



PRAKTIJKONDERZOEK  
VEEHOUDERIJ



IMAG

# Mestverwerking varkenshouderij

## Composteren in roterende trommel, Bouwman te Ysselsteyn

D.A.J. Starmans (IMAG)  
N. Verdoes (Praktijkonderzoek Veehouderij)

**VARKENS**



MEI 2002

WAGENINGEN UR

# Colofon

## PraktijkBoek nr. 9

### **Uitgever/bestellen:**

Praktijkonderzoek Veehouderij  
Postbus 2176  
8203 AD Lelystad  
Tel: 0320 - 293211  
Fax: 0320- 241584  
E-mail: info@pv.agro.nl  
Internet: <http://www.pv.wageningen-ur.nl>

### **Redactie:**

Afdeling Kennisexploitatie en Marketing

### **Fotografie:**

Afdeling Voorlichting PV

### **Drukker:**

Drukkerij Cabri bv  
Lelystad

Eerste druk 2002/oplage 75

De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgen bij gebruik van in deze brochure vermelde gegevens.

# Inhoud

Voorwoord .....	1
Samenvatting .....	2
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Beschrijving composteerproces 7</b>	<b>7</b>
<b>3 Onderzoek:</b>	
<b>materialen en methoden .....</b>	<b>12</b>
3.1 Monstername en analyse .....	13
3.2 Metingen volumestromen .....	13
3.3 Emissiemetingen .....	15
3.4 Energiegebruik .....	17
3.5 Economische evaluatie .....	17
<b>4 Onderzoek:</b>	
<b>resultaten en discussie .....</b>	<b>19</b>
4.1 Techniek, volumestroommeting en capaciteit .....	19
4.2 Samenstelling stromen .....	20
4.3 Massabalans .....	22
4.4 Gasvormige emissies .....	25
4.5 Energiegebruik .....	29
<b>5 Economische evaluatie .....</b>	<b>30</b>
<b>6 Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>34</b>
<b>7 Composteerproces in breder perspectief .....</b>	<b>36</b>
Literatuur .....	39
Bijlagen .....	40
<b>Overige publicaties over mestverwerking .....</b>	<b>54</b>

# Voorwoord

In opdracht van het Productschap voor Vee, Vlees en Eieren is door het Praktijkonderzoek Veehouderij een onderzoeksprogramma uitgevoerd met de titel 'Toepassingsmogelijkheden mestverwerking op varkenshouderijbedrijven'. Het doel hiervan is het bevorderen van kansrijke technologieën voor de verwerking van varkensmest. Eind 1999/begin 2000 is een inventarisatie gemaakt van alle initiatieven in Nederland op het gebied van varkensmestverwerking.

De initiatieven werden globaal getoetst op technische betrouwbaarheid, economische haalbaarheid, verwachte afzetmarkt voor producten, innovativiteit, mate van mineralenhergebruik, ontwikkelingsstadium en verwachte emissies naar lucht, water en bodem. Er werden tien mestverwerkingsystemen geselecteerd voor het onderzoeksprogramma. De resultaten van het onderzoek bestaan voor elk systeem uit een objectief overzicht van de werking van de technologie, samenstelling van de producten, optredende emissies, investeringskosten en operationele kosten.

Het onderzoeksprogramma is begeleid door een programmateam met de volgende samenstelling:

Ir. J. Doornbos (tot juli 2000) (BMA)

W. van Gemert (NVV)

Ir. P.J.W. ten Have (BMA)

M. Jonkheid (PV, secretaresse)

Dr.ir. C.E. van 't Klooster

(tot december 2000) (IMAG)

Ir. R.W. Melse (tot 1-1-2002 PV, daarna IMAG)

G. Oosterlaken (LTO)

Dr.ir. S.J. Oosting (december 2000 – juli 2001) (IMAG)

E. Ordeman (NAJK)

Dr.ir. D.A.J. Starmans (na juli 2001) (IMAG)

Ir. N. Verdoes (PV, voorzitter)

Ir. M.C. Vonk (PVV)

Een van de onderzochte systemen is de trommelcomposteerinrichting van Tom Bouwman Mesthandel te Ysselsteyn. Voor u liggen de resultaten van dat onderzoek. We danken Tom Bouwman en zijn medewerkers voor de medewerking aan het onderzoek. Onder verantwoordelijkheid van het PV is de rapportage uitbesteed aan ing. J.P.B.F. van Gastel van Exlan Consultants te Veghel, waarvoor onze dank.

Tot slot spreek ik de hoop uit dat varkenshouders door dit onderzoek meer helderheid krijgen over de toepassingsmogelijkheden van verschillende mestverwerkingstechnieken, waardoor de onzekerheid over de (meestal grote) investeringen verkleind wordt.

Ir. N. Verdoes

Projectmanager Milieu

Praktijkonderzoek Veehouderij

# Samenvatting

Op het bedrijf van Tom Bouwman Mesthandel te Ysselsteyn (L) is onderzoek uitgevoerd naar het composteren van stapelbare mestfracties met behulp van een roterende composteer-trommel.

We hebben getracht via een meet-programma inzicht te krijgen in de capaciteit van het proces, de samenstelling van de eindproducten, de emissies die bij het proces optreden, de operationele kosten en het perspectief van de techniek.

In de procesruimte vond behalve compostering ook opslag van grondstoffen plaats. Met een loader zijn de te composteren fracties in een voorraadbunker gebracht. Gedurende meetperiode 1 is een mengsel van 5 ton/dag dikke fractie varkensmest (na centrifuge), 4 ton/dag kalkoenenmest met strooisel en 1 ton/dag nertsenmest met krullen verwerkt. Gedurende meetperiode 2 is een mengsel van 5 ton/dag dikke fractie varkensmest (na centrifuge) en 15 ton/dag kalkoenenmest met strooisel verwerkt. Het mengsel is vervolgens uit de voorraadbunker via banden in de composteertrammel gevoerd waar intensief werd belucht en gemengd. De doorlooptijd van de mest in de trommel bedroeg 10 tot 12 uur. De procestemperatuur in de trommel was circa 60°C. De gecomposteerde fractie werd uit de trommel

via een opvoerband in een container gestort en afgevoerd.

Het systeem bleek in technisch opzicht te functioneren. Verdere optimalisatie ten aanzien van de capaciteit van de warmtewisselaar, de capaciteit van de procesluchtventilator en de slijtagegevoeligheid van de voorraadbunker is echter mogelijk. In procestechnologisch opzicht heeft nog geen optimalisatie kunnen plaatsvinden. Om deze reden is de droging tot circa 50% drogestof beperkt gebleven.

Gedurende meetperiode 1 werd circa 10 ton per dag mengsel verwerkt tot circa 7 ton gecomposteerd product. Het verdampte water is voor een beperkt deel afgevoerd via het condensaat van de warmtewisselaar (279 kg/dag), wat aantoont dat slechts een beperkte hoeveelheid condensatiewarmte is teruggewonnen. Het overige deel van het vocht is via verzadigde lucht uit het systeem afgevoerd. De metingen gedurende meetperiode 2 zijn niet bruikbaar voor het beschrijven en verklaren van het proces, doordat menging met aanwezige producten uit meetperiode 1 heeft plaatsgevonden.

De gemiddelde emissie van twee meetmomenten geven een indicatieve emissie van ammoniak aan van 189 g/uur. Dit komt overeen met de

ammoniakemissie van 662 vleesvarkensplaatsen met gedeeltelijk roostervloer zonder emissiebeperkende maatregelen. In de geurmonsters is condensatie opgetreden waardoor we de metingen als onbetrouwbaar beschouwen. De gemeten geurconcentraties duiden wel op een relatief hoog geurniveau.

De metingen van de broeikasgassen methaan en lachgas duiden op een emissie van 159 g CO<sub>2</sub>-equivalenten /uur. De gepresenteerde emissiecijfers zijn gebaseerd op slechts een beperkt aantal metingen en geven daardoor een beperkte afspiegeling van de werkelijkheid.

De exploitatiekosten voor de trommelcompostering bedragen bij een capaciteit van 6.600 ton 18,35 euro per ton ingaande stapelbare mest. Voor de afzet van eindproducten dient men rekening te houden met extra kosten van 7,70 tot 13,70 euro per ton ingaande mest.

Voor de varkenshouder is het van belang welk aandeel van de dunne

mestfractie hij na centrifugeren op het eigen land kan aanwenden en welk deel hij moet afzetten. Het aandeel van de dikke mestfractie in de kosten is beperkt omdat de massa dikke fractie slechts 10 tot 20% van de totale mest bedraagt. Wanneer de meest optimale en minst optimale omstandigheden worden doorgerekend variëren de kosten per ton drijfmest voor de varkenshouder van 9,60 tot 23,40 euro per ton.

Het produceren van een ruwe compost voor de binnenlandse markt leidt tot verhoging van kosten ten opzichte van de directe afzet van dikke mestfracties die ontstaan na scheiding. Voor export is de ruwe compost te laagwaardig om een goede prijs te kunnen genereren. Het produceren van een biobrandstof biedt mogelijk perspectief. Productie van organische mestkorrels geeft de meeste toegevoegde waarde. Dit noodzaakt echter tot investering in een nageschakeld proces en schaalvergroting of samenwerking met bestaande marktpartijen.

# 1 Inleiding

Door verscherpte regelgeving en afname van het areaal landbouwgrond zijn de plaatsingsmogelijkheden voor dierlijke mest in de Nederlandse landbouw de afgelopen jaren afgenomen. Daardoor zijn de kosten voor het afvoeren van mest van veehouderijbedrijven binnen circa 5 jaar verdrievoudigd. Daarom wordt veel aandacht besteed aan mogelijkheden voor besparing van kosten via verwerking van mest. Export van mestproducten heeft hierbij speciale aandacht, omdat export van mineralen de binnenlandse markt ontlast. Door compostering kunnen de kiemgetallen voor Salmonellabacteriën en Enterobacteriaceae worden gereduceerd, zodat men kan voldoen aan de Europese richtlijnen voor export van mestproducten van dierlijke oorsprong en de regelgeving van de ontvangende landen.

Tom Bouwman Mesthandel te Ysselsteyn is sinds geruime tijd actief in de handel en export van stapelbare mestsoorten. In 2000 heeft dit bedrijf een proefinstallatie voor trommelcompostering gebouwd. Dit had tot doel ervaring op te doen met de techniek en de mogelijkheden te onderzoeken voor het bewerken van verschillende mestfracties ter voorbereiding op de exploitatie van een grootschaliger bewerkingsproces.

## Onderzoekskader

In opdracht van het Productschap voor Vee, Vlees en Eieren (PVV) werd in 2000 door het Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) een onderzoeksprogramma gestart met als titel 'Toepassingsmogelijkheden mestverwerking op varkenshouderijbedrijven'. Er is een inventarisatie gemaakt van alle initiatieven in Nederland op het gebied van varkensmestverwerking. Op deze manier werd informatie verzameld van circa 80 projecten op dit gebied. De verschillende technieken en ideeën voor mestverwerking in deze projecten werden vervolgens getoetst aan de hand van een aantal criteria. De belangrijkste criteria waren technische betrouwbaarheid, economische haalbaarheid, verwachte afzetmarkt voor producten, innovativiteit en de marktintroductie dient binnen 2 jaar te geschieden. Ook dienen de systemen vervuiling van bodem en water, emissie van geur, ammoniak en broeikasgassen te voorkomen. De systemen dienen hergebruik van mineralen te stimuleren, waardoor het mineralenoverschot wordt teruggebracht.

Op grond van deze toetsing werden tien mestverwerkingsystemen geselecteerd (tabel 1). Een aantal systemen is ontwikkeld door individuele varkenshouders en een aantal is ontwikkeld door de toeleverende industrie. De systemen bevinden zich

**Tabel 1:** Overzicht geselecteerde verwerkingssystemen voor varkensmest.

Naam	Techniek	Producten	Capaciteit (m <sup>3</sup> /jaar)	Opmerking
<i>Mechanisch / Chemisch:</i>				
1	De Swart	Strobedfilter, verdamping met zonlicht, luchtzuivering	Vloeibare fractie, N-rijk condens, vaste fractie	1.600 * Eenvoudige technieken
2	Dirven	Vijzelpers, centrifuge, microfiltratie	Vloeibare fractie, concentraat, vaste fractie	3.600 *
3	Agramaat	Flotatie, kamerfilterpers, microfiltratie, omgekeerde osmose	Vaste fractie Concentraat, Filtraat (water)	8.000 ** Mobiel
4	Mest-op-maat	Toevoegen mineralen, menging van verschillende mestsoorten	Vloeibare meststof met constante kwaliteit	25.000 ** Regionaal
5	Mestec	Zeef, flotatie, ultrafiltratie, omgekeerde osmose	Schoon water, Concentraat, Vaste fractie	50.000 ** Mobiel
<i>Biologisch:</i>				
6	Biovink	Beluchting, toevoeging kalk en melasse	Slib, vloeibare fractie	3.000 * Omzetting naar N <sub>2</sub>
7	OrgAgro	Toevoeging bacteriën, mengen, zeefbocht	Vloeibare meststof voor kaskweek, vaste fractie	2.500 ** Eenvoudig, goede afzetmogelijkheden
<i>Thermisch:</i>				
8	Bouwman	Compostering in droogtrommel, luchtreiniging	Compost, condens	10.000 ** Gesteriliseerde producten
9 10	Manura®	Centrifuge, verwarmen, strippen, condenseren	Schoon water, N-concentraat, NPK-concentraat, Vaste fractie	16.000 * Gesteriliseerde producten

\* Informatie gebaseerd op onderzoek uitgevoerd onder begeleiding van Praktijkonderzoek Veehouderij.

\*\* Informatie aangeleverd door leverancier.

bij een varkensbedrijf of een loonwerker met mestopslag.

### Onderzoeksdoel

Het doel van het onderzoek is het testen en analyseren van de geachte mestverwerkingsystemen. Van ieder systeem moet een nutriëntenbalans worden gemaakt, informatie worden verzameld over de stabiliteit van de procesvoering, optreden van storingen, capaciteit, kosten en energiegebruik en van elk systeem moet de milieubelasting worden bepaald door het meten van optredende emissies van broeikasgassen, ammoniak en geur.

### Onderzoekopzet

Het onderzoek bestond uit:

1. Vastlegging van technische prestaties van het mestverwerkingsysteem gedurende 4 weken. Geregistreerd werden: hoeveelheid en samenstelling mest, hoeveelheden en samenstelling eindproducten, energieverbruik, storingen, stabiliteit proces etc. Deze metingen zijn grotendeels uitgevoerd door de varkenshouder of door de leverancier van het mestverwerkingsysteem. De metingen zijn uitgevoerd volgens een vooraf door het PV opgesteld monsternamenmeetprotocol. Het personeel van het PV heeft regelmatig de diverse systemen bezocht, contact onderhouden en betrokkenen begeleid. De resultaten van de metingen en analyses zijn door Bouwman

Mesthandel te Ysselsteyn aan het PV gerapporteerd (Michels, 2002a).

2. Meting van gasvormige emissies  
De emissie van ammoniak, broeikasgassen en geur uit het composteerproces is gemeten door het IMAG bv te Wageningen.
3. Economische evaluatie  
Om de jaarkosten van de verschillende technieken met elkaar te vergelijken zijn standaard uitgangspunten opgesteld voor ondermeer rentevoet, afschrijvingstermijnen, onderhoud, energiekosten en arbeid. Per onderzoeksproject zijn de investeringen en jaarkosten in beeld gebracht.

### Relevantie van onderzoek

Met behulp van de informatie uit het onderzoek kan een varkenshouder een systeem kiezen dat het beste past in zijn of haar situatie. Er is objectieve informatie beschikbaar over investeringen, operationele kosten, werking van het systeem, samenstelling van de producten etc. Ook de gevolgen voor de MINAS-boekhouding kunnen van tevoren worden vastgesteld.

Omdat alle emissies zijn gemeten, kunnen de resultaten ook een rol vervullen bij de aanvraag van de benodigde vergunningen voor een mestverwerkinginstallatie, omdat men tevoren kan inschatten wat de milieubelasting van de installatie zal zijn.



