

Tweede-generatie mestverwerking

Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Referentienummer 93-142
Dossiernummer 112322-22832
Datum augustus 1993
P

Auteurs
ing. F. van Voorneburg IMET-TNO
ir. P.J.W. ten Have IMAG-DLO
dr.ir. J.A. Zeevalkink IMET-TNO
prof.dr.ir. W.H. Rulkens LUW

Trefwoorden
– mestverwerking
– technieken
– produkten

Bestemd voor
Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek
(FOMA)
Postbus 59
6700 AB Wageningen

Samenvatting

De ontwikkeling van processen voor grootschalige mestverwerking in de afgelopen jaren heeft inmiddels tot de bouw van enkele mestverwerkingsinstallaties c.q. fabrieken geleid. Hierbij wordt dierlijke mest verwerkt tot organische mestkorrels die voornamelijk op de buitenlandse markt moeten worden afgezet. Mestverwerking is echter tot op heden slechts op beperkte schaal van de grond gekomen.

De ontwikkeling van mestverwerkingsprocessen heeft onder tijdsdruk plaatsgevonden. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in eerste instantie min of meer voor de hand liggende unit-operations zijn gekozen. Gezien de hoge netto verwerkingskosten bestaat er grote behoefte om het kostenniveau te verlagen, respectievelijk de huidige mestverwerking te verbeteren. Dit kan enerzijds door de bestaande processen verder te optimaliseren (denk aan verlaging van het energieverbruik) en anderzijds door te zoeken naar alternatieve technieken en naar hoogwaardige producten die niet weer als meststof in de landbouw terechtkomen. Hierdoor kan mogelijk een te grote druk op het afzetkanaal richting buitenlandse landbouw worden voorkomen. In dit verband wordt gesproken over tweede-generatie mestverwerking.

De behoefte aan goedkopere mestverwerking was voor het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA) aanleiding om opdracht te verlenen tot het uitvoeren van een studie naar tweede-generatie technieken voor mestverwerking.

De studie is uitgevoerd op basis van informatie die werd verkregen uit interviews met deskundigen en door bestudering van relevante literatuur. Op basis van de verzamelde informatie zijn 29 technieken respectievelijk deelprocessen voor mestverwerking geselecteerd. Met behulp van een multicriteria-analyse zijn deze technieken vervolgens geëvalueerd. De analyse is uitgevoerd op basis van de aspecten: toepasbaarheid, perspectief (verwerkingskosten, energieverbruik), onderzoek (slaagkans, onderzoekskosten) en beschikbare alternatieven.

Naast deze technische invalshoek is er ook aandacht besteed aan mogelijke nieuwe producten uit mest en aan factoren die de mestverwerking op termijn kunnen beïnvloeden.

De evaluatie van de technieken heeft geleid tot de selectie van de tien meest kansrijke. Deze zijn: biogasproductie, verbranding, stoomdroging, subcritische oxydatie, membraanfiltratie, transmembraanchemosorptie, naverbranding van afgas, compostering, fermentatie en extractie.

Met uitzondering van stoomdrogen en extractie zijn de geselecteerde technieken in het verleden reeds voor een belangrijk deel onderzocht (bijvoorbeeld biogasproductie, subcritische oxidatie) of staan ze thans al in de belangstelling (bijvoorbeeld transmembraanchemosorptie, fermentatie).

In de meeste gevallen gaat het derhalve om een verdere ontwikkeling c.q. verbetering op grond van verwachte potenties en/of andere toepassingen.

Veel van de processtappen die in deze studie zijn beschreven sluiten aan bij bestaande routes op het gebied van de mestverwerking. Bestaande mestverwerkingsroutes blijven daarom ook in de toekomst van belang.

Vernieuwingen zullen aansluiten op de eerste generatie mestverwerking. Een voor-

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

beeld hiervan is het eventuele inpassen van de produktie van lysine in het proces van Promest.

Enkele (op)nieuw naar voren gebrachte elementen zijn de verwerking van pluimveemest door middel van verbranden (produktie van energie), de extractie van organische verbindingen uit mest en de ontsluiting van de organische stof in de mest. De perspectieven hiervan zijn nog onzeker.

Extractie van mest kan leiden tot de winning van mestvet of vetzuren. De energie-inhoud van mestvet is van dezelfde orde van grootte als die van het nu gewonnen biogas. Winning van mestvet vindt nu reeds plaats als nevenprodukt bij het (nog te realiseren) verwerkingsproces van MeMon. Ontsluiting van organische stof, waardoor deze beter biologisch omzetbaar wordt, biedt mogelijkheden voor een verhoging van de biogasproduktie of voor andere biotechnologische processen (koolstofbron).

Een mogelijke, nieuwe procesroute kan het proces van natte oxidatie in combinatie met drogen zijn, dat momenteel bijvoorbeeld door Scarabee Waste Conversion wordt onderzocht voor varkensdrijfmest. De technische en financiële onderbouwing van dit laatste proces is vertrouwelijk, zodat de informatie moet worden afgewacht, die mogelijk op korte termijn vrijkomt op basis van de resultaten uit de proeffabriek.

In het kader van nieuwe produkten zijn de volgende produkten in beschouwing genomen: mineralen, eiwitten, vetten, koolhydraten, vetzuren, cellulose, fijnchemicaliën en actieve kool.

Voor wat betreft het maken van produkten uit mest met een hoge toegevoegde waarde kan op korte termijn (enkele jaren) de produktie van lysine of andere aminozuren uit varkensdrijfmest van belang worden. Aan de ontwikkeling van dit proces wordt momenteel intensief gewerkt.

De perspectieven voor het maken van andere, hoogwaardige en beter afzetbare produkten uit mest zijn onzeker. De winning van mestvet, ammoniakzouten en fosfaat is mogelijk, maar deze verbindingen zijn niet als hoogwaardig aan te merken.

Mineralen worden zoveel mogelijk in één eindprodukt geconcentreerd. Een scheiding van de mest in een N-, P- en K-rijke fractie is bij varkensmest technisch mogelijk en waarschijnlijk tegen acceptabele kosten als de eisen, die aan de fracties worden gesteld op het punt van de zuiverheid niet erg hoog zijn. Dit kan leiden tot meststoffen met een specifieke samenstelling, bijvoorbeeld N-arm. Onbekend is of deze fracties voor de kunstmestsector interessant zijn.

Met betrekking tot de invloedsfactoren die mede richting zullen geven aan de verdere ontwikkeling van de mestverwerking zijn vooral de volgende van belang: ontwikkelingen op boerderijniveau met betrekking tot het drogestofgehalte en de samenstelling van de mest, aanbod van runder(drijf)mest, emissie-eisen, energiebesparing en wensen vanuit de markt ten aanzien van samenstelling, werking en vormgeving van de produkten.

Onderwerpen die volgens de huidige inzichten om nadere bestudering vragen zijn:

- verbranding van droge mest;
- verwijdering van ammoniak door middel van transmembraanchemosorptie;
- extractie van organische stof (vetten en vetzuren) ten behoeve van verbranding, vergisting of fermentatie;
- biogaswinning uit dikke en dunne mestfracties na ammoniakverwijdering;
- ontsluiting van organische stof ten behoeve van fermentatie of vergisting bijvoorbeeld door natte oxidatie;

Tweede-generatie mestverwerking

Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

- verwijdering van stikstofverbindingen uit afgassen via al dan niet katalytische verbranding;
- stoomdrogen uit het oogpunt van energiebesparing;
- verbetering van meetmethoden ten behoeve van milieuzorg- en kwaliteitsborgingssystemen;
- eliminatie van ziektekiemen en onkruidzaden in verband met de produktafzet;
- ontwikkeling van een verwerkingssysteem voor runderdrijfmest en tenslotte
- de productie van andere essentiële aminozuren, aansluitend op het onderzoek naar de productie van lysine uit mest.

Naast de genoemde onderwerpen zijn er aandachtsgebieden die in het kader van verdere procesoptimalisatie en beheersing van belang zijn. Hierbij kan worden gedacht aan schuimbestrijding en aan modelmatige beschrijving van bestaande mestverwerkingsprocessen. Met een goed model kunnen effecten van procesveranderingen snel inzichtelijk worden gemaakt.

In dit stadium is het prematuur om de invloed van de hierboven genoemde te ontwikkelen technieken op de kostprijs aan te geven. Hiervoor is nog onvoldoende informatie beschikbaar.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	7
2	Huidige mestverwerkingstechnieken	9
2.1	Anaërobe vergisting	9
2.2	Mechanische scheiding	10
2.3	Microbiologische omzetting	10
2.4	Aanzuring	11
2.5	Droging	11
2.6	Indamping	12
2.7	Waterzuivering	13
2.8	Afgasreiniging	13
2.9	Vormgeving	13
2.10	Onschadelijk maken van kiemen en onkruidzaden	14
3	Beschrijving van technieken	15
3.1	Oxidatieve technieken	15
3.1.1	Natte-lucht oxidatie	16
3.1.2	Chemische oxidatie	18
3.2	Biologische en biotechnologische technieken	19
3.2.1	Enzymatische behandeling	19
3.2.2	Fermentatie	20
3.2.3	Geïmmobiliseerde micro-organismen	21
3.2.4	Anamox (gecombineerde (de)nitrificatie)	22
3.2.5	Biogasproductie	23
3.2.6	Composteren	24
3.2.7	Algen	25
3.3	Membraantechnieken	26
3.3.1	'Oude' membraantechnieken	27
3.3.2	'Nieuwe' membraantechnieken	29
3.4	Overige technieken	31
3.4.1	Droging	31
3.4.2	Vriesconcentrerend	32
3.4.3	Indamping	33
3.4.4	Extractie	34
3.4.5	Precipitatie	34
3.4.6	Ionenwisseling	35
3.4.7	Stripping	36
3.4.8	Verbranding	36
3.4.9	Pyrolyse	37
3.4.10	Vergassing	37
3.4.11	Naverbranding	38
3.4.12	Verglazing	38
4	Andere producten	39

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

5	Evaluatie van de meest kansrijke technieken	43
5.1	Multicriteria-analyse.....	43
5.2	Nadere beschouwing van de meest kansrijke technieken.....	48
5.2.1	Biogasproductie	48
5.2.2	Verbranding.....	49
5.2.3	Stoomdroging	49
5.2.4	Subcritische oxidatie	49
5.2.5	Membraanscheiding	50
5.2.6	Transmembraanchemosorptie.....	50
5.2.7	Naverbranding	50
5.2.8	Compostering	51
5.2.9	Fermentatie	51
5.2.10	Extractie	52
6	Additionele ontwikkelingen	53
7	Conclusies en aanbevelingen	58
7.1	Conclusies	58
7.2	Aanbevelingen.....	62
8	Referenties	65
9	Verantwoording	68
<i>Bijlage 1</i>	<i>Overzicht van de interviews</i>	
<i>Bijlage 2</i>	<i>Processchema Promest</i>	
<i>Bijlage 3</i>	<i>Processchema MeMon</i>	
<i>Bijlage 4</i>	<i>Processchema Vefinex</i>	
<i>Bijlage 5</i>	<i>Processchema Ferm-O-Feed</i>	

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

1 Inleiding

De ontwikkeling van processen voor grootschalige mestverwerking in de afgelopen jaren heeft inmiddels tot de bouw van enkele mestverwerkingsinstallaties c.q. fabriek(en) geleid. Hierbij wordt dierlijke mest verwerkt tot organische mestkorrels die voornamelijk op de buitenlandse markt moeten worden afgezet. Mestverwerking is tot op heden slechts op beperkte schaal van de grond gekomen [1].

De verwerking richt zich in hoofdzaak op het produceren van een droge meststof uit dierlijke (drijf)mest. Dit betekent dat veel water moet worden verdampt. Het verdampen van water vraagt relatief veel energie en gaat gepaard met hoge kosten. Om te voldoen aan strenge milieueisen moeten afgas- en afvalwaterstromen zeer vergaand worden gezuiverd wat eveneens tot hoge kosten leidt.

De ontwikkeling van mestverwerkingsprocessen heeft onder tijdsdruk plaatsgevonden. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in eerste instantie min of meer voor de hand liggende unit-operations zijn gekozen. Gezien de hoge netto verwerkingskosten bestaat er grote behoefte om het kostenniveau te verlagen, respectievelijk de huidige mestverwerking te verbeteren. Dit kan enerzijds door de bestaande processen verder te optimaliseren (denk aan verlaging van het energieverbruik) en anderzijds door te zoeken naar alternatieve technieken en hoogwaardiger producten die niet weer als meststof in de landbouw terechtkomen. Hierdoor kan mogelijk een te grote druk op het afzetkanaal richting buitenlandse landbouw worden voorkomen. In dit verband wordt gesproken over tweede-generatie mestverwerking; een begrip dat bij het uitbrengen van het Strategiedocument Mestverwerking [2] in 1987 is geïntroduceerd. Onder tweede-generatie wordt in het algemeen verstaan technieken voor mestverwerking die nog niet of nauwelijks bekend of onderzocht zijn. Dit in tegenstelling tot de eerste-generatie technieken die nu al min of meer gebruiksklaar zijn. Ter toelichting geeft tabel 1 aan welke eerste- en tweede-generatie technieken in 1987 werden onderscheiden.

Tabel 1 Overzicht eerste- en tweede-generatie technieken

Eerste-generatie technieken	Tweede-generatie technieken
Mestscheiding (ontwateren)	Elektro-acoustisch ontwateren
Vergisten (anaërobe behandeling)	Elektrodialyse
Gebufferde nitrificatie	Elektroforese
Indampen	Geïmmobiliseerde nitrificatie
Drogen	Verdampend composteren

Bron [2]

De behoefte aan goedkopere mestverwerking was voor het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA) aanleiding om TNO-IMET, IMAG-DLO en LUW opdracht te verlenen tot het uitvoeren van een studie naar tweede-generatie technieken voor mestverwerking.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

De studie is uitgevoerd op basis van informatie die werd verkregen uit interviews met deskundigen (zie bijlage 1) en door bestudering van relevante literatuur. De geïnterviewden zijn vooraf schriftelijk benaderd waarbij het doel van de studie en de gespreksonderwerpen werden aangegeven.

Het begrip tweede-generatie wordt in dit rapport ruim geïnterpreteerd. Immers bij het verwerken van mest is er nooit sprake van één techniek. Het is dan ook niet zonder meer te zeggen of een bepaalde techniek de verwerking goedkoper maakt, omdat dit volledig wordt bepaald door de samenhang met andere technieken. Dit impliceert dat de plaats van de techniek in de verwerkingsketen vast moet staan en dat een volledig geïntegreerd proces moet worden geanalyseerd. Het rapport beperkt zich in hoofdzaak tot een evaluatie van mogelijke technieken (deelprocessen), maar gaat verder niet in op de integratie van deze technieken tot een complete mestverwerkingslijn. Waar dit rapport zich wel op richt is een beschouwing van potentieel toepasbare technieken c.q. deelprocessen en produkten die in de huidige mestverwerking niet of nog niet optimaal worden toegepast.

Het rapport heeft betrekking op de verwerking van mest in algemene zin. Dit betekent dat in principe meerdere mestsoorten ter sprake komen. Gebleken is dat de verwerking zich voornamelijk op varkensdrijfmest en in mindere mate op pluimveemest concentreert. Dit zijn immers de mestsoorten die vanuit de overschotproblematiek tot nu toe de meeste aandacht hebben gekregen. Verder wordt opgemerkt dat de studie zich richt op technieken die inzetbaar zijn voor grootschalige mestverwerking. Hierbij moet worden gedacht aan capaciteiten van minimaal 100.000 ton per jaar.

De indeling van het rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt aan de hand van enkele blokschema's een korte beschrijving gegeven van de technieken die reeds worden toegepast of op het punt staan om toegepast te worden. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens een beschrijving gegeven van de technieken die in principe voor mestverwerking in aanmerking komen maar nog niet worden toegepast en van verbeteringsmogelijkheden van bestaande technieken. Hierbij is een indeling in categorieën gemaakt. Onderscheiden worden: oxidatieve technieken, biologische of biotechnologische technieken, membraantechnieken en overige technieken. Hoofdstuk 4 gaat in op de mogelijkheid van het maken van andere produkten uit mest, terwijl in hoofdstuk 5 de diverse technieken verder worden geëvalueerd. Daarbij is een indeling gemaakt op basis van de meest aansprekende aspecten te weten energie, kostenbesparing, nieuwe produkten en emissiebeperking. In hoofdstuk 6 wordt kort ingegaan op de te verwachten ontwikkelingen ten aanzien van de mestverwerking. Het rapport wordt afgesloten met conclusies over de mogelijke alternatieve technieken en produkten. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan met het oog op noodzakelijk uit te voeren onderzoek ter ondersteuning van nieuwe ontwikkelingen.

2 Huidige mestverwerkingstechnieken

Bij de huidige mestverwerking wordt gebruik gemaakt van min of meer bekende c.q. bewezen technieken (deelprocessen) om uit dierlijke mest droge organische mestkorrels te maken. Naast mestkorrels wordt vrijwel zuiver water geproduceerd, terwijl de geuremissie door technische maatregelen vergaand wordt bestreden.

