

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 289

Korte inventarisatie naar het perspectief van  
het drogen van digestaat bij biogasinstallaties

December 2009



**LIVESTOCK RESEARCH**

**WAGENINGEN UR**

## Colofon

### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, 2009  
Overname van de inhoud is toegestaan,  
mits met duidelijke bronvermelding.

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research (formeel ASG Veehouderij BV) aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research, formeel 'ASG Veehouderij BV', vormt samen met het Centraal Veterinair Instituut en het Departement Dierwetenschappen van Wageningen Universiteit de Animal Sciences Group van Wageningen UR.

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

### Abstract

A short survey has been done into the prospect of drying of digestate at biogas plants. This survey gave a global overview of the (im)possibilities of drying of digestate at different scale sizes of (co)digestion.

### Keywords

Drying, biogas, manure, digestate, anaerobic digestion

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteurs

M. Timmerman  
W. Rulkens (emeritus hoogleraar WUR- Milieutechnologie)

### Titel

Korte inventarisatie naar het perspectief van het drogen van digestaat bij biogasinstallaties

Rapport 289

### Samenvatting

Er heeft een korte inventarisatie plaatsgevonden naar het perspectief van droging van digestaat bij biogasinstallaties. Hierdoor is een globaal inzicht verkregen in de (on)mogelijkheden van het drogen van digestaat bij verschillende schaalgrootte van (co)vergisting.

### Trefwoorden

Drogen, biogas, mest, digestaat, vergisting



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR

Rapport 289

## Korte inventarisatie naar het perspectief van het drogen van digestaat bij biogasinstallaties

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van  
Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

M. Timmerman

W. Rulkens (emeritus hoogleraar WUR-Milieutechnologie)

December 2009



## Samenvatting

Bijna alle biogasinstallaties op Nederlandse landbouwbedrijven passen covergisting toe. Hierdoor neemt onder de huidige Nederlandse wetgeving de 'dierlijke' mestproductie in Nederland toe, omdat de mineralen stikstof (N) en fosfaat ( $P_2O_5$ ) in het digestaat, die afkomstig zijn van de coproducten, onder de gebruiksnormen voor dierlijke mest vallen. Maar covergisting biedt ook kansen op het gebied van mestbe- en verwerking omdat veel biogasinstallaties een aanzienlijk warmteoverschot hebben. Een optie dit warmteoverschot in te zetten om digestaat te drogen tot een droge fractie. Deze fractie kan worden afgezet in sectoren buiten de landbouw, geëxporteerd worden als meststof of verbrand worden voor energieproductie. Hierdoor neemt het mestaanbod in de Nederlandse landbouw af. Door een korte inventarisatie van verschillende droogtechnieken is een globaal overzicht gegeven van het perspectief van het drogen van digestaat bij biogasinstallaties.

Op basis van de wijze van warmteoverdracht naar het te drogen materiaal kan de volgende indeling van drogers worden gemaakt: convectiedrogers, conductiedrogers en stralingdrogers. Van elk groep drogers bestaan verschillende modificaties en tevens kan nog een onderverdeling plaatsvinden in batchdrogers en continu drogers. Conductiedrogers zijn complexer en daardoor meestal duurder dan convectiedrogers. Maar het volume van de drooggassen is bij conductiedrogers geringer, waardoor de nabehandeling van de drooggassen aanzienlijk eenvoudiger is. Verder is ook de terugwinning van energie uit de drooggassen eenvoudiger. Dus lijken conductiedrogers het meest perspectiefvol voor biogasinstallaties.

Voor een kleinschalige mestvergistinginstallatie zal bij de huidige stand van de techniek een industriële droger niet interessant zijn vanwege o.a. de investeringskosten, complexiteit van het droogproces en alternatieven voor de afzet van de geproduceerde warmte in de vorm van verwarming van stallen en woonhuis. Voor een covergistinginstallatie van voldoende omvang kan een drooginstallatie perspectief bieden om de kosten van afvoer van digestaat te reduceren. Als grootste knelpunt van toepassing van drooginstallaties wordt de zuivering van de drooggassen beschouwd die nodig is bij droging van mest en digestaat. Bij de behandeling van drooggassen die de droger verlaten moeten we rekening houden met de volgende componenten: stofdeeltjes, waterdamp, ammoniak, stankcomponenten en inert gas.

Vergisting en verbranding verschillen sterk van elkaar wat betreft technologie en toepassingsgebied. Mest is een natte biomassa en bevat relatief hoge gehalten aan nutriënten die ongewenst zijn bij verbranding, maar wel gewenst voor voeding van de micro-organismen in het vergistingproces. Gezien de samenstelling en eigenschappen van mest is vergisting als technologie bij uitstek geschikt om uit mest energie te winnen.



## Summary

Almost all biogas plants on Dutch farms are co-digestion plants. Under current Dutch law this leads to an increase in 'animal' manure production since the minerals nitrogen (N) and phosphate ( $P_2O_5$ ) in the digestate, which originate from the co-products, fall under the application norms for animal manure. But co-digestion offers also opportunities for manure treatment since a lot of biogas plants have a substantial heat surplus. An option could be to use this heat to dry the digestate to a dry product which can be used in sectors outside agriculture, exported or burned for energy production. This would lead to a decrease in the supply of manure in Dutch agriculture. Therefore a short survey has been done into the prospect of drying of digestate from biogas plants. This survey gives a global overview of the (im)possibilities of drying of manure(fractions) at different scale sizes of (co)digestion.

On the basis of the heat transfer method to the material the following classification in dryers can be made: convection dryers, conduction dryers and radiation dryers. In general there are several modifications within each group of dryers. A further subdivision can be made into batch and continuous dryers. Conduction dryers are more complex and therefore in general more expensive. However the volume of off gasses is small which make the treatment of these off gasses easier. Furthermore its easier to recover the energy from the off gasses. Therefore conduction dryers offer the best perspective for use at a biogas plant.

An industrial dryer for small scale manure digestion plants is under the current circumstances not interesting due e.g. the high investment costs, complexity of the drying process and possible alternatives for use of surplus heat in stables and farmhouse. For co-digestion plants of substantial size a drying installation can offer an opportunity to reduce the cost for disposal of the digestate. The treatment of the off gasses is considered to be the biggest bottleneck for drying of manure and digestate. In the treatment of off gasses from the dryer the following components are of importance: dust particles, water vapour, ammonia, odour and inert gas.

Anaerobic digestion and combustion differ strongly from each other regarding technology and application area. Manure is a wet biomass and has a relatively high nutrient contents which are undesirable for combustion but desirable as nutrition for the micro-organism in the anaerobic digestion process. Considering the composition and properties of manure anaerobic digestion is the best technology for energy production from manure.





# Inhoudsopgave

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Inventarisatie droogtechnieken.....</b>	<b>2</b>
	2.1 Algemeen .....	2
	2.2 Convectiedrogers .....	2
	2.3 Conductiedrogers.....	5
	2.4 Stralingdrogers.....	7
<b>3</b>	<b>Samenstelling en behandeling van drooggassen .....</b>	<b>9</b>
	3.1 Algemeen .....	9
	3.2 Hoeveelheid en samenstelling van de drooggassen .....	9
	3.3 Behandeling van drooggassen .....	10
<b>4</b>	<b>Indicatieve berekeningen van het drogen van digestaat.....</b>	<b>12</b>
	4.1 Algemeen .....	12
	4.2 Mestvergisting .....	12
	4.3 Covergisting .....	14
<b>5</b>	<b>Evaluatie van droogtechnieken voor digestaat .....</b>	<b>18</b>
	5.1 Aandachtpunten bij drogen .....	18
	5.2 Perspectief van drogers .....	18
<b>6</b>	<b>Vergisten versus verbranden .....</b>	<b>20</b>
	6.1 Algemeen .....	20
	6.2 Indicatieve berekening van een centrale verbrandingsinstallatie voor drijfmest(fracties) .....	21
<b>7</b>	<b>Discussie .....</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>25</b>
	<b>Literatuur .....</b>	<b>26</b>



## 1 Inleiding

### Achtergrond

Via mestvergisting kan 'groene energie' in de vorm van biogas worden gewonnen uit mest. Bijna alle biogasinstallaties op Nederlandse landbouwbedrijven passen covergisting toe. Het gevolg van covergisting is dat de 'dierlijke' mestproductie in Nederland toeneemt, omdat volgens de huidige mestwetgeving de mineralen N en  $P_2O_5$  in het digestaat, afkomstig van de coproducten, onder de gebruiksnormen voor dierlijke mest vallen. Maar (co)vergisting biedt ook kansen op het gebied van mestbe- en verwerking. Het geproduceerde biogas wordt meestal in een warmtekrachtkoppeling verbrand, waarbij de energie uit het biogas wordt omgezet in elektriciteit en warmte. Een deel van de warmte wordt gebruikt om het vergistingproces in stand te houden. Afhankelijk van de bedrijfssituatie wordt o.a. de resterende warmte (deels) ingezet voor stalverwarming en/of warmtelevering aan derden. In veel gevallen is er echter een aanzienlijk warmteoverschot aanwezig. Het rendement van de energieproductie is te verhogen door het inzetten van dit warmteoverschot in toepassingen die extra winst opleveren en de kostprijs van de energieproductie verlagen. Een optie is het inzetten van het warmteoverschot om digestaat te drogen. Gedroogd digestaat kan vervolgens o.a. ingezet worden als meststof in sectoren buiten de landbouw, geëxporteerd worden als meststof of verbrand worden voor energieproductie. Hierdoor neemt het mestaanbod in de Nederlandse landbouw af.

### Doelstelling

Via een korte inventarisatie van verschillende droogtechnieken wordt een globaal overzicht gegeven van het perspectief van het drogen van digestaat bij biogasinstallaties.

### Afbakening

Buiten de strekking van dit onderzoek vallen:

- Andere mestsoorten dan rundvee- en varkensdrijfmest
- Droging van digestaat m.b.v. stallucht

## 2 Inventarisatie droogtechnieken

Er heeft een korte inventarisatie plaatsgevonden naar technieken om digestaat te drogen. De resultaten van deze inventarisatie staan in dit hoofdstuk beschreven. Waar mogelijk zijn literatuurbronnen in de tekst aangegeven. Een aantal literatuurbronnen heeft echter een meer algemeen karakter wat betreft drogen en droogprocessen (AspenTech, 2009; Drying, 2009; De Paepe, 2006; Perry et al., 1984; Ponsen, 1976; Stoop en Lambert, 1993; Stora, 1991; Van Deventer, 2003 en Van Deventer, 2006). Omdat deze literatuurbronnen op veel plaatsen relevant zijn, vermelden we deze niet meer expliciet in de tekst.

### 2.1 Algemeen

Er zijn verschillende mogelijkheden om processen/technieken voor het drogen van digestaat in te delen. Op basis van de wijze van warmteoverdracht naar het te drogen materiaal kan de volgende indeling in drogergroepen worden gemaakt (De Paepe, 2006):

- Convectiedrogers
- Conductiedrogers
- Stralingsdrogers

Van elk groep drogers bestaan in het algemeen verschillende modificaties. Verder kunnen de droogprocessen nog worden onderverdeeld in batchdrogers en continu drogers. Batchdrogers worden meestal toegepast voor het drogen van relatief kleine hoeveelheden materiaal. Continu drogers past men in het algemeen toe bij het drogen van relatief grote hoeveelheden materiaal.

### 2.2 Convectiedrogers

Bij dit type droger wordt het te drogen materiaal in direct contact gebracht met een hete gasstroom. Deze gasstroom zorgt voor de toevoer van warmte naar het te drogen materiaal, neemt het verdampende water op en voert dit af uit de droger. Bij sommige drogers wordt ook het korrelige gedroogde materiaal met de uittredende drooggasstroom afgevoerd en via een separate afscheidingsstap uit het drooggas verwijderd. Het drooggas kan een extern verwarmde luchtstroom zijn, een gasstroom bestaande uit hete verbrandingsgassen, of een gasstroom die bestaat uit oververhitte (dus onverzadigde) stoom (Lemmens et al., 2007; Van Voorneburg, 1993).