## 2 Beschrijving composteerproces

Onder compostering verstaan we de afbraak van organisch materiaal in poreuze stapelbare producten in een vochtige, warme en aërobe omgeving.

Het composteringsproces wordt reeds lang toegepast voor de verwerking van afval. Vooral boeren gebruikten het extensief composteren in het verleden als methode om organische afvalstoffen zoals mest te verwerken tot een droger en stabiel eindproduct. De snelheid waarmee dit gebeurde verschilde echter weinig van de snelheid waarop organische stoffen op natuurlijke wijze werden afgebroken. De afgelopen jaren is veel kennis verworven met betrekking tot het versnellen en controleren van het composteringsproces. De efficiëntere intensieve composteermethoden onderscheiden zich van de extensieve methoden door de toepassing van een geforceerde beluchting. Hierbij kan men voorzieningen treffen voor de procesbeheersing en voor de beperking van emissies van geur, ammoniak en stof en de verdamping van water.

Het composteren van organische producten kent verschillende voordelen. Het composteringsproces in tunnels of op hopen leent zich voor het verwerken van grote hoeveelheden organische (afval)producten, het geeft een validatie van de te verwerken producten en de benodigde ener-

gie en arbeid is gering. Bovendien zorgt de tijdens het proces geproduceerde warmte voor een aanzienlijke droging en volumereductie van het ingaande product. De eindproducten zijn stabiel en van betere sanitaire kwaliteit dan de uitgangsmaterialen. Het composteerproces in tunnels of op hopen heeft als nadeel dat een relatief groot bedrijfsoppervlak nodig is en dat de kosten in verhouding tot de mestafzetkosten hoog zijn.

In het onderhavige project is getracht het benodigde bedrijfsoppervlak te verkleinen door versnelling van het composteer- en droogproces. Dit kan men bereiken door de benutting van de geproduceerde warmte te optimaliseren. Door de ingaande proceslucht in een warmtewisselaar op te warmen met de warme uittredende lucht worden de warmteverliezen beperkt. In de warmtewisselaar treedt condensatie op waardoor tevens condensatiewarmte kan worden teruggewonnen. Via dit principe kan men relatief gemakkelijk een hoge composteertemperatuur realiseren. De relatief hoge temperatuur zorgt voor een hoge omzettingssnelheid van het organisch materiaal.

Door toepassing van een roterende trommel als composteerruimte kan men een intensieve menging van het product en een efficiënte beluchting

realiseren. Ook dit resulteert in een verhoging van de omzettingssnelheid van het organisch materiaal ten opzichte van compostering in tunnels of op hopen.

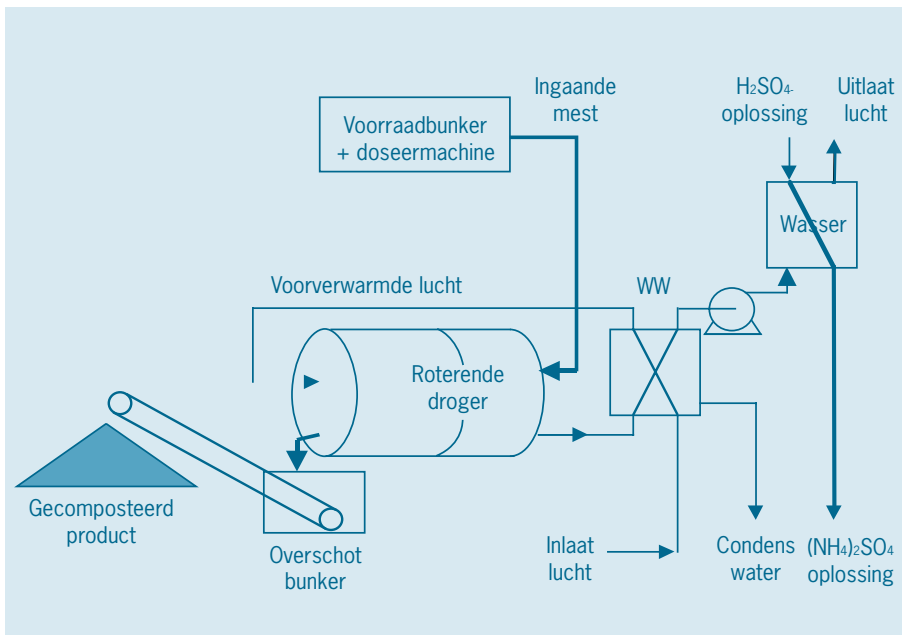
### Beschrijving systeem

Figuur 1 geeft een schematische voorstelling van het composteerproces bij Tom Bouwman Mesthandel. Bijlage 1 is een overzicht van de indeling van de loods waarin de compostering is uitgevoerd.

Het proces bestaat uit de volgende onderdelen:

### Invoergedeelte

Het invoergedeelte bestaat uit een voorraadbunker, een doseermachine en invoerbanden. Figuur 2 geeft een beeld van de voorraadbunker. Met een loader worden de grondstoffen in de bunker geladen. De bunker is voorzien van een ketting met meeners, die de grondstoffen naar de doseermachine brengen aan de achterzijde van de bunker (figuur 3). De doseermachine bestaat uit twee in tegengestelde richting draaiende walsen die de aangevoerde grondstoffen meenemen, mengen en op een lopende band storten. De lopende band voert de grondstoffen in de composteertrommel.



Figuur 1 Schematische weergave van het composteerproces



*Figuur 2 Voorraadbunker en composteertrommel*

### *Composteertrommel*

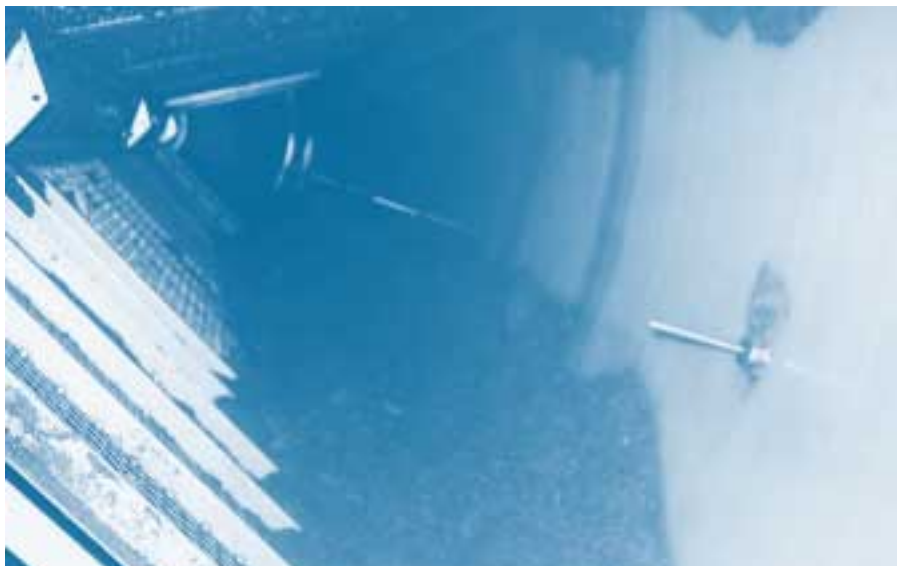
De trommel is 9 meter lang en heeft een diameter van 2,4 meter (figuur 2, links). De compostering wordt als continu proces bedreven. De vullingsgraad van de trommel bedraagt maximaal 60%.

De matrijsmeenemers in de trommel zorgen voor menging en transport van het mengsel van de invoerzijde naar de uitvoerzijde (figuur 4). Het eindproduct krijgt door de intensieve menging een fijne korrelstructuur. De ventilator voor de aanvoer van proceslucht is geplaatst voor de lucht-wasser. De warmtewisselaar zuigt de proceslucht aan. Dit gaat door de trommel en vervolgens nogmaals door de warmtewisselaar om de aangezogen koude lucht op te warmen met de uitgaande warme lucht. De procescondities kunnen worden ingesteld door variatie van de invoer-

hoeveelheid, de rotatiesnelheid van de trommel en het ventilatiedebiet van de proceslucht. Het ventilatie-



*Figuur 3 Doseerinrichting*



*Figuur 4* Matrijsmeenemers in composteertrommel

debiet wordt automatisch geregeld door het verschil tussen de gewenste en gemeten temperatuur in de



*Figuur 5* Uitvoer eindproduct in container

trommel. Aan de uitvoerzijde wordt het gecomposteerde materiaal met behulp van een transportband uit de trommel naar een opslagcontainer gevoerd (figuur 5).

#### *Warmtewisselaar en ventilatie*

Bij de afbraak van organische stof komt warmte vrij. Een deel van deze warmte wordt teruggewonnen door de ingaande proceslucht op te warmen met de warme uittredende lucht in een warmtewisselaar. De opgewarmde verse lucht kan een relatief grote hoeveelheid vocht opnemen, waardoor de droogcapaciteit toeneemt.

De warmtewisselaar (figuur 6) is opgebouwd uit acht pakketten van twee gegalvaniseerde golfplaten met een afmeting van 200 x 85 cm. De in- en uitgaande proceslucht worden om en om in tegenstroom door de



*Figuur 6 Warmtewisselaar*

ruimten tussen de platen geleid. De capaciteit van de warmtewisselaar is niet bekend.

De ingaande lucht is afkomstig uit de loods. De uitgaande proceslucht wordt afgevoerd naar de luchtwasser. Het opgegeven maximale luchtdebiet bedraagt  $2.300 \text{ m}^3$  per uur.

#### *Luchtwasser*

Om de ammoniakemissie te beperken wordt de uittredende lucht door een chemische luchtwasser (type ECO 2000) geleid. De wasser is voorzien van een eigen ventilator met een capaciteit die bij benadering gelijk is aan de capaciteit van de procesventilator. In de wasser wordt de lucht in contact gebracht met een zwavelzure oplossing met een pH van circa 1. Om 1 kilo  $\text{NH}_3$  te binden is theoretisch 3 kilo  $\text{H}_2\text{SO}_4$  nodig.



*Figuur 7 Luchtwasser*

Door het invangen van de ammoniak in de zwavelzure oplossing ontstaat het product ammoniumsulfaat ( $\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). De ammoniumsulfaatoplossing wordt uit de wasser afgevoerd en opgeslagen. De ammoniumsulfaatoplossing wordt gebruikt om het stikstofgehalte van af te zetten mestfractie te verhogen. Figuur 7 toont de toegepaste luchtwasser.

#### *Procesbesturing*

Het vullen van de trommel vanuit de voorraadbunker, de regeling van het ventilatiedebiet, het afvoeren van het product uit de trommel en het luchtwasproces zijn volledig geautomatiseerd. Diverse meetgegevens worden continu vastgelegd in het computersysteem. Monitoring en bijsturen op afstand is mogelijk.

## 3 Onderzoek: materiaal en methoden

In de periode van november 2000 tot en met januari 2002 is het proces in mechanische zin geoptimaliseerd. In deze periode heeft het systeem niet altijd gedraaid door storingen. De voornaamste storingen zijn vastgelegd en worden besproken in hoofdstuk 4.

Na de mechanische optimalisatie is gedurende 32 dagen, waarin het systeem continu en zonder storingen heeft gedraaid, de werking van het proces onderzocht. In deze weken zijn de resultaten verzameld. Gedurende het onderzoek zijn metingen uitgevoerd, monsters genomen en alle voorkomende werkzaamheden en relevante ervaringen genoteerd. Op twee dagen zijn emissiemetingen uitgevoerd voor ammoniak, geur en de broeikasgassen CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>.

### Werkwijze

Met een loader zijn de te composteren fracties in de gewenste verhoudingen in de voorraadbunker gebracht. Gedurende de proefperiode zijn twee mengverhoudingen toegepast:

Periode 1:

7 tot en met 27 februari 2002, 21 dagen, 10 ton/dag, waarvan 5 ton/dag dikke fractie varkensmest (na centrifuge)

4 ton/dag kalkoenenmest met strooisel

1 ton/dag nertsenmest met krullen

Periode 2:

28 februari tot en met 10 maart 2002, 11 dagen, 20 ton/dag, waarvan 5 ton/dag dikke fractie varkensmest (na centrifuge)

15 ton/dag kalkoenenmest met strooisel

Bij de bepaling van de mengverhoudingen is uitgegaan van een droge-stofgehalte van het mengsel van circa 40%, om voldoende organische stof in relatie tot de te verdampen hoeveelheid vocht ter beschikking te hebben. In periode 2 is onderzocht of de aanvoerhoeveelheid verdubbeld kon worden. Het mengen van de verschillende fracties vond als volgt plaats: de voorraadbunker werd zoveel mogelijk gemengd gevuld, vervolgens is de voorraadbunker leeggedraaid, waarbij de inhoud bij het verlaten van de buffer werd gemengd door de twee walsen van de doseermachine, vergelijkbaar met het werkingsprincipe van een vaste meststrooier. Het mengsel werd op een hoop gestort en opnieuw in de voorraadbunker gebracht met de Oloader. Het mengsel is vervolgens vanuit de voorraadbunker via banden naar de composteertrommel gevoerd en passeerde daarbij opnieuw de mengwalsen van de doseermachine. Tijdens het composteerproces vond intensieve menging van de fracties plaats door de roterende trommel en

**Tabel 2:** Monsternamepunten

Codering	Omschrijving
M1	Dikke fractie varkensmest verkregen na centrifuge
M2	Voorraad kalkoenmest met strooisel
M3	Voorraad nertsenmest met krullen
M4	Eventueel overig te composteren product
M5	Het mengsel van dikke fractie (M1) en de gebruikte toeslagmaterialen (M2, M3, M4)
M6	Compost (eindproduct)
M7	Condensatie water uit warmtewisselaar
M8	Spuiwater chemische wasser
M10	Leidingwater luchtwasser

de matrijsmeenemers. De verblijftijd van de mest in de trommel is ingesteld op circa 10 tot 12 uur. De gecomposteerde fractie werd uit de trommel via een opvoerband in een container gestort.

### 3.1 Monstername en analyse

Gedurende de onderzoeksperioden zijn tweemaal per week monsternames en analyses uitgevoerd. In tabel 2 staan de monstername- en meetpunten vermeld, tabel 3 geeft een overzicht van de analyses per monster.

De monstername bij de punten M1 t/m M6 heeft plaatsgevonden door op meerdere plaatsen en diepten van de voorraad product een deelmonster te nemen, de verschillende deelmonsters te mengen en vervolgens van het mengsel een verzamelmonster te nemen ter grootte van een standaard MINAS-monsterpot. Tijdens de meetperiode hebben we twee-

maal per week deelmonsters genomen, waaruit het uiteindelijke verzamelmonster werd bereid.

De monstername bij M7, M8 en M10 heeft plaatsgevonden door het afvullen van standaard monsternameflessen van het laboratorium onder de uitstromen.

Het condensatiewater uit de warmtewisselaar en het spuiwater uit de luchtwasser bevatten enkel opgeloste bestanddelen.

De monsters zijn aangeboden aan het laboratorium van Grond-, Gewas- en Milieulaboratorium “Zeeuws Vlaanderen” te Graauw voor analyse.

### 3.2 Metingen volumestromen

Hieronder wordt beschreven op welke wijze de verschillende volumestromen in het systeem zijn bepaald.

#### **Dikke mestfractie en overige organische fracties**

Het gewicht van de te composteren

**Tabel 3:** Overzicht van de analyses per monsternamepunt.

Analyse	Monsternamepunt							
	M1	M2, M3, M4	M5	M6	M7	M8	M10	
Droge stof	X	X	X	X				
As rest	X	X	X	X				
Stikstof-totaal	X	X	X	X	X	X	X	
Ammonium-stikstof	X	X	X	X	X	X	X	
Fosfaat-totaal	X	X	X	X				
Kalium	X	X	X	X				
Zuurtegraad (pH)	X	X	X	X	X	X	X	
Elektrische geleidbaarheid (EC)					X	X	X	
Chemisch zuurstofverbruik (CZV)					X	X	X	
Biochemisch zuurstofverbruik (BZV5)								
Vluchtige vetzuren					X	X	X	
Nitraat	X	X	X	X				
Nitriet	X	X	X	X				
Koper	X	X	X	X				
Zink	X	X	X	X				
Cadmium	X	X	X	X				

fracties werd bepaald door de loader die was voorzien van een weeginrichting. De loader bracht de gewenste hoeveelheden per dag in de voormengbuffer.