Om begrijpelijke redenen is in eerste instantie gekozen voor technieken waarvan de technische en economische risico's het best konden worden overzien en beperkt. In bijlage 2 t/m 5 zijn de mestverwerkingsprocessen van Promest, MeMon, Vefinex en Ferm-O-Feed door middel van eenvoudige blokschema's weergegeven. Hierop is de koppeling van de verschillende technieken te zien. De technieken die in dit hoofdstuk worden beschreven, zijn:

- anaërobe vergisting,
- mechanische scheiding,
- microbiologische omzetting (nitrificatie, denitrificatie, compostering),
- aanzuring,
- droging,
- indamping,
- waterzuivering,
- afgasbehandeling,
- vormgeving,
- onwerkzaam maken van kiemen en zaden.

De beschrijving van deze technieken schetst als ware het referentiekader waarmee de in hoofdstuk 3 te bespreken alternatieven moeten worden vergeleken.

2.1 Anaërobe vergisting

Hierbij wordt drijfmest langdurig (15 tot 20 dagen) onder zuurstofloze condities bij een temperatuur van 35 °C (mesofiel) opgeslagen. Onder deze condities wordt biogas gevormd dat voor energieopwekking wordt gebruikt. Er zijn twee typen reactoren onderzocht: de twee-fasen vergister en de gemengde vergister. Laatstgenoemde vergister blijkt in de praktijk goed te voldoen. Bij het vergistingsproces wordt een deel van de organische stof (de gemakkelijk afbreekbare fractie, voornamelijk vetzuren) afgebroken. Tevens wordt een deel van de organisch gebonden stikstof in ammoniumstikstof omgezet. De vergisting heeft een gunstig effect op de homogeniteit van de mest, op het scheidingsgedrag van de mest (minder vlokmiddelverbruik), op de geur van de mest wat mogelijk doorwerkt in de geur van het eindproduct en op het energieverbruik. Door toevoeging van ijzerhoudend slib kan het zwavelgehalte (H₂S) van het gevormde biogas laag worden gehouden. Daarnaast kan het biogas in een natte wasser met loog worden gezuiverd.

Een nadeel van de vergisting is de hoge investering van de gistinginstallatie vanwege het grote apparaatvolume. Problemen die zich bij de vergisting kunnen voordoen zijn hinderlijke schuimvorming en afzetting van vaste stof (zand, grove vezels) op de bodem. Verstoring van het proces door toxische stoffen is mogelijk, maar blijkt in de praktijk tot nu toe niet voor te komen.

De vergisting van ruwe varkensdrijfmest in een geroerde tankreactor heeft zich inmiddels bewezen. De know-how voor de bouw van een grootschalige vergisting is aanwezig. Grote vergisters zijn bij Promest gebouwd.

2.2 Mechanische scheiding

Bij diverse processen voor drijfmestverwerking vindt vast/vloeistof scheiding van voorbewerkte mest (Promest) of van een mengsel van gedroogde mest en dragervloeistof (MeMon) plaats. Bij de bewerking van spuislib van de kalvergierebeteringsinstallaties en nitrificatietanks (Promest) moet dit slib mechanisch worden ingedikd (geconcentreerd).

In het verleden zijn veel verschillende scheidingsapparaten op praktijkschaal onderzocht [3]. Voor mestverwerking is de keuze uiteindelijk op de decanteercentrifuge gevallen. Het apparaat is gesloten, behoeft geen spoelwater en kan desgewenst ook zonder vlokmiddelen werken. In dat geval is echter de scheiding wat minder. Een centrifuge vraagt daarnaast weinig toezicht. Dit in tegenstelling tot de zeefbandpers. De scheiding is wat minder, waardoor de mestvloeistof verhoudingsgewijs meer gesuspenderd materiaal bevat. Bij grootschalige mestverwerking worden meerdere apparaten parallel geschakeld. Een nadeel van het gebruik van de decanteercentrifuge is het geluid (extra voorzieningen vereist) en de kans op schuimvorming van het centrifugaat als gevolg van luchtinslag. Een onbekende factor vormt de slijtage door de aanwezigheid van harde deeltjes (zand, zoutkristallen, en dergelijke) in drijfmest of daaruit afgeleide stromen.

Mestscheiding met decanteercentrifuges is een bewezen techniek ook al zijn de scheidingsresultaten nog niet in alle gevallen bekend. Hierbij kan worden gedacht aan het scheidingsgedrag van aangezuurde en/of verwarmde mest.

De leverancier zal meestal onderzoek voorstellen als procesgaranties worden gevraagd.

2.3 Microbiologische omzetting

In het kader van de mestverwerking wordt deze techniek toegepast bij de omzetting van ammoniumstikstof in nitraat (nitrificatie), bij de omzetting van nitraat in elementaire stikstof (denitrificatie) en bij het composteren van stapelbare pluimvee- en paardemest.

Nitrificatie

Nitrificatie vindt plaats in een beluchtingstank, waarbij micro-organismen voor de gewenste omzetting zorgen. Zuurstof wordt in de vorm van lucht met oppervlaktebeluchters of persluchtaëratie toegevoerd. Kalkmelk wordt toegevoegd om de zuurgraad (pH) tijdens de nitrificatie op de gewenste waarde van circa 7 te houden. De nitrificatie wordt bij verhoogde temperatuur uitgevoerd. Behalve dat ammoniumstikstof in nitraatstikstof wordt omgezet, vindt er afbraak van organische stof (ook geurstoffen) en aanwas van micro-organismen plaats. Deze aanwas wordt in de vorm van spuislib via een bezinktank uit het systeem afgescheiden. Nadelen van het proces zijn de hoge zuurstofvraag en het daarmee verband houdende hoge energieverbruik, alsmede het grote ruimtebeslag veroorzaakt door de lange verblijftijd (10 à 15 dagen). Het gebruik van kalk kan de oplosbaarheid van fosfaat als meststof nadelig beïnvloeden.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

den en werkt kostenverhogend. Een probleem van de biologische stikstofoxidatie van mest is de sterke schuimvorming tengevolge van de beluchting. Door gebruik van antischuimmiddel kan dit probleem worden opgelost, zij het dat dit sterk kostenverhogend werkt. Het proces van gebufferde nitrificatie is door Promest inmiddels zover ontwikkeld dat het geschikt is voor toepassing op praktijkschaal.

Denitrificatie

Dit proces volgt op het nitrificatieproces en wordt op dit moment in hoofdzaak met succes bij de bewerking van kalvergier in centrale installaties toegepast. In afwezigheid van opgeloste zuurstof (anoxisch) wordt met behulp van micro-organismen en een koolstofbron nitraatstikstof omgezet in stikstofgas, dat naar de lucht ontwijkt. Daarnaast kan N_2O vrijkomen. Bij dit proces gaat dus stikstof als meststof verloren. Behalve voor de zuivering van kalvergier komt dit proces voor in schema's voor het zuiveren van stikstofhoudend afvalwater afkomstig van drijfmestverwerking.

Compostering

Compostering (of fermentatie) wordt toegepast op de drogere mestsoorten, te weten pluimveemest en mengsels van pluimveemest (slachtkuikenmest) en paardemest. In het laatste geval is de toepassing compost als substraat voor de champignonteelt. Deze vorm van compostering wordt reeds op grote schaal in de praktijk toegepast. Compostering van droge (stapelbare) pluimveemest vindt ook plaats als een voorbehandeling op de eigenlijke droging van stapelbare pluimveemest (Ferm-O-Feed).

2.4 Aanzuring

De chemische omzetting bij mestverwerking beperkt zich in hoofdzaak tot de fixatie van ammoniak met een anorganisch zuur om stikstof in de vorm van ammoniak als meststof te behouden. Als zuur kunnen zwavelzuur, salpeterzuur of fosforzuur, danwel mengsels van deze zuren worden gebruikt. De keuze van het zuur (circa 30 kg per m^3 drijfmest) hangt samen met de kosten, de samenstelling van het eindproduct, de materiaalkeuze en de veiligheid (nitraat). Bij het aanzuren van mest komt spontaan veel kooldioxide vrij dat sterke schuimvorming tot gevolg heeft. Het schuimgedrag wordt nog onvoldoende beheerst, waardoor er op dit moment nog vragen zijn ten aanzien van het procesontwerp, te weten continue c.q. batchgewijze aanzuring en ontgassing. Momenteel wordt door de LUW onderzoek uitgevoerd naar het mechanisme van schuimvorming in mest. De wijze van aanzuring heeft belangrijke consequenties voor de investeringskosten. Aanzuring van mest kent derhalve nog onzekerheden, die door middel van onderzoek moeten worden opgelost.

2.5 Droging

Bij het verdampen van water uit drijfmest wordt om energetische redenen meestal vooraf een scheiding gemaakt tussen vaste stof en vloeistof. Het verdampen van water in een indamper is immers energetisch gunstiger dan in een droger. De afgescheiden koek wordt gedroogd; de vloeistoffase ingedampt, waarna het concentraat met de koek wordt gedroogd. Het door MeMon ontwikkelde proces wijkt hiervan af (zie onder 2.6 Indampen).

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Onderscheid moet worden gemaakt tussen het drogen van drogere mestsoorten, te weten stalmest (rundvee) en stapelbare pluimveemest en het drogen van mest bij de verwerking van drijfmest. In het eerste geval wordt directe droging in een trommel-droger of een maaldroger toegepast, terwijl bij de verwerking van drijfmest indirecte droging van mestkoek de voorkeur heeft. Een belangrijke reden voor dit verschil in drogerkeuze is dat in het eerste geval geen aparte waterfase in de vorm van condensaat ontstaat die vergaand moet worden gezuiverd. Bij drijfmestverwerking daarentegen worden toch al waterrijke stromen verwerkt, zodat condensaatbehandeling daar op zich geen bezwaar is. De verwerking van drijfmest 'profiteert' bij voorkeur van het voordeel van de kleinere afgasstroom van de indirecte droger.

Voor indirecte droging komen diverse typen drogers in aanmerking, zoals de schijven-droger, de roterende pijpenbundeldroger, de dunne filmdroger en de peddeldroger. Een belangrijke voorwaarde voor de toepassing van indirecte drogers is de eis die aan het drogestofgehalte van de voeding wordt gesteld. In veel gevallen moet terugvoer van gedroogd materiaal plaatsvinden. Problemen die zich kunnen voordoen zijn vorming van kluiten of zeer fijn stof, ontleding van nitraathoudende mest met als gevolg vorming van nitreuze gasen en brandgevaar. Het energieverbruik voor een dergelijk drogertype ligt op 1,3 kg stoom per kg verdampt water. Er ontstaat een geconcentreerde dampstroom waaruit energie kan worden teruggewonnen. Rekening houdend met de genoemde aandachtspunten kan worden gesteld dat de indirecte droger zich inmiddels heeft bewezen. In de praktijk zal een verdere optimalisatie van het energieverbruik moeten plaatsvinden. Hierbij kan worden gedacht aan koppeling van droging en indamping.

De directe droging van de drogere mestsoorten levert technisch weinig problemen. Veel aandacht moet hier worden besteed aan de behandeling van het afgas.

2.6 Indamping

Bij de huidige mestverwerking wordt een belangrijk deel van het water in een indamper aan de mest onttrokken. Dit is energetisch aantrekkelijk. Het indampen van waterige mestfracties gebeurt in meertraps-vacuümindampers van het valstroom type. De mate van indamping is beperkt en hangt nauw samen met de fysische en chemische eigenschappen van het zoutbevattende concentraat. Afhankelijk van de voorbehandeling moet rekening worden gehouden met schuimvorming, terwijl ook vervuiling van het verwarmend oppervlak en aantasting van het constructiemateriaal (corrosie en erosie) aandacht verdienen. Afhankelijk van de voorbehandeling die de mest heeft ondergaan, kan indamping met succes worden ingezet bij centrale mestverwerking. Optimalisatie van het energieverbruik is een aspect dat bij het ontwerp van de grootschalige fabriek aandacht vereist. In verband hiermee moeten op technische en economische gronden keuzes worden gemaakt ten aanzien van het aantal indampertrappen, het al dan niet toepassen van damprecompressie, het koppelen van energiestromen binnen het proces eventueel in combinatie met het gebruik van afvalwarmte (bijvoorbeeld bij aanleuning bij een afvalverbrandingsinstallatie).

Een bijzondere toepassing is het indampen van niet-gescheiden mest. In dit geval wordt aan de in te dampen mest een dragervloeistof toegevoegd die er voor zorgt dat de mest ondanks het uittreden van water tijdens het indampen vloeibaar blijft. Het proces staat bekend onder de naam Carver-Greenfield [4] en is door MeMon ontwikkeld voor drijfmestverwerking. Het proces maakt gebruik van conventionele indam-

pers. Grootschalige toepassing voor mestverwerking is een reële mogelijkheid. Er bestaan vergaande plannen voor realisatie.

2.7 Waterzuivering

Bij de verwerking van mest kan het voorkomen dat vluchtige vetzuren (azijnzuur, propionzuur, boterzuur) en/of een deel van de ammoniak uit de mest of uit een afgesplitste waterige fractie van de mest (bijvoorbeeld condensaat) moet worden verwijderd. Verwijdering kan zowel aan de voor- als aan de achterkant van het mestverwerkingsproces plaatsvinden. Behandeling aan de voorkant gebeurt door vergisting (zie 2.1); verwijdering aan het eind van het proces vindt plaats in de waterzuivering. In het laatste geval is tot op heden gekozen voor biologische zuivering in twee trappen, te weten anaëroob en aëroob. Voor de anaërobe zuivering wordt gebruik gemaakt van het zogenaamde UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)-systeem; voor de aërobe zuivering van het actief-slib systeem ingericht voor stikstofverwijdering via nitrificatie en denitrificatie. Door toevoeging van kalk is het mogelijk om ook resterend fosfaat vergaand te verwijderen en de slibbezinking te verbeteren. Deze vorm van zuivering, die nog een aantal onzekerheden kent, is nog niet op grote schaal bij de verwerking van varkensdrijfmest toegepast.

2.8 Afgasreiniging

Het reinigen van afgassen bij mestverwerking heeft vooral betrekking op het verwijderen van stof, ammoniak en geur. Onderscheid wordt gemaakt tussen verontreinigde ruimtelucht en vervuilde procesgassen. Voor het ontstoffen worden cyclonen en natte wassers toegepast. Het verwijderen van ammoniak vindt meestal plaats door middel van zure wassing. Geur wordt doorgaans met behulp van biobedden verwijderd. In de praktijk wordt in de meeste gevallen een combinatie van deze luchtzuiveringstechnieken toegepast. Voor de procesgasstromen (bijvoorbeeld niet-condenseerbare gassen) die hoge concentraties aan geurcomponenten bevatten is verbranding een goede oplossing. Dit kan in een separate naverbrander of eventueel in combinatie met de verbrandingslucht voor de stoomketel gebeuren. Deze technieken kunnen met succes bij mestverwerking worden ingezet. Daar op het punt van de luchtmissies in het kader van de vergunningen hoge eisen worden gesteld, vraagt dit aspect blijvend aandacht. Het reduceren van de emissie aan geoxideerde zwavel- en stikstofverbindingen heeft tot nu toe weinig aandacht gekregen. Ditzelfde geldt ook voor de procesgeïntegreerde maatregelen (verbranding en gaswassing). Optimalisatie van de afgaszuivering is gewenst.

2.9 Vormgeving

Binnen de huidige mestverwerking bestaat de vormgeving van het gedroogde produkt in hoofdzaak uit het maken van pellets. Uit verkennend onderzoek is gebleken dat het granuleren van gedroogde dierlijke mest aanzienlijk moeilijker is. Bij het granuleren vindt een gelaagde opbouw van de mestdeeltjes plaats; de deeltjes groeien aan tot bolletjes.

Behalve de vorm en uiteraard de samenstelling speelt ook de geur van het produkt een belangrijke rol. Duidelijk is dat de vormgeving van het eindprodukt wordt gedictéerd door wensen vanuit de markt, waardoor bewerking van het eindprodukt op termijn meer aandacht moet krijgen. Hierbij kan ook worden gedacht aan verrijking van het gedroogde mestprodukt, zodat op specificatie kan worden geleverd. Een en ander zal kostenverhogend werken.

2.10 Onschadelijk maken van kiemen en onkruidzaden

Bij mestverwerking passeert de mest één of meer warmtebehandelingsstappen, meestal in de vorm van een droger en/of indamper. Het ligt daarom voor de hand om sterilisatie in relatie tot drogen/indampen te zien. Niet duidelijk is of bij deze unit-operations in alle gevallen pathogenen en onkruidzaden in voldoende mate onschadelijk worden gemaakt. Dit houdt verband met de temperatuur-tijd relatie, die nog onvoldoende bekend is. Een belangrijke vraag is ook in hoeverre ziektekiemen en onkruidzaden door compostering worden gedood. Op dit gebied is door Ferm-O-Feed al vrij veel onderzoek verricht.

Een aparte sterilisatiestap ontbreekt bij de huidige mestverwerking. Het is vooralnog niet te verwachten dat ten behoeve van de huidige mestverwerking speciale sterilisatieapparatuur moet worden ontwikkeld. Dit kan wel het geval zijn bij een tweede-generatie proces zoals fermentatie, waar onder zeer steriele condities moet worden gewerkt (denk aan de produktie van lysine uit mest). Sterilisatie is in dat geval een belangrijke voorwaarde voor de uitvoering van het proces.