#### Trommeldrogers

Hierbij wordt het te drogen materiaal in een roterende trommel met schoepen gebracht en de hete drooggasstroom in tegenstroom of in gelijkstroom met het product door de trommel geleid. Tegenstroom heeft als voordeel dat de hete drooggassen in direct contact komen met de deeltjes die al in een vergevorderd droogstadium verkeren en waarvan het resterend vocht, dat zich nog in het inwendige van de deeltjes bevindt, moeilijk te verwijderen is. Het nadeel van de toepassing van tegenstroom is dat de hete drooggassen in direct contact komen met gedroogde organische stof bevattende deeltjes waardoor gevaar voor explosie of brand ontstaat. De droogtijd hangt af van de grootte van de te drogen deeltjes, de snelheid van de langs stromende drooggasstroom en van de temperatuur en het vochtgehalte van het drooggas.

#### *Voordelen van een trommeldroger*

- Simpele uitvoering
- Goed warmtecontact tussen drooglucht en drogende deeltjes
- Alle drogende deeltjes hebben dezelfde verblijftijd en min of meer het zelfde temperatuurverloop. Dit geldt natuurlijk alleen als de deeltjes min of meer dezelfde grootte hebben
- Simpele sturing van het droogproces
- Ook relatief lage drooggastemperaturen zijn mogelijk, maar dat betekent wel dat de droger (langere verblijftijd) en het debiet van de drooggassen groter worden
- Robuust, niet erg gevoelig voor de grootte van de te drogen deeltjes
- Veel praktijkervaring

*Nadelen van een trommeldroger zijn*

- Groot drooggasdebiet vereist dat na uittrekking uit de droger moet worden behandeld
- Kleine droge deeltjes worden met de gasstroom meegevoerd
- Grote omvang droger
- Relatief hoog energiegebruik
- Als het te drogen product te nat en te kleverig is, is het noodzakelijk om een deel van het gedroogde product te recirculeren en te mengen met nat product, waardoor de free flowing eigenschappen van het in te voeren product verbeteren.

Trommeldrogers worden o.a. toegepast bij Duitse biogasinstallaties om na scheiding van het digestaat de dikke fractie te drogen. Een leverancier van trommeldrogers voor droging van digestaat uit biogasinstallaties is o.a. S&Ü Hydraulik und Maschinenbau GmbH. Nederlandse leveranciers van trommeldrogers zijn o.a. Ebbens engineering ingenieursbureau BV, Broere-Lether BV, IP Handling Nederland BV en Vandenbroek International BV.

**Banddrogers/tunneldrogers**

Bij dit type droger wordt het te drogen korrelig materiaal gedoseerd op een transportband die door een tunnel wordt geleid, in tegenstroom met het drooggas die over de deeltjes op de transportband wordt geleid. De droogtijd hangt af van de grootte van de te drogen deeltjes, de snelheid van de langs stromende drooggasstroom en van de temperatuur en het vochtgehalte van het drooggas.

*Voordelen van banddrogers zijn*

- Het te drogen materiaal hoeft niet korrelig van structuur te zijn. Kan in het algemeen rechte reekken op de droogband worden gebracht.
- Relatief eenvoudige technologie
- Het droogproces is in het algemeen goed controleerbaar
- Dit type droogsysteem kan ook op kleine schaal worden toegepast

*Nadelen van banddrogers zijn*

- Relatief langzaam droogproces
- Relatief groot drooggasdebiet

Er zijn verschillende modificaties van dit systeem mogelijk. Een van deze modificaties is de toepassing van een poreuze band waarbij de drooglucht in dwarsstroom langs de deeltjes wordt geleid. Een betere en snellere droging is dan mogelijk, maar het tegenstroomprincipe vervalt enigszins. Een verdere modificatie is de toepassing van een vibrerende band om de deeltjes op de band in voldoende mate in beweging te houden.

Banddrogers worden o.a. toegepast bij Duitse biogasinstallaties om na scheiding van het digestaat de dikke fractie te drogen. Leveranciers van banddrogers voor droging van digestaat uit biogasinstallaties zijn o.a. Dorset Green Machines BV, Biogas Plus BV, AgroEnergien GmbH, Schmitt Enertec GmbH, Riela GmbH en NEW eco-tec GmbH. Nederlandse leveranciers van banddrogers zijn o.a. Ebbens engineering ingenieursbureau BV, Ventilex BV, Polow energy systems BV en Vandenbroek International BV.

**Wervelbeddrogers (fluid bed drogers)**

Bij dit type droger wordt het te drogen materiaal toegevoerd aan de bovenzijde van een verticaal opgestelde cilindervormige droogkamer. Deze kamer is aan de onderzijde voorzien van een poreuze bodemplaat waar de drooggasstroom doorheen aan de droger wordt toegevoerd. De deeltjes die zich in de droger bevinden, worden door deze gasstroom gefluidiseerd. Droge deeltjes worden continu met de gasstroom uit de droogkamer afgevoerd of apart afgevoerd via een afvoerkanaal in de droger. Naast deze uitvoeringsvorm van de wervelbeddroger, waarin de drogende deeltjes ook het gefluidiseerde bed vormen, bestaat er een uitvoeringsvorm waarbij de droger uit een gefluidiseerd bed van zanddeeltjes bestaat. Het te drogen materiaal wordt aan dit zandbed toegevoerd. De droge deeltjes worden met de drooggasstroom afgevoerd. De warmte benodigd voor het droogproces wordt toegevoerd via de het drooggas en/of via een warmtewisselaar die in het wervelbed is geplaatst.

*Voordelen van wervelbeddrogers zijn*

- Intensief contact tussen de deeltjes en het drooggas waardoor een relatief snelle droging
- Relatief complexe installatie

*Nadelen van wervelbeddrogers zijn*

- Relatief complexe en dure installatie
- Grote verblijftijdspreiding van de deeltjes in het bed
- Spreiding in deeltjesafmetingen mag niet te groot zijn
- Relatief groot verschil in eindvochtgehalte van de deeltjes
- Relatief groot verschil in temperatuurtijdverloop van de deeltjes
- Sturing van het droogproces wat betreft deeltjesgrootte, toevoer van deeltjes aan de droger en drooggasdebiet is gevoelig/complex
- Als het te drogen product te nat is en te kleverig is, is het noodzakelijk om een deel van het gedroogde materiaal te recirculeren en te mengen met nat product waardoor de free flowing eigenschappen van het in te voeren materiaal verbeteren
- Relatief veel elektrische energie nodig voor toevoer drooggasdebiet
- Wervelbed gedraagt zich als een gemengd systeem, is niet in tegenstroom te bedrijven

Leveranciers van drooginstallaties voor digestaat uit biogasinstallaties op basis van het wervelbedprincipe zijn o.a. Enthal GmbH en Trevi NV. Nederlandse leveranciers van wervelbeddrogers zijn o.a. Ebbens engineering ingenieursbureau BV, Broere--Lether BV, Ventilex BV, IP Handling Nederland BV en GEA-Process Engineering Nederland BV.

**Pneumatische drogers**

Dit type droger bestaat uit een verticaal opgestelde pijp waaraan aan de onderzijde een hete gasstroom wordt toegevoerd die met hoge snelheid door deze buis stroomt. Het te drogen materiaal wordt direct aan de onderzijde in de hete gasstroom geïnjecteerd en meegevoerd met deze gasstroom naar de bovenzijde van de verticaal opgestelde buis. Tijdens dit transport vindt droging van de deeltjes plaats. Aan de bovenzijde worden deeltjes en gasstroom weer van elkaar gescheiden, waarna de gasstroom wordt nabehandeld. Het systeem kan ook in tegenstroom worden bedreven.

Zeer geschikt voor het drogen van kleine deeltjes; minder geschikt voor grote deeltjes omdat de totale verblijftijd van de deeltjes in de hete gasstroom gering is.

Een Nederlandse leverancier van pneumatische drogers is GEA-Process Engineering Nederland BV.

**Schudbeddrogers**

Een schudbeddroger bestaat uit een trilzeef waar het te drogen materiaal wordt opgebracht. Het materiaal moet free flowing eigenschappen bezitten. De drooggasstroom wordt aan de bovenzijde of onderzijde door de laag met deeltjes gevoerd. Door het trillen van de zeef komen de deeltjes los van elkaar wat bevorderlijk is voor het droogproces. De trilzeef zorgt ook voor het transport van de deeltjes.

*Voordelen van schudbeddrogers zijn*

- Efficiënt en snel droogproces
- Kan ook worden toegepast als batchproces

*Nadelen van schudbeddrogers zijn*

- Alleen toepasbaar voor free flowing materiaal

**Stoomdrogers**

Bij dit type droger wordt oververhitte, onverzadigde stoom gebruikt als drooggas (Te Pas, 1991). De oververhitte stoom dient zowel voor de toevoer van warmte als voor het opnemen en afvoeren van waterdamp. Zelfde type drogers als in het voorafgaande. De drooggasstroom die de droger verlaat, en die voornamelijk uit waterdamp bestaat, wordt voor een deel afgevoerd en voor een deel gerecirculeerd. De drooggasstroom die wordt gerecirculeerd, wordt eventueel op druk gebracht en vervolgens via een warmtewisselaar verhit tot de gewenste temperatuur. De drooggasstroom die de droger verlaat, wordt nabehandeld. Eventueel meegevoerde deeltjes worden daarbij verwijderd, de waterdamp wordt gecondenseerd en de resterend gasfase wordt verder nagezuiverd. Het principe van

stoomdrogen kan worden toegepast bij vele typen drogers, zoals trommeldrogers, wervelbeddrogers en pneumatische drogers.

*Voordelen van stoomdrogers zijn*

- Energetisch efficiënter
- Terugwinning van energie uit afgewerkte drooggassen is eenvoudiger
- Geen explosiegevaar
- De na te reinigen drooggasstroom is beperkt
- Drooggasreiniging eenvoudiger

*Nadelen van een stoomdroger zijn*

- De drooginstallatie moet gesloten zijn
- Complexer proces

Nederlandse leveranciers van stoomdrooginstallaties zijn o.a. GEA-Process Engineering Nederland BV, Ventilex BV, Stramproy Contracting BV en Vandenbroek International BV.

## **2.3 Conductiedrogers**

Bij dit type drogers wordt de benodigde energie voor het droogproces indirect aan het te drogen materiaal toegevoerd via een heet contact oppervlak (warmtewisselaar) (Van Tongeren, 1987). Het warmteoverdragend medium kan daarbij een hete vloeistof of gasstroom zijn. Dit medium komt tijdens het droogproces niet in direct contact met het te drogen materiaal of met de gasstroom die waterdamp en andere componenten bevat die vrijkomen tijdens het droogproces en wordt gerecirculeerd. De vrijkomende dampstroom, eventueel in combinatie met een gering debiet van een luchtstroom of ander gas dat als stripgas wordt gebruikt, wordt apart behandeld. Vergeleken met convectiedrogers hebben contactdrogers in het algemeen het voordeel dat ze compacter zijn, een betrekkelijk geringe afgasstroom (afgewerkte drooggasstroom) produceren waardoor de drooggasbehandeling en de terugwinning van energie uit de drooggasstroom efficiënter en goedkoper kunnen plaatsvinden en vaak wat efficiënter zijn in energieverbruik. Ze kunnen ook worden toegepast onder vacuüm waardoor het droogproces sneller verloopt en of bij lagere temperatuur kan worden toegepast (Lemmens et al., 2007; Van Voorneburg, 1993).

### **Gesloten trommeldrogers/pijpenbundeldrogers**

De van de omgeving afgesloten roterende trommel is hierbij voorzien van een dubbele buitenwand die verhit wordt met stoom of een thermische vloeistof. Het is ook mogelijk de roterende trommel intern te voorzien van een pijpenwarmtewisselaar die of verhit wordt met stoom of een ander heet gas of met een thermische vloeistof. Dit systeem kan ook onder vacuüm worden bedreven. Deeltjes in de trommel hebben min of meer dezelfde verblijftijd (Stora, 1991; Van Tongeren, 1987).