### Compost

Via een opvoerband werd het gecomposteerde product in een container opgevangen. De container is dagelijks gewogen op een weegbrug en vervolgens gelegegd.

### Condenswater warmtewisselaar

Het condenswater werd met een pomp automatisch uit de lekbak onder de warmtewisselaar naar een voorraadvat van 1.000 liter gepompt. Het voorraadvat was voorzien van maatstrepen per 50 liter. Dagelijks zijn de standen genoteerd.

Vanuit het voorraadvat werd het condensaat afgevoerd.

### Spuiwater luchtwasser

Het spuiwater werd met een pomp automatisch uit de luchtwasser verwijderd en naar een voorraadvat van 1.000 liter gepompt. Het voorraadvat was voorzien van maatstrepen per 50 liter. Dagelijks zijn de standen genoteerd. Het stikstofrijke spuiwater is niet aan de compost toegevoegd.

### Leidingwater

Het leidingwater dat aan de luchtwasser werd toegevoegd is gemeten met een standaard watermeter. Gedurende de meetperioden zijn de meterstanden dagelijks genoteerd.



## Zwavelzuur

Het zwavelzuur werd aangevoerd in vaten van 200 liter. De vaten zijn voorzien van een maatverdeling. Dagelijks werd het niveau in de voorraadvaten afgelezen en het verbruik genoteerd.

### 3.3 Emissiemetingen

De loods waarin de composteertrommel stond opgesteld deed ook dienst als opslag voor de te gebruiken mestsoorten, stapelbare kippen- en kalkoenenmest en kaliumzout. Onder de dakrand en bij de vensters in het dak waren openingen (golfplaten dak) waardoor enige verversing van de lucht in de ruimte mogelijk was. Tijdens de meetdagen werden de twee aanwezige deuren gesloten en metingen verricht aan het systeem zélf en de ruimte waarin het systeem zich bevond.

De in het systeem gebruikte ventilatielucht werd vanuit de ruimte aangezogen (bijlage 2, monsterpunt 1) met een ventilator. Na passage van de warmtewisselaar en de droogtrommel werd de lucht in de aanzuigopening van de chemische wasser geblazen. Hierbij is mogelijk een gedeelte van de met ammoniak beladen lucht vrij gekomen in de ruimte. Het grootste deel van de lucht ging wel door de wasser en werd met een horizontale buis ( $d=40$  cm) door de buitenwand van de schuur op een hoogte van circa 3 meter naar buiten geleid (bijlage 2, monsterpunt 2). Ook lucht midden in de ruimte (bijlage 2, mon-

sterpunt 3) werd bemonsterd. Om te corrigeren voor de achtergrondconcentratie werd ook bovenwinds van de ruimte een achtergrondmonster verzameld (bijlage 2, monsterpunt 4). De volgende parameters werden gemeten:

- Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid;
- Ventilatie-debiet van het systeem;
- Ammoniakconcentraties;
- Broeikasgasconcentraties ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$ );
- Geurconcentraties.

### Klimaat

De temperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) en de relatieve luchtvochtigheid (%) in de ruimte (bijlage 2, monsterpunt 1) en van de uitgaande lucht van het systeem (bijlage 2, monsterpunt 2) werden continu gemeten met een temperatuur- en vochtsensor (Rotronic Hygromer). De data zijn geregistreerd met een datalogger. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten werden gemeten met een Handheld Rotronic, en de windsnelheid met een windsnelheidsmeter.

### Ventilatie-debiet

Natuurlijke ventilatie trad op door de aangegeven kieren onder de dakrand en er was sprake van mechanische ventilatie bij de uitlaat van de luchtwasser. Door tracergasmetingen ( $\text{SF}_6$ ) is een poging gedaan om het natuurlijke ventilatie-debiet te meten. Doordat het tracergas echter erg moeilijk homogeen over de ruimte verspreid kon worden, konden we

niet voldoen aan de randvoorwaarden die voor de meting in acht genomen dienen te worden (Van 't Ooster, 1993). Alleen het mechanische ventilatiedebiet is daarom verder uitgewerkt.

Het mechanische ventilatiedebiet is bepaald met een meetventilator ( $d=40$  cm) (bijlage 2, meetpunt 2). Deze was samen met een meetkoker luchtdicht op de uitlaat ( $d=40$ cm) van de luchtwasser gemonteerd. Tijdens de omwentelingen van de meetventilator werden pulsen afgegeven. Het gemiddeld aantal pulsen per seconde is om de 5 minuten geregistreerd met een datalogger. De meetventilator is voor de metingen gekalibreerd in een windtunnel.

### **Ammoniakconcentratie**

Met de natchemische methode is een tijdgewogen gemiddelde van de ammoniakconcentratie bepaald (Wintjens, 1993). Hierbij werd gedurende de meetperiode lucht van een emissiebron met een pomp door twee in serie staande gaswasflessen met salpeterzuur geleid. In de eerste gaswasfles (gevuld met  $1\text{M HNO}_3$ ) werd het ammoniak opgevangen; de tweede fles (gevuld met  $0,02\text{ M HNO}_3$ ) diende ter controle van de verzaadiging en/of slechte opname van ammoniak in de eerste fles. De snelheid van luchtdoorstroming is geregeld met een kritisch capillaire (2000 ml/min); de werkelijke hoeveelheid doorgeleide lucht werd bepaald met een zeepvliesmeter. De globale ammoniakconcentratie werd

vooraf bij installatie van de meetapparatuur bepaald met gasdetectiebuisjes. Deze indicatieve meting gebruikten we om de salpeterzuurconcentraties in de gaswasflessen te bepalen en de detectiebuisjes voor het bepalen van de achtergrondconcentratie. Uit de gegevens van de met zeepvliesmeter bepaalde luchtsnelheid, en de analyse van beide oplossingen in de gaswasflessen (NEN 6472, MSP-A014) is de concentratie ammoniak bepaald.

### **Geurconcentratie**

De geurmetingen werden uitgevoerd volgens het meetprotocol voor geurremissies uit de veehouderij (Anoniem, 1996). De lucht werd 2 uur aangezogen door een pomp. De bemonstering is uitgevoerd met de 'longmethode'. Hierbij werd een lege monsterzak, die zich in een gesloten vat bevond, via een teflonslang gevuld met lucht afkomstig van een emissiebron. Door de lucht uit het vat te zuigen ( $0,5$  l/min) ontstond in het vat een onderdruk en werd lucht aangezogen. De lucht is vóór het monstervat gefilterd met een stoffilter (poriediameter 1 tot 2mm). Het geurlaboratorium van het IMAG heeft de geuranalyses uitgevoerd volgens de voornorm NVN2820 met wijzigingsblad A1 (1995/1996). De geurconcentraties en -emissie staan vermeld in respectievelijk  $\text{OUE}/\text{m}^3$  en  $\text{OUE}/\text{s}$ . De uitdrukking 'OUE' staat hierbij voor 'European Odour Units'.

## Broeikasgasconcentratie

De luchtmonsters waarin de broeikasgassen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  bepaald werden, hebben we verzameld in canisters. Een canister is een monsternamevat. Per meetperiode hebben we de achtergrondconcentratie bepaald door een spuitje (20 ml) met lucht aan de bovenwindse kant van de monsterneming te vullen. Op het laboratorium zijn met een gaschromatograaf de concentraties bepaald.

De *Global Warming Potential* (GWP) van een gas geeft aan welke bijdrage dit gas levert aan het broeikaseffect in verhouding tot kooldioxide, uitgaande van een tijdsduur van 100 jaar. Kooldioxide, methaan en lachgas zijn broeikasgassen met een GWP van respectievelijk 1, 21 en 310 (IPCC, 1996). De emissies van broeikasgassen wordt meestal uitgedrukt in  $\text{CO}_2$ -equivalenten, het product van de emissie van het gas en de GWP. Het is gebruikelijk alleen die gassen mee te rekenen die daadwerkelijk een bijdrage leveren aan het broeikaseffect. In dit geval betekent dit dat alleen de  $\text{CH}_4$ - en  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie werd meegenomen omdat de hoeveelheid geëmitteerde  $\text{CO}_2$  deel uitmaakt van de korte (natuurlijke) kringloop.

## Dataverwerking

Voor alle gassen werd de emissie op dezelfde manier berekend. Het stikstofverlies in de vorm van  $\text{NH}_3$  en  $\text{N}_2\text{O}$  is berekend als percentage van de ingaande hoeveelheid stikstof. Het debiet van de gasstroom uit het mestverwerkingssysteem werd berekend op de wijze weergegeven in bijlage 3.

## Temperatuur compostering

In de trommel vond continue meting van de procestemperatuur plaats. De metingen werden opgeslagen en via het automatiseringsproces uitgelezen.

## 3.4 Energiegebruik

De hoeveelheid elektriciteit, verbruikt door het systeem, werd geregistreerd met één kWh-meter voor de luchtwasser en één kWh-meter voor de overige procesonderdelen.

## 3.5 Economische evaluatie

Om een objectieve vergelijking van kosten van verschillende systemen mogelijk te maken, hanteren wij een aantal uitgangspunten voor het maken van een kostenberekening. Deze zijn als volgt:

- Afschrijvingsduur machines: 7,5 jaar (13%); restwaarde = 0
- Afschrijvingsduur mestverwerkingsgebouwen: 10 jaar (10%); restwaarde = 0
- Onderhoud: 3% van totale investering
- Rentevoet: 2,75% effectief
- Elektriciteitskosten, uitgaande van grootverbruik: € 0,062 / kWh
- Arbeidskosten: € 18,- / uur
- Draaiuren: maximaal 8.000 / jaar
- Emissiearm aanwenden dunne fractie (door loonwerker): € 3,50 / ton
- Verregeren water (incl. vaste kosten): € 0,50 / ton

Na calculatie van de bewerkingskosten is voor de afzet van de producten door de onzekerheid op de mestmarkt gerekend met een positief en negatief scenario.

## 4 Onderzoek: resultaten en discussie

### 4.1 Techniek, volumestroommeting en capaciteit

#### Techniek

Het invoergedeelte werkt naar behoren. De transportketting in de voorraadbunker vergt echter veel onderhoud. Toepassing van een walking floor is een mogelijk alternatief. Slijtage van de aandrijfwielen van de trommel zorgde aanvankelijk voor veel problemen. Deze konden we verhelpen door toepassing van een kettingaandrijving. Ook de vervorming van de trommel door de ongelijke gewichtsverdeling van het product in de trommel veroorzaakte slijtageproblemen. Met een roestvrijstalen binnenwerk en een ver-

beterde ondersteuningsconstructie werd vervorming van de trommel afdoende tegengegaan.

In de warmtewisselaar zijn lekkages ontstaan waardoor het rendement van de wisselaar is afgenomen.

Aangezien de conditionering van de ingaande proceslucht in belangrijke mate bepalend is voor de droogcapaciteit van de trommel is het rendement en de capaciteit van de wisselaar van wezenlijk belang voor het proces. Het suboptimaal functioneren van de warmtewisselaar heeft de resultaten van de proefperiode in negatieve zin beïnvloed.

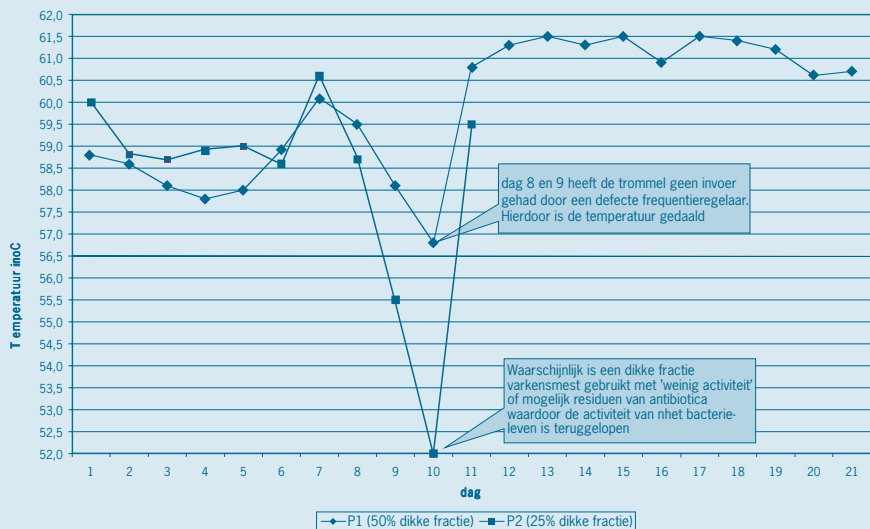
De luchtwasser functioneert in mechanische zin naar behoren. Omdat de ammoniakconcentratie alleen na de

**Tabel 4:** Gemiddeld gerealiseerde massa- en volumestromen

Processtroom	Eenheid	Periode 1 *	Periode 2 **
M1 dikke varkensmest	kg/dag	5.218	4.904
M2 kalkoenenmest met strooisel	kg/dag	4.328	14.229
M3 nertsenmest met krullen	kg/dag	890	0
M5 mengsel M1 t/m M3	kg/dag	10.437	19.133
M6 compost	kg/dag	7.083	14.013
M7 condensaat warmtewisselaar	l/dag	279	232
M8 ammoniumsulfaat luchtwasser	l/dag	671	459
M10 leidingwater wasser	l/dag	594	330
M11 zwavelzuur	l/dag	51	56

\* 7 t/m 27 februari 2002

\*\* 28 februari t/m 10 maart 2002



**Figuur 8** Verloop van de gemiddelde procestemperatuur in de composteertrommel

wasser en ook niet direct voor de wasser is gemeten is niet bekend met welk rendement de wasser heeft gefunctioneerd.

### Volumestroommetingen en capaciteit

Tabel 4 toont de gemiddelde resultaten van de debietmetingen. De resultaten van de individuele metingen staan in bijlage 4.

Gedurende periode 1 werd ruim 10 ton per dag stapelbare mestfracties in het proces ingevoerd. Het aandeel dikke varkensmest, kalkoenen- en nertsenmest in het mengsel bedroeg respectievelijk 50%, 41,5% en 8,5%. Dagelijks werd gemiddeld ruim 7 ton per dag compost geproduceerd. Dit duidt op een massaverlies van circa 3 ton per dag, veroorzaakt door afbraak van organische stof en verdamping

van water.

In periode 2 werd de invoer verhoogd naar ruim 19 ton per dag, waarbij het aandeel dikke varkensmest, kalkoenen- en nertsenmest respectievelijk 26%, 74% en 0% bedroeg. Gemiddeld werd circa 14 ton per dag compost geproduceerd. Het massaverlies bedroeg circa 5 ton per dag. De procestemperatuur in periode 1 varieerde tussen 57 en 62°C. Gedurende periode 2 varieerde de temperatuur tussen 58 en 61°C, met een uitschieter naar 52°C op de 10e dag.