3 Beschrijving van technieken

Bij de beschrijving van de technieken is voor de volgende categorie-indeling gekozen:

- oxidatieve technieken,
- biologische, respectievelijk biotechnologische technieken,
- membraantechnieken,
- overige technieken.

Bij de beschrijving van de technieken wordt aandacht besteed aan het principe van de techniek (wat doet het?), aan de stand van de techniek (hoe ver staat het?), en aan de mogelijke toepassing bij mestverwerking (wat is de plaats in het verwerkingsproces?). Daarnaast wordt een inschatting gemaakt van het perspectief. In hoofdstuk 5 worden de meest kansrijke technieken vervolgens geëvalueerd.

3.1 Oxidatieve technieken

Bij de oxidatieve technieken kan onderscheid worden gemaakt naar de keuze van het oxidatiemiddel. De oxidatie kan worden uitgevoerd met lucht of zuivere zuurstof bij hoge temperatuur, danwel met waterstofperoxide, ozon of actief chloor. In het laatste geval wordt gesproken over chemische oxidatie, terwijl de oxidatie met lucht of zuurstof met het begrip natte-lucht oxidatie wordt aangeduid. Voor beide typen technieken geldt dat er destructie van organische stof plaatsvindt. Welke stoffen verdwijnen en in welke mate hangt af van proceskeuze en procescondities.

Natte-lucht oxidatie (natte verbranding) kan worden geplaatst tussen de microbiologische oxidatie (aërobe waterzuivering en compostering) en de klassieke verbranding. De doelstelling van natte oxidatie is evenwel een andere dan die van microbiologische oxidatie. Natte oxidatie vindt plaats met het doel om:

- energie te winnen,
- scheiding c.q. ontwatering te verbeteren.

Behalve het doel dat wordt nagestreefd, wordt de keuze van het oxidatieproces onder andere bepaald door de concentratie aan oxideerbare stoffen (bijvoorbeeld uitgedrukt in chemisch zuurstof verbruik, CZV) van de te behandelen afvalstroom. Bij lage CZV concentraties wordt de afvalstroom microbiologisch behandeld; bij hoge CZV-waarden en lage watergehaltes komt verbranding in aanmerking. Natte oxidatie kan interessant zijn bij CZV-gehalten van 10 à 20 tot 100 à 150 g/l. Een en ander wordt in sterke mate bepaald door de energiebalans.

Natte-lucht oxydatie van waterige afvalstromen is voordelig ten opzichte van verbranding vanwege de lagere verbrandingstemperatuur (minder kans op schadelijke emissies). Ten opzichte van microbiologische oxidatie kent natte oxidatie een groter toepassingsgebied. Natte oxidatie is immers, in tegenstelling tot microbiologische oxidatie, niet gevoelig voor toxische stoffen. Bedacht moet worden dat bij natte-oxidatie lagere vetzuren worden gevormd, terwijl een deel van de organische stikstof in ammoniakale stikstof wordt omgezet.

3.1.1 Natte-lucht oxidatie

Bij natte-lucht oxidatie wordt onderscheid gemaakt tussen subcritische en supercritische oxidatie. Het verschil is gelegen in de heersende procestemperatuur en druk. Subcritische oxidatie wordt uitgevoerd bij temperaturen van 240 - 320 °C en drukken van 40 tot 100 bar. Supercritische oxidatie daarentegen wordt uitgevoerd bij de supercritische temperatuur en druk van water (>374 °C en >221 bar). Beide mogelijkheden worden hier besproken.

Subcritische oxidatie

De te oxideren waterige afvalstroom wordt bij hoge temperatuur (> 175 °C) in contact gebracht met lucht of zuivere zuurstof. Organisch gebonden koolstof en waterstof worden geoxideerd tot de onschadelijke eindprodukten kooldioxide en water. Organisch gebonden stikstof wordt voor een deel in ammoniak omgezet, terwijl ammonium-stikstof niet wordt geoxideerd. Organisch gebonden en gereduceerde zwavel en organische fosfor worden geoxideerd tot de minerale zuren zwavelzuur en fosforzuur. De mate van oxidatie is afhankelijk van de aard van de te oxideren stoffen en de procescondities (temperatuur, zuurstofhoeveelheid en verblijftijd). De oxidatiegraad kan in principe worden gekozen. De reactie verloopt exotherm; er komt warmte vrij. Behalve oxidatie vindt er ook thermische ontleding en hydrolyse plaats.

In de praktijk verloopt de oxidatie niet volledig. Tijdens het oxidatieproces worden verschillende organische, laagmoleculaire tussenprodukten gevormd, zoals vluchtige vetzuren (vooral azijnzuur), alcoholen, aldehyden en ketonen.

Het natte-lucht oxidatieproces wordt onder hoge druk uitgevoerd om wateruittreding en warmteverlies via het afvoeren van stoom te onderdrukken. Aldus wordt er voor gezorgd dat de reactie bij de vereiste hoge temperatuur in de waterfase kan plaatsvinden. Vloeibaar water werkt namelijk als katalysator voor de oxidatiereacties. Bovendien worden hierdoor de emissies via de gasfase beperkt.

De commerciële natte-lucht oxidatie systemen onderscheiden zich door het type reactor (vergelijk de bellenreactor van Zimpro met de ondergrondse pijpreactor van Ver-Tech), het gebruik van lucht, met zuurstof verrijkte lucht of zuivere zuurstof als oxidatiemiddel en het feit of wel of geen katalysator wordt gebruikt. Voor de oxidatie van ammoniak tot stikstof is een katalysator vereist. Alle systemen maken gebruik van warmteterugwinning, meestal via warmteoverdracht tussen de geoxideerde en de te oxideren vloeistofstroom.

Natte-lucht oxidatie systemen worden op praktijkschaal toegepast voor de behandeling van industrieel afvalwater en zuiveringsslib. Bekend op dit gebied is vooral het Zimmermann (kortweg Zimpro-) proces. Van recentere datum zijn Wetox (bovengrondse reactor met geroerde compartimenten; propstroom-reactor), Oxidyne en VerTech (beide ondergrondse pijpreactoren) en Osaka Gas (gepakt bed met katalysator).

Natte oxidatie is in het verleden ook voor varkensdrijfmest onderzocht. In 1971 hebben Henckens e.a. [5] aan de TH Eindhoven natte-lucht oxidatie experimenten met onbehandelde en gefiltreerde varkensdrijfmest uitgevoerd. In een semi-batch reactor is vooral de kinetiek van de natte oxidatie van mest onderzocht. Het onderzoek heeft geen vervolg gekregen.

In 1986 heeft Van Wijnen/Waste Treatment Systems (WTS) de natte oxidatie van onbehandelde en vergiste varkensdrijfmest uitgevoerd in het kader van een haalbaarheidsstudie voor MeMon. De resultaten zijn nooit gepubliceerd. Bij de uitvoering van deze studie is gebleken dat Waste Treatment Systems nog belangstelling voor natte

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

oxidatie van mest heeft en dat recentelijk een projectvoorstel aan de Stichting Landelijke Mestbank is uitgebracht.

Rulkens e.a. [6] voerden in 1989 een haalbaarheidsstudie uit naar de mogelijkheden van een aantal natte-lucht oxidatiesystemen voor een zestal afvalstromen, waaronder mest. In dat kader zijn door Osaka Gas ook enkele verkennende proeven met gezeefde varkensdrijfmest en gebruik van een katalysator uitgevoerd.

Medio 1992 heeft Scarabee Waste Conversion de bouw van een proeffabriek in Sevenum afgerond, waarin de verwerking van varkensdrijfmest op grond van natte oxidatie met zuivere zuurstof wordt onderzocht. Veel meer dan een ter inzage gelegd patent [7] en een sterk vereenvoudigd blokschema in de startnotitie ten behoeve van het opstellen van het adviesrichtlijn voor de milieueffectrapportage is hierover tot dusver niet bekend. Scarabee verwacht dat dit proces mest tegen marktconforme prijzen kan verwerken. Dit betekent dat de verwerkingsprijs kan concurreren met de prijs van mestdistributie op lange afstand. Lopend onderzoek in de proeffabriek zal dit te zijner tijd moeten bevestigen.

Bij mestverwerking kan het proces van natte-lucht oxidatie worden ingezet als voorbehandelingsstap. Na de oxidatieve behandeling worden de vaste stofdeeltjes afgescheiden, waarna de (steriele) waterfase, die vrijwel alle opgeloste zouten, intermediaire stoffen en ammoniak bevat, verder moet worden behandeld. Deze behandeling zal overigens veel overeenkomst met de huidige verwerking vertonen. Technieken als drogen en indampen zullen er naar alle waarschijnlijkheid deel van uitmaken. Mogelijk dat de deels geoxideerde en gesteriliseerde mest kan worden gebruikt als substraat voor een verdere microbiologische verwerking.

Natte-lucht oxidatie opent de mogelijkheid om uit een deel van de in de mest aanwezige organische stof energie te winnen. De oxidatiegraad is een keuze variabele; meer afbraak van organische stof betekent een hoger zuurstofverbruik. Behalve productie van energie in de vorm van warmte zorgt het proces er voor dat de vaste deeltjes in de mest (ook de daarin aanwezige colloïdale deeltjes) goed kunnen worden afgescheiden. Dit resulteert waarschijnlijk in een relatief 'schone' vloeistof en een mestkoek met een relatief hoog drogestof- en asgehalte, waaruit minder water hoeft te worden verdampt. De vloeistof bevat meer vluchtige vetzuren en ammoniak, wat op zich geen voordeel hoeft te zijn. Door de afbraak van organisch materiaal wordt er minder meststof geproduceerd, terwijl deze meststof minder organische stof en procentueel meer fosfaat bevat. Mogelijk dat een en ander nadelig doorwerkt in de opbrengstprijzen. Samengevat zitten er aan natte-lucht oxidatie enkele interessante kanten, waardoor het proces voor mestverwerking mogelijk aantrekkelijk kan zijn. Veel zal uiteindelijk afhangen van de integratie met andere verwerkingsstappen.

Supercritische oxidatie

Het proces vertoont op het eerste gezicht veel overeenkomst met het hiervoor besproken subcritische oxidatie proces, zij het dat het proces onder supercritische condities van water wordt uitgevoerd dat wil zeggen bij een hogere temperatuur en druk. De eigenschappen onder supercritische omstandigheden verschillen echter sterk. De oplosbaarheid van organische verbindingen en zuurstof in supercritisch water is hoog, terwijl de oplosbaarheid van anorganische stoffen daarentegen erg laag is. Van deze eigenschap kan gebruik gemaakt worden om gelijktijdig zouten af te scheiden. Supercritisch water kan worden gebruikt als een reactiemedium voor de oxidatie van organisch materiaal. Na toevoeging van lucht of zuurstof ontstaat een homogeen mengsel van organische stof, oxidatiemiddel en water dat slechts uit één fase bestaat. In vergelijking tot subcritische oxidatie wordt door het ontbreken van de fasenovergang de

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

stofoverdracht en daarmee de conversiesnelheid sterk verbeterd. Een zeer korte reactietijd c.q. verblijftijd (seconden) is hiervan het gevolg. De reactieproducten zijn gelijk aan die van subcritische oxidatie met dien verstande dat de zouten precipiteren. De oxidatiewarmte kan worden teruggewonnen als hoge druk stoom of via omzetting in elektriciteit.

Het proces kan worden toegepast voor de behandeling van industriële afvalstromen. Er zijn evenwel nog geen praktijkinstallaties gebouwd. De grootste proefinstallatie voor supercritische oxidatie heeft een capaciteit van circa 900 l/h. Volgens een patent-schrift van Modell et al [7] kan de supercritische behandeling van organisch materiaal ook zonder toevoeging van lucht of zuurstof worden uitgevoerd. In dat geval wordt een energierijk gas gevormd. Supercritische oxidatie heeft tot nu toe weinig opgang gemaakt. Uit een gesprek met ABB Lummus Crest Inc. is gebleken dat het proces zich nog in een ontwikkelingsstadium bevindt.

In 1986 heeft Modar in nauw overleg met DSM een verkennend experiment uitgevoerd naar de supercritische oxidatie van varkensdrijfmest [9]. Verder dan een globale schatting van de verwerkingskosten is het daarna niet gekomen.

De firma Oxydyne die van een ondergrondse verticale pijpreactor (diepte 3700 m) gebruik maakt, heeft geen ervaring met mest.

In principe biedt ook supercritische oxidatie perspectief voor de verwerking van drijfmest. Er vindt een nagenoeg volledige oxidatie van organische stof plaats, terwijl de in de mest opgeloste zouten in een geconcentreerde stroom beschikbaar komen. Ammoniumstikstof kan bij zeer hoge temperaturen (circa 700 °C) vrijwel volledig in elementaire stikstof worden omgezet. Intermediaire verbindingen zoals azijnzuur worden niet gevormd.

Het overschot aan warmte komt op een zeer hoog temperatuurniveau vrij, waardoor energie efficiënter dan bij subcritische oxidatie kan worden teruggewonnen. Hoewel de reactor door de korte verblijftijd relatief klein is, stellen de extreme reactiecondities hoge eisen aan de apparatuur en de bedrijfsvoering. Bovendien moet de zoutafscheiding nog worden ontwikkeld.

Evenals subcritische oxidatie kan supercritische oxidatie worden toegepast als eerste stap in een mestverwerkingsproces. Het is waarschijnlijk dat de afgescheiden zoutstroom en het vrijkomende afgas een verdere behandeling moeten ondergaan. Terugwinning van energie en koppeling van energiestromen zijn voor deze toepassing erg belangrijk.

3.1.2 Chemische oxidatie

Het proces bestaat uit de toevoeging van een oxidatiemiddel, waarbij onder invloed van een chemische reactie afbraak respectievelijk omzetting plaatsvindt. Organisch materiaal wordt afgebroken tot kooldioxide en water. Ammoniumstikstof kan met chloor als oxidatiemiddel in elementaire stikstof worden omgezet (breekpuntschlorering). Bovendien kunnen pathogene micro-organismen worden geïnactiveerd (desinfectie). Veel gebruikte oxidatiemiddelen zijn kaliumpermanganaat, kaliumbichromaat, waterstofperoxide, actief chloor en ozon.

Een variant van dit proces is de fotochemische oxidatie, waarbij een oxidatiemiddel bijvoorbeeld ozon in combinatie met ultraviolet licht (UV) wordt gebruikt. Een andere mogelijkheid is het gebruik van titaandioxide in combinatie met UV. Titaandioxide werkt hierbij als fotokatalysator.

Chemische oxidatie wordt vooral toegepast bij de behandeling van afvalwater. Bekend is desinfectie met actief chloor. De uitvoering is erg eenvoudig. Meestal is een geroerde tank voldoende. De kosten worden voornamelijk bepaald door de kosten van chemicaliën. Chemische oxidatie is tot nu toe niet toegepast bij de behandeling van mestvloeistoffen, ook niet voor desinfectie van het effluent van een biologische kalvergierzuiveringsinstallatie.

Voor de behandeling van mest biedt (foto)chemische oxidatie vrijwel geen perspectief. Gemakkelijk biologisch-afbreekbare stoffen kunnen immers goedkoper microbiologisch met luchtzuurstof worden afgebroken. Het gebruik van UV op mest in combinatie met ozon is niet mogelijk door de aanwezigheid van vaste en colloïdale deeltjes in mest, waardoor de lichtopbrengst te gering wordt. Om dezelfde reden is het gebruik van titaandioxide als fotokatalysator in combinatie met UV uitgesloten. Chemische oxidatie komt in principe alleen in aanmerking voor de nabehandeling van biologisch gezuiverde mestvloeistoffen. Hierbij valt te denken aan desinfectie, verwijdering van rest ammoniak door middel van breekpuntschloring, verwijdering van moeilijk of niet biologisch afbreekbare stoffen (bijvoorbeeld humuszuren) en aan de verwijdering van kleurstoffen. Toepassing van chemische oxidatie is uiteraard sterk afhankelijk van toekomstige lozingseisen. Een potentieel bezwaar is de verontreiniging door chemicaliën zoals chloride.

3.2 Biologische en biotechnologische technieken

3.2.1 Enzymatische behandeling

Enzymen zijn katalysatoren van biologische oorsprong; afkomstig van dier, mens, plant of micro-organisme. Met behulp van deze stoffen kunnen bijvoorbeeld grote organische moleculen in kleinere componenten worden omgezet. Voorbeelden hiervan zijn carbohydrases die polysaccharides, zoals cellulose en zetmeel, in suikers omzetten en proteinases die eiwitmoleculen in peptiden en aminozuren splitsen. Verreweg het grootste deel van de industrieel geproduceerde enzymen zijn van microbiële oorsprong. Er wordt wel onderscheid gemaakt tussen intra- en extracellulaire enzymen. In het laatste geval is de winning en de opwerking veelal het eenvoudigst. Het grootste deel van de industrieel geproduceerde enzymen wordt ingezet voor gebruik in detergenten; daarnaast zijn de zetmeel- en de zuivelindustrie grote afnemers [10].

De produktiekosten van enzymen kunnen in de toekomst lager worden door de introductie van recombinant-DNA technieken. Daarnaast leidt verbetering van de stabiliteit, bijvoorbeeld door immobilisatie, tot verlaging van de kosten van het gebruik van enzymen.