*Voordelen van gesloten trommeldrogers*

- Redelijk robuuste uitvoering
- Droogproces is minder gevoelig voor deeltjesgrootte en deeltjesgrootteverdeling
- Gering drooggasdebiet dat moet worden behandeld
- Relatief eenvoudige behandeling van de afgewerkte drooggassen

*Nadelen van gesloten trommeldrogers*

- Complexe en dure drooginstallatie
- Relatief lage droogsnelheid

### **Schroefdrogers/peddeldrogers**

Hier vindt de droging plaats in een gesloten trommel die voorzien is van holle transportschroeven die zorgdragen voor het transport van de te drogen deeltjes. De holle transportschroeven kunnen inwendig worden verhit met een warmteoverdragend medium en maken het mogelijk om warmte aan het te drogen materiaal toe te voeren. De trommelwand kan ook dubbelwandig worden uitgevoerd. De trommelwand wordt verhit door een warmteoverdragend medium en kan dienst doen als warmteoverdragend oppervlak. De afgewerkte drooggasstroom, die voornamelijk bestaat uit waterdamp, wordt eventueel in combinatie met een geringe hoeveelheid stripgas afgevoerd. Het

systeem kan ook onder vacuüm worden toegepast. Bij toepassing van een peddeldroger voor het drogen van dikke fracties moet het materiaal min of meer free flowing zijn. Dit houdt in dat aan de invoer van de droger de dikke fractie met gedroogd materiaal gemengd moet worden (back-mixing) voor een goed droogresultaat (Van Voorneburg, 1993).

*Voordelen van schroefdrogers zijn*

- Omdat er tijdens het transport een geforceerde menging plaatsvindt, kan ook wat natter materiaal worden toegepast
- Goede warmteoverdracht waardoor met een compacte installatie kan worden volstaan
- Deeltjes in de trommel hebben min of meer dezelfde verblijftijd
- Gering drooggasdebiet dat moet worden nabehandeld
- Relatief eenvoudige behandeling van de afgewerkte drooggassen
- Warmte kan gemakkelijk worden teruggewonnen uit de afgewerkte drooggassen

*Nadelen van schroefdrogers zijn*

- Hoge investeringskosten

Een leverancier van peddeldrogers voor slibdroging is GMF-Gouda.

**Carver Greenfield droogproces**

In dit droogproces wordt het materiaal gemengd met een hoogkokende, niet toxische, iso-paraffineolie (dragervloeistof). De wederzijdse oplosbaarheid van water en dragervloeistof is verwaarloosbaar klein. De suspensie van dragervloeistof en het te drogen materiaal wordt aan een indamper (eventueel meertrapsindamper) toegevoerd voor verdamping van het water. De uitredende suspensie van droge deeltjes en dragervloeistof wordt mechanisch gescheiden. De dragervloeistof wordt hergebruikt. De droge deeltjes, die nog een geringe hoeveelheid aanhangende dragervloeistof bevatten worden gestript, waarbij de aanhangende dragervloeistof wordt verwijderd en hergebruikt (Stamperius, 1991).

*Voordelen van het Carver Greenfield droogproces zijn*

- Zeer efficiënt energiegebruik is mogelijk omdat gebruik kan worden gemaakt van het meertrapsindampeffect
- Zeer goede warmteoverdracht
- Snelle ontwatering
- Goede controle mogelijk van het droogproces
- Flexibel proces wat betreft granulaire structuur en samenstelling van de te drogen materiaal

*Nadelen van het Carver Greenfield droogproces zijn*

- Complexe installatie
- Hoge investeringskosten
- Geen kleinschalige toepassing mogelijk
- Verlies van dragervloeistof

**Ad(b)sorptiedrogers**

Bij ad(b)sorptiedrogers wordt het materiaal gedroogd door dit in intensief contact te brengen (mengen) met een sterk water absorberend granulair ad(b)sorbens. Na een voldoende lange contacttijd wordt het ad(b)sorbens mechanisch afgescheiden van het gedroogde materiaal. Het afgescheiden ad(b)sorbens wordt vervolgens thermisch regenerereerd bij hoge temperatuur m.b.v. hete lucht of stoom en kan vervolgens weer opnieuw worden toegepast.

Als ad(b)sorbentia die mogelijk geschikt zijn komen o.a. bepaalde typen zeolieten, silicagel en natriumsulfaat in aanmerking.

*Voordelen van ad(b)sorptiedrogers*

- Eenvoudige uitvoering van het droogproces mogelijk
- Kan op kleine schaal worden toegepast
- Kan batchgewijs worden toegepast



#### *Nadelen van ad(b)sorptie drogers*

- Nog in het ontwikkelingsstadium
- Het te drogen materiaal en het adsorbens mogen niet aan elkaar gaan kleven. Structuur van het te drogen materiaal moet zodanig zijn dat het adsorbens niet in poriën of niches van het te drogen materiaal wordt ingesloten tijdens het droogproces.
- Indien geen 100% scheiding van gedroogd materiaal en ad(b)sorbens mogelijk resulteert dit in een verlies van ad(b)sorbens wat een kostenfactor vormt.
- Mogelijke vervuiling van het gedroogde materiaal met adsorbens
- Relatief hoog energieverbruik in verband met regeneratie proces van het adsorbens
- Omdat de temperatuur van de drogende deeltjes relatief laag blijft, is niet duidelijk wat er gebeurt met de ammoniak en geurcomponenten. Waarschijnlijk is een extra thermische behandeling van het gedroogde materiaal nodig.
- Minder geschikt voor grote deeltjes

#### **Cycloondrogers**

De cycloondroger bestaat in principe uit twee in elkaar vallende stofscheidingcyclonen. In de buitenste cycloon vindt de directe droging door een droogmedium plaats, waarna het gedroogde materiaal zich weer afscheidt van het droogmedium in de binnenste cycloon. Voor toepassing bij droging van digestaat(fracties) is een configuratie op basis van een dubbelwandig model met gesloten circulatie nodig, waarbij de gasstroom indirect wordt verwarmd. Het verdampte water kan worden teruggewonnen via condensatie (Van der Drift et al., 2004). Uit oriënterende tests blijkt dat cycloondrogen geschikt lijkt te zijn voor het drogen van dikke mestfracties uit een vijzelpers (Hooiveld, 2007).

#### *Voordelen van de cycloondroger zijn*

- Eenvoudig concept doordat het droogstelsel zelf geen draaiende delen bevat
- Relatief klein oppervlak nodig voor de drooginstallatie

#### *Nadelen van cycloondroger zijn*

- Nog weinig praktijkervaring
- Minder geschikt voor materiaal met weinig structuur en een te sterke waterverbinding.

Een Nederlandse leverancier van cycloondrogers is Drysep BV.

## **2.4 Stralingsdrogers**

#### **Infrarooddrogers**

De warmte die nodig is voor het droogproces wordt hierbij door infraroodstraling contactloos toegevoerd aan het te drogen materiaal. Het te drogen product bevindt zich, al of niet in granulaire vorm, op een lopende band. Het verdampte water wordt afgevoerd met een kleine stripgasstroom. Er bestaan, gebaseerd op de wijze waarop de infraroodstraling wordt opgewekt, drie typen infrarooddrogers:

- 1) Drogers op basis van gasgestookte keramische branderplaten
- 2) Drogers op basis van elektrisch verhitte stralingsplaten
- 3) Drogers op basis van warme platen of buizen die met heet water, olie of stoom verhit worden

#### *Voordelen van infrarooddrogers zijn*

- Gering drooggasdebiet dat moet worden behandeld
- Snelle en goed beheersbare warmteoverdracht (vooral als het korrelig materiaal in zekere mate wordt gemengd tijdens het transport door de droger)
- Relatief kleine omvang van de droger

#### *Nadelen van infrarooddrogers zijn*

- Droger is gecompliceerder en daardoor duurder
- Bij gebruik van elektrische energie relatief hoge energiekosten
- Bij gasgestookte keramische branderplaten worden de drooggassen gemengd met rookgassen
- Niet geschikt voor het drogen van grotere deeltjes of het drogen van relatief dikke lagen

- Te sterke stijging van de temperatuur aan het oppervlak van het te drogen materiaal is mogelijk
- Kans op explosiegevaar

Nederlands leveranciers van infrarooddrogers zijn o.a. Energie en Milieutechniek BV, ECO Ceramics BV en Polow energy systems BV.

### **Diëlektrische drogers**

Bij diëlektrische droging wordt het te drogen materiaal diëlektrisch verhit met behulp van microgolfstraling of van hoog frequente straling (Jansen, 1988; Jansen et al., 1991).

De watermoleculen die aanwezig zijn in het te drogen materiaal nemen de energie van deze straling op. De indringdiepte van de straling is groter bij grotere golflengtes van de straling. De op deze wijze toegevoerde energie wordt min of meer gelijkmatig aan het gehele volume van de drogende deeltjes overgedragen. Daardoor wordt ook het inwendige van het deeltje al direct sterk verhit. Dit geeft een versnelling van het droogproces. Het verdampde water wordt afgevoerd met een kleine gasstroom.

#### *Voordelen van diëlektrische drogers*

- Snelle en efficiënte energietoevoer
- Compacte installatie
- Korte droogtijd
- Goede sturing mogelijk van het droogproces
- Kleinschalige toepassing mogelijk
- Zeer geschikt als nadroogtechniek om snel resterend water te kunnen verdampen als een volledig droog product noodzakelijk is

#### *Nadelen van diëlektrische drogers*

- Complexe en kostbare installatie
- Zeer hoge energiekosten door het gebruik van elektrische energie
- Nog weinig ervaring met dit systeem bij toepassing op afvalstromen

Een Nederlandse leverancier van diëlektrische drogers is Ebbens engineering ingenieursbureau BV.

### 3 Samenstelling en behandeling van drooggassen

#### 3.1 Algemeen

De hoeveelheid en samenstelling van de drooggassen bij de verschillende typen droogsystemen zijn sterk afhankelijk van het type droger, de wijze van warmtetoevoer naar de droger, de wijze van afvoer van het verdampte water en de beginsamenstelling van het te drogen product.

Bij convectiedrogers gaat het om grote drooggasdebieten, in tegenstelling tot conductiedrogers waar de drooggasdebieten relatief klein zijn (Lemmens et al., 2007). Ook de samenstelling van de beide typen drooggasdebieten is sterk verschillend. Dit heeft tot gevolg dat ook de behandeling van het drooggas sterk verschilt. Ook de mogelijkheden om energie uit drooggassen terug te winnen voor hergebruik verschillen sterk. We geven globaal aan welke mogelijkheden er zijn om het drooggas te behandelen en energie uit de drooggassen terug te winnen voor hergebruik. Omdat kwantitatieve gegevens over hoeveelheid en samenstelling van de drooggassen die ontstaan bij het drogen van digestaat veelal ontbreken, wordt hier volstaan met een in hoofdlijnen kwalitatieve beschouwing, eventueel aangevuld met enkele kwantitatieve gegevens. Voor een deel zijn deze gegevens gebaseerd op gegevens verkregen bij het drogen van zuiveringslib.

#### 3.2 Hoeveelheid en samenstelling van de drooggassen

##### Convectiedrogers

In convectiedrogers heeft het toegevoerde drooggas twee functies: overdracht van warmte van het drooggas naar het materiaal om de benodigde energie voor verdamping van het water toe te voeren en afvoer van de ontstane waterdamp. Bij sommige droogprocessen komt daar nog een derde functie bij: transport van het te drogen materiaal in de droger en eventueel afvoer van het gedroogde materiaal met de drooggassen. Als drooggassen kunnen worden toegepast:

- Hete lucht die indirect of direct is verwarmd tot de juiste inlaat temperatuur
- Hete rookgassen
- Oververhitte, onverzadigde stoom

Meestal zal naarmate de inlaattemperatuur hoger is, ook de snelheid van warmteoverdracht naar het te drogen materiaal groter zijn en dus de verblijftijd van het te drogen materiaal in de droger en de omvang van de droogapparatuur kleiner. Bij stoomdrogers wordt de warmte gebruikt voor het verdampingsproces, toegevoerd door oververhitte stoom. Deze stoom neemt ook het verdampte water op. De temperatuur en druk van de stoom zijn zodanig dat de stoom oververhit blijft. Een beperkt deel van deze drooggasstroom wordt afgescheiden en verder behandeld. De rest wordt verhit via een externe warmtewisselaar en vervolgens weer als drooggas teruggevoerd naar de drooginstallatie.