### 4.2 Samenstelling stromen

In tabel 5 staan de gemiddelde gehalten van de processtromen van meetperiode 1. De individuele meetwaarden zijn opgenomen in bijlage 5. Tabel 6 toont de gemiddelde gehalten

**Tabel 5:** Gemiddelde samenstelling processtromen in meetperiode 1

Meetperiode: 1		M1	M2	M3	M5	M6	M7	M8	M10
kg/ton vers product (M1 t/m M6) mg/(M7 t/m M10)	droge stof	217	558	578	408	517			
	asrest	81	115	139	106	139			
	organische stof	191	443	440	302	378			
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	2,24	6,12	10,73	7,58	4,76	2326	58329	17,22
	nitraat-N NO <sub>3</sub>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	organische-N	6,63	21,20	23,52	11,97	14,63	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	nitriet-N NO <sub>2</sub>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,9	< 0,1	< 0,1
	N-totaal	8,87	27,32	31,30	19,55	19,39	2327	58329	14,66
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	14,72	21,02	35,75	20,87	27,32			
	kalium (K <sub>2</sub> O)	5,18	20,22	6,02	12,03	16,52			
pH	8,7	8,6	7,6	8,6	8,9	9,2	2,8	7,1	
mg/kg d.s.	cadmium (Cd)	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3			
	koper (Cu)	234	109	37	138	161			
	zink (Zn)	352	386	310	435	444			
mS/cm	E.C.-waarde					10,62	281	0,53	
mg/l	CZV					2026	301,4	1,7	
meq/l	vluchtige vetzuren					61	159	4,3	

van de processtromen van meetperiode 2. De individuele meetwaarden staan in bijlage 6.

In meetperiode 1 werd een mengsel van stapelbare mestfractie met een drogestofgehalte van circa 40% gedroogd tot een drogestofgehalte van bijna 52%. Het eindproduct heeft nog een relatief hoog vochtgehalte, waardoor microbiële processen kunnen blijven plaatsvinden. Het eindproduct is dus niet stabiel. Bacterietypen die tijdens het composteren in aantal zijn gereduceerd door de thermische behandeling kunnen na afkoeling van het product weer in aantal toenemen. Het eindproduct (M6) bevatte 19,39 kg per ton stikstof, waarvan 4,76 kg in de vorm van ammonium. Ondanks de hoge temperatuur en de intensieve beluchting vervluchtigt niet alle ammoniak.

Nitriet en nitraat zijn in de mestproducten niet aangetoond. Het fosfaat- en kaliumgehalte van het eindproduct

bedroeg respectievelijk 27,3 en 16,5 kg/ton.

Het ammoniakgehalte van het condensaat was bijna even hoog als het ammoniakgehalte in de dikke fractie varkensmest, namelijk 2,3 kg/ton. De ammoniumsulfaatoplossing uit de luchtwasser bevatte circa 58,3 g/l stikstof in de vorm van ammonium.

In meetperiode 2 werd minder verdroogd dan in periode 1. Het mengsel van ingaande mestproducten werd gedroogd van circa 43 tot circa 47% drogestof.

Het eindproduct bevatte 25,8 kg/ton stikstof, 21,5 kg/ton fosfaat en 18,1 kg/ton kalium.

Opmerkelijk is het lagere ammoniumgehalte van 288 mg/l in het condensaat van de warmtewisselaar tijdens periode 2. In vergelijking met periode 1 is dit een factor 8 lager. Er is geen duidelijke reden aan te geven voor dit verschil.

Het ammoniumsulfaat uit de luchtwas-

**Tabel 6:** Gemiddelde samenstelling van de processtromen in meetperiode 2

		Meetperiode: 2								
		M1	M2		M5	M6	M7	M8	M10	
kg/ton vers product (M1 t/m M6) mg/(M7 t/m M10)	droge stof	289	570		425	469				
	asrest	91	109		95	100				
	organische stof	197	461		330	369				
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	3,53	5,87		7,47	5,80	288	36550	57,62	
	nitraat-N NO <sub>3</sub>	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
	organische-N	6,06	21,67		13,43	20,00	<0,1	< 0,1	< 0,1	
	nitriet-N NO <sub>2</sub>	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
	N-totaal	9,59	27,53		20,90	25,80	288	36550	57,62	
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	18,03	22,09		19,14	21,51				
	kalium (K <sub>2</sub> O)	5,82	20,98		15,10	18,11				
pH	9,0	7,6		8,0	8,3	9,3	4,0	6,3		
mg/kg d.s.	cadmium (Cd)	< 0,3	< 0,3		< 0,3	< 0,3				
	koper (Cu)	250	101		140	135				
	zink (Zn)	543	347		390	365				
mS/cm	E.C.-waarde					10,95	645	0,54		
mg/l	CZV					7799	5995,0	1,0		
meq/l	vluchtige vetzuren					27	1563	0,1		

ser bevatte in meetperiode 2 circa 36,6 g/l stikstof in de vorm van ammonium.

### 4.3 Massabalans

In figuur 9 is de massabalans over meetperiode 1 weergegeven. In de massabalans worden gemeten en berekende waarden vergeleken voor massa, drogestof, stikstof, fosfaat en kalium. De massabalans start met de weergave van de hoeveelheid en samenstelling van grondstoffen van het compostingsproces. Vervolgens is berekend welke samenstelling het mengsel van deze grondstoffen moet hebben.

Het verschil tussen de gemeten en berekende gehalten blijft binnen een marge van +/-10%.

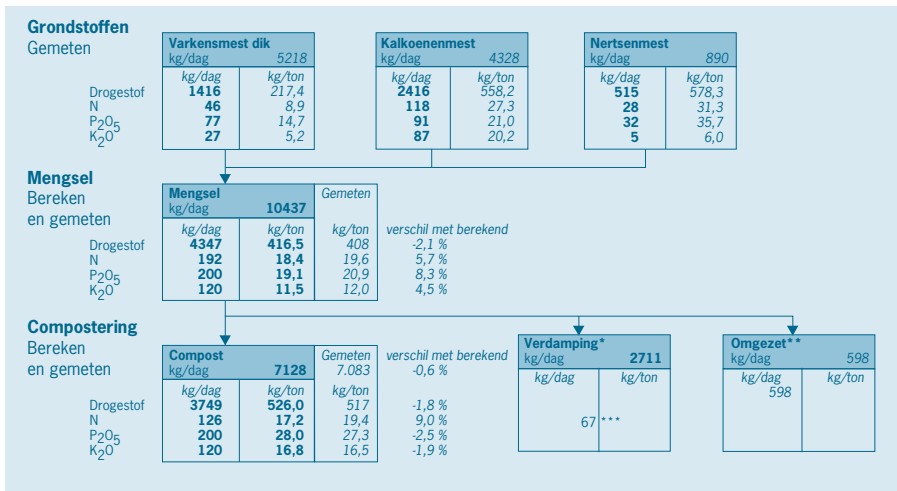
Daarna is uit de gemeten waarden berekend hoeveel drogestofverlies gedurende het compostingsproces is opgetreden door de massa van het ingaande mengsel te vermenigvuldi-

gen met het drogestofgehalte en dit te verminderen met het product van de massa compost en het drogestofgehalte van de compost. Het gemeten drogestofverlies is gelijk aan de hoeveelheid organische stof die tijdens de compostering is omgezet. Voor meetperiode 1 bedraagt het gemeten drogestofverlies 598 kg per dag.

Aan de hand van de hoeveelheid organische stof die is omgezet, kunnen we een inschatting maken van de hoeveelheid vocht die verdampt kan worden. Per kg omgezette organische stof komt circa 17 MJ warmte vrij. Rekeninghoudend met een rendement van 65% (Wagenberg et al., 1999) kan circa 11 MJ per kg organische stof werkelijk worden benut voor verdamping. De benodigde warmte voor het verdampen van 1 kg water bedraagt 2,5 MJ. De berekende hoeveelheid verdamping bedraagt:

Berekende kg verdamping =





**Figuur 9** Massabalans meetperiode 1  
Gemeten waarden zijn cursief gedrukt, berekende waarden vet.

**Opmerkingen**

- \* Berekening massa verdamping;
- \*\* Gemeten verschil tussen aanvoer drogestofmengsel en afvoer drogestofcompost.
- \*\*\* Gemeten verschil tussen aanvoer stikstofmengsel en afvoer stikstofcompost.

gemeten kg drogestofverlies x  
17 MJ/kg x 65% / 2,5 MJ/kg

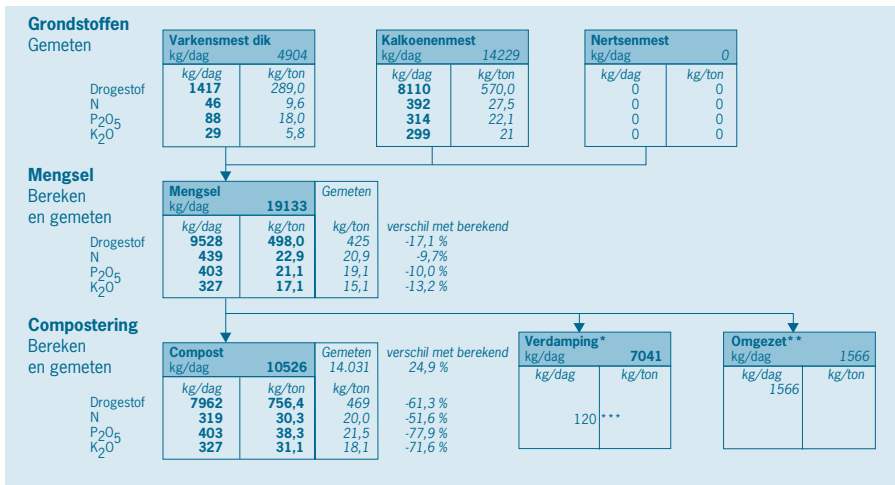
De berekende verdamping van water voor meetperiode 1 bedraagt 2.643 kg per dag.

Het totale massaverlies onder de post verdamping in de massabalans is de berekende verdamping van water verhoogd met het massaverlies als gevolg van vervluchtiging van ammoniak. Deze vervluchtiging is berekend uit het verschil tussen de gemeten hoeveelheid ingaande stikstof in het mengsel en de gemeten hoeveelheid uitgaande stikstof in de compost. Voor meetperiode 1 bedraagt de stikstofvervluchtiging 67 kg per dag. Het totale massaverlies door verdamping voor periode 1 bedraagt 2.711

kg per dag.

Door het berekende massaverlies af te trekken van de hoeveelheid te composteren mengsel wordt de berekende hoeveelheid compost verkregen. Deze hoeveelheid komt goed overeen met de gemeten hoeveelheid compost. Het verschil tussen de gemeten en berekende gehalten in de compost vallen binnen een afwijking van +/- 10%. De grootste afwijking wordt gevonden voor stikstof. Het gemeten stikstofgehalte bedraagt 9% meer dan het berekende stikstofgehalte in de compost.

Figuur 10 toont de massabalans voor meetperiode 2. De berekeningen zijn analoog aan die voor massabalans 1. De gemeten en berekende waarden voor meetperiode 2 komen minder



Figuur 10 Massabalans meetperiode 2

Gemeten waarden zijn cursief gedrukt, berekende waarden vet.

#### Opmerkingen

\* Berekening massa verdamping:

\*\* Gemeten verschil tussen aanvoer drogestofmengsel en afvoer drogestofcompost.

\*\*\* Gemeten verschil tussen aanvoer stikstofmengsel en afvoer stikstofcompost.

goed overeen dan die van meetperiode 1.

De berekende samenstelling van het mengsel wijkt sterk af van de gemeten samenstelling. De gemeten waarden liggen allen lager dan de berekende waarde. De grootste afwijking wordt gevonden voor het drogestofgehalte. Het gemeten drogestofgehalte ligt 17% lager dan het berekende drogestofgehalte.

Er is geen duidelijke verklaring gevonden voor het verschil tussen gemeten en berekende waarden van het mengsel. Het verschil tussen gemeten en berekende waarden met betrekking tot de compost kunnen we wel verklaren. De composteertrommel bevatte nog een voorraad compost uit periode 1 bij overgang naar meetperiode

2. Daarom lijkt het gemeten drogestofverlies tijdens de compostering groter dan in werkelijkheid het geval is en is het berekende massaverlies te hoog.

Daarom is de massabalans van meetperiode 2 niet bruikbaar voor het beschrijven en verklaren van de prestaties van het composteerproces. De verdamping bedraagt bij de gegeven temperaturen en relatieve vochtigheden van de in- en uitgaande lucht circa 80 kg per uur, ofwel circa 1.920 kg per dag. Via de warmtewisselaar werd gedurende periode 2 nog eens 232 kg per dag afgevoerd als condensaat.

Door de beperkte capaciteit van de warmtewisselaar en de ventilator was het niet mogelijk om meer dan deze

hoeveelheid waterdamp af te voeren via condensaat en proceslucht. Het verhogen van het drogestofgehalte van het ingaande mengsel in periode 2 ten opzichte van periode 1 leidde daarom niet tot een eindproduct met een hoger drogestofgehalte.

Omdat de meting van het drogestofverlies over periode 2 niet betrouwbaar is, kunnen we geen goede inschatting maken van de warmteproductie en de daaraan gerelateerde potentiële verdampingcapaciteit.

### Verdamping

De berekende verdamping in meetperiode 1 bedraagt 2.643 kg per dag. De gemeten condensaatproductie in de warmtewisselaar bedraagt slechts 279 kg per dag. Dit betekent dat in de warmtewisselaar een beperkte hoeveelheid condensatiewarmte wordt teruggewonnen. In de luchtwater treedt geen condensatie op. De massa ingaande stromen zwavelzuur en leidingwater is bij benadering gelijk aan de massa uitgaande ammoniumsulfaatoplossing. Dit betekent dat deze afvoer van waterdamp verklaard

moet kunnen worden uit het toegenomen vochtgehalte in de warme lucht die de luchtwater verlaat.

Tijdens de emissiemetingen van het IMAG zijn de temperatuur en relatieve vochtigheid van de in- en uitgaande lucht gemeten en is indicatief het gemiddelde luchtdebiet bepaald.

Met het molierdiagram kan de toename van de hoeveelheid vocht in de lucht worden berekend (tabel 7).

Uit tabel 7 blijkt dat met de uitgaande proceslucht 80 kg waterdamp per uur meer wordt afgevoerd dan met de ingaande lucht aangevoerd. Per dag wordt op deze wijze 1.920 kg waterdamp afgevoerd. Inclusief de productie van condensaat in de warmtewisselaar bedraagt de afvoer van vocht 2.199 kg water per dag. Deze hoeveelheid ligt in de orde grootte van de berekende verdamping van water van 2.643 kg per dag in de massabalans.

## 4.4 Gasvormige emissies

### Klimaat

In tabel 8 staan de klimaatgegevens

**Tabel 7:** Berekening toename vochtgehalte proceslucht.

	Ingaande lucht luchtinlaat	Uitgaande lucht na water
Temperatuur °C	13	41
Relatieve vochtigheid %	97	99,9
Vochtgehalte g/kg lucht	9,04	51,7
Luchtdebiet m <sup>3</sup> /h	-	1716
Luchtdebiet kg/h	1870	1870
Dampdebiet kg/h	17	97
Verschil uitgaand – ingaand		80 kg waterdamp per uur

gedurende de metingen. Tijdens de eerste meting werden grotere windsnelheden en een hogere temperatuur gemeten dan tijdens de tweede meting. De windrichting was op beide dagen gelijk. In tabel 9 zijn de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de in- en uitgaande systeemplucht vermeld.

### Ventilatie

Tabel 10 toont het debiet van de gasstroom tijdens de metingen. Dit debiet is lager dan de opgegeven waarde van  $2.300 \text{ m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ . Dit kan te maken hebben met het luchttek in het

systeem, of met de invloed van de wind. Tijdens de metingen blies de wind bijna loodrecht op de meetventilator. Dit verklaart ook het lagere debiet tijdens de eerste meetdag bij een hogere windsnelheid ten opzichte van de tweede meetdag.