Bij het gebruik van commercieel verkrijgbare enzymen zijn er twee invalshoeken mogelijk, namelijk de afbraak en omzetting van opgeloste stoffen versus die van vaste substraten. Het zal duidelijk zijn dat er hierdoor reactorteknisch aanzienlijke verschillen kunnen voorkomen.

Sedert de jaren '70 vindt een ontwikkeling plaats in de richting van geïmmobiliseerde enzymen. Een voorbeeld hiervan is de omzetting van glucose in fructose door middel van glucose-isomerase door bedrijven als Gist-brocades en NOVO.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Wereldwijd komen grote hoeveelheden biologisch slecht-afbreekbare stoffen van plantaardige oorsprong vrij. Het betreft hier stoffen uit de groep cellulose-hemicellulose-lignine. Met behulp van enzymen kan in principe een splitsing en omzetting plaatsvinden in kleinere componenten zoals suikers en alcoholen. Een groot probleem vormt de lignine-matrix die de aangrijping van cellulases blokkeert. Er zijn ontwikkelingen gaande op het punt van de enzymatische splitsing van lignine door middel van lignine peroxidase [10].

In de jaren zeventig is onderzoek gedaan naar de ontsluiting van het cellulose-hemicellulose-lignine-complex in varkensmest met behulp van door een schimmel (*Trichoderma viride*) geproduceerde cellulolytische enzymen [11].

Het doel hiervan was de vorming van stoffen die als substraat kunnen worden gebruikt in navolgende microbiële processen. De enzymatische omzetting van cellulose en hemicellulose bleek alleen mogelijk als de beschermende lignine-matrix wordt verbroken. Dit wordt bereikt door behandeling met loog en door zeer fijn malen. Deze voorbehandelingsmethoden zijn evenwel voor de praktijk te duur. Dit onderzoek heeft geen vervolg gekregen. Evenmin heeft tot nu toe de toediening van commercieel verkrijgbare enzymen bij mestverwerking plaatsgevonden.

Gezien de verwachte daling van de produktiekosten van enzymen en de betrekkelijk geringe waarde van de organische stof in mest bij gebruik als bodemverbeteraar (ook al door concurrentie van GFT) lijken er mogelijkheden om, door middel van de inzet van enzymen, de hoeveelheid substraat voor de produktie van biogas of aminozuren te vergroten.

Bij mestverwerking kan ook worden gedacht aan de enzymatische afbraak van stoffen die bij membraanfiltratie voor verstopping verantwoordelijk zijn. Over de chemische aard van deze, waarschijnlijk colloïdale, stoffen is vrijwel niets bekend. Het vermoeden bestaat dat het hier gaat om polymere suikers, al dan niet gebonden in glycoproteïnen of glycolipiden. Deze biopolymeren worden in de natuur gesynthetiseerd, zodat te verwachten valt dat de natuur deze verbindingen ook efficiënt kan afbreken. Dit moet in principe mogelijk zijn door enzymatische hydrolyse van eiwitten, lipiden en suikerpolymeren. Verwacht mag worden dat na deze behandeling de waterbindende capaciteit van de colloïdale verbindingen is afgenomen, waardoor de filtreerbaarheid van mest wordt verbeterd. Mogelijk dat membraanscheiding hierdoor meer perspectief krijgt.

3.2.2 Fermentatie

Fermentatie kan worden gedefinieerd als microbiologische omzetting van stoffen met het doel om laagwaardige stoffen in hoogwaardiger materiaal te transformeren. De technologie is niet uniform en hangt onder andere af van het type micro-organisme, het substraat en de groei-omstandigheden van de micro-organismen. Veelal is er sprake van geroerde tanks, al of niet met beluchting, maar ook vast-bed reactoren worden bij de fermentatie ingezet.

Voorbeelden zijn de produktie van:

- microbiële eiwit ofwel single-cell protein (SCP). Hiervoor wordt wel met niet-geselecteerde micro-organismen gewerkt, vergelijkbaar met het spuislib dat bij het zuiveren van afvalwater vrijkomt. Een ander voorbeeld is de produktie van voedergist uit hout-hydrolysaat.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

- citroenzuur door middel van *A. niger* met bagasse of ananaspulp als substraat.
- hoogwaardige olie uit laagwaardig vet met behulp van vet-accumulerend gist.
- lysine uit een mengsel van melasse en nutriënten.

Fermentatie is zeker geen nieuwe technologie. Het aantal toepassingen groeit evenwel sterk door de ontwikkeling van de biochemie en de biotechnologie [12, 13, 14, 15]. Hierbij speelt de ontwikkeling van de kennis van micro-organismen en de DNA-recombinant techniek een belangrijke rol.

Triple A (Gist-brocades) werkt aan de ontwikkeling van de produktie van het essentiële aminozuur lysine op basis van een mengsel van melasse en mest met behulp van een specifiek micro-organisme.

Het is te verwachten dat het technisch mogelijk zal zijn om ook andere stoffen op microbiële wijze uit mest te produceren, zoals andere aminozuren, citroenzuur, ethanol en aceetaldehyde. Een belangrijke vraag hierbij is of het ook economisch mogelijk zal zijn om te concurreren met de produktie op basis van schone grondstoffen. In hoofdstuk 4 'Andere produkten' wordt de mogelijke produktie van stoffen op microbiologische basis vanuit de produkt-visie behandeld.

Op initiatief van Comesta wordt thans nagegaan in hoeverre er mogelijkheden zijn om de zuurgraad van mest te verlagen door de microbiële produktie van melkzuur. Het primaire doel hiervan is de emissie van ammoniak te verminderen.

Door de Katholieke Universiteit Nijmegen (Prof. Vogels) wordt de zogenaamde 'pens'-reactor ontwikkeld. Hiermee kunnen stoffen worden ontsloten als in de pens van een rund. Wellicht kan hiermee de hiervoor reeds genoemde ontsluiting van moeilijk toegankelijk organisch materiaal in varkensmest worden verwezenlijkt.

3.2.3 Geïmmobiliseerde micro-organismen

In principe zijn er verschillende systemen om micro-organismen te immobiliseren:

- opsluiting in gel-bollen,
- hechting aan dragermateriaal (zand, draden, platen),
- membraanreactoren met micro-organismen in suspensie.

Op het gebied van nitrificatie/denitrificatie van stedelijk afvalwater worden momenteel verschillende systemen op praktijkschaal ontwikkeld.

Na de ontwikkeling van geïmmobiliseerde enzymen in de jaren '60 is in de periode '70 -'80 de immobilisatie van cellen met behoud van levensvatbaarheid geïntroduceerd. Deze cellen kunnen van microbiële, plantaardige en dierlijke aard zijn. De cellen worden opgesloten in gel-druppels, bijvoorbeeld alginaat en carrageen. Toepassing in de praktijk is er nog niet of nauwelijks. In Japan zou de produktie van ethanol zich in het stadium van de proeffabriek (m³-schaal) bevinden.

Op de Landbouwniversiteit (LUW), bij de sectie Proceskunde (Prof. Tramper), is een produktiemethode voor gel-bolletjes met een zogenaamde resonantienozzle ontwikkeld. Op basis hiervan is de afgelopen jaren gewerkt aan geïmmobiliseerde nitrificatie. De LUW voert onderzoek uit met het oog op toepassing voor huishoudelijk afvalwater. Er wordt gewerkt aan nitrificatie bij lage temperatuur (Noorwegen/EG).

Voorts wordt een systeem ontwikkeld waarbij in het centrum van de gel-druppel denitrificeerders zijn opgeslagen en waarbij nitrificeerders zich in de buitenste schil bevinden (Toverbal).

Een belangrijk aspect van het onderzoek is de levensduur van de bolletjes. Het betreft met name het oplossen/chemische aantasting en het slijten. Tramper verwacht dat rond het jaar 2000 geïmmobiliseerde nitrificatie op basis van gel-bollen in de praktijk zal worden aangetroffen.

De LUW heeft oriënterend gewerkt met mestvloei-stof van Promest als substraat. Het onderzoek dat moest leiden tot een complete nitrificatie-installatie bij Promest is helaas voortijdig gestopt omdat Promest de ontwikkelingstijd en de financiële inspanning te groot achtte. Desalniettemin lijkt geïmmobiliseerde nitrificatie bij mestverwerking interessant door de potentieel kleine reactorinhoud, vergeleken met het huidige actief-slib systeem, en door de afwezigheid van een nabezinker. Deze zijn met name het gevolg van de grote celdichtheid. Een potentieel gevaar van de hieruit voortkomende hogere ruimtebelasting is schuimvorming (en mogelijke limitatie van de zuurstofoverdracht?). Het voordeel van de grote celdichtheid geldt evenzeer voor eventuele andere bij mestverwerking toepasbare fermentatieprocessen. Het is de vraag of behalve het ruimtebeslag ook de kosten lager zijn dan van conventionele systemen.

3.2.4 Anamox (gecombineerde (de)nitrificatie)

Onlangs is ontdekt (A. Mulder; Gist-brocades) dat een bepaalde bacteriestam ammoniak, in combinatie met nitraat, rechtstreeks in stikstofgas omzet volgens de volgende vergelijking:



Dit gecombineerde proces wordt het Anamox-proces genoemd. Bij conventionele biologische stikstofverwijdering zijn meerdere groepen micro-organismen nodig. Allereerst wordt ammoniak tot nitraat geoxideerd (nitrificatie). Vervolgens wordt nitraat gereduceerd (denitrificatie) onder gelijktijdige oxydatie van organische stof (zie ook 2.3). Bij het Anamox-proces is geen organische stof voor denitrificatie nodig. Het isoleren van de bacteriestam verloopt echter niet zonder problemen. Het proces moet nog geheel worden ontwikkeld.

In het kader van mestverwerking zou dit proces kunnen worden toegepast voor de zuivering van mestcondensaat, zoals dat bij onder andere MeMon vrijkomt, of voor de zuivering van kalvergiel. Na anaërobe zuivering in een UASB-reactor kan ammoniak worden verwijderd door een deelstroom (op conventionele wijze) te nitrificeren, waarna het nitraat/nitriet-houdende effluent bij de ammoniak-houdende reststroom wordt gevoegd. Het mengsel van ammoniak en geoxideerde stikstof wordt dan in een Anamox-reactor in stikstofgas omgezet. De uitvoeringsvorm is mogelijk een UASB- of een fluid-bed-reactor.

Het voordeel van het proces is dat er geen organische stof nodig is en dat alle beschikbare organische stof in de toevoer in biogas kan worden omgezet. De zuurstofvraag en de energiebehoefte zijn dus lager.

3.2.5 Biogasproductie

Bij anaërobe vergisting worden afbreekbare organische verbindingen door micro-organismen in een zuurstofloos milieu omgezet in methaan en kooldioxide. Het proces verloopt via drie trappen: hydrolyse, zuurvorming en methaanvorming. Afhankelijk van de gekozen temperatuur wordt onderscheid gemaakt in psychrofiële (<20 °C), mesofiele (20-40 °C) en thermofiele (40-65 °C) vergisting.

Mestvergisting kent een aantal uitvoeringsvormen waarvan de mestkelder, de geroerde tankreactor (onder andere de BIMA-vergister) en de tweetrapsreactor (onder andere de MBB-vergister) de bekendste en meest beproefde systemen zijn. Voor de vergisting of anaërobe zuivering van stromen met lage concentraties organische stof is de zogenaamde Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor de bekendste uitvoeringsvorm. Door slibretentie is de verblijftijd van het slib langer dan die van de te behandelen afvalstroom.

Aangezien de grenzen van de mesofiele vergisting in zicht zijn gekomen, heeft het onderzoek naar de vergisting van mest de laatste jaren duidelijk aan betekenis verloren. Zowel in Nistelrode (Stuurgroep Mestproblematiek Noord-Brabant) als in Helmond (Promest) is de mesofiele vergisting van varkensdrijfmest gedurende enkele jaren op praktijkschaal gevolgd. Ook in andere landen, met name in Denemarken en Italië, is veel ervaring opgedaan met grootschalige vergisting van varkensmest. De belangrijkste problemen lijken opgelost. Het probleem van de zeer lange verblijftijd is echter gebleven.

Naast Promest heeft ook Ecotechniek vergisting in zijn ontwerpen opgenomen. De vraag of andere mestverwerkers hier ook toe zullen overgaan hangt sterk samen met de ontwikkeling van de energieprijzen, de problematiek van de CO₂-emissie bij de verbranding van fossiele brandstoffen en de betekenis die aan de verandering van een aantal eigenschappen van mest door vergisting wordt toegekend (homogener, beter ontwaterbaar, geringere stankemissie, hoger ammoniakgehalte, lager drogestofgehalte).

De anaërobe zuivering van condensaat van mestindampprocessen is door MeMon onderzocht en in het definitieve ontwerp opgenomen. Er bleven nog enkele vragen over ten aanzien van de balans tussen slibverlies en slibgroei, de afbraak van propionzuur en de minimale behoefte aan nutriënten. Deze problemen lijken evenwel niet van essentiële aard.

Hier zij opgemerkt dat voor de verwijdering van vluchtige vetzuren thans vrijwel uitsluitend biologische omzetting in biogas door middel van vergisting (vooraf) of anaërobe zuivering van condensaat (achteraf) ter beschikking staat. In principe is ook extractie van vetzuren mogelijk, maar dit dient nader te worden ontwikkeld.

De huidige generatie (mesofiele) mestvergistingsprocessen wordt gekenmerkt door lange verblijftijden in de orde van 15-20 dagen, hetgeen in een groot ruimtebeslag en hoge kapitaalskosten resulteert. Voorts wordt minder dan de helft van de organische stof in de ruwe mest in biogas omgezet. Door de toename van het drogestofgehalte van mest stijgt het ammoniakgehalte, waardoor remming op den duur niet uitgesloten is. Dit kan betekenen dat een deel van de ammoniak vooraf moet worden verwijderd, bijvoorbeeld door strippen of transmembraanchemosorptie (zie 3.3.2 en 3.4.7).

Vermindering van het ruimtebeslag kan in principe door verkorting van de verblijftijd worden gerealiseerd. Dit zou kunnen worden bereikt door bij hogere temperatuur te vergisten (thermofiel). Voorafgaande (gedeeltelijke) verwijdering van ammoniak is daarvoor een voorwaarde.

Een andere mogelijkheid tot verkorting van de verblijftijd is anaërobe behandeling ná scheiding en voorafgaande ammoniakverwijdering. De dunne fractie kan dan in een UASB-reactor worden behandeld. Voor de eventuele vergisting van de dikke fractie wordt een 'vaste-stof'-reactor ingezet, naar analogie van de anaërobe compostering van GFT. Een verkorting van de verblijftijd met ongeveer een factor drie lijkt haalbaar. Het onderzoek zal zich vooral toe moeten spitsen op de optimalisatie van de 'vaste-stof'- reactor.

Verhoging van de gasopbrengst lijkt in principe mogelijk door het cellulose-hemicellulose-lignine complex in mest vooraf te ontsluiten door middel van de toevoeging van enzymen (zie 3.2.1) of fermentatie (zie 3.2.2), mogelijk ondersteund door een of andere vorm van voorbehandeling. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor ontsluiting door (partiële) natte oxydatie (zie 3.1.1) of door temperatuursverhoging zonder toevoeging van zuurstof. De verhouding tussen kosten en opbrengsten bij de biogasproductie zal de komende jaren gunstiger worden door de verwachte heffing op het gebruik van fossiele brandstoffen. Dit kan aanleiding zijn om een nieuwe impuls te geven aan het onderzoek op dit punt.

Wanneer de energiekosten stijgen valt ook te verwachten dat vergisting bij centrale mestopslagen financieel aantrekkelijk wordt. Wellicht zijn er mogelijkheden om de opslag- en de vergistingsfunctie beter te integreren. De benutting van het biogas is altijd een probleem bij losstaande vergisters. Mogelijk kan in een dergelijke configuratie een deel van de energie voor de productie van ammoniakwater uit mestammoniak worden gebruikt. Ammoniakwater zou kunnen worden ingezet bij het verwijderen van stikstofoxiden (NO_x) uit de afgassen van centrales.

3.2.6 Composteren

Compostering kan worden omschreven als gecontroleerde aërobe afbraak van organische stof in een vaste matrix. Bij deze omzetting komt warmte vrij. Deze warmte zorgt voor een temperatuurstijging van het systeem waardoor het proces onder thermofiele omstandigheden bedreven kan worden. In een systeem van enige omvang wordt deze warmte vooral door verdamping van water afgevoerd, waardoor een droger produkt wordt verkregen. Gedurende compostering vindt een groot aantal specifieke processen plaats die de kwaliteit van het residu (compost) bepalen. De belangrijkste processen zijn:

- de vorming van humus,
- de verandering van de beschikbaarheid van nutriënten,
- het elimineren van ziektekiemen en onkruidzaden,
- het afbreken van stankstoffen en
- de vorming van planteziektewerende eigenschappen.

Alhoewel compostering een technologie is die reeds lang wordt toegepast is er de laatste jaren een snelle toename van de kennis merkbaar, vooral op het gebied van de verwerking van de organische fractie van huisvuil. Dit is toe te schrijven aan het duurder worden van de alternatieve verwerkingsmogelijkheden van organische afvalstoffen.