De benodigde hoeveelheid drooglucht hangt af van de ingaande luchttemperatuur, de uitgaande luchttemperatuur en van de hoeveelheid water die moet worden verdampt. Verder moet rekening worden gehouden met warmteverliezen en de hoeveelheid warmte die nodig is om het materiaal te verhitten tot de droogtemperatuur. Maar deze hoeveelheden warmte zijn betrekkelijk gering in vergelijking met de totale hoeveelheid warmte die nodig is voor de verdamping van water.

Naast toevoer van warmte naar het te drogen materiaal heeft het drooggas ook als functie de afvoer van waterdamp. Dit betekent in ieder geval dat de temperatuur van de uittredende drooglucht zodanig moet zijn dat er geen verzadiging van de uittredende drooglucht met waterdamp mag optreden.

Behalve een voldoende grote warmteafgiftecapaciteit van het drooggas naar de drogende deeltjes en een voldoende grote opnamecapaciteit van het drooggas voor het verdampte water, moet de warmteoverdracht van drooglucht naar drogende deeltjes voldoende snel zijn. Hetzelfde geldt voor de overdracht van het water, aanwezig in de drogende deeltjes, naar het drooggas.

Kortom: de contacttijd tussen drogende deeltjes en het drooggas moet voldoende lang zijn. De benodigde contacttijd wordt o.a. bepaald door de afmetingen van de drogende deeltjes, het temperatuurverschil tussen deeltjes en drooggas en het vochtgehalte van de drooggassen.

De samenstelling van het uittredende drooggas van een convectiedroger kunnen we als volgt kwalitatief karakteriseren:

- Bulkcomponenten in de gasfase:  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ . Als verbrandingsgassen worden gebruikt voor het droogproces kunnen we een hoog  $CO_2$ -gehalte en relatief laag zuurstofgehalte verwachten.
- Waterdamp, afkomstig uit digestaat. De concentratie van waterdamp in het drooggas hangt af van de temperatuur van het drooggas bij het verlaten van de droger.
- Ammoniak, afkomstig uit digestaat. Het ammoniakgehalte hangt sterk af van de pH van het digestaat. Vergisten resulteert in het algemeen in een hogere concentratie van  $NH_3$  in de mest dan bij onvergiste mest. Ook het gebruik van coagulatie- en flocculatiemiddelen die een pH-effect hebben, tonen invloed op de verdamping van ammoniak. De verwachting is dat bij een hoge pH de ammoniak grotendeels vervluchtigt. Dit vervluchtigen van ammoniak kan worden beperkt of voorkomen door voorafgaand aan het droogproces het digestaat aan te zuren met een anorganisch zuur.
- Stankcomponenten. Deze zijn aanwezig in het digestaat en kunnen mogelijk ook worden geproduceerd tijdens het droogproces door de verhitting van de deeltjes. Dit treedt vooral op als de deeltjestemperatuur hoog wordt. De concentratie van stankcomponenten in het drooggas wordt mede bepaald door de pH. Toepassing van een anaeroob vergistingproces resulteert in een lagere concentratie van stankcomponenten in het drooggas dan bij onvergiste mest.
- Stofdeeltjes. Deze zijn afkomstig van het drogende materiaal. Vooral als het drooggas ook wordt gebruikt voor het transport van drogende deeltjes, moet voldoende aandacht worden besteed aan de verwijdering van deze deeltjes uit het drooggas.

### **Conductiedrogers**

Bij conductiedrogers wordt de voor het droogproces benodigde warmte toegevoerd via een warmteoverdragend gesloten oppervlak. Meestal is dit een warmtewisselaar. Het warmte overdragend medium is stoom (die condenseert in de warmtewisselaar) of een thermische olie.

De waterdamp die bij het droogproces in conductieve drogers ontstaat, wordt afgevoerd als een gasfase, voornamelijk bestaande uit waterdamp. Deze gasfase bevat daarnaast nog gassen zoals stikstof, zuurstof, ammoniak en stankcomponenten. De temperatuur van de gasfase moet zodanig zijn dat de waterdamp bij de heersende condities van temperatuur en druk niet condenseert. De hoeveelheid drooggas die de droger verlaat, wordt primair bepaald door de hoeveelheid water die per tijdseenheid verdampt, de temperatuur en de druk.

Bij het Carver Greenfield droogproces wordt het te drogen materiaal in een hete dragerolie gebracht die niet mengbaar is met water en een relatief hoog kookpunt heeft. De waterdamp die daarbij ontstaat, wordt afgevoerd en verder behandeld. Kenmerkend bij deze dampstroom is dat behalve waterdamp, stankcomponenten en ammoniak ook in beperkte mate damp van de drager olie aanwezig is. Bij condensatie wordt de gecondenseerde niet met water mengbare olie mechanisch afgescheiden en weer teruggevoerd naar de indampinstallatie.

### **Stralingsdrogers**

Bij stralingsdrogers wordt de warmte benodigd voor verdamping niet via een drooggas overgebracht maar via infraroodstraling. De primaire functie van de drooggasstroom is de afvoer van het verdampte water en de aanwezige inerte gassen, ammoniak en stankcomponenten. De samenstelling van deze drooggasstroom komt in grote lijnen overeen met de samenstelling van de drooggasstroom van conductiedrogers.

## **3.3 Behandeling van drooggassen**

### **Convectiedrogers**

Voor behandeling van de drooggassen afkomstig van convectiedrogers komen de volgende processen of combinatie van processen in aanmerking:

- Afscheiden van eventueel aanwezige deeltjes door een doekenfilter, elektrostatisch filter of gascycloon.
- Afkoeling van het drooggas door een warmtewisselaar.  
Daarbij ontstaat een condensaatstroom die vervuild is met stofdeeltjes, ammoniak en stankcomponenten. Behandeling van deze condensaatstroom is mogelijk in een aparte waterzuiveringsinstallatie of door afvoer van het condensaat naar een bestaande waterzuiveringsinstallatie.

- Verwijdering van de resterende geurcomponenten en ammoniak in een biofilter of een één- of tweetrapsbiowasser.
- Verwijdering van ammoniak in een zure wasser gevolgd door verwijdering van stankcomponenten in een biofilter of in een één- of tweetrapsbiowasser
- Verwijdering van ammoniak en geurcomponenten is in principe ook mogelijk via een naverbrander met energierterugwinning, hoewel dit voor grote afgasdebieten niet de methode is die direct voor de hand ligt.

In principe is het mogelijk om bij het afkoelen van de drooggasstroom en bij het condensatieproces van waterdamp warmte terug te winnen voor hergebruik in het droogproces. Het temperatuurniveau van deze afvalwarmte is echter onvoldoende voor directe toepassing in het droogproces. Het is echter mogelijk om met een elektrisch aangedreven of gasgestookte warmtepomp het temperatuurniveau van deze afvalwarmtestroom op te voeren tot een niveau dat hergebruik van de warmte in het droogproces wel mogelijk maakt.

Een alternatief voor het condenseren van de waterdamp aanwezig in het drooggas, is het direct condenseren van de waterdamp door het versproeien van waterdruppels in de drooggasstroom. Hierbij ontstaat een waterstroom die verder moet worden behandeld. Ook de uittredende gasstroom moet in het algemeen nog worden nabehandeld voor verwijdering van geurcomponenten.

Indien relatief grote hoeveelheden ammoniak in de drooggasstroom aanwezig zijn, kan men twee mogelijkheden overwegen om deze ammoniak al of niet in een geconcentreerde vorm te verwijderen:

- Partiële condensatie van de in het drooggas aanwezige waterdamp, gevolg door condensatie van het resterende water en de ammoniak bij lagere temperatuur. Hierbij wordt een geconcentreerde oplossing van ammoniak in water verkregen. Eventueel kan ook na het condensatieproces de gasstroom door een installatie worden geleid waarin een geconcentreerd zuur wordt versproeit dat de ammoniak absorbeert.
- Condensatie van waterdamp door versproeien van waterdruppels bij verhoogde temperatuur gevolgd door versproeien van een geconcentreerde zuuroplossing in de drooggasstroom.

### **Conductiedrogers**

Voor behandeling van de drooggassen afkomstig van conductiedrogers komen de volgende processen of combinatie van processen in aanmerking:

- Afscheiden van eventueel aanwezige deeltjes door een doekenfilter, elektrostatisch filter of gascycloon.
- Condensatie van de waterdamp in een warmtewisselaar. Daarbij zal ook aanwezige ammoniak voor een deel condenseren, en ook een beperkt deel van de aanwezige geurcomponenten. Omdat de te behandelen drooggasstroom voornamelijk uit waterdamp bestaat, is een efficiënte condensatie bij hoge temperatuur mogelijk, eventueel in combinatie met energierterugwinning. Eventueel aanwezige ammoniak kan mogelijk geconcentreerd worden in een beperkte waterstroom door toepassing van een tweetraps-condensatieproces: een trap bij relatief hoge temperatuur waarbij slechts een beperkte hoeveelheid ammoniak meecondenseert en een trap bij een relatief lage temperatuur waarbij naast waterdamp ook de bulk van de ammoniak condenseert. Een alternatief voor de verwijdering van ammoniak is toepassing van een chemische wasser om ammoniak te binden in een geconcentreerde zuuroplossing. Nabehandeling van het drooggas om eventueel aanwezige geurcomponenten te verwijderen kan plaatsvinden door een biofilter of een één- of tweetrapsbiowasser. Behandeling van deze condensaatstroom, die mogelijk vervuild is met stofdeeltjes, ammoniak en stankcomponenten, kan in een aparte waterzuiveringsinstallatie of door afvoer naar een bestaande waterzuiveringsinstallatie.
- In vergelijking met de te behandelen drooggasstromen van indirecte drogers zijn de te behandelen drooggasstromen bij indirecte drogers aanzienlijk geringer. Bovendien bestaan de drooggassen bij conductiedrogers voornamelijk uit waterdamp. Een en ander betekent dat behandeling van drooggasstromen van indirecte drogers aanzienlijk eenvoudiger en goedkoper is dan de behandeling van drooggassen van convectiedrogers.
- Ook terugwinning van warmte voor hergebruik in het droogproces is aanzienlijk efficiënter en eenvoudiger dan terugwinning van warmte uit de drooggassen afkomstig van directe drogers.

## 4 Indicatieve berekeningen van het drogen van digestaat

### 4.1 Algemeen

De benodigde hoeveelheid energie bij het drogen van digestaat wordt voornamelijk bepaald door de verdampingswarmte van water. Voor het verdampen van water is theoretisch 2.260 MJ per ton water nodig. De werkelijke hoeveelheid benodigde energie ligt echter hoger door:

- Het niet volledig benutten van de energie in de drooggassen bij convectiedrogers omdat deze bij een relatief hoge temperatuur de droger verlaten.
- Het opwarmen van digestaat tot het temperatuurniveau van de deeltjes aan het eind van het droogproces.
- Het opwarmen van de waterdamp tot het temperatuurniveau van het drooggas dat de droger verlaat.
- De warmteverliezen door straling en convectie naar de omgeving.
- De elektrische energie benodigd voor pompen, ventilatoren, mixers, voor aandrijving van de bewegende delen van een droger en voor transport, afvoer en behandeling van de drooggassen.

Het energieverbruik bij de standaard typen directe drogers (trommeldrogers, banddrogers, wervelbed drogers e.d.) wordt zeer globaal geschat op:

- Thermische energie: 3.200-3.800 MJ/ton waterverdamping, afhankelijk van het specifieke type droger
- Elektrische energie: 25 -100 kWh/ton waterverdamping, afhankelijk van het specifieke type droger en de toegepaste drooggasbehandeling

Door warmtewisseling en toepassing van warmtepompen (Doldersum et al., 1995) kan het netto energieverbruik worden teruggedrongen. In welke mate is moeilijk te schatten, maar afhankelijk van het toegepaste systeem, lijkt een besparing op energieverbruik van 15 tot 25 % haalbaar. Het energieverbruik van indirecte drogers ligt in het algemeen lager. Wat de thermische energiebehoefte betreft, wordt geschat dat een besparing van circa 20% mogelijk is.

De thermische energiebehoefte van het Carver Greenfield proces, dat in principe werkt volgens een meertraps-indampstelsel, ligt naar schatting 70% lager dan dat van een conventioneel droogstelsel. Wel ligt het elektriciteitsgebruik wat hoger bij dit systeem.