### Ammoniakemissie

In tabel 11 zijn de ammoniakconcentratie en -emissie tijdens de twee meetdagen weergegeven. De geaccepteerde maximumconcentratie (MAC-waarde) waar mensen gedurende een werkdag nog veilig aan blootgesteld mogen worden bedraagt 25

**Tabel 8:** Klimaat buiten gedurende de metingen

	Temperatuur (°C)	RH (%)	Windrichting	Windsnelheid (m.s <sup>-1</sup> )
26 februari 2002	13,0	99,1	ZW	8 – 12
28 februari 2002	6,5	94,1	ZW	2,4 - 5,4

**Tabel 9:** Gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gedurende de metingen

	Temperatuur (°C)		Relatieve luchtvochtigheid (%)	
	Systeem in	Systeem uit	Systeem in	Systeem uit
26 februari 2002	14,9	42,5	99,1	99,9
28 februari 2002	10,8	40,3	94,1	99,9

**Tabel 10:** Debiet gasstroom uit systeem

	Debiet (m <sup>3</sup> /uur)
26 februari 2002	1.688
28 februari 2002	1.745
Gemiddeld	1.716

**Tabel 11:** Gemeten ammoniakconcentraties en ammoniakemissie via luchtafvoer

	Ammoniakconcentratie (g.m <sup>-3</sup> )		Ammoniakemissie (g.uur <sup>-1</sup> )
	Systeem in	Systeem uit	
26 februari	0,02	0,11	185
28 februari	0,02	0,11	192
Gemiddeld	0,02	0,11	189

ppm (0,018 g.m<sup>-3</sup>) (Anoniem 1990). De in de loods gemeten concentraties van 0,02 g.m<sup>-3</sup> liggen enigszins boven deze MAC-waarde. Een en ander kan te maken hebben met het luchttek in het systeem en de aanwezige mesthopen.

Door de afbraak van organische stof en de toename van de temperatuur tijdens de compostering neemt de ammoniakconcentratie in de trommel toe. Nadat de proceslucht de chemische wasser heeft gepasseerd, draagt de concentratie 0,11 g.m<sup>-3</sup>. De gemiddelde emissie uit het proces over de twee meetdagen bedroeg 189 g.uur<sup>-1</sup>.

*Ter vergelijking:* de ammoniakemissie voor vleesvarkens op een gedeeltelijk roostervloer (hokoppervlak tot 0,8 m<sup>2</sup>/dier) zonder toepassing van emissie beperkende maatregelen bedraagt

2,5 kg per dierplaats per jaar. Een ammoniakemissie van 189 g per uur komt overeen met de emissie van 662 vleesvarkensplaatsen.

De meer diffuse emissie uit de loods via natuurlijke ventilatie konden we niet vaststellen omdat we niet voldeden aan de voorwaarden voor de meting van het debiet van de natuurlijke ventilatie.

### Geuremissie

In tabel 12 zijn de gemeten geurconcentraties en de -emissies voor het mestverwerkingsysteem weergegeven. Door de hoge temperatuur en luchtvochtigheid van het monster aan de uitlaat van de luchtwasser, trad condensatie op in de monsterzak. Deze monsters vallen daarom buiten de kwaliteitsnorm, omdat de geur van het monster afgenomen kan zijn door

**Tabel 12:** Gemeten geurconcentraties en geuremissie uit systeem

	Geurconcentratie (OUE.m <sup>-3</sup> )		Geuremissie (OUE.s <sup>-1</sup> )
	Systeem in	Systeem uit	
26 februari	9.312**	277.486	16.462
28 februari	15.170	167.711	8.269
Gemiddeld	12.241	222.898	12.366

\* Geurmonsters vallen buiten de kwaliteitsnorm door aanwezigheid condens

\*\* Monsterzak gescheurd bij openen canister

deze condensatie. De meetwaarde van 26 februari in tabel 12 is daarom een onderschatting. Het monster van de ingaande lucht op dag 1 ging deels verloren bij het openen van de canister. Het restant is alsnog geanalyseerd. Opvallend is dat we de eerste meetdag een tweemaal zo hoge geurconcentratie in de ruimte hebben gemeten als de tweede meetdag. Dit kan een gevolg zijn doordat op de dag van installatie voorafgaande aan de eerste meetdag nog veel mest was verplaatst in de schuur.

De geuremissies vermeld in tabel 12 hebben alleen betrekking op de geuremissie via de luchtuitlaat van de luchtwasser. De meer diffuse emissie uit de loods via natuurlijke ventilatie konden we niet vaststellen, omdat niet

kon worden voldaan aan de voorwaarden voor de meting van het debiet van de natuurlijke ventilatie.

### Broeikasgasemissie

De gemeten concentraties broeikasgasen staan vermeld in tabel 13. De emissies CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O uit het systeem waren gemiddeld respectievelijk 25.786, 1,17 en 0,4 g.uur<sup>-1</sup> (tabel 14). De emissie in CO<sub>2</sub> equivalenten was gemiddeld 158,6 CO<sub>2</sub>eq.uur<sup>-1</sup> (tabel 14).

### Luchtwasser

Uit tabel 11 blijkt dat de gemeten ammoniakemissie na de luchtwasser gemiddeld 189 g per uur bedraagt, ofwel 4,5 kg NH<sub>3</sub>/d. Dit komt overeen met 3,7 kg N/dag.

Met het spuiwater is van 26 tot en

**Tabel 13:** Broeikasgasconcentraties

	Systeem in concentratie (g.m <sup>-3</sup> )			Ruimte concentratie (g.m <sup>-3</sup> )		
	CO <sub>2</sub> -korte kringloop	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> -korte kringloop	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
26-02-2002	1,0	1 x 10 <sup>-3</sup>	5,8x10 <sup>-4</sup>	1,3	0,002	1,5 x 10 <sup>-3</sup>
28-02-2002	0,4	4 x 10 <sup>-4</sup>	1,9x10 <sup>-5</sup>	0,6	0,001	1,3 x 10 <sup>-4</sup>
Gemiddeld	0,7	7 x 10 <sup>-4</sup>	2,9x10 <sup>-4</sup>	1,0	0,002	8,0 x 10 <sup>-4</sup>

**Tabel 14:** Broeikasgasconcentraties en –emissie uit systeem omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalenten

	CO <sub>2</sub> -korte kringloop		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		CO <sub>2</sub> -eq. Broeikasgas emissie (g.uur <sup>-1</sup> )
	Concentratie (g.m <sup>-3</sup> )	Emissie (g.uur <sup>-1</sup> )	Concentratie (g.m <sup>-3</sup> )	Emissie (g.uur <sup>-1</sup> )	Concentratie (g.m <sup>-3</sup> )	Emissie (g.uur <sup>-1</sup> )	
26-02-2002	16,4	2,8x10 <sup>4</sup>	0,001	1,3	4,8 x 10 <sup>-4</sup>	0,8	275,8
28-02-2002	13,7	2,4x10 <sup>4</sup>	0,001	1,1	3,4 x 10 <sup>-5</sup>	0,1	41,4
Gemiddeld	15,0	2,6x10 <sup>4</sup>	0,001	1,2	2,6 x 10 <sup>-4</sup>	0,4	158,6

met 28 februari 2002 (emissiemetingen door het IMAG), 63,8 kg N/dag afgevoerd (933 liter/dag met een gemiddelde concentratie van 68,4 gN/l). De totale aanvoer van stikstof naar de luchtwasser kan worden berekend op 67,5 kg per dag (63,8 + 3,7 kg N/dag). Uit deze gegevens kunnen we een rendement van de wasser afleiden van 94,5%. Een dergelijk rendement voor het invangen van ammoniak mag van een chemische luchtwasser worden verwacht.

Het gemeten gemiddelde stikstofverlies over dezelfde periode kan worden bepaald aan de hand van het verschil in de stikstofhoeveelheden in de in- en uitgaande producten van de composteertrammel. Dit duidt op een stikstofverlies van 79 kg N per dag. Dit is circa 17% meer dan de hoeveelheid stikstof van 67,5 kg per dag die via de proceslucht naar de luchtwasser is gevoerd. De open opslag van warm eindproduct en lekkages van proceslucht naar de loods zullen hebben bijgedragen aan het gemeten stikstofverlies. Dergelijke stikstofverliezen kunnen we beperken door de loods onder onderdruk te plaatsen en de afgezogen lucht over een chemische wasser te leiden.

Het zwavelzuurverbruik is aanzienlijk lager dan verwacht mag worden. Bij een hoeveelheid van 63,8 kg N per dag in het spuiwater van de wasser hoort een theoretisch minimaal zwavelzuurverbruik van 124,4 liter van

98% (18,32 Molair). Tijdens de emissiemetingen bedroeg het zwavelzuurverbruik 62,2 liter per dag. Mogelijk is de meting structureel foutief uitgevoerd. De soortelijke massa van het zwavelzuur bedraagt 1,832 kg/l. Verwisseling van kilogram en liter bij het aanbrengen van de maatverdeling op het voorraadvat kan een verklaring zijn dat exact een factor 2 minder zuur is verbruikt dan theoretisch nodig was. Deze fout was tijdens het schrijven van dit rapport niet meer te achterhalen.

De ammoniakemissie neemt toe naarmate de temperatuur toeneemt. Omdat de compostering op een constante temperatuur wordt gestuurd, heeft de invloed van de buitentemperatuur weinig invloed op de emissie via de proceslucht. De meer diffuse emissie uit de loods afkomstig van de productopslagen en het laden van de voorraadbunker zal toenemen naarmate de omgevingstemperatuur stijgt.

## 4.5 Energieverbruik

Het verbruik van elektriciteit gedurende de meetperiode 1 bedroeg 208 kWh per dag, waarvan 32 kWh per dag voor rekening komt van de luchtwasser en 176 kWh voor de overige procesonderdelen.

Het verbruik tijdens meetperiode 2 was ongeveer gelijk, namelijk 212 kWh per dag, waarvan 29 kWh voor de luchtwasser en 183 voor de overige procesonderdelen

## 5 Economische evaluatie

In tabel 15 worden de resultaten van de kostenberekening van het com-

posteren weergegeven.  
De verwerkingskosten van de trom-

**Tabel 15:** Verwerkingskosten **trommelcompostering** (in €, excl. afzet producten)

Mestverwerkingsinstallatie			
Project:	Tom Bouwman		
Type:	Trommelcompostering		
Capaciteit:	(ton stapelbare fractie/uur)		0,83
Draaiuren:	(uur/jaar)		8000
Totaal:	(ton stapelbare fractie/jaar)		6600 ***
I. Investeringskosten			
	Afschrijvingsduur		
Loader	7,5 jaar *		20.000 **
Cargofloor	7,5 jaar *		43.000 **
Transportbanden	7,5 jaar *		27.000 **
Trommel + toebehoren	7,5 jaar *		204.000 **
Hydro-aandrijving	7,5 jaar *		23.000 **
Luchtwater	7,5 jaar *		16.000 **
Warmtewisselaar	7,5 jaar *		11.000 **
Besturing	7,5 jaar *		45.000 **
Zuuropslag	7,5 jaar *		9.000 **
Totaal investeringen:			398.000
		Per ton:	60,30
2. Exploitatiekosten per jaar			
Vaste kosten:			
Afschrijving:			53.000
Onderhoud:			11.900
Rente:			10.900
Totaal vaste kosten:			75.800
		Per ton:	11,48
Variabele kosten:			
Huur loods	450 m <sup>2</sup> x	32,00 **	14.400
Brandstof aandrijving	330 dagen à 20 liter diesel à	0,36 ***	2.376
Brandstof loader	3500 liter à	0,36 ***	1.260
Verzekeringen		**	1.700
Zwavelzuur	330 dagen à 56 liter à	0,18 ***	3.326
Elektra	330 dagen à 212 kWh à	0,062 ***	4.336
Water	330 dagen à 330 liter à	1,13/m <sup>3</sup> ***	123
Arbeid	330 dagen à 3 uur à	18,-/uur ***	17.820
Totaal variabele kosten:		Per jaar:	45.341
		Per ton:	6,87
Totaal exploitatiekosten: (vaste + variabele kosten)		Per jaar	121.141
		Per ton:	18,35

\* Uitgangspunt gehanteerd door Praktijkonderzoek Veehouderij

\*\* Volgens opgave Tom Bouwman mesthandel

\*\*\* Gemeten tijdens onderliggend onderzoek (Michels, 2002a)



melcompostering bedragen circa € 18,- per ton stapelbare fractie, exclusief afzet van de producten. De kosten per ton kunnen nog afnemen als de capaciteit van de installatie wordt geoptimaliseerd. Tevens kunnen de kosten per eenheid product afnemen door schaalvergroting.

### **Kosten en opbrengsten eindproducten**

Bij het composteringsproces volgens de methode Bouwman komen drie producten vrij:

#### **1. Compost**

Uitgaande van de productie van een ruwe compost moet men bij levering in Noord Frankrijk momenteel rekening houden met een bijbetaling van circa 13,- euro per ton, af fabriek (Michels, 2002b). Aangezien ook vanuit België steeds meer mestproducten hun weg vinden naar de Franse landbouw moeten we ervan uitgaan dat het huidige kostenniveau stijgt. In het ongunstige scenario is gerekend met 18,00 euro transportkosten en 0 euro opbrengst bij de akkerbouwer.

#### **2. Ammoniumsulfaatoplossing**

De gevangen ammoniak verlaat de chemische luchtwasser in een ammoniumsulfaatoplossing.

Wanneer het ammoniumsulfaat aan het eindproduct wordt toegevoegd, zijn de kosten per ton gelijk aan die van het eindproduct. In het meest gunstige geval kan het ammoniumsulfaat worden gewaardeerd tegen de stikstof prijs van 0,5 euro per kg,

ofwel circa 29 euro per ton (Michels, 2002b).

Rekening houdend met transportkosten van 5 euro per ton kan in het gunstige scenario circa 24 euro per ton ammoniumsulfaat gecalculeerd worden.

#### **3. Condensaat**

Uit de warmtewisselaar komt condensaat vrij dat rijk is aan stikstof. Bij de hoeveelheden die vrijkwamen kan het condenswater het leidingwater vervangen dat gebruikt wordt in de luchtwasser. Op deze wijze besparen we op verbruik van leidingwater. Anderzijds zal het zwavelzuurverbruik enigszins toenemen, omdat het condensaat ammonium bevat.

In tabel 16 staan de opbrengstprijzen per eindproduct samengevat.

Tabel 16 toont dat de kosten voor de afzet van de eindproducten per ton ingaand product minimaal 7,70 euro en maximaal 13,70 euro bedragen.

### **Kosten voor de varkenshouder**

Voor de varkenshouder gelden de kosten voor het composteren en de afzet van eindproducten van de compostering alleen voor de vaste mestfractie. De ruwe mest moet men eerst nog scheiden en naar de composteerinrichting brengen. Verder is de bestemming van de dunne fractie van belang. Naarmate men een groter deel van de dunne mestfractie op eigen land kan plaatsen, is het voordeel van het scheiden groter dan wanneer de dunne fractie moet wor-

**Tabel 16:** Opbrengsten eindproducten compostering

Product	Massa per ton ingaand (ton/ton)	Prijsindicatie ongunstig Euro per ton product	Prijsindicatie gunstig Euro per ton product
Compost	0,7 *	-18,00	-13,00
Ammoniumsulfaat	0,06 *	-18,00	24,00
Condensaat	0,03 *	0	0
Per ton ingaand	1	7,70	13,70

\* Gedurende proefperiode

**Tabel 17:** Kosten per ton voor varkensbedrijf

<i>10% dikke mestfractie</i>	Minimaal ingaand euro/ton	Maximaal ingaand euro/ton	Massa %	Minimaal drijfmest euro/ton	Maximaal drijfmest euro/ton
Onderdeel					
Scheiden mobiele decanter	4,00 *	5,00 *	100	4,00	5,00
Transport dikke fractie + MINAS	3,50 **	4,00 **	10	0,35	0,40
Composteren dikke fractie	13,50 *****	18,35 ***	10	1,35	1,84
Afzet eindproducten compostering	7,70 ***	13,70 ***	10	0,77	1,37
Aanwenden dunne fractie	3,50 ****		90	3,15	
Afzetten dunne fractie + MINAS		14 **	90		12,60
Totaal:				9,62	21,21
<i>20% dikke mestfractie</i>					
Scheiden mobiele decanter	4,00 *	5,00 *	100	4,00	5,00
Transport dikke fractie + MINAS	3,50 **	4,00 **	20	0,70	0,80
Composteren dikke fractie	13,50 *****	18,35 ***	20	2,70	3,67
Afzet eindproducten compostering	7,70 ***	13,70 ***	20	1,54	2,74
Aanwenden dunne fractie	3,50 ****		80	2,80	
Afzetten dunne fractie + MINAS		14**	80		11,20
Totaal:				11,74	23,41

\* Volgens opgave Exlan Consultants, 2002

\*\* Inschatting

\*\*\* Vastgesteld tijdens onderliggend onderzoek (Michels, 2002a)

\*\*\*\* Uitgangspunt gehanteerd door Praktijkonderzoek Veehouderij

\*\*\*\*\* Volgens opgave Tom Bouwman

den afgezet van het bedrijf.