Bij de huidige mestverwerking vindt compostering plaats van mest van braadkuikens bij Ferm-O-Feed. Het oorspronkelijke doel was de aanwending als veevoersupplement in de rundveesector. Door de onverwacht zware eisen die de EG aan de toelating van veevoer op basis van mest stelt, is deze aanwending nog niet verder dan de

proeffase. Door deze belemmering mag niet worden verwacht dat deze applicatie een grote toekomst zal hebben. De door dit bedrijf gecomposteerde mest wordt thermisch nagedroogd en als meststof verkocht. Er zijn inmiddels ook plannen om leghennemest op een soortgelijke wijze om te zetten in gedroogde mest.

Door de LUW wordt gewerkt aan de modellering van de compostering. Hierbij wordt ook aandacht geschonken aan de compostering van (pluimvee)mest. In dit verband dient ook te worden gewezen op de grootschalige bereiding van substraat voor de champignoncultuur mede op basis van braadkuikenmest door bedrijven als CNC en Gebr. Theeuwen. De kennis van compostering in gesloten systemen heeft hierdoor een belangrijke uitbreiding gekregen.

De belangrijkste potentiële toepassing van compostering bij mestverwerking is de productie van meststof. De eigenschap van het composteringsproces dat water door middel van de microbiële afbraak van organische stof verdampt is een van de belangrijkste aspecten waarvan bij mestverwerking gebruik kan worden gemaakt. Wat de warmteproductie betreft zijn er duidelijke parallellen met anaërobe vergisting, natte oxydatie en verbranding. De belangrijkste voorwaarde om succesvol te kunnen composteren is dat er evenwicht is tussen de hoeveelheid water die moet worden verdampt en de hoeveelheid organische stof die beschikbaar is voor de levering van de verdampingswarmte. Een belangrijke onderzoeksvraag is wat het minimale drogestofgehalte is om een bepaalde mestsoort tot een voldoende hoog drogestofgehalte te composteren. Hierbij wordt gedacht aan de koek die vrijkomt bij scheiding van varkensdrijfmest, al of niet in combinatie met het concentraat van een indamper of hyperfiltratie-eenheid of met een andere organische afvalstof, zoals GFT. Regelgeving staat de laatste variant mogelijk in de weg.

De verblijftijd kan waarschijnlijk worden verkort door optimalisatie van de procesomstandigheden.

De emissie van ammoniak bij het composteren is wellicht te reduceren door onderzoek naar de introductie van nitrificatie in het composteringsproces.

Het is niet bekend hoe de kosten van composteren zich verhouden tot die van thermisch drogen al of niet in combinatie met biogaswinning of natte oxydatie.

3.2.7 Algen

Algen zijn eencellige planten die in water gesuspendeerd leven en hun energie aan fotosynthese ontleen. Ze kunnen worden gekweekt met het oog op veevoederproductie of ten behoeve van bepaalde medicinale toepassingen. In zuidelijke landen worden algen ingezet bij de verwijdering van CZV, BZV, N en P uit afvalwater, met name in zogenaamde high-rate algal ponds (HRAP). Deze HRAP's bestaan uit slootvormige bakken (ca. 0,2-0,6 m diep) waarin de inhoud door middel van peddels in beweging wordt gehouden. De zuivering vindt plaats door de symbiotische werking van bacteriën en algen. Door zonnestraling vormen de algen zuurstof, die de bacteriën gebruiken voor de afbraak van organisch materiaal (CZV en BZV). Voorts wordt N en P vastgelegd door de groei van algen en bacteriën. Het proces kan als een alternatief voor een actief-slib systeem worden gezien. Aantrekkelijk is de geringe energiebehoefte; er moet alleen worden gemengd, beluchtingsenergie is niet nodig. Voorts kan de afgescheiden biomassa als veevoer worden ingezet.

Er is vrij uitgebreid onderzoek gedaan naar de toepassing van dit proces bij mest in een gematigd klimaat, met name in (Noord)Ierland, Schotland, Duitsland en België [16, 17, 18, 19, 20, 21].

Aan deze literatuur kan het volgende worden ontleend. Teneinde voldoende licht-energie te kunnen benutten wordt niet alleen de zwevende stof voor een deel vooraf verwijderd, maar wordt ook met water verdund (1:4 tot 1:100). De verblijftijd ligt in de orde van grootte van 5-10 dagen, betrokken op de verdunde mest. Aldus kan ca. 5.000 m³ mest (na scheiden) per jaar en per hectare worden gezuiverd bij een belasting van 7,5-15 ton N/(ha.jr) en 0,5-1 ton P/(ha.jr). Bij deze belastingen en verblijftijden wordt, onder optimale omstandigheden, ongeveer 90% van BZV, N en P verwijderd. Voor praktijksystemen in West Europa is de periode waarin algen daadwerkelijk groeien ongeveer een half jaar. De mest moet dus de andere helft van het jaar worden opgeslagen. Dit is voor grootschalige verwerking weinig aantrekkelijk.

De geproduceerde biomassa bevat ca. 40% werkelijk-eiwit en ca. 16% lipiden. Het zou derhalve als voedingsstof kunnen worden ingezet. Het eiwit van de meeste algensoorten is evenwel slecht verteerbaar door niet-herkauwers (celwand). Wat betreft de verbetering hiervan door een ontsluitingsbehandeling zijn zowel negatieve als positieve resultaten gemeld. Als eindproduct worden genoemd: fijn-chemicaliën, koolwaterstoffen, caroteen, glycerol, pigmenten, vitaminen en schuimbestrijdingsmiddelen.

Gezien de hoge eisen die de EG stelt aan de toelating van voedingsstoffen die rechtstreeks uit mest zijn geproduceerd, lijkt de kans klein dat algen als veevoer kunnen worden ingezet. Wellicht is er een potentie voor fijn-chemicaliën.

Bij vergelijking van de rechtstreekse produktie van landbouwgewassen met de produktie van algen valt op dat de produktie van droge stof bij algen wat hoger is dan bij landbouwgewassen, mogelijk een factor twee. Voor de produktie van algen moet echter een aanzienlijke investering worden gedaan (bakken, mengers, scheidingssystemen). De behoefte aan opslagfaciliteiten voor mest is globaal gelijk.

De oppervlaktebehoefte is een groot nadeel. Voorts ook de variatie van de produktieprestaties onder invloed van wisselende weersomstandigheden.

Door het grote vloeistofoppervlak dat in verbinding staat met de buitenlucht is het mogelijk dat de emissie van ammoniak problemen oplevert.

Ecotechniek heeft lange tijd het plan gehad om een mestverwerkingsfabriek in Dordrecht te bouwen waarbij, in een separate unit, algen zouden worden gekweekt op basis van koolzuur en energie (licht) uit mest. Deze plannen hebben evenwel geen doorgang gevonden.

Onlangs is evenwel op boerderijniveau een demonstratieproject (SPOM) met een algenvijver voor mest gestart.

Onder auspiciën van NOVEM/EZ wordt thans door Braun Consultants te Hengelo een studie uitgevoerd naar het perspectief van algenproduktie als energiedrager.

3.3 Membraantechnieken

Bij membraantechnieken wordt onderscheid gemaakt tussen 'oude' membraantechnieken; membraan-filtratie-processen waarbij de hoofdstroom **door** een membraan stroomt en 'nieuwe' membraantechnieken, waarbij componenten door

een membraan worden verwijderd, terwijl de hoofdstroom **langs** het membraan stroomt.

Het membraan wordt hierbij als een scheidingslaag tussen twee fasen gebruikt; twee vloeistoffasen, twee gasfasen of een vloeistof- en een gasfase.

Tot de eerstgenoemde categorie behoren microfiltratie, ultrafiltratie, nanofiltratie en hyperfiltratie (beter bekend als omgekeerde osmose). Voorbeelden van 'nieuwe' membraantechnieken zijn pertractie, transmembraanchemosorptie, pervaporatie en damppermeatie. Tot deze categorie kan ook elektrodialyse worden gerekend, al wordt deze techniek al geruime tijd toegepast.

Bij membraantechnieken worden de volgende membraanconfiguraties toegepast;

- buisvormige membranen,
- vlakke-plaat membranen,
- spiraal-gewonden membranen,
- holle-vezel membranen.

Het membraanmateriaal kan zowel van organisch (polymeren) of anorganisch (metaaloxiden) materiaal zijn gemaakt. Belangrijke factoren voor de keuze van membraanmateriaal en configuratie zijn:

- de vereiste capaciteit,
- de eigenschappen van de te behandelen oplossing of suspensie,
- de vereiste concentreringsgraad,
- de aard en de grootte van de drijvende kracht,
- de chemische en thermische bestendigheid van het membraan,
- de mogelijkheid tot sterilisatie van het membraan met stoom.

Een negatief aspect bij de toepassing van membraanscheidingstechnieken is de gevoeligheid voor vervuiling.

De 'oude' en de 'nieuwe' membraantechnieken worden in separate paragrafen besproken.

3.3.1 'Oude' membraantechnieken

Bij membraanfiltratietechnieken is de drijvende kracht voor de scheiding het aangelegde drukverschil over het membraan. De in de vloeistof gesuspendeerde deeltjes, opgeloste macro-moleculaire verbindingen en ionogene stoffen (zouten) worden al naar gelang de toepassing en de aard van de te scheiden verbindingen geheel of gedeeltelijk tegengehouden.

De met een membraantechniek behandelde vloeistof wordt gescheiden in een relatief schone vloeistof (permeaat) en in een geconcentreerde stroom (concentraat, ook wel retentaat genoemd). Er vindt derhalve concentrering plaats. De mate van scheiding wordt in sterke mate bepaald door de osmotische druk en door de eigenschappen van het membraan, waaronder de poriegrootte. Deze is het grootst bij microfiltratie (0,05 - 3 μm) en het kleinst bij omgekeerde osmose (10^{-5} - 10^{-3} μm).

Technieken als microfiltratie, ultrafiltratie en omgekeerde osmose worden in de praktijk veelvuldig toegepast. Een belangrijk toepassingsgebied is de behandeling van procesafvalwater in onder andere de galvanische-, de zuivel- en de voedingsmiddelen-

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

industrie. Een veel voorkomende toepassing van omgekeerde osmose is ontzouting van zeewater ten behoeve van de productie van leidingwater.

Hoewel er vanaf 1982 onderzoek naar de toepassing van membraanscheiding op mest is uitgevoerd, wordt de techniek bij de huidige grootschalige mestverwerking niet toegepast. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de in vergelijking met verdamping geringe concentreringsgraad, en aan onzekerheid c.q. geringe ervaring met betrekking tot de goede werking op de lange termijn (invloed vervuiling, levensduur membranen). Het onderzoek [22] is uitgevoerd met varkensdrijfmest, zeugenmest en kalvergier. De invloed van procescondities en voorbehandelingsmethoden is uitvoerig onderzocht. Het onderzoek heeft zich vooral geconcentreerd op omgekeerde osmose met buisvormige membranen. Vanwege de chemische resistentie zijn bij het onderzoek in hoofdzaak composietmembranen (polyamide, type ZF-99 en ACF-99 van PCI en Wafilin) gebruikt. Incidenteel is een andere membraanconfiguratie te weten de vlakke plaat module en ander membraanmateriaal namelijk celluloseacetaat getest. In een aantal gevallen is microfiltratie beproefd voor het verwijderen van slib in vergelijking met afscheiding door bezinking.

Als mogelijke toepassingen van omgekeerde osmose bij mestverwerking worden op dit moment gezien:

- Ontzouting van het effluent van een biologische kalvergierbewerkingsinstallatie. Het permeaat kan worden geloosd; het zoutbevattende concentraat kan met het slib in tekortgebieden worden afgezet of op termijn waarschijnlijk fabrieksmatig worden verwerkt. Het hoge chloridegehalte is nadelig voor de afzet als meststof. Toepassing is eveneens mogelijk voor biologisch gezuiverde zeugenmest.
- Concentrerend van de dunne fractie van zeugenmest na bezinking. Het permeaat kan op het land worden gebracht. Het concentraat kan met de dikke fractie worden gemengd om vervolgens te worden gedistribueerd of verwerkt.
- Behandeling van deelstromen bij varkensdrijfmestverwerking. Hierbij kan worden gedacht aan het concentreren van effluent van de gebufferde nitrificatie (Promest proces). Omgekeerde osmose wordt in dit geval toegepast als voorconcentrerend voor de indamper. Vastgesteld moet worden of dit kostentechnisch aantrekkelijk is. Er bestaan al geruime tijd plannen om deze membraantoepassing experimenteel te onderzoeken.

Toepassing van omgekeerde osmose bij drijfmestverwerking is sterk afhankelijk van de gekozen verwerkingsroute. Vanwege de osmotische druk is de mate van concentrering gelimiteerd. Naarmate mest 'dikker' wordt, neemt het zoutgehalte toe en daarmee de osmotische druk. De grens ligt waarschijnlijk bij een drogestofgehalte van het concentraat van circa 6%. Het probleem van de membraanvervuiling is beheersbaar.

Onderzoek heeft aangetoond dat membraanfiltratietechnieken bij mestverwerking in principe mogelijk zijn. Het accent ligt hierbij vooral op ontzouting. Afscheiding van kleine deeltjes uit deelstromen door middel van microfiltratie heeft tot nu toe weinig aandacht gekregen.

Bij toepassing van omgekeerde osmose is een intensieve voorbehandeling zoals een microbiologische behandeling en/of deeltjesaf scheiding vereist. Om membraanvervuiling te beperken kan aanzuring van de mestvloeistof met zoutzuur noodzakelijk c.q. gewenst zijn. De toepassing is sterk afhankelijk van de gekozen procesroute.

Naast omgekeerde osmose kan nanofiltratie, een scheidingsgebied tussen ultrafiltratie en hyperfiltratie (omgekeerde osmose) interessant zijn. Daarnaast kunnen nieuwe membraantypen en andere membraanconfiguraties mogelijk tot betere respectievelijk goedkopere toepassingen leiden. Door diverse Japanse en Amerikaanse fabrikanten zijn er de afgelopen jaren nieuwe typen omgekeerde osmose membranen op de markt

gebracht. Deze zouden door een hogere intrinsieke flux (= debiet uitgedrukt in $\text{l.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$), een verminderd vervuiligingsgedrag, een betere retentie (= scheidend vermogen) en/of een betere stabiliteit respectievelijk levensduur de kosten van omgekeerde osmose kunnen verlagen. Vanwege de osmotische druk zal de volumereductie beperkt blijven. Een spiraalgewonden module met ononderbroken stromingskanalen zou het energieverbruik met enkele factoren en de apparaatkosten met tientallen procenten kunnen verlagen ten opzichte van tot nu toe in hoofdzaak geteste buisvormige moduleconfiguraties. De membraanoppervlak-modulevolume verhouding is $\geq 400 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$ ten opzichte van $70\text{--}80 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$ voor buisvormige modules. Op grond hiervan lijkt een verdere optimalisatie van omgekeerde osmose bij mestverwerking mogelijk.

Nanofiltratie heeft ten opzichte van omgekeerde osmose het voordeel van een hogere flux door de meer 'open' membranen en een mogelijk hogere concentratiefactor resulterend in een grotere volumereductie. Een mogelijk nadeel is de slechtere permeaatkwaliteit.

3.3.2 'Nieuwe' membraantechnieken

Tot de 'nieuwe' membraantechnieken behoren onder andere pervaporatie, pertractie, membraandestillatie, transmembraanchemosorptie en gasscheiding met behulp van membranen. In het kader van de onderhavige studie worden ook de reeds langer bekende membraanprocessen zoals elektrolyse en elektroforese onder deze categorie gerangschikt. De scheidingsprocessen maken gebruik van selectieve, microporeuze membranen. Een voordeel hierbij is dat niet een groot deel van het oplosmiddel (bijvoorbeeld water), maar bij voorkeur alleen de component die in kleinere hoeveelheid (bijvoorbeeld als verontreiniging) aanwezig is door het membraan permeëert. De drijvende kracht waardoor het stoftransport wordt onderhouden verschilt bij de diverse membraantechnieken. De concentreringsgraad is in het algemeen gering.

Aangezien een uitvoerige bespreking van de diverse technieken buiten het kader van deze studie valt, zijn in tabel 2 slechts enkele kenmerken vermeld.

Tabel 2 Overzicht 'nieuwe' membraantechnieken

Techniek	Fasen	Berust op	Drijvende kracht
pervaporatie	G/L	verdamping aan permeaatzijde	partiaaldrukverschil;
membraandestillatie	L/L	damptransport	verlaagde druk permeaatzijde
pertractie	L/L	extractie	partiaaldrukverschil door
transmembraan-chemosorptie	L/L	chemische absorptie	temperatuurverschil
gasscheiding	G/G	gastransport	concentratiegradiënt
elektrolyse ¹⁾	L/L	ladingtransport	concentratiegradiënt
elektroforese			verschil in diffusiesnelheid
			verschil in absorptiegedrag
			elektrisch potentiaal verschil

L = vloeistoffase; G = gasfase

1) in tegenstelling tot elektroforese zijn bij elektrolyse de membranen geladen

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

Van deze technieken wordt op dit moment alleen elektrodialyse op grote schaal commercieel toegepast. De belangrijkste toepassing ligt in de waterontzouting. De andere technieken bevinden zich voor een groot deel nog in een ontwikkelingsstadium. Pervaporatie is een interessante techniek voor het scheiden van organische oplosmiddelen en water (denk bijvoorbeeld aan het systeem alcohol/water) als alternatief voor verdamping. Een belangrijk voordeel is het lagere energieverbruik.