In dit hoofdstuk geven we de resultaten weer van een aantal indicatieve berekeningen van het drogen van het digestaat uit een (co)vergistinginstallatie. Aan de hand van deze berekeningen kan het perspectief bepaald worden van drogen bij verschillende schaalgroottes. Er is in de berekeningen uitgegaan van een gemiddeld thermisch energieverbruik van circa 3.000 MJ/ton water door de drogers.

### 4.2 Mestvergisting

#### Varkensbedrijf

Voor de berekening is uitgegaan van een gesloten varkensbedrijf met 300 zeugen en 2.400 vleesvarkens. De gemiddelde mestproductie van een zeug bedraagt 5,1 m<sup>3</sup> per jaar met een drogestofgehalte van 55 g/kg en een organisch stofgehalte van 35 g/kg. De gemiddelde mestproductie per vleesvarkenplaats bedraagt 1,1 m<sup>3</sup> per jaar met een drogestofgehalte van 90 g/kg en een organisch stofgehalte van 60 g/kg. De dichtheid van varkensmest bedraagt 1,02 ton/m<sup>3</sup> (KWIN, 2008). In tabel 1 staat het overzicht van de uitgangspunten.

**Tabel 1** Uitgangspunten van de berekening voor mestvergisting op een varkensbedrijf

Parameter	Waarde	Eenheid
Mestproductie	4.253	ton/jaar
Specifieke biogasopbrengst varkensmest	0,45	m <sup>3</sup> /kg OS
Methaangehalte	60	%
Elektrisch rendement WKK	32	%
Thermisch rendement WKK	50	%

De productieresultaten van de mestvergistinginstallatie op jaarbasis zijn:

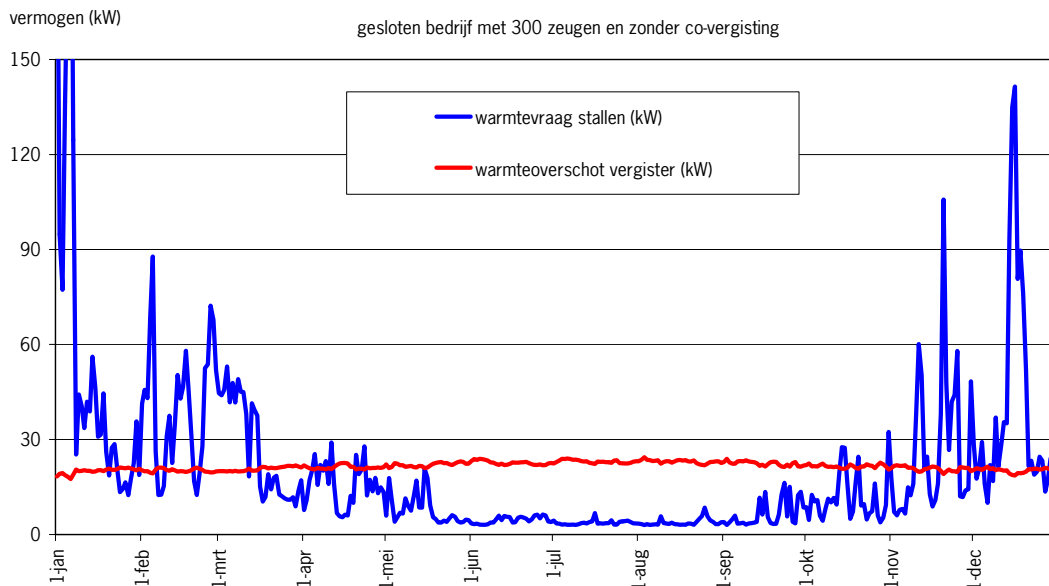
- Biogasproductie 97.285 m<sup>3</sup>
- Methaanproductie 58.371 m<sup>3</sup>
- Energieproductie 580.467 kWh = 2.089.683 MJ
- Elektriciteitsproductie 185.750 kWh<sub>e</sub>
- WKK-installatie bij 7.700 draaiuren 24 kW<sub>e</sub>
- Warmteproductie 290.234 kWh<sub>th</sub> = 1.044.841 MJ
- Digestaatproductie (5,1% DS) 4.134 ton

Als de totale energieproductie wordt ingezet voor verdamping van het aanwezige water in het digestaat, kan circa 697 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert bedraagt dan circa 3.438 ton met een drogestofgehalte van 6,2%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €10.455,- worden bespaard. Maar omdat geen elektriciteit wordt geproduceerd, bedragen de misgelopen inkomsten bij een SDE-prijs (2009) van €0,152 per kWh op jaarbasis €28.234,-. Als alleen de warmteproductie van de WKK ingezet wordt, kan circa 348 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert, bedraagt dan circa 3.786 ton met een drogestofgehalte van 5,6%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €5.220,- worden bespaard.

Bij toepassing van een scheider die 10% van het digestaat afscheidt, wordt op jaarbasis 413 ton dikke fractie geproduceerd. Bij droging van deze dikke fractie van 25 naar 85% drogestof moet in totaal 292 ton water worden verdampt. De energievraag kan gedekt worden door de warmteproductie van de WKK-installatie, maar omdat het vergistingproces ook een warmtevraag heeft, zal de warmteproductie van de WKK-installatie niet toereikend zijn om alle dikke fractie in te drogen. Daarbij komt dat de warmte ook ingezet kan worden als stalverwarming, wat een besparing oplevert van de energierekening. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton en een verkoopprijs van €10,- per ton droge mest bedraagt de omzet van de droger op jaarbasis €7.415,-.

Timmerman et al. (2005) hebben een berekening gemaakt voor wat de mogelijke besparing aan verwarmingskosten kan zijn voor een gemiddeld gesloten zeugenbedrijf met 300 zeugen dankzij mestvergisting. In figuur 1 staat de warmtevraag van het bedrijf weergegeven en het warmteoverschot van de WKK-installatie van de vergister.

**Figuur 1** Warmtevraag op een gemiddeld gesloten zeugenbedrijf en warmteoverschot van de WKK-installatie bij mestvergisting (Timmerman et al., 2005)



Uit figuur 1 komt naar voren dat de warmtevraag op een gesloten zeugenbedrijf niet geheel aansluit bij het warmteoverschot van de mestvergistinginstallatie. Het warmteoverschot is namelijk redelijk constant gedurende het jaar, terwijl de warmtevraag in de winter groot is en in de zomer klein. Er zal daarom alleen in de zomer een redelijk constant warmteoverschot zijn dat ingezet kan worden voor

droging. Het zal dus financieel niet rendabel zijn om voor dit relatief lage warmte-overschot wat alleen beschikbaar is tijdens de zomerperiode een drooginstallatie aan te schaffen.

### Melkveebedrijf

Voor de berekening is uitgegaan van een melkveebedrijf met een bedrijfsgrootte van 130 melkkoeien en bijbehorend jongvee op basis van een vervangingspercentage van 33%. De melkproductie van de koeien bedraagt 8.000 liter per jaar. Er is summerfeeding (50% graskuil en 50% snijmaïs) toegepast en ook het jongvee is jaarrond op stal. De mestproductie per jaar is 24,6 m<sup>3</sup> per melkkoe, 10,9 m<sup>3</sup> per pink en 4,9 m<sup>3</sup> per kalf met een drogestofgehalte van 86 g/kg, een organisch stofgehalte van 64 g/kg en een dichtheid van 1,005 ton/m<sup>3</sup> (KWIN, 2008). In tabel 2 staat het overzicht van de uitgangspunten.

**Tabel 2** Uitgangspunten van de berekening voor mestvergisting op een melkveebedrijf

Parameter	Waarde	Eenheid
Mestproductie	3.937	ton/jaar
Specifieke biogasopbrengst varkensmest	0,30	m <sup>3</sup> /kg OS
Methaangehalte	60	%
Elektrisch rendement WKK	32	%
Thermisch rendement WKK	50	%

De productieresultaten van de mestvergistinginstallatie op jaarbasis zijn:

- Biogasproductie 75.594 m<sup>3</sup>
- Methaanproductie 45.356 m<sup>3</sup>
- Energieproductie 451.044 kWh = 1.623.759 MJ
- Elektriciteitsproductie 144.334 kWh<sub>e</sub>
- WKK-installatie bij 7.700 draaiuren 19 kW<sub>e</sub>
- Warmteproductie 225.522 kWh<sub>th</sub> = 811.880 MJ
- Digestaatproductie (6,5% ds) 3.595 ton

Als de totale energieproductie wordt ingezet voor verdamping van het aanwezige water in het digestaat, kan circa 541 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert bedraagt dan circa 3.595 ton met een drogestofgehalte van 7,6%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €8.115,- worden bespaard. Maar omdat geen elektriciteit wordt geproduceerd, bedragen de misgelopen inkomsten bij een SDE-prijs (2009) van €0,152 per kWh op jaarbasis €21.939,-. Als alleen de warmteproductie van de WKK ingezet wordt, kan circa 271 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert bedraagt dan minimaal 3.574 ton met een drogestofgehalte van 7,0%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €4.065,- worden bespaard.

Bij toepassing van een scheider die 10% van het digestaat afscheid wordt op jaarbasis 384 ton dikke fractie geproduceerd. Bij droging van deze dikke fractie van 25% naar 85% drogestof moet in totaal 271 ton water worden verdampt. De energievraag zou precies gedekt kunnen worden door de warmteproductie van de WKK-installatie. Maar het vergistingproces heeft ook een warmtevraag waardoor de warmteproductie van de WKK-installatie niet toereikend is om de dikke fractie in te drogen. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton en een verkoopprijs van €10,- per ton droge mest bedraagt de omzet van de droger op jaarbasis €6.890,-.

### 4.3 Covergisting

Bij covergisting ligt de energieproductie aanmerkelijk hoger dan bij mestvergisting. Maar de warmtevraag verandert niet op een bedrijf, waardoor covergisting het droogpotentieel van een biogasinstallatie zal vergroten. De samenstelling en eigenschappen van de coproducten zijn sterk bepalend voor de hoeveelheid warmte die je nodig hebt om de resterende dikke fractie in te kunnen drogen. Zo levert bijvoorbeeld een coproduct met een hoog drogestofgehalte en een hoge biogasproductie per kilogram organische stof veel energie op met weinig digestaat, waardoor relatief veel energie beschikbaar is voor het drogen. Terwijl een coproduct met een laag drogestofgehalte en een lage biogasproductie per kilogram organische stof weinig energie produceert maar wel veel digestaat. Voor de indicatieve berekeningen is uitgegaan van het gebruikte coproduct gemiddeld een drogestofgehalte hebben van 300 g/kg en een organisch stofgehalte van 255 g/kg.



### Varkensbedrijf

Er is voor de berekeningen uitgegaan van dezelfde bedrijfsgrootte en –parameters als in paragraaf 4.2. In tabel 3 staat het overzicht van de uitgangspunten.

**Tabel 3** Uitgangspunten van de berekening voor covergisting op een varkensbedrijf

Parameter	Waarde	Eenheid
Mestproductie	4.253	ton/jaar
Coproducten	4.234	ton/jaar
Specifieke biogasopbrengst varkensmest	0,45	m <sup>3</sup> /kg OS
Gemiddelde specifieke biogasopbrengst coproduct	0,65	m <sup>3</sup> /kg OS
Methaangehalte	60	%
Elektrisch rendement WKK	38	%
Thermisch rendement WKK	45	%

De productieresultaten van de covergistinginstallatie op jaarbasis zijn:

- Biogasproductie 802.286 m<sup>3</sup>
- Methaanproductie 481.372 m<sup>3</sup>
- Energieproductie 4.786.974 kWh = 17.233.105 MJ
- Elektriciteitsproductie 1.819.050 kWh<sub>e</sub>
- WKK-installatie bij 7.700 draaiuren 236 kW<sub>e</sub>
- Warmteproductie 2.154.138 kWh<sub>th</sub>= 7.754.897 MJ
- Digestaatproductie (9,0% DS) 7.523 ton

Als de totale energieproductie wordt ingezet voor verdamping van het aanwezige water in het digestaat, kan circa 5.744 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert bedraagt dan circa 1.779 ton met een drogestofgehalte van 38%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €86.160,- worden bespaard. Maar omdat geen elektriciteit wordt geproduceerd, bedragen de misgelopen inkomsten bij een SDE-prijs (2009) van €0,152 per kWh op jaarbasis €276.496,-. Als alleen de warmteproductie van de WKK ingezet wordt, kan circa 2.585 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert bedraagt dan circa 4.938 ton met een drogestofgehalte van 14%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €38.775,- worden bespaard.