In tabel 17 is een minimale en maximale prijs per ton ruwe varkensmest berekend.

Bij de berekening van de minimale prijs per ton drijfmest is uitgegaan van plaatsing van de dunne mestfractie na scheiding op eigen land, compostering tegen de door de initiatiefnemer ingeschatte haalbare verwerkingsprijs en de minimale kosten voor afzet van de eindproducten van de compostering volgens tabel 16. Bij de berekening van de maximale prijs per ton drijfmest is uitgegaan van afzet van de dunne mestfractie na scheiding van het bedrijf, compostering tegen de tijdens dit onderzoek vastgestelde kosten en maximale kosten voor afzet van de eindproducten van de compostering volgens tabel 16. Tevens is onderscheid gemaakt voor de situatie waarbij 10% en 20% van de ruwe varkensmest als dikke mestfractie vrijkomt uit het scheidingsproces. Minderkosten voor besparingen

op akkerbouwcontracten zijn niet in de berekening meegenomen.

Uit tabel 17 blijkt dat de minimale prijs voor het verwerkingsproces 10 tot 12 euro per ton bedraagt. Maximaal bedraagt de prijs 21 tot 23 euro per ton. Het verschil tussen de minimale en maximale prijs per ton ruwe drijfmest is ruim 11 euro. Met name de bestemming van de dunne mestfractie is hierbij van groot belang. Naarmate men meer dunne fractie op eigen land kan aanwenden, ligt de prijs dicht bij de minimale prijs. Naarmate relatief meer dunne fractie van het bedrijf moet worden afgezet, ligt de prijs dicht bij de maximumprijs. Omdat de hoeveelheid dikke fractie een relatief klein deel uitmaakt van de totale hoeveelheid mest, hebben de kosten die zijn gerelateerd aan de verwerking van de dikke fractie relatief weinig invloed op de totale kosten per ton ruwe varkensmest.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### Techniek

Er is in mechanische zin een functionerend proces gerealiseerd. Verdere optimalisatie van de capaciteit van de warmtewisselaar, de capaciteit van de procesluchtventilator en de slijtagegevoeligheid van de voorraadbunker is mogelijk.

In procestechnologisch opzicht heeft nog geen optimalisatie kunnen plaatsvinden. Daarom is de droging tijdens de meetperiodes beperkt gebleven. Het eindproduct is wel gehygiëniseerd, maar niet stabiel. Het vochtgehalte is daarvoor te hoog. Afhankelijk van de keuze over de afzetmarkt van het eindproduct, kan men besluiten tot productie van drogere eindproducten.

### Massabalans

Gedurende meetperiode 1 werd circa 10 ton per dag aan stapelbare mestfracties verwerkt tot circa 7 ton gecomposteerd product. De verblijftijd in de trommel bedroeg gedurende de meetperiode 10 tot 12 uur bij een temperatuur van circa 60°C. Het verdampte water is slechts voor een beperkt deel afgevoerd via het condensaat van de warmtewisselaar (279 kg/dag). Dit toont aan dat een beperkte hoeveelheid condensatiewarmte is teruggewonnen. Het overige deel van het vocht is via verzadigde lucht uit het systeem afgevoerd. In de huidige opzet is de ventilatieca-

paciteit beperkend voor de hoeveelheid vocht die maximaal verdampt kan worden.

### Emissies

De gemiddelde emissie van twee meetmomenten geven een indicatieve ammoniakemissie aan van 189 g/uur. Dit komt overeen met de ammoniakemissie van 662 vleesvarkenplaatsen met gedeeltelijk roostervloer zonder emissiebeperkende maatregelen. In de geurmonsters is condensatie opgetreden, waardoor de metingen onbetrouwbaar zijn. De geurconcentraties duiden wel op een relatief hoog geurniveau.

De metingen van de broeikasgassen methaan en lachgas duiden op een indicatieve emissie van 159 g CO<sub>2</sub>-equivalenten/uur.

De emissiecijfers zijn gebaseerd op een beperkt aantal metingen en geven daardoor een beperkte afspiegeling van de werkelijkheid.

Naast de emissie via de luchtwasser zijn indicatief emissies aangetoond via de opslag van mestproducten in de mestverwerkingruimte. Deze meer diffuse emissies zijn te beperken door de procesruimte af te zuigen en de proceslucht te behandelen.

### Kosten

De exploitatiekosten voor de trom-

melcompostering bedragen bij een capaciteit van 6.600 ton per 18,35 euro per ton ingaande stapelbare mest.

Voor de afzet van eindproducten dient men rekening te houden met extra kosten van 7,70 tot 13,70 euro per ton ingaande mest.

De kosten voor de verwerking van de dikke fractie varkensmest (verkregen via centrifuge) wegen slechts beperkt door in de kosten per ton ruwe drijfmest, omdat de dikke fractie slechts 10-20% uitmaakt van het totale mestvolume. Voor de varkenshouder is het daarom van belang welk aandeel hij van de dunne mestfractie op het eigen land kan aanwenden en welk deel hij moet afzetten. Wanneer de meest optimale en minst optimale omstandigheden worden doorgere-

kend, variëren de kosten per ton drijfmest van 9,60 euro per ton tot 23,40 euro per ton.

### **Perspectief**

Het produceren van een ruwe compost voor de binnenlandse markt leidt tot verhoging van kosten ten opzichte van de directe afzet van dikke mestfracties die ontstaan na scheiding. Voor export is de ruwe compost te laagwaardig om een goede prijs voor te kunnen genereren. Perspectief biedt het produceren van een biobrandstof. Productie van organische mestkorrels geeft de meeste toegevoegde waarde. Dit noodzaakt echter tot investering in een nageschakeld proces en schaalvergroting of samenwerking met bestaande marktpartijen.

## 7 Composteerproces in breder perspectief

### **Afzetcontract en export**

Door de warmtebehandeling tijdens het composteerproces, vindt afdoeding van pathogenen plaats. Hierdoor is het in principe mogelijk eindproducten te produceren die voldoen aan de voorwaarden voor export met betrekking tot de kiemgetallen voor Salmonella's en Enterobacteriaceae. Op basis van deze hygiënisatie kan de Rijksdienst voor keuring van Vee en Vlees (RVV) de erkenning verlenen die noodzakelijk is voor export van varkensmestproducten.

Veehouders die hun stapelbare mestfracties kunnen exporteren behoeven voor dat deel van de mineralen geen mestafzetcontracten (MAO's) te sluiten met een erkend intermediair of akkerbouwer.

De voordelen van export van mineralen voor de varkenshouder zijn besparing op kosten voor mestafzetcontracten en vermindering van het overschot op de binnenlandse markt. Hierdoor kunnen de resterende mestfracties goedkoper worden afgezet. Een daling van de afzetkosten op de binnenlandse markt heeft echter tot gevolg dat de individuele varkenshouder minder bereid is te betalen voor (duurdere) export. Aangezien de kosten voor mestafzet zeer hoog zijn, zullen de veehouders elke gelegenheid aangrijpen om kosten voor mestafzet te besparen. Men moet

bedenken dat het individuele korte termijn belang van de toeleverende partijen kan verschillen met het sectorale belang voor export van mineralen.

Medio 2002 wordt een nieuwe Europese verordening voor export van dierlijke mestproducten van kracht. De verordening schrijft voor dat producten bereid uit varkensmest een warmtebehandeling van minimaal 1 uur bij 70°C dienen te hebben ondergaan. Vanuit Nederland wordt getracht om een lijst samen te stellen van methoden met minimaal een vergelijkbaar effect ten aanzien van Salmonella's en Enterobacteriaceae, maar waarbij een lagere temperatuur gedurende een langere periode wordt gehanteerd. Op dit moment is niet duidelijk of men voor deze methoden mag afwijken van de voorgeschreven temperatuurbehandeling.

### **Kostenvergelijking met warmtevijzel**

Wanneer men alleen het hygiëniseren van mestfracties ten behoeve van de export in ogenschouw neemt, is het mogelijk een vergelijking te trekken tussen de composteertrommel en een warmtevijzel. Een warmtevijzel is een transportvijzel voorzien van een ommanteling en een holle vijzel waardoor hete olie wordt gepompt. Afhankelijk van de olietemperatuur en

de verblijftijd in de vijzel kan een gewenst tijd-temperatuurtraject worden doorlopen.

In bijlage 7 is een berekening gemaakt van de kosten per ton ingaande mestfractie bij toepassing van een warmtevijzel in plaats van een composteertrommel bij gelijkblijvende overige omstandigheden. Uit de berekening blijkt dat de kosten per ton ingaand materiaal bij een warmtevijzel circa 13 euro bedragen, dus ruim 5 euro per ton minder dan bij de composteertrommel.

Met een warmtevijzel kan men geen noemenswaardige massareductie (droging) realiseren. Afhankelijk van de mate van droging zijn de transportkosten voor het eindproduct bij de compostering daarom lager dan bij de warmtevijzel.

In dit project werd een massareductie van circa 30% gerealiseerd. Door de droging worden de mineralgehalten verhoogd, waardoor de waarde van het product toeneemt. Wanneer men de composteertrommel alleen gebruikt om mestproducten te hygiëniseren en minder voor droging van de mestfractie, kan met een warmtevijzel goedkoper worden gewerkt.

### **Concurrentie met binnenlandse afzet**

Het scheiden van varkensmest met de mobiele decanters staat de laatste jaren sterk in de belangstelling. De akkerbouwer waardeert de dikke mestfractie beter dan de ruwe drijfmest omdat het rijk is aan organi-

sche stof en gemakkelijk en homogeen verspreid kan worden. De afzetsprijs voor de vaste mestfractie bedraagt momenteel gemiddeld 14,50 euro per ton inclusief MINAS-kosten (Fertex groep, 2002).

Voor afzet op de binnenlandse markt zijn mestafzetcontracten benodigd. De prijs hiervoor is sterk afhankelijk van de druk op de mestmarkt. Sterk bepalend voor de korte termijn is de uitkomst van de onderhandelingen over het derogatieverzoek van Nederland aan de EU voor de toepassing van stikstof op grasland. Wanneer we voor de middenlange termijn uitgaan van evenwicht op de mestmarkt, zal de contractprijs per hectare niet hoog zijn. Bij een overspannen markt kan deze prijs echter fors stijgen. De verwachting is dat de prijs voor binnenlandse afzet inclusief kosten voor een mestafzetcontract goedkoper is dan compostering van de dikke fractie en export van de compost. Het lijkt daarom van belang binnenlandse afzetmarkten te zoeken voor deze homogene, gehygiëniseerde en geurarme compost.

### **Biobrandstof**

Gedroogde organische producten kan men aan energieproducenten aanbieden als biobrandstof. Omdat de afzet naar energiecentrales buiten de Nederlandse landbouw is, behoeven voor dat deel van de mineralen geen mestafzetcontracten te worden afgesloten. Dit biedt een mogelijkheid tot kostenbesparing. Het droogproces in de composteertrommel

moet dan wel verder worden doorgevoerd dan tijdens de proefperiode, namelijk tot 80-85% droge stof. Er zijn ook ontwikkelingen om biobrandstoffen met een lager drogestofgehalte (> 45%) af te nemen. De eindproducten van dit project voldoen aan deze voorwaarden. Het voordeel van het produceren van een biobrandstof is bovendien dat de afname op continue basis kan plaatsvinden, zodat men kan besparen op opslagcapaciteit.

Productie van biobrandstoffen kan ook plaatsvinden door droging van mest met behulp van de (rest)warmte in de ventilatielucht van de stallen. De droging moet dan wel plaatsvinden op het varkensbedrijf. Hiervoor zijn al droogsystemen op de markt beschikbaar.

### **Grondstof voor mestkorrels**

De marktprijs voor organische mestkorrels ligt op circa 100 tot 180 euro per ton afhankelijk van de samenstelling en het type product (Dofco, 2002). Van deze opbrengst moet men de kosten voor het korrelen, het transport en de handelsmarge betalen. Er blijft echter een positieve waarde voor het product (af fabriek) over.

Het zelf opbouwen van een markt

voor de korrels kost veel tijd en een grote investering. Samenwerking met bestaande marktpartijen kan hierbij uitkomst bieden.

### **NPK-verhouding**

De NPK-verhouding van de composten tijdens de beide meetperiodes, zijn als volgt:

Compost meetperiode 1:

(40% dikke fractie varkensmest, 50% kalkoenenmest met strooisel, 10% nertsenmest met krullen)

N 1,9%

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2,7%

K<sub>2</sub>O 1,6%

Compost meetperiode 2:

(25% dikke mestfractie varkensmest, 75% kalkoenenmest met strooisel)

N 2,6%

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2,2%

K<sub>2</sub>O 1,8%

Naarmate een drogere compost geproduceerd kan worden, nemen de nutriëntengehalten toe, maar blijven de verhoudingen gehandhaafd.

Afhankelijk van de wensen van de afnemer kan de NPK-verhouding worden aangepast door toeslagstoffen te mengen waarin een van de nutriënten duidelijk sterker of minder aanwezig is dan de andere nutriënten.



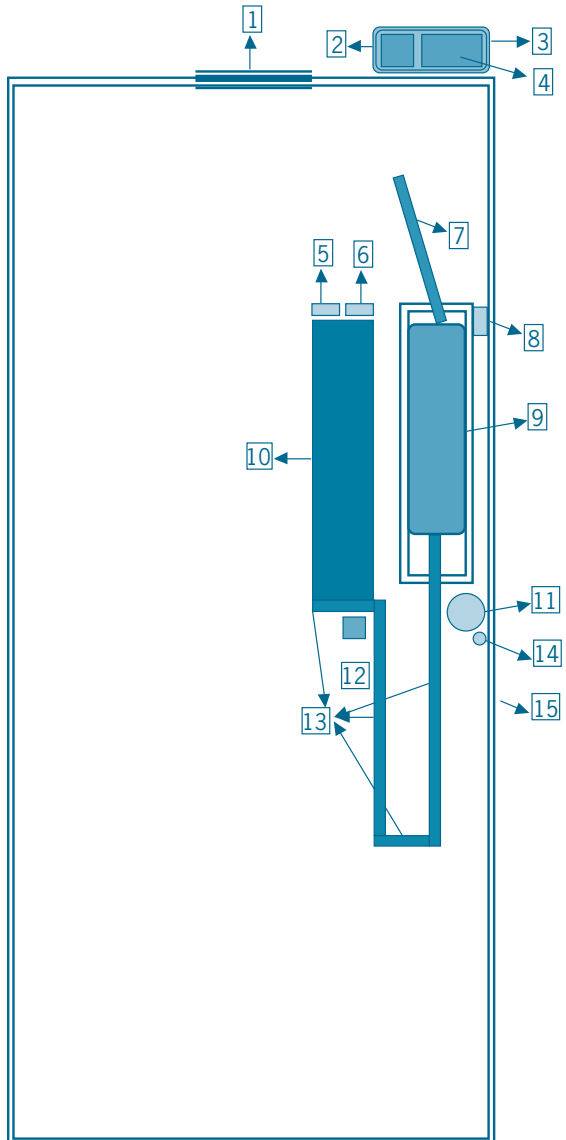
# Literatuur

- Anoniem. 1990. Ammonia: Health and safety guide. Health and safety guide no. 37. WHO, Geneva.
- Anoniem. 1996. Werkgroep Emissiefactoren. Meetprotocol voor geuremissies uit stallen. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Dofco. 2002. Persoonlijke mededeling F. Stijntjes .
- Exlan Consultants bv. 2002. Persoonlijke mededeling J. van Gastel, Specialist Milieutechnologie.
- Fertex groep. 2002. Persoonlijke mededeling I. Gijsbers.
- IPPC. 1996. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, eds. Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- Michels, E. 2002a. Drogen en composteren in een roterende tunnel van dikke fractie. Eindrapportage voor het programma: Toepassingsmogelijkheden mestverwerking op varkenshouderijbedrijven. Tom Bouwman Mesthandel.
- Michels, E. 2002b. Tom Bouwman mesthandel. Persoonlijke mededeling.
- NNI. 1995/1996. NVN 2880/A1 Luchtkwaliteit, sensorische geurmetingen met een olfactometer. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft (1995) met wijzigingsblad A1, in brief aan geaccrediteerde instellingen (1996).
- Ooster, v 't A., 1993. Tracergasexperimenten. In: E.N.J. van Ouwerkerk (ED.): Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak-problematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 73-84.
- Wagenberg, A. V., N. Verdoes, E. Vranken en D. Berckmans, 1999. Waterverdamping uit dunne mest; resultaten van modelberekeningen. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, P.1.234, ISSN 0922-8586, p.19.
- Willems Waste Technology. 2002. Informatiebundel warmtevizel. Willems groep, Borculo.
- Wintjens, Y., 1993. Gaswasfles. In: E.N.J. van Ouwerkerk (ED.): Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak-problematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 38-40