In verband met mestverwerking zijn tot nu transmembraanchemosorptie [23], elektroforese [24] en elektrodialyse (niet gepubliceerd) onderzocht. Door middel van transmembraanchemosorptie kan ammoniak uit mest worden verwijderd en in de vorm van een ammoniumzout beschikbaar komen. De techniek is een alternatief voor het strip-absorptie proces dat overigens bij mestverwerking nog niet is toegepast. Bij transmembraanchemosorptie diffundeert ammoniak door de gasgevulde poriën van een microporeus holle vezel membraan. Aan de permeaatzijde wordt de ammoniak vervolgens in zuur geabsorbeerd. Een voordeel ten opzichte van lucht- of stoomstrippen is het ontbreken van stripgas waardoor schuimvorming wordt vermeden. Elektroforese (met neutrale membranen) is op pilot-plant onderzocht voor de afscheiding van eiwitten uit mest, terwijl met elektrodialyse (met afwisselend positief en negatief geladen membranen) verkennende proeven zijn uitgevoerd in het kader van het isoleren en zuiveren van lysine uit gefermenteerde mestvloeistof.

Voor het verwijderen van ammoniak uit mest en mestvloeistoffen lijkt transmembraanchemosorptie perspectief te bieden. De haalbaarheid voor grootschalige mestverwerking zal op grond van voorgesteld onderzoek verder worden nagegaan. De afzet van het ammoniumconcentraat kan mogelijk een probleem zijn.

Voor de overige technieken geldt dat deze mogelijk in aanmerking komen voor de behandeling van specifieke deelstromen, bijvoorbeeld condensaat of fermentatievloeistof. Genoemd kan worden het gebruik van pervaporatie membranen voor de mogelijke afscheiding van vluchtige laagmoleculaire organische componenten (vetzuren) uit condensaat, pertractie met een organisch oplosmiddel, gasscheidingsmembranen voor het verwijderen van ammoniak uit stripgas en het zuiveren van biogas [25], alsmede elektrodialyse voor het scheiden van eiwitten en zouten. Toegepast op mestcondensaat kan elektrodialyse worden gebruikt om ammonium af te scheiden.

Als mestverwerking in de naaste toekomst de biotechnologische kant op gaat (denk aan de productie van essentiële aminozuren uit mest) kan de belangstelling voor membraanscheidingsprocessen voor de produktopwerking (de zogenaamde downstream-processing) toenemen. Dit houdt onder andere verband met de hoge zuiverheidsgraad die van een hoogwaardig produkt uit mest wordt verlangd.

3.4 Overige technieken

Technieken die in deze categorie aan de orde komen zijn:

- droging,
- vriesconcentrerend,
- indamping,
- extractie,
- precipitatie
- ionenwisseling,
- stripping,
- verbranding,
- pyrolyse,
- vergassing,
- naverbranding en
- verglazing.

Drogen en indampen zijn technieken die bij de huidige mestverwerking worden toegepast. Op deze plaats worden enkele varianten besproken. De overige technieken zijn betrekkelijk nieuw voor mestverwerking. Het perspectief voor een mogelijke toepassing wordt in deze paragraaf aangegeven. Omdat de technieken qua principe en uitvoering onderling sterk verschillen worden ze afzonderlijk behandeld.

3.4.1 Droging

Bij de huidige mestverwerking worden indirecte drogers (schijvendroger, pijpenbundeldroger etc.) en directe drogers (trommeldroger, maaldroger) toegepast. Bij de directe droger wordt tot nu toe hete lucht of rookgas als droogmedium gebruikt. Een andere mogelijkheid is om te drogen met oververhitte stoom. Een dergelijk droogsysteem wordt onder andere door Stork (Exergy), Sulzer en Van der Broek op de markt gebracht.

Bij het Exergy proces wordt het te drogen materiaal in een gesloten systeem gebracht waarin door een hoge drukventilator een stroming van oververhitte stoom in circulatie wordt gehouden. Het materiaal neemt warmte uit de stoom op, waardoor het water verdampt en de stoom afkoelt. Om condensatie te voorkomen wordt de stoom in een warmtewisselaar opgewarmd (tot 200 à 240 °C) om daarna weer af te koelen tot circa 140 °C. Dit proces herhaalt zich tot dat het te drogen materiaal het gewenste drogestofgehalte heeft. Door het directe contact tussen de 'warmteleverancier' en het te verdampen water is het energierendement gunstig. De gegenereerde stoom (spuistoom) kan (na ontstopping) extern als warmtebron worden gebruikt.

Stoomdrooginstallaties zijn geplaatst voor het drogen van papiervezelpulp, houtafval, suikerbietenpulp en dergelijke. Een dergelijke droger is nog niet getest voor het drogen van mest. Het systeem wordt thans beproefd (Stork) c.q. is operationeel voor het drogen van zuiveringsslib (Sulzer).

Uit het patent [7] van Scarabee Waste Conversion blijkt dat de vrijkomende damp uit de oxydatiereactor wordt gebruikt voor het drogen van de geoxydeerde mest in een nageschakelde wervelbeddroger. Deze optie wordt thans in een proeffabriek onderzocht.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Mogelijk dat stoomdrogen op grond van een gunstiger energiebalans en een geringere afgasstroom perspectief biedt voor mestverwerking. Rekening moet worden gehouden dat de spuistoom als warmtebron elders in het proces kan worden gebruikt (bijvoorbeeld in de indamper). Een belangrijk punt is het dispergeren van de te drogen mest (koek) in de oververhitte dampstroom. Omdat de droogtijd in een dergelijke droger erg kort is (≤ 60 s) moet het te drogen materiaal zeer fijn verdeeld worden. Gezien het pasteuze karakter van mestkoek kan dit een probleem zijn. Waarschijnlijk is het mengen met gedroogd produkt noodzakelijk. Een ander aandachtspunt, dat hier enigszins verband mee houdt, is het doorlopen van de kleef-(gummy)fase. In deze fase kan ernstige vervuiling van de droogapparatuur optreden. Het is duidelijk dat op deze punten onderzoek noodzakelijk is.

Opmerking:

Andere betrekkelijk nieuwe technieken, zoals microwave en infrarood drogen worden hoofdzakelijk toegepast voor het verwijderen van restanten vocht, en dan vooral als de aan het produkt te stellen kwaliteitseisen in gedrang komt (bijvoorbeeld het nadrogen van hout en keramiek). Bij infrarood drogen wordt in zeer dunne lagen gedroogd. Deze droogtechnieken zijn derhalve niet geschikt voor het verwijderen van grote hoeveelheden water uit processtromen en komen derhalve voor mestverwerking niet in aanmerking. Bij uitzondering is een dergelijke droging mogelijk wel interessant in de eindfase als ten behoeve van de sterilisatie een extra temperatuurverhoging vereist is. De kosten zijn voor een dergelijke toepassing evenwel zeer hoog.

3.4.2 Vriesconcentrerend

Met deze techniek is het mogelijk om water uit een oplossing af te scheiden. Bij vriesconcentreren wordt de vloeistof tot onder het vriespunt afgekoeld. Hierbij ontstaat schoon water in de vorm van ijskristallen. De kristallen worden in een waskolom van het concentraat gescheiden. De beperkende factor bij de indikking is de viscositeit. Bij de huidige procesapparatuur mag deze waarde niet groter dan 120-150 cP zijn. De stand van de techniek is recentelijk in de literatuur [26] beschreven.

Vriesconcentrerend wordt vooral in de voedings- en genotmiddelenindustrie toegepast als het gaat om behoud van kwaliteit. In dit verband wordt genoemd het concentreren van vruchtensappen (citruissap) en koffie-extracten. Ook bij een dergelijke hoogwaardige toepassing is de techniek veelal te duur.

De techniek kan in principe op mestvloeistof worden toegepast. In het verleden zijn op het laboratorium enkele verkennende vriesconcentreringsproeven [27] uitgevoerd met vergiste varkensdrijfmest en met aëroob behandeld mestfiltraat. Onder zorgvuldig gekozen omstandigheden lukte het om water met een lage geleidbaarheid af te scheiden. Het vooraf verwijderen van gesuspendeerde stoffen kan een voorwaarde zijn.

Aantrekkelijk in het kader van mestverwerking is het verkrijgen van een schone, losbare vloeistoffractie, omdat in tegenstelling tot indampen geen vluchtige componenten 'overdestilleren'. Toepassing is wellicht mogelijk voor de verdere opwerking van concentraat (indikking tot 40% droge stof zonder viscositeitsbeperking) of voor het concentreren van waardevolle deelstromen (denk aan de productie van aminozuren) uit mest. Het probleem van het vrijkomen van vluchtige stoffen wordt verschoven.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Denkbaar is bijvoorbeeld dat bij Promest een vriesconcentreringsinstallatie in de plaats kan komen van de indampinstallatie. Nitrificatie vooraf is dan niet noodzakelijk; ammoniak kan uit het concentraat worden gestript. Afgezien van de technische haalbaarheid zijn de proceskosten waarschijnlijk prohibitief. Vriesconcentreren is per m³ waterverwijdering erg duur. De investering voor een vriesconcentreringsinstallatie is ongeveer driemaal zo hoog als die van een indamper. Na vriesconcentreren moet waarschijnlijk toch nog verder worden ingedampt. De kans dat vriesconcentrerings bij mestverwerking derhalve met voordeel kan worden toegepast is derhalve erg klein.

Opmerking:

Andere technieken waarbij diep wordt gekoeld, zijn vriesdrogen en vriesconditioneren. Door middel van vriesdrogen is het mogelijk om water volledig uit een oplossing te krijgen, terwijl door vriesconditioneren de afscheiding en de ontwaterbaarheid van gesuspenderde stof kunnen worden verbeterd. Verkennende vriesconditionerings-experimenten, die in het verleden op mest zijn uitgevoerd, waren evenwel niet succesvol.

Afgezien van de technische haalbaarheid zijn de koude processen bij mestverwerking te duur.

3.4.3 Indamping

In verband met de hoge zuiverheidseisen die aan de waterfractie uit mest worden gesteld (volledige ontzouting) en de beperkte indikkingsgraad van alternatieve ontzoutingstechnieken (bijvoorbeeld omgekeerde osmose of vriesconcentreren) kan de drijfmestverwerking niet zonder indamping. Hierin zijn geen nieuwe ontwikkelingen waarneembaar. Het energieverbruik heeft sterk de aandacht. De filmverdamper met zijn naar verhouding hoge warmteoverdrachtscoëfficiënt en lage temperatuurverschil (ergo groot verwarmend oppervlak), alsmede het gebruik van dampcompressie staan in de belangstelling. Deze tendens geldt ook voor de toepassing bij mestverwerking. Beheersing van de schuimproblematiek bij mestindamping vraagt veel aandacht. In verband met vervuiling van de warmtewisselaars zijn andere typen verdamper, zoals de geschraapte filmverdamper en de omloopverdamper, te overwegen alternatieven.

Een variant die bij mestverwerking tot nu toe geen aandacht heeft gekregen is de mogelijke toepassing van een kristallisatie-indamper. Hiermee is het in principe mogelijk om door middel van kristallisatie zouten uit mest af te scheiden. Het systeem bestaat uit een indamper, een kristallisatietank en een centrifuge. Kristallisatie-indamping is een techniek die onder andere voor de produktie van keukenzout uit een pekeloplossing wordt gebruikt. Het is bekend dat deze techniek ook wordt gebruikt voor de behandeling van procesafvalwater. Een voordeel van de techniek is het lage watergehalte van het concentraat (kristalbrij).

Toegepast op mest zou deze techniek mogelijk kunnen leiden tot een gunstiger energieverbruik omdat er minder water uit het concentraat in een droger behoeft te worden verdampt. Hier staat tegenover dat de investering hoger is. Denk aan de kosten voor extra procesapparatuur (onder andere kristallinator, centrifuge) en de kosten van hoogwaardige constructiematerialen (corrosie, ook slijtage). Daarnaast is niet bekend in hoeverre bij aanwezigheid van organische stoffen (hetzij in opgeloste vorm danwel colloïdaal aanwezig) ernstige viscositeits- en vervuilingproblemen kunnen

optreden. Ook is niet bekend of deze stoffen het kristallisatieproces verstoren. Een deel van deze bezwaren geldt overigens ook voor de 'gewone' indamper.

3.4.4 Extractie

De te extraheren vloeistof wordt in contact gebracht met een niet met water mengbaar organisch oplosmiddel, waarin de te verwijderen component oplost. Na scheiding van de organische- en de waterfase wordt de opgeloste component uit het oplosmiddel verwijderd, waarna het oplosmiddel opnieuw kan worden gebruikt. Een andere uitvoeringsvariant is pertractie (zie 3.3.2).

Extractie wordt in de procesindustrie veelvuldig toegepast en vindt op beperkte schaal toepassing bij de zuivering van industrieel afvalwater. Voor mestverwerking is de techniek met uitzondering van MeMon niet bewust onderzocht. In het door MeMon ontwikkelde mestverwerkingsproces waarbij een organische dragervloeistof wordt gebruikt, treedt 'spontaan' extractie van mestvet op. Dit mestvet wordt door stoomdestillatie uit de dragervloeistof afgescheiden. Het mestvet is erg onzuiver en wordt waarschijnlijk als brandstof gebruikt.

Alleen als het gaat om het verwijderen van specifieke verbindingen uit mest of uit mest afgeleide deelstromen kan extractie worden toegepast. Het ATO-DLO geeft aan dat hogere vetzuren mogelijk door middel van extractie uit mest kunnen worden gewonnen [28]. MeMon heeft in het verleden enkele verkennende experimenten uitgevoerd naar de extractie van vluchtige vetzuren (met name azijnzuur) uit mestcondensaat. Mogelijk is extractie ook interessant om te worden toegepast bij geoxideerde mestvloeistoffen.

Nagegaan moet worden of de opbrengst van het te isoleren produkt opweegt tegen de te maken proceskosten.

3.4.5 Precipitatie

De Technische Universiteit Aken heeft een proces ontwikkeld voor de verwijdering van ammoniumstikstof uit afvalwater door middel van chemische precipitatie; het zogenaamde 'MAP-Verfahren' [29]. Als chemicaliën worden magnesiumoxide (MgO) en fosforzuur (H₃PO₄) aan het water toegevoegd, waardoor magnesiumammoniumfosfaat (MgNH₄PO₄) als slecht oplosbare verbinding neerslaat. De reactievergelijking is als volgt:



Het gevormde neerslag kan als meststof worden gebruikt.

Het proces is in principe ook te gebruiken voor mest. Alvorens de benodigde chemicaliën te doseren moeten eerst de niet-opgeloste stoffen worden verwijderd. Vervolgens moeten aanzienlijke hoeveelheden fosforzuur en magnesiumoxide aan de mestvloeistof worden toegevoegd. De meststofwaarde (berekend op P en MgO) weegt niet op tegen de chemicaliënkosten. Er wordt een grote hoeveelheid fosfaatmeststof geproduceerd.

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

Onlangs is in de literatuur [29, 30] een variant van dit proces, het zogenaamde CAFR-proces beschreven. Deze letters staan voor Chemische Fällung von Ammonium und anschließende Rückgewinnung. Bij dit proces wordt uiteindelijk alleen ammoniak geproduceerd; magnesium en fosfor worden hergebruikt. Deze elementen worden in de vorm van MgHPO_4 toegevoegd. De reactie verloopt als volgt:



Het neerslag wordt afgescheiden, ontwaterd en centraal verwerkt, waarbij de gebonden ammoniak weer uit het neerslag wordt vrijgemaakt volgens de reactievergelijking:



Het MgHPO_4 kan opnieuw als reagens worden gebruikt. Het vrijgemaakte ammoniak kan worden gebruikt voor het verwijderen van NO_x uit afgassen van energiecentrales. Het hier beschreven proces bevindt zich nog in een ontwikkelingsfase. Het ontwikkelingswerk wordt in Duitsland uitgevoerd; proeven op grote schaal moeten nog worden uitgevoerd.

In het kader van mestverwerking moet dit proces worden gezien als een alternatief voor stikstofverwijdering door middel van strippen of voor het nog verder te ontwikkelen transmembraanchemisorptieproces. Het MAP-proces biedt kostentechnisch gezien waarschijnlijk weinig perspectief voor centrale mestverwerking.

3.4.6 Ionenwisseling

Hierbij worden ionen (kationen en anionen) chemisch aan een geschikte ionenwisselaarshars gebonden en met behulp van een geschikt regeneratiemiddel (zuur, base of zout) in geconcentreerde vorm weer van de hars afgehaald. Het proces wordt veelvuldig gebruikt bij de bereiding van proceswater (ontharding, demineralisatie) en voor de zuivering van procesafvalwater (bijvoorbeeld voor de verwijdering van zware metalen uit spoelwater van de galvanische industrie). Omdat het proces meestal in gepakte kolommen (niet per se noodzakelijk) wordt uitgevoerd, worden de niet-opgeloste stoffen vooraf verwijderd.