Bij toepassing van een scheider die 20% van het digestaat afscheidt, wordt op jaarbasis 1.505 ton dikke fractie geproduceerd. Bij droging van deze dikke fractie van 25% naar 85% drogestof moet in totaal 1.062 ton water worden verdampt. De energievraag voor het drogen bedraagt circa 41% van de totale warmteproductie, waardoor voldoende warmte resteert voor verwarming van de vergister en eventueel voor de stallen. Bij een mestafzetprijs van € 15,- per ton en een verkoopprijs van € 10,- per ton droge mest bedraagt de omzet van de droger op jaarbasis €27.005,-.

### Melkveebedrijf

Er is voor de berekeningen uitgegaan van dezelfde bedrijfsgrootte en –parameters als in paragraaf 4.2. In tabel 4 staat het overzicht van de uitgangspunten.

**Tabel 4** Uitgangspunten van de berekening voor covergisting op een melkveebedrijf

Parameter	Waarde	Eenheid
Mestproductie	3.918	ton/jaar
Coproducten	3.918	ton/jaar
Specifieke biogasopbrengst varkensmest	0,45	m <sup>3</sup> /kg OS
Gemiddelde specifieke biogasopbrengst coproduct	0,65	m <sup>3</sup> /kg OS
Methaangehalte	60	%
Elektrisch rendement WKK	38	%
Thermisch rendement WKK	45	%

De productieresultaten van de covergistinginstallatie op jaarbasis zijn:

- Biogasproductie 728.183 m<sup>3</sup>
- Methaanproductie 436.910 m<sup>3</sup>
- Energieproductie 4.344.825 kWh = 15.641.369 MJ
- Elektriciteitsproductie 1.651.033 kWh<sub>e</sub>
- WKK-installatie bij 7.700 draaiuren 214 kWe
- Warmteproductie 1.955.171 kWh<sub>th</sub>= 7.038.616 MJ
- Digestaatproductie (9,8% DS) 6.981 ton

Als de totale energieproductie wordt ingezet voor verdamping van het aanwezige water in het digestaat, kan circa 5.214 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert bedraagt dan circa 1.768 ton met een drogestofgehalte van 39%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €78.210,- worden bespaard. Maar omdat geen elektriciteit wordt geproduceerd, bedragen de misgelopen inkomsten bij een SDE-prijs (2009) van €0,152 per kWh op jaarbasis €250.957,-. Als alleen de warmteproductie van de WKK ingezet wordt, kan circa 2.346 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert bedraagt dan circa 4.635 ton met een drogestofgehalte van 15%. Bij een mestafzetprijs van € 15,- per ton kan op jaarbasis €35.190,- worden bespaard.

Bij toepassing van een scheider die 20% van het digestaat afscheidt wordt op jaarbasis 1.396 ton dikke fractie geproduceerd. Bij droging van deze dikke fractie van 25% naar 85% drogestof moet in totaal 986 ton water worden verdampt. De energievraag voor het drogen bedraagt circa 42% van de totale warmteproductie, waardoor voldoende warmte resteert voor verwarming van de vergister. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton en een verkoopprijs van €10,- per ton droge mest bedraagt de omzet van de droger op jaarbasis €25.050,-.

#### Covergistinginstallatie met 25.000 ton input

Om het effect van schaalgrootte inzichtelijk te maken is een indicatieve berekening gemaakt voor een covergistinginstallatie met een jaarlijkse input van 25.000 ton. In tabel 5 staat het overzicht van de uitgangspunten.

**Tabel 5** Uitgangspunten van de berekening voor covergistinginstallatie van 25.000 ton

Parameter	Waarde	Eenheid
Vleesvarkensmest	12.500	ton/jaar
Coproducten	12.500	ton/jaar
Specifieke biogasopbrengst varkensmest	0,45	m <sup>3</sup> /kg OS
Gemiddelde specifieke biogasopbrengst coproduct	0,65	m <sup>3</sup> /kg OS
Methaangehalte	60	%
Elektrisch rendement WKK	40	%
Thermisch rendement WKK	45	%

De productieresultaten van de covergistinginstallatie op jaarbasis zijn:

- Biogasproductie 2.409.375 m<sup>3</sup>
- Methaanproductie 1.445.625 m<sup>3</sup>
- Energieproductie 14.375.938 kWh = 51.753.375 MJ
- Elektriciteitsproductie 5.750.375 kWh<sub>e</sub>
- WKK-installatie bij 7.700 draaiuren 747 kWe
- Warmteproductie 6.469.172 kWh<sub>th</sub>= 23.289.019 MJ
- Digestaatproductie (9,5% DS) 22.045 ton

Als de totale energieproductie wordt ingezet voor verdamping van het aanwezige water in het digestaat, kan circa 17.251 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert bedraagt dan circa 4.794 ton met een drogestofgehalte van 44%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €258.765,- worden bespaard. Maar omdat geen elektriciteit wordt geproduceerd, bedragen de misgelopen inkomsten bij een SDE-prijs (2009) van €0,152 per kWh op jaarbasis €874.057,-. Als alleen de warmteproductie van de WKK ingezet wordt, kan circa 7.763 ton water worden verdampt. De totale digestaatproductie die resteert, bedraagt dan circa 14.282 ton met een drogestofgehalte van 15%. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton kan op jaarbasis €16.445,- worden bespaard.

Bij toepassing van een scheider die 20% van het digestaat afscheidt wordt op jaarbasis 4.409 ton dikke fractie geproduceerd. Bij droging van deze dikke fractie van 25% naar 85% drogestof moet in totaal 3.112 ton water worden verdampt. De energievraag voor het drogen bedraagt circa 40% van de totale warmteproductie, waardoor voldoende warmte resteert voor verwarming van de vergisters. Bij een mestafzetprijs van €15,- per ton en een verkoopprijs van €10,- per ton droge mest bedraagt de omzet van de droger op jaarbasis €79.105,-.

## 5 Evaluatie van droogtechnieken voor digestaat

### 5.1 Aandachtspunten bij drogen

Voor het droogproces zijn grote hoeveelheden energie nodig. Naast energie, benodigd voor het verdampingsproces, zijn ook nog relatief grote hoeveelheden elektrische energie nodig, voornamelijk voor transport van het te drogen materiaal, aandrijving van de bewegende delen van de droogapparatuur en transport van het droogmedium en de verdere verwerking en behandeling van drooggassen. Om tot een zo efficiënt mogelijk gebruik van energie te komen is het zaak aandacht te besteden aan de volgende aspecten bij de keuze van een droogtechniek:

- Beschikbare temperatuur voor verwarming van de drooglucht. In het algemeen heb je bij een biogasinstallatie met een WKK-installatie met een warmtewisselaar de beschikking over koelwater met een temperatuur van circa 80-90 °C. Bij direct gebruik van de uitlaatgassen van de WKK in een droger heb je de beschikking over uitlaatgassen met een temperatuur van circa 500 à 600 °C.
- Het minimaliseren van lekverliezen zodat een zo groot mogelijk deel van de beschikbare energie beschikbaar is voor het verdampen van water.
- Efficiënte terugwinning van de warmte uit de afgewerkte drooggassen, met name ook het terugwinnen van de condensatiewarmte.
- Inzet van warmtepompen (Doldersum et al., 1995) bij de behandeling van drooggassen voor afkoeling van de drooggassen om zo condensatie van waterdamp mogelijk te maken, en voor opwarming van de van waterdamp ontdane drooggassen voor hergebruik.
- Inzet van andere warmtebronnen (bijv. stallucht, zonnewarmte e.d.) voor het vergroten van de verdampingscapaciteit.
- Bij hogere temperaturen is de verdampingscapaciteit groter.
- Keuze van de scheidingstechniek voor ontwatering van het digestaat. De benodigde hoeveelheid energie is sterk afhankelijk van het watergehalte van de overgebleven dikke fractie. De hoeveelheid water die verdampt moeten worden bij een drogestofgehalte van 30% is aanzienlijk minder dan bij een drogestofgehalte van 20%.

Een goede menging van de input van de droger is van belang om een zo constant en homogeen mogelijk ingangsmateriaal te krijgen voor het droogproces. De aanwezigheid van klonten zorgt voor een suboptimale droging omdat een klont niet goed doordroogt (achterblijven van vocht in de kern). De keuze van de scheidingstechniek in relatie tot het drogertype is van belang, zodat de samenstelling en eigenschappen van de dikke mestfractie passen bij de droogtechniek die men wil toepassen.

Het gewenste drogestofgehalte en deeltjesgrootte van het eindproduct in relatie tot het optreden van stofvorming, opslag en afzetmogelijkheden van het droge eindproduct. Er dient vermeden te worden dat condities optreden die risico geven op stofexplosies (kleine deeltjes, relatief hoge zuurstofconcentratie, hoge temperatuur).

De maatregelen die genomen moeten worden om emissies te voorkomen van geur, stof en ammoniak kan een aanzienlijke kostenpost zijn welke afhankelijk zijn van het ingangsmateriaal en het drogertype.

Een belangrijk punt is op welke afzetmarkt men het gedroogde digestaat wil gaan afzetten. Met de eisen en wensen van afnemers zoals vorm (bijv. korrel, drogestofgehalte, afwezigheid ziektekiemen e.d.) en mineralengehalten dient rekening te worden gehouden. Hiernaast dient bij export ook de wet- en regelgeving in ogenschouw te worden genomen.

### 5.2 Perspectief van drogers

De keuze van het droogproces wordt voor een belangrijk deel bepaald door de eigenschappen van het te drogen product, benodigde capaciteit, arbeidsvraag, energieaanbod- en vraag, afzetmarkt en kosten. De investeringskosten van een drooginstallatie worden o.a. bepaald door de waterverdampingscapaciteit, drogertype, configuratie, gebruikt constructiemateriaal, ruimtebeslag en

zuivering van de drooggassen. In het algemeen kunnen we stellen dat de kosten van drogen zo hoog zijn dat de toepassing ervan sterk bemoeilijkt wordt door deze hoge kosten (Lemmens et al., 2007). Schaalvergroting bij drogen kan echter leiden tot lagere vaste en operationele kosten per ton gedroogd materiaal. Concreet betekent dit dat een drooginstallatie alleen interessant kan zijn bij voldoende schaalgrootte en de beschikbaarheid van een goedkope warmtebron of een uitgekiend energieconcept heeft om in de energiebehoefte te voorzien. Uit de indicatieve berekeningen voor de verschillende scenario's van droging bij een biogasinstallatie blijkt dat het perspectief ligt bij grote biogasinstallaties. Bij deze biogasinstallaties zal er in het algemeen een aanzienlijk warmteoverschot aanwezig zijn en tevens wordt er een grote hoeveelheid digestaat geproduceerd wat goede basiscondities schept voor een rendabele drooginstallatie.

In tabel 6 staat per type droger of deze wel/niet geschikt geacht worden om digestaat te drogen bij biogasinstallaties.

**Tabel 6** Overzicht van wel/niet geschikt geachte drogers om digestaat te drogen bij biogasinstallaties

Convectiedrogers	Inductiedrogers	Stralingsdrogers
<i>Geslacht geacht voor</i>	<i>Geslacht geacht voor</i>	<i>Geslacht geacht voor</i>
- Trommeldrogers	- Gesloten trommeldrogers	
- Band/tunneldrogers	- Schroef/peddeldrogers	
- Wervelbeddrogers	- Cycloondrogers	
<i>Minder geschikt geacht voor</i>	<i>Minder geschikt geacht voor</i>	<i>Minder geschikt geacht voor</i>
- Pneumatische drogers	- Carver Greenfield droogproces	- Infrarooddrogers
- Schudbeddrogers	- Ad(b)sorptiedrogers	- Diëlektrische drogers

Het meest perspectiefvol voor biogasinstallaties lijken conductiedrogers te zijn vanwege het beperkte volume van drooggassen waardoor deze eenvoudiger te behandelen zijn, de mogelijkheid om op relatief eenvoudige wijze energie terug te winnen en het compactere formaat van deze installaties.