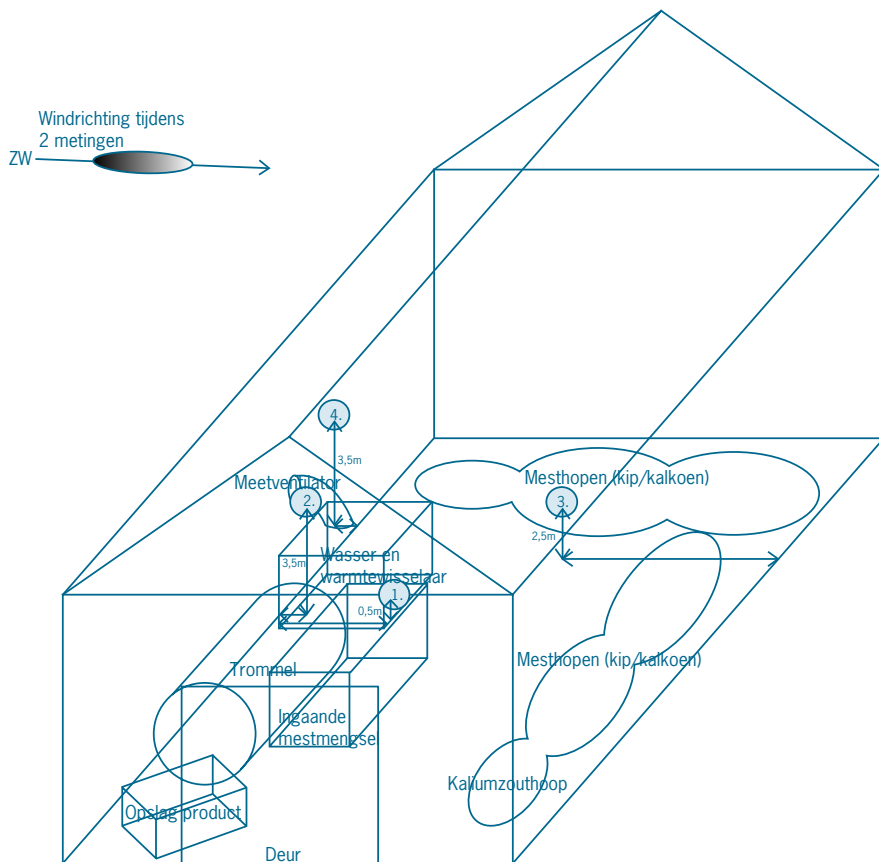
# Bijlagen

## Bijlage 1: Overzicht indeling composteerloods

- Legenda**
1. roldeur
  2. opslagtank dieselolie
  3. lekbak
  4. diesel aggregaat
  5. hydro-aandijfunit voorraadbunker
  6. centrale regelkast
  7. afvoerband granulaat
  8. hydro-aandrijfunit composteringstrommel
  9. composteringstrommel
  10. voorraadbunker
  11. luchtwasser
  12. warmtewisselaar
  13. aanvoerbanden mest
  14. opslag zwavelzuur
  15. loods 55 x 18 meter



## Bijlage 2: Meetpunten emissiemetingen



### Bijlage 3: Berekening debiet gasstromen

Het debiet van de gasstroom uit het mestverwerkingsysteem werd als volgt berekend:

$$V = 3600 * S_{\text{gas}} * A$$

waarbij:

- V = debiet gasstroom ( $\text{m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ )
- $S_{\text{gas}}$  = gemiddelde gassnelheid, gemeten met anemometer ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
- A = oppervlakte uitmonding buis ( $\text{m}^2$ )

Uit de analyses van de ammoniak- en broeikasgasmonsters konden de concentraties als volgt worden berekend:

Ammoniak: 
$$C_{\text{NH}_3} = \frac{V \cdot C}{t \cdot s} * 10^{-6}$$

waarbij:

- $C_{\text{NH}_3}$  = ammoniakconcentratie emissiebron ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )
- v = volume salpeterzuur na bemonstering (l)
- c = concentratie ammoniak gaswasflesmonster ( $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ )
- t = tijd monsterneming (minuten)
- s = snelheid monsterneming ( $\text{ml} \cdot \text{minuut}^{-1}$ )

Broeikasgassen: 
$$C_{\text{bg}} = \frac{M \cdot C \cdot c_{\text{bg}}}{R \cdot T} * 10^{-3}$$

waarbij:

- $C_{\text{bg}}$  = broeikasgasconcentratie ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )
- M = molmassa broeikasgas ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
- P = standaard luchtdruk ( $1,01325 \cdot 10^5$  Pa)
- $c_{\text{bg}}$  = gemeten concentratie emissiebron (ppm)
- R = molaire gasconstante ( $8,3145 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
- T = temperatuur tijdens meting (K)

De berekening van de emissie was voor alle gemeten gassen gelijk, behalve voor geur waarbij de resultaten niet per uur, maar per seconde worden weergegeven.

waarbij:

$V$  = debiet gasstroom ( $\text{m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ )

$C_{\text{gas}}$  = concentratie ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$E_{\text{gas}}$  = emissie ( $\text{g} \cdot \text{uur}^{-1}$ )

De gezamenlijke bijdrage aan het broeikaseffect werd uitgedrukt in  $\text{CO}_2$ -equivalenten. Hierbij werd de effectiviteit van  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  vergeleken met  $\text{CO}_2$ .  $\text{CH}_4$  is 21 keer, en  $\text{N}_2\text{O}$  is 310 keer zo effectief als  $\text{CO}_2$  (IPPC,1996).

$$E_{\text{CO}_2\text{eq.}} = (21 * E_{\text{CH}_4}) + (310 * E_{\text{N}_2\text{O}})$$

waarbij:

$E_{\text{CH}_4}$  = emissie ( $\text{CH}_4$  ( $\text{g} \cdot \text{uur}^{-1}$ ))

$E_{\text{N}_2\text{O}}$  = emissie ( $\text{N}_2\text{O}$  ( $\text{g} \cdot \text{uur}^{-1}$ ))

$E_{\text{CO}_2\text{-eq.}}$  = emissie als  $\text{CO}_2$ -equivalent ( $\text{g} \cdot \text{uur}^{-1}$ )

**Bijlage 4:** Resultaten debietmetingen

Meetperiode 1														
dg	datum	temp. (°C)	M1 (kg)	M2 (kg)	M3 (kg)	M5 (kg)	M6 (kg)	M7 (ltr)	M8 (ltr)	M10 (ltr)	M11 (ltr)	wasser (Kwh)	installatie (Kwh)	diesel (ltr)
1	07-02-02	58,8	2.140	1.703	437	4.280	7.940	400	800	178	38,1	32	174	3
2	08-02-02	58,6	4.040	3.216	824	8.080	4.220	50	600	456	38,1	31	130	6
3	09-02-02	58,1	6.810	5.420	1.390	13.620	7.000	200	2.400	1.673	40,2	20,00uur	172	5
4	10-02-02	57,8	5.780	4.600	1.180	11.560	8.560	400	0	1.017	51,1	35	196	21
5	11-02-02	58,0	1.830	1.457	373	3.660	7.540	350	1.150	975	51,1	29	176	13
6	12-02-02	58,9	5.700	4.549	1.151	11.400	7.580	250	400	267	51,1	30	214	4
7	13-02-02	60,1	6.660	5.315	1.345	13.320	4.960	200	380	453	51,5	18,00uur	161	8
8	14-02-02	59,5	0	0	0	0	0	200	400	461	53,3	33	176	5
9	15-02-02	58,1	0	0	0	0	5.260	350	620	414	53,3	31	152	0
10	16-02-02	56,8	3.940	3.144	796	7.880	0	250	0	198	53,3	29	112	10
11	17-02-02	60,8	2.390	1.907	483	4.780	5.640	250	850	525	52,9	27	196	20
12	18-02-02	61,3	6.440	5.113	1.327	12.880	6.800	250	1.400	1.451	52,2	12,00uur	163	21
13	19-02-02	61,5	7.710	6.122	1.588	12.420	7.120	450	500	406	52,2	31	194	15
14	20-02-02	61,3	2.660	2.112	548	5.320	8.240	250	450	312	52,2	31	207	14
15	21-02-02	61,5	6.650	5.626	1.024	13.300	7.240	250	400	336	50,6	31	199	6
16	22-02-02	60,9	6.410	5.423	987	12.820	7.880	500	450	396	50,0	31	200	23
17	23-02-02	61,5	7.110	6.015	1.095	14.220	5.440	150	400	128	50,0	31	176	21
18	24-02-02	61,4	5.320	4.501	819	10.640	8.580	300	650	841	50,0	32	177	9
19	25-02-02	61,2	4.830	4.086	744	9.660	6.640	350	150	338	59,9	33	151	9
20	26-02-02	60,6	3.470	2.936	534	6.940	10.960	150	1.600	1.194	64,9	40	203	18
21	27-02-02	60,7	9.260	8.991	269	18.520	6.980	300	500	446	64,96	39	166	37
totaal		1.257	99.150	82.236	16.914	198.300	134.580	5.850	14.100	12.465	1.081	670	3.695	268
per dag		59,9	5.218	4.328	890	10.437	7.083	279	671	594	51	32	176	13

M1 = dikke fractie varkensmest(na centrifuge)

M2 = kalkoenmest met strooisel

M3 = nertsenmest met krullen

M4 =

M5 = mengsel(M1 + M2 + M3)

M6 = compost(granulaat)

M7 = waterwarmtewisselaar

M8 = ammoniumsulfaatluchtwater

M10 = leidingwaterluchtwater

M11 = zwavelzuur

### Vervolg bijlage 4: Resultaten debietmetingen

#### Meetperiode 2

dg	datum	temp. (°C)	M1 (kg)	M2 (kg)	M3 (kg)	M5 (kg)	M6 (kg)	M7 (litr)	M8 (litr)	M10 (litr)	M11 (litr)	wasser (Khw)	installatie (Khw)	diesel (litr)
1	28-02-02	60,0	6.445	14.015		20.460	8.400	250	700	518	56,8	10.00uur	35	14
2	01-03-02	58,8	2.895	8.685		11.580	9.680	450	550	229	51,1		32	25
3	02-03-02	58,7	6.510	19.530		26.040	13.400	100	0	183	51,1		31	12
4	03-03-02	58,9	4.495	13.485		17.980	15.500	150	550	344	51,1			
5	04-03-02	59,0	3.545	10.635		14.180	14.340	200	950	437	82,3	08.00uur	29	36
6	05-03-02	58,6	3.400	10.200		13.600	16.420	200	500	735	98,0		30	9
7	06-03-02	60,6	6.875	20.625		27.50	14.380	350	550	485	61,9	09.00uur	29	28
8	07-03-02	58,7	3.945	11.835		15.780	19.500	300	0	8	40,3		30	14
9	08-03-02	55,5	3.060	9.180		12.240	10.060	50	0	0	40,3		29	59
10	09-03-02	52,0	6.245	18.735		24.980	16.040	100	500	289	40,3		19	17
11	10-03-02	59,5	6.530	19.590		26.120	16.420	397	750	397	40,3		29	15
	<b>totaal</b>	<b>640</b>	<b>53.945</b>	<b>156.515</b>	<b>0</b>	<b>210.460</b>	<b>154.140</b>	<b>2.547</b>	<b>5.050</b>	<b>3.625</b>	<b>614</b>		<b>323</b>	<b>243</b>
	<b>per dag</b>	<b>58,2</b>	<b>4.904</b>	<b>14.229</b>	<b>0</b>	<b>19.133</b>	<b>14.013</b>	<b>232</b>	<b>459</b>	<b>330</b>	<b>56</b>		<b>29</b>	<b>22</b>

M1 = dikke fractie varkensmest(na centrifuge)

M2 = kalkoenenmest met strooisel

M3 = nertsenmest met krullen

M4 =

M5 = mengsel(M1 + M2 + M3)

M6 = compost(granulaat)

M7 = waterwarmtewisselaar

M8 = ammoniumsulfaatluchtwater

M10 = leidingwaterluchtwater

M11 = zwavelzuur

## Bijlage 5: Analyseresultaten periode 1

		<b>M1 = dikke fractie varkensmest (na centrifuge)</b>						
Meetperiode 1		07-02-2002	12-02-2002	14-02-2002	19-02-2002	21-02-2002	26-02-2002	gem.
kg/ton vers product	droge stof	293	273		283	267	241	<b>271</b>
	asrest	88	70		68	72	105	<b>81</b>
	organische stof	205	203		215	195	136	<b>191</b>
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	1,10	1,80		2,60	3,00	2,70	<b>2,24</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	organische-N	6,60	7,20		6,18	7,20	5,98	<b>6,63</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	N-totaal	7,70	9,00		8,78	10,20	8,68	<b>8,87</b>
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	14,51	15,39		14,20	16,00	13,50	<b>14,72</b>
	kalium (K <sub>2</sub> O)	4,44	6,38		5,40	5,70	4,00	<b>5,18</b>
PH	8,7	8,7		8,6	8,9	8,8	<b>8,7</b>	
mg/kg d.s	cadmium (Cd)	< 0,3	< 0,3		< 0,3	< 0,3	< 0,3	<b>&lt; 0,3</b>
	koper (Cu)	150	210		260	290	260	<b>234</b>
	zink (Zn)	320	480		310	340	310	<b>352</b>

		<b>M2 = kalkoenenmest met strooisel</b>						
Meetperiode 1		07-02-2002	12-02-2002	14-02-2002	19-02-2002	21-02-2002	26-02-2002	gem.
kg/ton vers product	droge stof	430	494		678	543	646	<b>558</b>
	asrest	77	98		146	123	132	<b>115</b>
	organische stof	353	396		532	420	514	<b>443</b>
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	4,70	3,80		6,10	9,90	6,10	<b>6,12</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	organische-N	21,50	20,80		20,10	14,50	29,10	<b>21,20</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	N-totaal	26,20	24,60		26,20	24,40	35,20	<b>27,32</b>
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	17,10	19,60		26,30	21,40	20,70	<b>21,02</b>
	kalium (K <sub>2</sub> O)	16,16	20,22		21,90	19,00	23,80	<b>20,22</b>
PH	8,6	8,7		9,1	8,9	8,2	<b>8,6</b>	
mg/kg d.s	cadmium (Cd)	< 0,3	< 0,3		< 0,3	< 0,3	< 0,3	<b>&lt; 0,3</b>
	koper (Cu)	140	79		100	140	88	<b>109</b>
	zink (Zn)	400	400		390	450	290	<b>386</b>