Toepassing van ionenwisselaars bij mestverwerking heeft tot dusver niet plaatsgevonden. In Italië is in het verleden verkennend laboratoriumonderzoek uitgevoerd naar de verwijdering van ammoniumstikstof uit vergiste varkensdrijfmest met ionenwisselaars (en clinoptilolite).

Door opgelost fosfaat aan een anionwisselaar en ammoniumstikstof aan een kationwisselaar te binden, de regeneratievloeistoffen samen te voegen en vervolgens te laten reageren met een magnesiumzout (bijvoorbeeld MgCl_2) kan een kunstmeststof (MgNH_4PO_4) worden geproduceerd (zie 3.4.5). Voor zover bekend heeft dit niet tot een toepassing op praktijkschaal geleid.

In het kader van de bereiding van lysine uit mest is c.q. wordt ionenwisseling als een mogelijke scheidingstechniek bij de opwerking van fermentatievloeistof onderzocht (niet gepubliceerd).

Ionenwisseling kan in principe worden toegepast als eindzuiveringsstap bij mestverwerking. De te behandelen vloeistof moet een grote mate van voorzuivering hebben ondergaan. Een andere mogelijke toepassing is wellicht het opwerken (isoleren en zuiveren) van hoogwaardige produkten uit deelstromen. Een bezwaar van ionenwisseling is dat bij de regeneratie aanzienlijke hoeveelheden zout en waswater worden geïntroduceerd die vervolgens weer moeten worden behandeld. De mogelijkheden van ionenwisseling bij mestverwerking zijn derhalve beperkt.

3.4.7 Stripping

Door middel van strippen (desorptie) met lucht of stoom kunnen vluchtige stoffen of opgeloste gassen uit een vloeistof worden verwijderd. Bekend is het strippen van ammoniak uit afvalwater. Daarbij moet het evenwicht



door het instellen van de juiste zuurgraad (pH >10) en/of temperatuur in de richting van 'vrije' ammoniak worden verschoven. De ammoniak kan door wassen met zuur (absorptie) uit het strippgas worden verwijderd. Hierbij ontstaat een ammoniumzoutoplossing. Het is ook mogelijk om ammoniakwater te maken.

Hoewel het strippen van ammoniak uit mest in het verleden wel is onderzocht, wordt het bij de huidige mestverwerkingsprocessen niet toegepast. Strippen leidt tot een separate produktstroom (N-meststof), waarvan de markt onduidelijk is. Tot nu toe is er voor gekozen om alle mineralen zoveel mogelijk in één produkt te concentreren. Door Stork zijn in het verleden experimenten met het stoomstrippen van indampcondensaat van MeMon uitgevoerd met het doel rest ammoniak te verwijderen. Een probleem daarbij was de sterke schuimvorming.

Indien het om welke reden dan ook gewenst is om ammoniak separaat uit de mest af te scheiden, biedt stripping daartoe de mogelijkheid. In verband met vervuiling is een goede voorafscheiding van onopgeloste stoffen noodzakelijk. In Duitsland is onderzoek naar het stoomstrippen op praktijkschaal in gang gezet. Alternatieven die thans in ons land worden onderzocht zijn transmembraanchemisorptie en dampwassen. Bij het laatste proces wordt geen strippgas gebruikt, maar wordt de dampstroom uit de indampster door een zure wasser geleid. Schuimvorming kan bij strippen en dampwassen een probleem zijn. Dit probleem doet zich overigens niet bij transmembraanchemisorptie voor. Indien de schuimvorming tijdens het indampen kan worden beheerst, biedt zure dampwassing een interessant alternatief. Hierbij is geen aparte stripper nodig en kan waarschijnlijk op zuurverbruik worden bespaard.

3.4.8 Verbranding

Verbranding van ontwaterde varkensdrijfmest heeft op experimentele schaal zowel in een wervelbedoven als in een roosteroven plaatsgevonden. Bij de experimenten met de roosteroven zijn de rookgassen gebruikt voor de droging van de ontwaterde varkensmest. In de praktijk is incidenteel op kleine schaal droge pluimveemest verbrand.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Dat verbranding van mest tot nu toe (nog) niet wordt toegepast heeft vermoedelijk te maken met de afzet van het verbrandingsproduct (as) en de problematiek van de gasvormige emissies. Uit onderzoek is gebleken dat het fosfaatrijke asproduct als meststof of als veevoederadditief vooralsnog van weinig betekenis is. Dit houdt verband met de wijze waarop het fosfaat chemisch is gebonden. Wellicht is ontsluiting van de as mogelijk. De gasvormige emissies (met name stikstofoxiden, cadmium, en wellicht ook dioxines) vormen eveneens een belemmering.

In het kader van de verdere ontwikkeling van mestverwerking is het verstandig om verbranding van mest (bij voorkeur de drogere mestsoorten) opnieuw in overweging te nemen. Een belangrijk argument daarbij is een mogelijke besparing op de energiekosten en een vermindering van CO₂-uitstoot uit fossiele brandstoffen. 'Laagwaardige' koolstof wordt omgezet in energie. In combinatie met droging kan de verbrandingsas worden opgemengd met gedroogde mest. Energiewinning door mestverbranding wordt sinds kort naar het schijnt met succes in Engeland toegepast. Opgemerkt moet worden dat het hier niet om nieuwe technieken, maar om een koppeling van technieken gaat voor het verkrijgen van een zo hoog mogelijk rendement.

3.4.9 Pyrolyse

Pyrolyse is de thermische ontleding van organische vaste stof onder uitsluiting van reactieve stoffen zoals zuurstof, water of lucht. Hierbij ontstaan een gasfase (inclusief waterdamp), een oliefase en kool als eindprodukten. Pyrolyse wordt onder andere voor de verwerking van afvalstoffen toegepast. De techniek is ook voor droge pluimveemest onderzocht.

Pyrolyse is in principe toepasbaar op mest met een hoog drogestofgehalte. Dit betekent dat drijfmest vooraf vergaand moet worden ontwaterd en gedroogd. De droge koek kan daarna worden gepyrolyseerd. De afzet van de koolfractie, waarvoor aanvankelijk aan een hoogwaardige toepassing als carbon black in de autobanden-industrie werd gedacht, is niet haalbaar. Er bestaan thans plannen voor de bouw van een pyrolysefabriek op basis van slachtkuikenmest in Zutphen. Als eindprodukten worden actieve kool en brandbaar gas verkregen. Met behulp van dit gas kan stroom worden opgewekt.

De haalbaarheid van het proces moet nog worden bewezen. Een bezwaar van pyrolyse is dat er ongedefinieerde afbraakprodukten kunnen ontstaan. Daarnaast bestaat onzekerheid over de kwaliteit van de geproduceerde kool als gevolg van de mogelijke aanwezigheid van ongewenste mineralen.

3.4.10 Vergassing

Thermische ontleding met een ondermaat zuurstof, vergassing, is een proces dat ten opzichte van het klassieke verbrandingsproces als voordelen heeft dat de milieuproblematiek beter beheersbaar is en er een hoger energetisch rendement behaald kan worden. De techniek is echter nog niet volledig ontwikkeld. Toepassing van de zogenaamde circulerend wervelbedtechniek biedt de beste vooruitzichten. Verwacht mag worden dat toepassing op droge mest nog een lang ontwikkelingstraject vergt.

3.4.11 Naverbranding

Bij de behandeling van mest op grote schaal ontstaan in het algemeen afgassen met een hoge concentratie aan geurstoffen en ammoniak. Bij de behandeling hiervan spelen thermische technieken een belangrijke rol. Verbranding van de afgassen is mogelijk in een naverbrander dan wel in het ketelhuis. Metingen laten zien dat geurverwijdering in voldoende mate optreedt.

De verwijdering van ammoniak en stikstofoxiden is echter niet (altijd) voldoende. Door complexe reacties tussen ammoniak, gevormde NO_x en organische stof zijn de concentraties weliswaar laag, maar wordt bij de bestaande apparatuur de verwachte toekomstige normstelling, die zeer streng is, niet (altijd) gehaald.

Een mogelijke oplossing is de optimalisatie van de werking van de naverbranders, waardoor de genoemde complexe reacties vollediger verlopen. Daar ook de vorming van N_2O bij voorkeur moet worden onderdrukt, is succes niet bij voorbaat verzekerd. Ook al omdat het hier gaat om afgassen met sterk fluctuerende concentraties. In dat geval zullen na de naverbrander aanvullende maatregelen moeten worden getroffen. Toepassing van denox-katalysatoren als eindzuivering biedt dan goede perspectieven, maar is kostbaar. Naverbranding zal in verband met de aanwezige organische componenten steeds noodzakelijk blijven.

3.4.12 Verglazing

Verglazen vindt plaats bij zeer hoge temperaturen ($>1200^\circ\text{C}$) en heeft als doel het vastleggen van verontreinigingen in een glasachtig- of kristallijn eindproduct. Niet vluchtige verbindingen, waaronder een aantal zware metalen worden in het kristalrooster opgenomen. Aan het eigenlijke verglazingsproces gaan meestal enkele processtappen vooraf, zoals ontwateren, drogen, verkleinen, verbranden of pyrolyseren. Het verbranden/verglazen (smelten) kan eventueel gecombineerd worden uitgevoerd. De wijze van afkoelen is belangrijk voor de vorm van het eindproduct; een snelle afkoeling onder water levert kleine glasachtige slakken, terwijl bij langzame afkoeling aan de lucht grote kristalachtige slakken worden gevormd. Het eindproduct kan een nuttige toepassing krijgen bijvoorbeeld als ophoogmateriaal, voor wegverharding en als grondstof voor de fabricage van betonstenen en tegels. Verglazing van zuiverings-slib vindt reeds op grote schaal toepassing in Japan; in Europa bestaat er wel belangstelling maar vindt de techniek nog weinig of geen toepassing.

Verglazing is duur. De techniek kan misschien met verbranding concurreren als de storkosten voor de verbrandingsas sterk stijgen en het verglaasde product een positieve marktwaarde heeft.

Aangezien de verbrandingsas van dierlijke mest, eventueel na menging met gedroogde mest, waarschijnlijk nog steeds als meststof kan worden afgezet, ligt het niet in de verwachting dat verglazing perspectief biedt voor mestverwerking.

4 Andere produkten

In het voorgaande hoofdstuk is de nadruk vooral gelegd op de mogelijke toepassing van alternatieve technieken bij mestverwerking. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de mogelijkheid om andere produkten uit mest te produceren dan organische mestkorrels. Om twee redenen zou dit interessant kunnen zijn. Bij de productie van hoogwaardige produkten uit mest kan mestverwerking mogelijk goedkoper worden. Daarnaast kunnen de produkten aan het meststoffencircuit worden onttrokken. Andere produkten uit mest kunnen mogelijk op de binnenlandse markt worden verhandeld en hoeven derhalve noodzakelijkerwijs niet te worden geëxporteerd tegen waarschijnlijk lage opbrengstprijzen.

In de literatuur [31] is een globale schatting gemaakt van de waarde die varkensdrijfmest als grondstof vertegenwoordigt. De gegevens zijn gebaseerd op prijzen die gelden voor de grootschalige inkoop van genoemde produkten. De prijsindicaties zijn vermeld in tabel 3.

Tabel 3 Indicaties van prijzen voor een aantal componenten uit mest in technisch zuivere vorm (geen technische kostprijzen)

Component	Kostprijs in f/kg
organische stof	0,10
azijnzuur	1
ammoniak	0,75
eiwit	1
vet	1
fosfaat	1 als P_2O_5
kalium	0,50 als K_2O
kalk	0,20 als CaO
steroiden	200

Bron [31]

Op basis van de mestsamenstelling kan hieruit de waarde van de bestanddelen in mest (zonder steroiden) op 66 gulden per ton mest (drogestofgehalte circa 10%) worden berekend.

In de volgende paragraaf zullen de diverse stoffen of stofgroepen in het kort worden besproken.

Mineralen

De mineralen worden nu zoveel mogelijk geconcentreerd in één eindprodukt te weten organische mestkorrels. Winning van de afzonderlijke mineralen uit mest is volgens informatie van de mestverwerkers niet interessant omdat ze in combinatie als meststof een vergelijkbare opbrengstprijzen kunnen geven. Als zou blijken dat de organische mestkorrel slecht vermarktbaar is, kan worden overwogen scheiding van mineralen toe te passen. Voorwaarde is dan uiteraard dat voor de separate produkten wel goede

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

afzetmogelijkheden aanwezig zijn. Vergaande scheiding van P en K is evenwel kosten-technisch niet aantrekkelijk. Voor N zijn er procestechnisch gezien wel mogelijkheden. Uit vroegere marktverkenningen is bekend dat ook de afzet van een ammoniumzoutoplossing en een ammoniakoplossing als meststof moeilijk is. Wellicht is het mogelijk dat ammoniakwater kan worden gebruikt voor de verwijdering van NO_x uit rookgassen van energiecentrales (DeNox-installaties). Dit moet echter worden nagegaan.

De bruikbaarheid van fosfaat uit mestas als P-meststof of als veevoederadditief is onderzocht en bleek tegen te vallen. Als fosfaatgrondstof is het produkt ook niet geschikt vanwege een te laag P_2O_5 -gehalte.

Mogelijk dat kalium in de vorm van een schone oplossing, eventueel aangevuld met andere elementen in de substraatteelt kan worden toegepast. De eerste signalen over het gebruik van deeltjesvrije mestvloeistoffen in de substraatteelt zijn echter weinig hoopgevend. De gehalten aan natrium en chloride zijn te hoog in verhouding tot de waardebepalende bestanddelen K en N.

Chloride is een schadelijke component in gedroogde mest. Er is geen techniek beschikbaar die chloride selectief uit mest kan verwijderen. Wel kan er gebruik worden gemaakt van locaties waar lozing van zouthoudend effluent is toegestaan.

Eiwitten

De rechtstreekse winning van eiwit uit mest is waarschijnlijk niet kansrijk, omdat de hoeveelheid winbaar eiwit van goede kwaliteit in mest beperkt is. Bovendien is de prijs van eiwit laag; soja eiwit kost f 0,50 per kg. Gesteld dat aan bruikbaar eiwit maximaal 15 kg per m^3 mest kan worden gewonnen dan vertegenwoordigt dit een waarde van f 7,50. Naar aminozuur gerekend kan een gunstiger prijs voor de stikstof worden gemaakt.

Behalve als veevoedercomponent kunnen eiwitten, die door middel van elektroforese uit mest zijn af te scheiden, als substraat voor microbiologische omzettingen worden gebruikt. Met behulp van enzymen of bacteriën kunnen hieruit aminozuren worden gevormd. Biotechnologisch onderzoek op eiwitten uit mest heeft nog niet plaatsgevonden.

Een ernstig bezwaar is dat de produktie van veevoedergrondstoffen uit mest aan zeer strenge toelatingseisen van de EG moet voldoen. Dit is de reden dat een aantal mestverwerkingsinitiatieven richting veevoer inmiddels is gesneuveld.

Vetten

De in mest voorkomende vetten zijn van een slechte kwaliteit. Ze bevatten een hoog percentage polymeren (ordegrootte 15%) en zijn daardoor voor hergebruik in veevoeder ongeschikt. Bovendien wordt er voor diervoeding veel afval- en destructiefet (bijvoorbeeld frituurvet) aangeboden. Waarschijnlijk kan het mestvet het beste als brandstof worden ingezet. Dit vormt de bodemprijs waartegen mogelijke alternatieven kunnen worden afgezet. Rekening moet worden gehouden met kosten voor gasreiniging. In dit verband is van belang of het mestvet in het kader van vergunningen als brandstof dan wel als afvalstof wordt beschouwd. In vergelijking met biogas kan worden opgemerkt dat mestvet eenvoudiger is op te slaan, maar dat biogas het voordeel heeft dat het schoner verbrandt. De energie-inhoud per m^3 mest is van biogas en mestvet nagenoeg gelijk.

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

Het gebruik van mestvet als substraat voor microbiologische synthese van chemicaliën is alleen zinvol als vaststaat dat de prijs van het vet kan concurreren met andere substraten (bijvoorbeeld melasse) en het aantal negatieve aspecten beperkt blijft. Er zijn reeds plannen ingediend, maar niet gehonoreerd, om de valorisatie van mestvet langs microbiologische weg te onderzoeken. Gedacht werd onder andere aan de productie van bioplastics met mestvet als substraat. Overigens moet in dit verband worden opgemerkt dat alleen het mestverwerkingsproces van MeMon mestvet oplevert. Door middel van extractie wordt dit vet uit mest gewonnen.

Koolhydraten

Afgezien van de praktische uitvoerbaarheid wordt het verwijderen van koolhydraten uit mest niet zinvol geacht. Het is van belang dat de koolhydraten in het voer door het dier (enzymatisch) worden gesplitst, waardoor ze beter worden benut. Op dat aspect moet de aandacht zich richten en niet op een aparte behandeling bij mestverwerking.

