt de productie en vernietiging van 1 ton staal overeen met een emissie van 2 ton CO<sub>2</sub>. Voor 53 ton staal is dat 126 ton CO<sub>2</sub>, wat wordt afschreven over de levensduur van de installatie (15 jaar).

*Additionele emissie door extra oogst en extra transport*

Het transport van bermgras zal per vrachtwagen gebeuren. Volgens de TEWI richtlijnen is de CO<sub>2</sub> emissie voor wegtransport 0.07 kg CO<sub>2</sub> per ton per km. Bij een gemiddelde transportafstand van 100 km betekent dit 7 kg CO<sub>2</sub> per ton bermgras. Hiernaast is er extra CO<sub>2</sub> emissie door het transporteren van de vergiste co-fermentaten naar de akkers. Uitgaande van een zelfde CO<sub>2</sub> emissie van 0.07 kg CO<sub>2</sub> per ton fermentaat per km en 20 km transportafstand zal dit een emissie van 1.4 kg CO<sub>2</sub> per ton fermentaat betekenen.

Bij de oogst van het suikerbieten- en aardappelloof en het transport naar de vergister wordt voornamelijk een trekker gebruikt. Een trekker gebruikt, afhankelijk van de uit te voeren activiteit, 3.4-22.6 liter diesel per uur (van den Broek, 2000). Hier zijn we uitgegaan van een gemiddeld gebruik van 12.5 liter diesel per uur. Volgens de TEWI richtlijnen heeft 1 liter diesel een CO<sub>2</sub> uitstoot van 1 kg. Voor de teelt, oogst en inkuilen van maïs is in totaal 29 uur per hectare nodig, voor de oogst en inkuilen van suikerbietenloof 4.2 uur per hectare, voor de oogst en inkuilen van aardappelloof 3.1 uur per hectare. Voor het transport naar de Oude Zeug is uitgegaan van een transportafstand van 20 km (inclusief terugreis) bij een snelheid van 25 km/uur.