## vervolg bijlage 5: Analyseresultaten periode 1

		<b>M3 = nertsenmest met krullen</b>						
Meetperiode 1		07-02-2002	12-02-2002	14-02-2002	19-02-2002	21-02-2002	26-02-2002	gem.
kg/ton vers product	droge stof	543	578		623	569		<b>578</b>
	asrest	153	91		208	102		<b>139</b>
	organische stof	390	487		415	467		<b>440</b>
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	6,30	13,10		13,90	9,60		<b>10,73</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1		<b>&lt; 0,1</b>
	organische-N	20,20	32,49		23,70	17,70		<b>23,52</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1		<b>&lt; 0,1</b>
	N-totaal	26,50	33,80		37,60	27,30		<b>31,30</b>
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	30,18	14,71		41,30	56,80		<b>35,75</b>
	kalium (K <sub>2</sub> O)	5,38	7,68		5,9	5,1		<b>6,02</b>
PH	8,0	7,2		6,7	8,5		<b>7,6</b>	
mg/kg d.s	cadmium (Cd)	< 0,3	< 0,3		< 0,3	< 0,3		<b>&lt; 0,3</b>
	koper (Cu)	70	30		23	24		<b>37</b>
	zink (Zn)	480	260		310	190		<b>310</b>

		<b>M5 = mengsel</b>						
Meetperiode 1		07-02-2002	12-02-2002	14-02-2002	19-02-2002	21-02-2002	26-02-2002	gem.
kg/ton vers product	droge stof	412	383	402	421	405	425	<b>408</b>
	asrest	99	101	103	119	100	113	<b>106</b>
	organische stof	313	282	299	302	305	312	<b>302</b>
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	2,70	8,80	8,50	6,30	8,50	10,70	<b>7,58</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	organische-N	17,80	9,80	11,10	13,60	11,10	8,40	<b>11,97</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	N-totaal	20,50	18,60	19,60	19,90	19,60	19,10	<b>19,55</b>
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	16,94	18,57	28,09	19,80	20,60	21,20	<b>20,87</b>
	kalium (K <sub>2</sub> O)	13,16	10,84	11,49	11,00	11,90	13,80	<b>12,03</b>
PH	7,5	8,4	8,4	8,8	9,3	9,1	<b>8,6</b>	
mg/kg d.s	cadmium (Cd)	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	<b>&lt; 0,3</b>
	koper (Cu)	110	130	140	130	170	150	<b>138</b>
	zink (Zn)	460	440	380	390	510	430	<b>435</b>

## vervolg bijlage 5: Analyseresultaten periode 1

		M6 = compost								
Meetperiode 1		07-02-2002	12-02-2002	14-02-2002	19-02-2002	21-02-2002	26-02-2002	28-02-2002	gem.	
kg/ton vers product	droge stof	465	478	575	530	535	505	529	<b>517</b>	
	asrest	131	133	158	143	143	129	135	<b>139</b>	
	organische stof	334	345	417	387	392	376	394	<b>378</b>	
	ammoniakale-N									
	(NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	4,80	5,90	3,30	4,20	4,00	5,80	5,30	<b>4,76</b>	
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	organische-N	12,20	13,70	16,70	15,30	14,50	14,30	15,70	<b>14,63</b>	
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	N-totaal	17,00	19,60	20,00	19,50	18,50	20,10	21,00	<b>19,39</b>	
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	20,02	28,51	28,74	29,30	28,00	28,70	28,00	<b>27,32</b>	
kaliom (K <sub>2</sub> O)	13,35	13,87	18,89	17,20	17,70	16,70	17,90	<b>16,52</b>		
PH	8,7	8,7	8,9	9,1	8,8	8,8	9,0	<b>8,9</b>		
mg/kg d.l.s	cadmium (Cd)	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	<b>&lt; 0,3</b>	
	koper (Cu)	180	170	130	160	160	150	170	<b>161</b>	
	zink (Zn)	480	500	420	500	400	360	450	<b>444</b>	

		M7 = water warmtewisselaar							
Meetperiode 1		07-02-2002	12-02-2002	14-02-2002	19-02-2002	21-02-2002	26-02-2002	28-02-2002	gem.
mS/cm	PH	9,2	9,1	8,9	9,3	9,4	9,3	9,3	<b>9,2</b>
	E.C. -waarde	10,88	10,92	10,63	10,27	10,66	10,49	10,48	<b>10,62</b>
mg/ l	ammonium-N (NH <sub>4</sub> )								
		2300	2400	2100	2200	2400	2450	2430	<b>2326</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	organische-N	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<b>&lt; 1,0</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	1,5	1,5	3,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>0,9</b>
	N-totaal	2301,5	2401,5	2103,2	2200,0	2400,0	2450,0	2430,0	<b>2326,6</b>
mg/ l	CZV	2142	5428	2396	669	920	1370	1258	<b>2026</b>
	vluchtige vetzuren	160	32	160	14	14	24	23	<b>61</b>

## vervolg bijlage 5: Analyseresultaten periode 1

		<b>M8 = ammoniumsulfaat luchtwater</b>							
Meetperiode 1		07-02-2002	12-02-2002	14-02-2002	19-02-2002	21-02-2002	26-02-2002	28-02-2002	<b>gem.</b>
	PH	1,9	1,8	3,6	3,6	1,2	3,9	3,5	<b>2,8</b>
mS/cm	E.C. -waarde	242	242	261	269	405	274	274	<b>281</b>
mg/l	ammonium-N (NH <sub>4</sub> )	46000	45700	57400	66300	56200	69200	67500	<b>58329</b>
	nitaat-N (NO <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	organische-N	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<b>&lt; 1,0</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	N-totaal	46000	45700	57400	66300	56200	69200	67500	<b>58329</b>
mg/l	CZV	57,9	58,0	47,0	342,0	405,0	577,0	623,0	<b>301,4</b>
	vluchtige vetzuren	< 0,1	< 0,1	15	29	690	31	29	<b>159</b>

		<b>M10 = leidingwater</b>							
Meetperiode 1		07-02-2002	12-02-2002	14-02-2002	19-02-2002	21-02-2002	26-02-2002	28-02-2002	<b>gem.</b>
	PH	6,7	6,7	6,8	7,6	7,7	7,2	7,2	<b>7,1</b>
mS/cm	E.C. -waarde	0,52	0,53	0,53	0,52	0,52	0,54	0,55	<b>0,53</b>
mg/l	ammonium-N (NH <sub>4</sub> )	36,38	35,43	26,30	1,80	0,70	2,70	< 0,1	<b>17,22</b>
	nitaat-N (NO <sub>3</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	organische-N	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<b>&lt; 1,0</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<b>&lt; 0,1</b>
	N-totaal	36,38	35,43	26,30	1,8	< 1,0	2,7	< 1,0	<b>14,66</b>
mg/l	CZV	0,6	0,5	0,8	2,3	2,0	2,0	3,9	<b>1,7</b>
	vluchtige vetzuren	6,0	5,0	5,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,7	<b>4,3</b>

## Bijlage 6: Analyseresultaten periode 2

		<b>M1 = dikke fractie varkensmest (na centrifuge)</b>			
Meetperiode 2		28-02-2002	05-03-2002	07-03-2002	<b>gem.</b>
kg/ton vers product	droge stof	283	290	294	<b>289</b>
	asrest	87	93	94	<b>91</b>
	organische stof	193	197	200	<b>197</b>
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	4,00	3,20	3,40	<b>3,53</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	<0,1	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	organische-N	4,07	7,00	7,10	<b>6,06</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	<0,1	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	N-totaal	8,07	10,20	10,50	<b>9,59</b>
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	17,60	18,36	18,12	<b>18,03</b>
	kalium (K <sub>2</sub> O)	5,50	5,76	6,20	<b>5,82</b>
PH	<0,3	<0,3	<0,3	<b>&lt;0,3</b>	
mg/kg d.s	cadmium (Cd)	9,2	8,8	8,9	<b>9,0</b>
	koper (Cu)	270	260	220	<b>250</b>
	zink (Zn)	550	550	530	<b>543</b>

		<b>M2 = kalkoenenmest met strooisel</b>			
Meetperiode 2		28-02-2002	05-03-2002	07-03-2002	<b>gem.</b>
kg/ton vers product	droge stof	501	545	664	<b>570</b>
	asrest	138	91	97	<b>109</b>
	organische stof	363	454	567	<b>461</b>
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	7,60	4,00	6,00	<b>5,87</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	<0,1	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	organische-N	16,80	24,00	24,20	<b>21,67</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	<0,1	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	N-totaal	24,40	28,00	30,20	<b>27,53</b>
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	21,40	22,06	22,82	<b>22,09</b>
	kalium (K <sub>2</sub> O)	16,80	22,53	23,61	<b>20,98</b>
PH	8,0	7,2	7,5	<b>7,6</b>	
mg/kg d.s	cadmium (Cd)	<0,3	<0,3	<0,3	<b>&lt;0,3</b>
	koper (Cu)	130	100	74	<b>101</b>
	zink (Zn)	440	330	270	<b>347</b>

## vervolg bijlage 6: Analyseresultaten periode 2

		<b>M5 = mengsel</b>			
Meetperiode 2		28-02-2002	05-03-2002	07-03-2002	<b>gem.</b>
kg/ton vers product	droge stof	410	433	433	<b>425</b>
	asrest	106	88	91	<b>95</b>
	organische stof	304	345	342	<b>330</b>
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	9,00	6,40	7,00	<b>7,47</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	<0,1	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	organische-N	11,70	14,40	14,20	<b>13,43</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	<0,1	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	N-totaal	20,70	20,80	21,20	<b>20,90</b>
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	19,00	18,99	19,42	<b>19,14</b>
	kalium (K <sub>2</sub> O)	14,00	15,21	16,10	<b>15,10</b>
PH	9,2	7,5	7,3	<b>8,3</b>	
mg/kg d.s	cadmium (Cd)	<0,3	<0,3	<0,3	<b>&lt;0,3</b>
	koper (Cu)	140	150	130	<b>140</b>
	zink (Zn)	390	550	400	<b>390</b>

		<b>M6 = compost</b>		
Meetperiode 2		05-03-2002	07-03-2002	<b>gem.</b>
kg/ton vers product	droge stof	479	459	<b>570</b>
	asrest	103	97	<b>109</b>
	organische stof	376	362	<b>461</b>
	ammoniakale-N (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> )	5,30	6,30	<b>5,87</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	organische-N	21,90	18,10	<b>21,67</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	N-totaal	27,20	24,40	<b>27,53</b>
	fosfaat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	22,45	20,56	<b>22,09</b>
	kalium (K <sub>2</sub> O)	19,50	16,71	<b>20,98</b>
PH	8,4	8,1	<b>7,6</b>	
mg/kg d.s	cadmium (Cd)	<0,3	<0,3	<b>&lt;0,3</b>
	koper (Cu)	130	140	<b>101</b>
	zink (Zn)	340	390	<b>347</b>

## vervolg bijlage 6: Analyseresultaten periode 2

		<b>M7 = water warmtewisselaar</b>		
Meetperiode 2		05-03-2002	07-03-2002	<b>gem.</b>
pH		9,3	9,3	<b>9,3</b>
mS/cm	E.C.-waarde	11,00	10,90	<b>10,95</b>
mg/l	ammonium (NH <sub>4</sub> )	294	281	<b>288</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	organische-N	<1,0	<1,0	<b>&lt;1,0</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	N-totaal	294,0	281,0	<b>287,5</b>
	CZV	7566	8032	<b>7799</b>
meq/l	vluchtige vetzuren	26	27	<b>27</b>

		<b>M8 = ammoniumsulf.luchtwasser</b>		
Meetperiode 2		05-03-2002	07-03-2002	<b>gem.</b>
pH		7,2	<1,0	<b>4,0</b>
mS/cm	E.C.-waarde	259,00	1030,00	<b>644,50</b>
mg/l	ammonium (NH <sub>4</sub> )	51800	21300	<b>36550</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	organische-N	<1,0	<1,0	<b>&lt;1,0</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	N-totaal	51800,0	21300,0	<b>36550,0</b>
	CZV	5316	6674	<b>5995</b>
meq/l	vluchtige vetzuren	25	3100	<b>1563</b>

		<b>M10 = leidingwater</b>		
Meetperiode 2		05-03-2002	07-03-2002	<b>gem.</b>
pH		6,3	6,3	<b>6,3</b>
mS/cm	E.C.-waarde	0,54	0,53	<b>0,54</b>
mg/l	ammonium (NH <sub>4</sub> )	114	1,23	<b>58</b>
	nitraat-N (NO <sub>3</sub> )	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	organische-N	<1,0	<1,0	<b>&lt;1,0</b>
	nitriet-N (NO <sub>2</sub> )	<0,1	<0,1	<b>&lt;0,1</b>
	N-totaal	114,00	1,23	<b>57,62</b>
	CZV	0,4	1,6	<b>1,0</b>
meq/l	vluchtige vetzuren	<0,1	0,2	<b>0,1</b>

**Bijlage 7: Verwerkingskosten bij toepassing warmtevizel**  
(in €, excl. afzet producten)

Mestverwerkingsinstallatie

Project: Voorbeeld	
Type:	
Capaciteit: (ton stapelbare fractie/uur)	
Draaiuren: (uur/jaar)	
Totaal: (ton stapelbare fractie/uur)	6600 ***

I. Investeringskosten

	Afschrijvingsduur	
Loader	7,5 jaar *	20.000 **
Cargofloor	7,5 jaar *	43.000 **
Warmte vizel	7,5 jaar *	40.000 **
Luchtwater	7,5 jaar *	16.000 **
besturing	7,5 jaar *	20.000 **
Zuuropslag	7,5 jaar *	9.000 **
Totaal investeringen:		148.000
	Per ton:	22,42

2. Exploitatiekosten per jaar

<i>Vaste kosten:</i>		
Afschrijving:		19.733
Onderhoud:		4.440
Rente:		4.070
Totaal vaste kosten:		28.243
	Per ton:	4,28
<i>Variabele kosten:</i>		
Huur loods	450 m2 x € 32,00**	14.400
Brandstof loader	3500 liter à 0,36 ***	1.260
Verzekeringen	0,4% van investering	592
Zwavelzuur	330 dagen à 56 liter à 0,18***	3.326
Elektra	48 kWh/ton à 0,062 ***	19.642
Arbeid	330 dagen à 3 uur à 18,-/uur***	17.820
4.927,00		
Totaal variabele kosten:	per jaar:	57.080
	Per ton:	8,65
Totaal exploitatiekosten:	Per jaar:	85.323
(vaste + variabele kosten)	Per ton:	12,93

\* Uitgangspunt gehanteerd door Praktijkonderzoek veehouderij

\*\* Volgens opgave Tom Bouwman

\*\*\* Gemeten tijdens onderliggend onderzoek (Michels, 2002a)

Info Willems Waste technology, Borculo (Willems Waste Technology, 2002)

## Overige publicaties

In de serie " Mestverwerking varkenshouderij" zijn tot nu toe verschenen:

- Praktijkboek nr. 4 Mestverwerking varkenshouderij  
Manura® 2000, Hollvoet te Reusel
- Praktijkboek nr. 5 Mestverwerking varkenshouderij  
Manura® 2000, Houbensteyn te Ysselsteyn
- Praktijkboek nr. 6 Mestverwerking varkenshouderij  
Systeem Biovink, Evink te Oosterwolde (Gld)
- Praktijkboek nr. 7 Mestverwerking varkenshouderij  
Mestscheiding en microfiltratie, Dirven te Someren
- Praktijkboek nr. 8 Mestverwerking varkenshouderij  
Strofilter in foliekas, De Swart te Alphen (NB)
- Praktijkboek nr. 9 Mestverwerking varkenshouderij  
Composteren in roterende trommel,  
Bouwman te Ysselsteyn
- Praktijkboek nr. 10 Mestverwerking varkenshouderij  
Mest op Maat, Mestac te Nuenen
- Praktijkboek nr. 11 Mestverwerking varkenshouderij  
Mobiele Mestontwatering, Mestec te Papendrecht
- Praktijkboek nr. 12 Mestverwerking varkenshouderij  
OrgAgro, Bouwman te Bakel
- Praktijkboek nr. 13 Mestverwerking varkenshouderij  
Agramaat, Den Hertog te Rotterdam

Deze rapporten zijn te bestellen bij de uitgever.