## 6 Vergisten versus verbranden

### 6.1 Algemeen

Vergisten en verbranden zijn twee methoden om energie te produceren. Beide routes verschillen sterk van elkaar wat betreft technologie en toepassingsgebied.

Bij vergisting wordt onder anaerobe omstandigheden een deel van de organische stof door micro-organismen omgezet in biogas wat o.a. gebruikt kan worden voor energieproductie, als autobrandstof of als vervanger voor aardgas. Mest wordt bij vergisting dus omgezet in een gasvormige brandstof (biogas) en een meststof (digestaat). Vergisting is met name geschikt voor de energiewinning uit natte biomassa.

Bij verbranding wordt door exotherme chemische reacties onder hoge temperaturen de organische stof omgezet in warmte wat gebruikt wordt voor energieproductie. Mest wordt bij verbranding dus omgezet in een energiebron en een as waarbij geen organische stof meer resteert die ten goede kan komen aan de bodemvruchtbaarheid. De kwaliteit van de as bepaalt in sterke mate de (on)mogelijkheden voor de afzetmarkt. Verbranding is vooral geschikt voor de energiewinning uit droge biomassa, omdat de aanwezigheid van vocht ten koste gaat van de energieproductie.

Belangrijke parameters t.a.v. de beoordeling van biomassa als brandstof zijn o.a. (Van Loo en Koppejan, 2003):

- Drogestofgehalte
- Verbrandingswaarde
- Asgehalte
- Gehalten aan N, S, Cl, K, Na, P en zware metalen
- Fysische eigenschappen zoals homogene samenstelling, dichtheid, deeltjesgrootte en vorm

Direct verbranden van drijfmest is niet mogelijk door het hoge vochtgehalte van drijfmest. Drijfmest moet dus eerst bewerkt worden, voordat verbranding kan plaatsvinden. Mechanische scheiding van drijfmest geeft een dunne fractie en een dikke mestfractie ( $\pm 30\%$  DS). Deze dikke mestfractie kan in principe verbrand worden, maar is door het hoge vochtgehalte energetisch gezien weinig interessant. Verbranden is energetisch alleen interessant voor de mestfractie die na een mestscheiding wordt verkregen en vervolgens wordt ingedroogd tot een relatief droog product. Voor dit droogproces kan de restwarmte uit het verbrandingsproces van de dikke mestfractie worden ingezet, restwarmte van een covergistinginstallatie of een andere bron van restwarmte. Verbranden van droge mestfractie resulteert in een hogere energieproductie dan verbranden van de natte mestfractie.

De verbrandingswaarde van mest bedraagt circa 14-19 MJ/kg drogestof (Lemmens et al., 2007). Bij vergisting wordt een deel van de organische stof omgezet in biogas, waardoor de verbrandingswaarde van het vergiste product lager ligt dan van het onvergiste product. Bij een test met gedroogde dikke fractie vleesvarkensmest bleek de netto verbrandingswaarde van de vergiste fractie circa 75% van de onvergiste fractie te bedragen, namelijk 12,7 versus 16,9 MJ/kg drogestof (Timmerman, 2006). Voor twee verschillende digestaten uit covergistinginstallaties werd bij een verbrandingstest een verbrandingswaarde van 15,8 en 15,0 MJ/kg product vastgesteld (Starcevic et al., 2009).

Het asgehalte dient vanuit verbrandingsoogpunt zo laag mogelijk te zijn. Het asgehalte in (drijf)mest en digestaat is relatief hoog. Door vergisting neemt het aandeel as in de drogestof in het digestaat toe t.o.v. de input. Resultaten van mestvergisting lieten een stijging zien van het aandeel as in de drogestof van 23% naar 32% bij vergisting van varkensmest en van 19% naar 36% bij vergisting van rundveemest met maïs (Timmerman et al., 2005). Bij een test met gedroogde dikke fractie (vergiste) vleesvarkensmest steeg het aandeel as in de drogestof van 13% naar 31% door vergisting (Timmerman et al., 2006). Bij covergistingproeven varieerde het asgehalte van 30% tot 45% in de drogestof van het digestaat (Timmerman et al., 2007). Voor twee verschillende digestaten werd bij een verbrandingstest asgehalten van 18% en 15% vastgesteld, wat als hoog voor een brandstof werd beschouwd (Starcevic et al., 2009).

Het gehalte aan stikstof (N) dient van vanuit verbrandingsoogpunt zo laag mogelijk te zijn i.v.m. emissies van NO<sub>x</sub> en N<sub>2</sub>O (Van Loo en Koppejan, 2003). De stikstof in twee verschillende digestaten uit covergistinginstallaties was bij een verbrandingstest niet meer in de as aanwezig en was vervluchtigd tijdens het verbrandingsproces (Starcevic et al., 2009). Bij mestverbranding gaat stikstof verloren als bemestingscomponent.

De gehalten aan zwavel (S), chloor (Cl), kali (K) en natrium (Na) dienen vanuit verbrandingsoogpunt zo laag mogelijk te zijn vanwege o.a. de corrosieve eigenschappen van deze stoffen bij verbranding. De aanwezige gehalten aan fosfor (P) en zware metalen bepalen o.a. de afzetmogelijkheden van de as (Van Loo en Koppejan, 2003). Mest heeft een relatief hoge gehalten aan zouten, zink en koper wat dus minder gewenste eigenschappen voor verbranding zijn. Bij voldoende hoge gehalten aan fosfor in de as kan deze terug worden gewonnen ten behoeve van de productie van fosfaatkunstmest mits de gehalten aan ijzer, zink en koper laag genoeg zijn in de as (Thermphos, 2005). Maar voor fosfaatbemesting kan ook direct de mest(fracties) worden gebruikt. Een alternatieve route om een fosfaatmeststof uit drijfmest te produceren zonder verbranding is via struviet precipitatie.

Er zijn verschillende verbrandingstechnologieën beschikbaar voor verschillende brandstofkwaliteiten. Minder homogene en lage kwaliteit brandstoffen vereisen een meer gecompliceerd verbrandingssysteem. Voor lage kwaliteit en goedkope brandstoffen zijn alleen middelgrote en grote verbrandinginstallaties geschikt. Hoe kleiner de verbrandingsinstallaties hoe groter de eisen zijn aan brandstofkwaliteit en homogeniteit (Van Loo en Koppejan, 2003). Tussen diersoorten (rundvee, varkens en pluimvee) en tussen diercategorieën (zeugen, vleesvarkens, vleesvee, melkvee e.d.) zitten grote verschillen qua voeding en dus in mestsamenstelling. Covergisting en bedrijfsvoering voegen hier nog extra invloedsfactoren aan toe. Gevolg is dat tussen (droge) mestfracties aanzienlijke verschillen in samenstelling en homogeniteit optreden wat bij verbranding een complexe en grootschalige installatie vereist. Gezien de ervaringen bij de verbranding van pluimveemest bij BMC Moerdijk is dit geen eenvoudige opgave (Stevens, 2009; Weemen, 2009).

Het principiële verschil tussen vergisting en verbranding bepaalt in grote mate het toepassingsgebied van de technologie. Drijfmest is een natte biomassa wat zich o.a. kenmerkt door een hoog gehalte aan water waardoor het verpompbaar is. Tevens bevat mest relatief hoge gehalten aan nutriënten die ongewenst zijn bij verbranding maar wel gewenst zijn bij vergisting voor voeding van de micro-organismen die al van nature in mest aanwezig zijn. Gezien de eerder genoemde aspecten is vergisting daarom als technologie bij uitstek geschikt voor energiewinning uit drijfmest.

## 6.2 Indicatieve berekening van een centrale verbrandingsinstallatie voor drijfmest(fracties)

De biomassacentrale BMC Moerdijk heeft een capaciteit van 440.000 ton stapelbare pluimveemest per jaar. Bij een drogestofgehalte van gemiddeld 60% betekent dit op jaarbasis een input van 264.000 drogestof.

De Nederlandse varkenshouderij bedroeg in 2008 ruim 1,2 miljoen zeugenplaatsen en ruim 5,8 miljoen vleesvarkenplaatsen (PVE, 2009). Bij een gemiddelde mestproductie van 5,1 m<sup>3</sup> per zeug per jaar en van 1,1 m<sup>3</sup> per vleesvarkenplaats jaar met een dichtheid van 1,02 kg/m<sup>3</sup> bedraagt de totale varkensmestproductie in Nederland circa 12,85 miljoen ton. Bij een drogestofgehalte van 55 g/kg voor zeugenmest en 90 g/kg voor vleesvarkensmest bestaat de totale varkensmestproductie voor 935.000 ton uit drogestof. Om een vergelijkbare verbrandingscentrale neer te zetten als BMC dient bij het direct indrogen van varkensmest ruim 28% van de Nederlandse varkensmestproductie ingezet te worden.

Scheidingsrendementen voor gebruikelijk toegepaste mestscheiders liggen voor de drogestof tussen 20-70% (Burton and Turner, 2003; Melse et al., 2004; Schröder et al., 2009). Wordt de mest eerst gescheiden in een dunne en dikke fractie waarbij de dikke fractie wordt ingedroogd tot een brandstof, dan is bij een scheidingsrendement van 60% voor de drogestof circa 47% van de Nederlandse varkensmestproductie nodig om te verwerken om een droge mestfractie te krijgen die de centrale in bedrijf te houdt. Indien de mest eerst wordt vergist en vervolgens verwerkt tot een brandstof, zou een nog grotere hoeveelheid van de mestproductie nodig zijn.

Als de input van de verbrandingscentrale zou bestaan uit 100% rundveedrijfmest met een gemiddeld drogestofgehalte van 86 g/kg, dan is bij indirect indrogen van de drijfmest circa 3,1 miljoen ton rundveedrijfmest nodig. Wordt eerst de mest gescheiden in een dunne en de dikke fractie waarbij de dikke fractie wordt ingedroogd tot een brandstof, dan is bij een scheidingsrendement van 60% voor de drogestof circa 5,1 miljoen ton rundveedrijfmest nodig om te verwerken tot een dunne fractie en een droge mestfractie die de centrale in bedrijf te houdt. Dit komt neer op circa 10% van de totale productie aan rundveedrijfmest in Nederland.



## 7 Discussie

### Financieel

Het doel van het drogen van een mestfractie is om een eindproduct te krijgen dat beter weggezet kan worden in de markt dan het uitgangsmateriaal en daarmee een financiële meerwaarde creëert voor het bedrijf. Als dit niet het geval is, dan is er voor een ondernemer in principe geen reden om te investeren in een drooginstallatie. De investering- en exploitatiekosten van een verwerkinginstallatie om een mestfractie te drogen zijn zo hoog (Tize, 2007) dat deze verwerkingsroute alleen perspectief kan bieden voor biogasinstallaties met voldoende omvang en een aanzienlijk warmteoverschot. Maar het blijft dan nog de vraag wat de meerwaarde van drogen is t.o.v. pasteuriseren van het digestaat. Pasteuriseren kan met een eenvoudiger installatie en daarmee wordt het digestaat een exportwaardige meststof. Een drooginstallatie zal bij export van het eindproduct alleen voordelen bieden boven pasteuriseren als men het eindproduct over aanzienlijk grotere afstanden moet transporteren om te kunnen afzetten.

In de huidige SDE-regeling wordt het gebruik van de warmte van een WKK-installatie bij een biogasinstallatie gestimuleerd door een warmtestaffel. Hoe groter het aandeel van de warmte dat nuttig wordt toegepast, des te hoger is het SDE-subsidiebedrag. Maar het drogen van mest en digestaat is uitgesloten van deze warmtestaffel waardoor de inzet van restwarmte voor andere doeleinden door de SDE-regeling de voorkeur genieten boven de inzet voor drogen. In Duitsland valt deze toepassing wel onder het subsidiestelsel.

### Technisch

Een biogasinstallatie heeft de volgende gebruiksopties voor een drooginstallatie:

1. Inzet van overtollige restwarmte om het digestaat in te dikken met als doel om het transportvolume te verminderen. Als je gaat van 4 naar 8% drogestof, is ruim de helft van het mestvolume al verdampt waardoor de hoeveelheid te transporteren mest al flink verminderd is.
2. Drogen van de dikke mestfractie tot een droog eindproduct. Hierbij kan afhankelijk van de opslagmogelijkheden en afzetmarkt het drogestofgehalte variëren van 60 tot 90%.
3. Drogen van coproducten voordat deze de vergister ingaan. Hierdoor vermindert de hoeveelheid die de vergister ingaat en dus uiteindelijk in het digestaat terechtkomt.

De aandacht bij droging bij biogasinstallaties is met name gericht op verwerking van digestaat, terwijl droging van bepaalde coproducten mogelijk een financieel interessantere optie kan zijn.

Er bestaat een groot aantal industriële drogers die in aanmerking kunnen komen voor het drogen van dikke natte mestfracties. De ervaringen met deze drogers betreffen vooral het drogen van industriële producten, zoals voedingsmiddelen, en het drogen van zuiveringsslib. Ervaringen met het drogen van dikke mestfracties zijn zeer summier. Drogen van natte mestfracties met behulp van industriële drogers is een nog braakliggend terrein.

### Energetisch

Een belangrijke kostenpost bij droogprocessen zijn de energiekosten. De minimale hoeveelheid energie die voor het droogproces nodig is, is de verdampingswarmte van het te verdampen water. De werkelijke benodigde hoeveelheid energie ligt enkele tientallen procenten hoger. Ook is voor een drooginstallatie nog een relatief grote hoeveelheid elektrische energie nodig. Vermindering van de energiebehoefte van het droogproces kan plaats vinden door:

1. Terugwinnen van energie uit de drooggassen door warmtewisselaars. Deze energie komt vrij bij een relatief lage temperatuur en is niet zonder meer herbruikbaar in het droogproces.
2. Toepassing van warmtepompen om energie van een laag temperatuurniveau naar een hoger temperatuurniveau te brengen.
3. Toepassing van meertraps-verdampingssystemen zoals toegepast in het Carver Greenfield proces. Terugwinning van energie voor hergebruik vereist een kapitaalsinvestering, zoals bij warmtewisselaars (Kragh, en Kraglund, 1984) en warmtepompen (Doldersum et al., 1995). Het Carver Greenfield proces bespaart weliswaar aanzienlijk op energieverbruik, maar is daarnaast toch redelijk complex.
4. Gebruik van indirecte drogers, omdat terugwinning van warmte uit de drooggassen gemakkelijker en efficiënter kan plaatsvinden.
5. Toepassing van oververhitte stoom als drooggas omdat terugwinning van warmte uit de drooggassen gemakkelijker en efficiënter kan plaatsvinden.

### **Afzet droog eindproduct**

Het gedroogde eindproduct heeft onder de huidige mestwetgeving nog steeds het predicaat 'dierlijke mest' en valt daarmee onder de gebruiksnormen voor dierlijke mest. Om bij te dragen aan vermindering van het mestaanbod in de Nederlandse landbouw zal het eindproduct afgezet moeten worden buiten de Nederlandse landbouw. Dit kan enerzijds door afzet naar gebruikers van meststoffen die niet onder de Nederlandse landbouw vallen (bijvoorbeeld particulieren, tuincentra, hoveniers, groenvoorziening of producenten van potgrond). Anderzijds door het droge eindproduct te exporteren naar het buitenland. Voor goede afzetmogelijkheden is het van belang dat het eindproduct hoge nutriëntgehalten (NPK) bevat. Als richtwaarde hiervoor kunnen we het nutriëntgehalte in pluimveemestkorrels nemen. Onder huidige marktomstandigheden brengt de droge mestfractie geld op. De marktwaarde van een droge mestfractie hangt o.a. af van nutriëntgehalten, kwaliteit, afzetmarkt en kunstmestprijzen.

### **Verbranding van drijfmest(fracties)**

Drijfmest is al nat van zichzelf waardoor bij vergisting direct energie kan worden geproduceerd uit drijfmest. De energiewinning uit drijfmest of mestfracties door verbranding kan niet gezien worden als logische keuze vanwege de mestsamenstelling. Hoewel (co)vergisting een warmtebron kan zijn om te mestfracties in te drogen zodat de verbrandingswaarde toeneemt, draagt het tegelijkertijd o.a. bij een verhoging van het asgehalte wat vanuit verbrandingsoogpunt ongewenst is. De mestsoorten die relatief als meest geschikt gekwalificeerd kunnen worden voor verbranding zijn de mestsoorten die al relatief droog van zichzelf zijn, zoals:

- Gedroogde leghennenmest, vleeskuiken- kalkoenenmest
- Eendenstromest
- Vaste stalrest van rundveebedrijven
- Vaste stalrest van varkensbedrijven

Het gebruik van digestaat als meststof voor bemestingsdoeleinden in zowel de landbouw als daarbuiten is de meest logische keuze i.v.m. nutriënten- en organische stofvoorziening van bodem en gewassen. Bij een goed landbouwkundig gebruik van dierlijke meststoffen voor bemestingsdoeleinden vermindert dit het kunstmestgebruik en daarmee het gebruik van eindige grondstoffen zoals fosfor en kali.

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### Conclusies

Voor een kleinschalige mestvergistinginstallatie is onder de huidige stand van de techniek een industriële droger niet interessant door o.a. de investeringskosten, complexiteit van het droogproces en alternatieven voor de afzet van de relatief geringe hoeveelheid geproduceerde warmte in de vorm van verwarming van stallen en woonhuis. Voor covergistinginstallatie van voldoende omvang kan een drooginstallatie perspectief bieden om de kosten van afvoer van digestaat te reduceren.

Als grootste knelpunt van toepassing van drooginstallaties wordt de zuivering van de drooggassen beschouwd, die nodig is bij droging van mest en digestaat. Bij de behandeling van drooggassen die de droger verlaten, moeten we rekening houden met de volgende componenten: stofdeeltjes, waterdamp, ammoniak, stankcomponenten en inert gas.

Conductiedrogers zijn complexer en daardoor in het algemeen duurder dan convectiedrogers. Maar het volume van drooggassen is geringer waardoor de nabehandeling van deze drooggassen aanzienlijk eenvoudiger is. Verder is ook de terugwinning van energie uit de drooggassen eenvoudiger. Dus lijken conductiedrogers het meest perspectiefvol voor biogasinstallaties.

Vergisting en verbranding verschillen sterk van elkaar wat betreft technologie en toepassingsgebied. Mest is een natte biomassa en bevat relatief hoge gehalten aan nutriënten die ongewenst zijn bij verbranding, maar wel gewenst voor voeding van de micro-organismen in het vergistingproces. Gezien de samenstelling en eigenschappen van mest is vergisting als technologie bij uitstek geschikt om uit mest energie te winnen.

### Aanbevelingen

Het huidige onderzoek was beperkt van aard en op basis hiervan lijken conductiedrogers het meest perspectiefvol voor toepassing bij biogasinstallaties. Onderzoek naar de (on)mogelijkheden van conductiedrogers en behandeling van drooggassen van conductiegassen moet duidelijkheid verschaffen over het toekomstperspectief van deze techniek. Hieronder valt ook om in samenwerking met het bedrijfsleven praktijkervaring op te doen met het drogen van mestfracties om de voor- en nadelen beter in kaart te kunnen brengen.

## Literatuur

AspenTech, 2009. Process Manuals: Technical Areas - Drying.  
<http://www.aspentech.com/proman/ta/dry.asp>

Burton, C.H. en C. Turner, 2003. Manure management – Treatment strategies for sustainable agriculture. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK. 2<sup>nd</sup> Edition.

De Paepe, M., 2006. Thermodynamische aspecten van droging. Studiedag Warmtevalorisatie bij een vergistingsinstallatie. Kortrijk, België, 5 december 2006.

Doldersum, A., A. Delwel, F.P.J.M. Kerkhof en O. Kleefkens, 1995. Inzet warmtepompen bespaart koelwater en stoom. NPT Procestechologie, december 1995: 26-30.

Drying, 2009. Portal for industriële Trocknungsanlagen. <http://www.drying.de>.

Hooiveld, B., 2007. Verkenning cycloondrogen vaste fracties vleesvarkensmest en digestaat co-vergisting uit vijzelpers. R&H Minerals, Veendam.

Jansen, W.J.L., 1988. Dielektrische verwarming/droging. Toepassing bij industriële processen. KEMA.

Jansen, W.J.L. en B.J.C. van der Wekken, 1991. Dielectrisch verwarmen bij droogprocessen. I2 Procestechologie 2:11-19.

Kragh, O.T. en A. Kraglund, 1984. Heat Recovery in Dryers. The Chemical Engineers, April 1981, 149-167.

KWIN, 2008. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2007-2008. Animal Sciences Group. Handboek 2.

Lemmens, B., J. Ceulemans, H. Elslander, S. Vanassche, E. Brauns en K. Vrancken, 2007. Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking. Vlaams BBT-Kenniscentrum, Mol, België.

Melse, R.W., F. de Buissonje, N. Verdoes en H.C. Willers, 2004. Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest. Animal Sciences Group.

Perry, R.H., D.W. Green en J. O. Maloney, 1984. Perry's Chemical engineer's handbook. Sixth Edition. McGraw-Hill Inc.

Ponsen, P.A., 1976. Optimalisering in het energieverbruik. H<sub>2</sub>O 9:94-99.

PVE, 2009. Varkenssector: statistisch jaarrapport 2008. Productschappen Vee, Vlees en Eieren, Zoetermeer.

Schröder, J. J., F. De Buissonjé, G. Kasper, N. Verdoes en K. Verloop, 2009. Mestscheiding: relaties tussen techniek, kosten, milieu en landbouwkundige waarde. Plant Research International.

SenterNovem, 2009. Kennisnetwerken.  
<http://www.senternovem.nl/kennisnetwerken/nwgd/kennisdossier>.

Stamperius, P.C., 1991. Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-greenfield proces. De Klaarmeester: 27-31.

Starcevic, N., M. Martinov, M. Kratzeisen, C. Maurer. en J. Müller, 2009. Emissions during combustion of biogas effluents. Landtechnik. 64 (2): 92-94.

Stevens, R., 2009. Mestcentrale hoopt op betere tijden. Boerderij. 94 (35): 14.

Stoop, M.L.M. en A.J.D. Lambert, 1993. Grootschalige drijfmestverwerking: massa- en energiestromen. Proces Technologie, april 1993: 19-25.

Stora, 1991. Compendium sibdroging.

Te Pas, H.B., 1991. Stoomdroogtechniek reduceert volume zuiveringsslib aanzienlijk. I2 Procestechologie 10:17-21.

Thermphos, 2005. Thermphos werkt aan recycling van fosfaat uit as van mestverbranding.

Tize, R., 2007. Mogelijke droogtechnieken en casestudy. Workshop "Droging en WKK", 29 november 2007, Aalter, België.

Timmerman, M., H.J.C. van Dooren en G. Biewenga, 2005. Mestvergisting op boerderijschaal. Praktijkonderzoek Veehouderij. Praktijkrapport Varkens 42.

Timmerman, M., 2006. Verbrandingswaarde van (on)vergist vleesvarkensmest. Animal Sciences Group. Notitie.

Timmerman, M., P. Claessen en G. André, 2007. Praktijkproef covergisting van dierlijke mest. Animal Sciences Group. Rapport 94.

Van der Drift, A., A.R. Boersma, D.E. Hielema, B. van Drooge, L. Hooiveld en J.A.M. Martens, 2004. Van natte biomassa naar productgas - Evaluatie van twee droogtechnieken en drie vergassers. ECN, Petten.

Van Deventer, H.C., 2003. Nieuws en visies op drogengebied. NPT Procestechologie, januari-februari 2003: 9-10.

Van Deventer, H.C., 2006. Rapport Roadmap Drogen. TNO Kwaliteit van Leven, Zeist.

Van Loo, S. en J. Koppejan, 2003. Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing. Twente University Press, Twente.

Van Tongeren, W.G.J.M., 1987. Het indirect drogen van mechanisch ontwaterde varkensdrijfmest. TNO.

Van Voorneburg, F., 1993. Drogen en indampen van mest: ervaringen en perspectieven. Proces Technologie, juni 1993:38-43.

Weemen, R., 2009. Betere mestkwaliteit nodig om rendement te verhogen. Plattelands Post. 39 (1): 12-14.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)