Aminozuren

Productie van aminozuren uit mest, via ammoniumstikstof en organische stof, is een optie die in principe mogelijkheden biedt. Het proces wordt momenteel ontwikkeld. De opbrengstprijis van aminozuren is voor mestverwerking aantrekkelijk. Belangrijke voorwaarden zijn dat het geproduceerde aminozuur een hoge mate van zuiverheid bezit en dat het op de vrije markt kan concurreren met aminozuren die thans worden aangeboden. Op dit moment richt de aandacht zich op het produceren van lysine uit mest. Na de productie van lysine moet worden 'gekeken' naar andere productieorganismen die duurdere aminozuren zoals tryptofaan, treonine en methionine uit mestvloeistoffen kunnen maken. In verband met het beperken van de stikstofuitstoot door maatregelen aan de veevoederkant, ontstaat er in de toekomst waarschijnlijk een grotere markt voor essentiële aminozuren.

Aminozuren kunnen goedkoper uit zuivere grondstoffen (bijvoorbeeld ammoniak en een C-bron zoals melasse) worden geproduceerd dan uit afvalstoffen. De fabrikant van aminozuren maakt echter ook kosten voor mineralentoevoegingen en milieuvoorzieningen (bijvoorbeeld waterzuivering). Mogelijk dat de bereiding van aminozuren uit mest qua synergie in dit opzicht enkele voordelen biedt.

Vetzuren

Vluchtige vetzuren in mest, te weten azijnzuur, propionzuur, boterzuur en valeriaanzuur, kunnen onder anaërobe omstandigheden worden vergist tot methaan en kool dioxide (biogas) of voor een groot deel worden gebruikt als koolstofbron (substraat) voor biotechnologische processen. Daarnaast is het waarschijnlijk mogelijk om vetzuren door middel van extractie met organische oplosmiddelen, al of niet met behulp van membranen (pertractie) of via membraanscheiding (pervaporatie) uit mest (bijvoorbeeld mestcondensaat) te winnen. Als andere mogelijkheden worden genoemd de productie van zure amides uit vetzuren en ammoniak en de bereiding van een emulgator door koppeling van eiwitten en vetzuren.

Uit een rapport van het ATO-DLO [28] blijkt dat de extractie van lange-keten vetzuren mogelijk interessant kan zijn. Daarnaast kan worden gedacht aan de winning van lagere vetzuren uit natte oxidatie vloeistoffen.

Cellulose

Cellulose, lignine en andere celwandpolymeren zijn slecht toegankelijk als substraat voor fermentatieve processen. Enzymatische hydrolyse van de macromoleculaire verbindingen met cellulases, hemi-cellulases en pectinases kan wellicht een beter fer-

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

menteerbare koolstofbron opleveren voor fermentatie produkten als ethanol, aceetaldehyde etc. of als vervanger van melasse als aanvullende koolstofbron bij de aminozuurbereiding. Overigens is het gebruik van commercieel verkrijgbare enzymen duur, zodat moet worden getracht de benodigde enzymen door geschikte micro-organismen te laten maken.

Fijnchemicaliën

De technische en economische haalbaarheid van het isoleren van zeer specifieke produkten uit mest in zuivere vorm, zoals galzuren, bilirubine, haemine, geur- en smaakstoffen en de door ATO-DLO in haar rapport genoemde steroïden wordt betwijfeld. Tegenover de aantrekkelijke prijzen die voor deze produkten genoemd worden, moet worden bedacht dat hier zeer hoge zuiveringskosten tegenover staan. Bovendien is de markt voor dergelijke produkten over het algemeen klein.

Uit het voorgaande is duidelijk dat de mogelijkheid tot het maken van hoogwaardige produkten uit mest beperkt zijn. De afweging moet worden gemaakt of het beoogde produkt niet veel goedkoper uit schone grondstoffen kan worden gemaakt. Daarnaast moet het belang voor de mestverwerking duidelijk kunnen worden aangetoond.

Actieve kool

Het produceren van actieve kool uit braadkuikenmest staat op dit moment in de belangstelling. Belangrijke aspecten in dit verband zijn:

- de zuiverheid van de kool, met name ten aanzien van mineralen,
- de adsorptie-eigenschappen (bijvoorbeeld specifieke oppervlak),
- de regeneratie-aspecten. Ook hierbij spelen de mineralen een belangrijke rol.

Afgezien van de kosten zijn deze factoren in hoge mate bepalend voor de afzetmogelijkheden in concurrentie met andere actieve-kool soorten.

5 Evaluatie van de meest kansrijke technieken

In hoofdstuk 3 is een overzicht gegeven van technieken respectievelijk deelprocessen die in het kader van tweede-generatie mestverwerking eventueel in aanmerking komen. De status van de technieken en de toepasbaarheid op mest zijn duidelijk verschillend. De technieken moeten derhalve worden 'gewogen' en onderling worden vergeleken om tot een selectie van de meest kansrijke te komen. Voor deze selectie is gebruik gemaakt van een multicriteria-analyse. De methode en het resultaat van de analyse, tien potentieel kansrijke technieken, zijn in dit hoofdstuk beschreven.

5.1 Multicriteria-analyse

Multicriteria-analyse is een methode c.q. hulpmiddel om een subjectieve beoordeling van een aantal alternatieven expliciet te maken. De alternatieven, in dit geval de eerder besproken technieken (29 in totaal), worden eerst beoordeeld op een aantal afzonderlijke criteria en vervolgens met elkaar vergeleken door de criteria tegen elkaar af te wegen met behulp van weegfactoren. In het algemeen zijn de criteria de eindpunten van een afwegingsstructuur (hiërarchie), die tot stand komt door vanuit een globaal niveau stapsgewijs te detailleren naar een niveau van 'meetbare' (kwantitatieve of kwalitatieve) grootheden. Voor ieder criterium wordt een schaal gedefinieerd. Het beoordelen ('scoren') van de alternatieven komt dan neer op het vaststellen van de posities ('scores') van de alternatieven op de criteriumschalen. Met behulp van de eerder genoemde weegfactoren wordt de eindscore per alternatief bepaald. Dit is een gewogen gemiddelde van de getransformeerde criteriumscores. Uit de eindscores van de alternatieven volgt tenslotte de rangorde van de alternatieven. In het algemeen is het verstandig om de gevoeligheid van deze rangorde na te gaan, bijvoorbeeld door het introduceren van verschuivingen in de toegepaste weegfactoren.

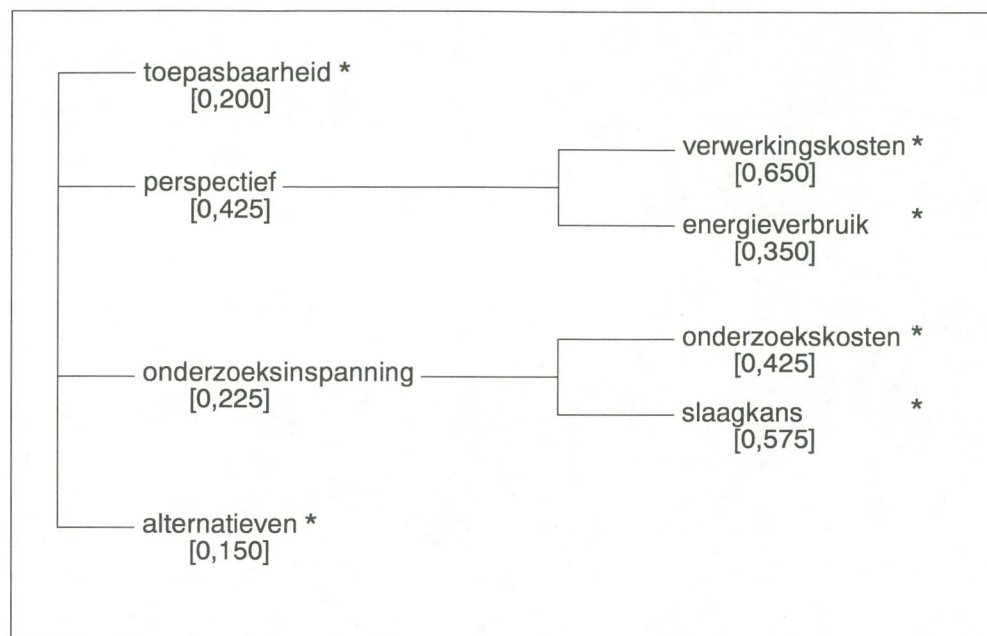
In het voorgaande is er sprake van criteria waarop wordt beoordeeld. In het onderhavige geval, waarbij uit 29 technieken moet worden geselecteerd, zijn de volgende criteria gekozen:

- toepasbaarheid. Onder de toepasbaarheid wordt in dit verband verstaan of er veel processen zijn waarbij de beschouwde techniek kan worden ingezet. Zo is biogasproductie bijvoorbeeld breed inzetbaar.
- perspectief. Hierbij is een uitsplitsing gemaakt naar de eindcriteria verwerkingskosten en energieverbruik,
- onderzoeksinspanning met als eindcriteria onderzoekskosten en slaagkans,
- alternatieven.

Met alternatieven wordt bedoeld of er andere technieken (deelprocessen) zijn die dezelfde functie kunnen uitvoeren. Voor de verwijdering van stikstof bestaan er bijvoorbeeld meerdere mogelijkheden.

Op grond van de keuze van deze zes eindcriteria ziet de hiërarchie waarover in de aanhef is gesproken er schematisch als volgt uit:

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling



Figuur 1 Criterium hiërarchie. (De tussen [] geplaatste getallen hebben betrekking op de weegfactor)

In de figuur is met een asterisk (*) aangegeven op welke criteria bij voorkeur door meerdere personen moet worden beoordeeld c.q. gescoord. In dit geval is de score door de vier opstellers van dit rapport uitgevoerd, waarbij de opgegeven getalwaarden zijn gemiddeld.

Toepasbaarheid, perspectief, onderzoeksinspanning en alternatieven vormen de hoofdcriteria bij deze analyse. Omdat er geen concrete, meetbare grootheden (zoals concentraties, operationele kosten in guldens, energieverbruik in kWh etc.) voor de beschouwde alternatieven beschikbaar zijn, is er geen gebruik gemaakt van de invoering van overdrachtsfuncties.

Voor de zes eindcriteria (met * aangeduid in figuur 1) is een glijdende schaal ontworpen met scores van 0 tot en met 100, waarbij een hogere score overeenkomt met een grotere mate van aantrekkelijkheid. De diverse schalen zien er als volgt uit (tabel 4):

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Tabel 4 Toekenning van de scores (schaal 0 tot en met 100)

Criterium	Beschrijving	Score
toepasbaarheid	breed toepasbaar	hoog ¹⁾
	beperkt toepasbaar	laag ²⁾
verwerkingskosten	laag	hoog
	hoog	laag
energieverbruik	laag	hoog
	hoog	laag
onderzoekskosten	laag	hoog
	hoog	laag
slaagkans	groot	hoog
	gering	laag
alternatieven	weinig	hoog
	veel	laag

¹⁾ hoog = maximaal 100

²⁾ laag = minimaal 0

Zoals eerder is vermeld, moeten er aan de diverse criteria weegfactoren worden toegekend. In totaal gaat het hier om acht factoren; zes voor de genoemde eindcriteria en twee voor de hoofdcriteria te weten perspectief en onderzoeksinspanning. De gewichten zijn bepaald als een gemiddelde van vier onafhankelijk van elkaar bepaalde scores. De getalwaarden zijn in figuur 1 tussen vierkante haken vermeld. In tabel 5 is het uiteindelijke resultaat van de bepaling van de weegfactoren weergegeven:

Tabel 5 Weegfactoren

Attribuut	Gekozen gewicht ¹⁾	Bijdrage in totaal in procenten
Totaal	1,00	100,00
Toepasbaarheid	0,20	20,00
Perspectief	0,43	42,50
Verwerkingskosten	0,65	27,63
Energieverbruik	0,35	14,88
Onderzoeksinspanning	0,23	22,50
Onderzoekskosten	0,43	9,56
Slaagkans	0,58	12,94
Alternatieven	0,15	15,00

¹⁾ gemiddelde van vier scores

Met behulp van deze weegfactoren en de gemiddelde scores van de eindcriteria kunnen de 29 technieken nu getalsmatig worden beoordeeld. Hiertoe worden de gemiddelde scores in een spreadsheet rekenprogramma ingevoerd, waarna voor iedere techniek de eindscore wordt berekend. Op grond van deze berekende scores vindt er vervolgens een sortering (ranking) plaats.

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

De gemiddelde scores en het plaatscijfer na ranking van de berekende eindscores zijn in tabel 6 vermeld. In deze tabel zijn de technieken gerubriceerd op basis van het meest aansprekende aspect van de techniek te weten energie, kostenbesparing, nieuwe producten en emissiebeperking.

Tabel 6 Score en uitkomst van de multicriteria-analyse

Nr	Techniek	Toe- pas- baar- heid	Ver- werk. kos- ten	Ener- gie- ver- bruik	Slaag- kans	Onder- zoek- kos- ten	Alter- na- tie- ven	Plaatscijfer op basis van eindscore
Energie								
1	subcritische oxidatie	60	23	68	80	55	55	4
2	supercritische oxidatie	63	24	65	25	10	68	15
3	chemische oxidatie	30	23	16	13	64	29	26
4	biogasproductie	70	25	78	70	64	53	1
5	compostering	50	38	68	70	48	38	8
6	pervaporatie	16	28	35	28	30	25	27
7	stoomdroging	74	50	53	59	70	29	3
8	kristallisatie indamping	55	25	45	48	58	25	18
9	verbranding	63	28	83	69	50	59	2
Kostenbesparing								
10	geïmmobiliseerde micro-organismen	75	40	20	45	39	33	14
11	enzymatische behandeling	60	33	63	31	48	43	12
12	Anamox	40	50	48	36	41	35	16
13	membraanfiltratie	63	45	68	44	65	29	5
14	vriesconcentrering	40	15	29	35	50	28	25
Nieuwe producten								
15	fermentatie	63	65	23	40	30	48	9
16	algenkweek	10	38	43	23	48	48	24
17	transmembraanchemosorptie	41	55	70	53	43	43	6
18	pertractie	10	28	35	28	30	25	29
19	elektrodialyse	34	38	51	49	51	40	17
20	elektroforese	34	38	33	39	51	40	20
21	extractie	45	50	70	46	50	30	10
22	precipitatie (M.A.P.)	31	31	50	54	60	24	19
23	ionenwisseling	26	45	48	50	54	40	13
24	stripping	50	44	45	55	53	30	11
25	pyrolyse (fossilisatie)	24	23	73	28	34	30	23
26	verglazing	21	15	20	55	30	24	28
27	vergassing	24	23	73	39	31	30	21
Emissiebeperking								
28	gasscheiding	34	33	33	45	38	25	22
29	naverbranding	80	33	30	70	35	90	7

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

De berekende eindscores liggen tussen 55,635 (hoogste waarde voor nr. 1 biogasproductie) en 25,183 (laagste waarde voor nr. 29 pertractie). Hieruit volgt dat de onderlinge verschillen gering zijn.

De tien hoogst geplaatste technieken met hun scores zijn vermeld in tabel 7.

Tabel 7 Rangvolgorde van de tien hoogst scorende technieken

Rangvolgorde	Techniek	Score
1	Biogasproductie	55,635
2	Verbranding	55,239
3	Stoomdroging	55,173
4	Subcritische oxydatie	52,328
5	Membraanfiltratie	51,404
6	Transmembraanchemosorptie	51,225
7	Naverbranding	50,859
8	Compostering	49,959
9	Fermentatie	49,221
10	Extractie ^{*)}	48,458

^{*)} Organische verbindingen (onder andere vetten en vetzuren)

Het verschil in waardering tussen nr. 10 extractie en nr. 11 stripping bedraagt 3 eenheden.

Een verdere evaluatie van de meest kansrijke technieken vindt in de volgende paragraaf plaats.

Van de overige, hier niet weergegeven technieken, is een korte karakteristiek opgenomen in tabel 8.

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*Tabel 8 Korte karakteristiek van de niet-geselecteerde, 'nieuwe'¹⁾ technieken

Techniek	Toepassing	Ontwikkeling	Opmerking
stripping	NH ₃ -verwijderen	beperkt	onzeker
enzym. behandeling	substraat maken	beperkt	duur
ionenwisseling	opwerking	beperkt	specifiek
geïmmob. organismen	nitrificatie	erg lang	kwetsbaar
superkr. oxidatie	org.stof afbraak	erg lang	interessant
Anamox	denitrificatie	lang	interessant
clotrodialyse	opwerking	beperkt	specifiek
kristal. indampen	indampen	beperkt	onzeker
precipitatie M.A.P.	N&P-verwijdering	beperkt	duur
elektroforese	eiwitscheiding	beperkt	niet zinvol
vergassing	energieproductie	lang	duur
gasscheiding	biogas zuivering	lang	niet nodig
algenkweek	N&P-verwijdering	beperkt	niet zinvol
vriesconcentrering	ontzouten	beperkt	duur
chemische oxidatie	org.stof afbraak	beperkt	niet zinvol
pervaporatie	verw.vluchtig.st	lang	niet zinvol
verglazing	immobilisatie	beperkt	niet zinvol
pertractie	extractie	lang	onzeker

¹⁾ nieuw in de betekenis van niet eerder of in beperkte mate toegepast op mest

5.2 Nadere beschouwing van de meest kansrijke technieken

In tabel 7 zijn tien technieken geselecteerd die als meest kansrijk zijn beoordeeld voor toepassing bij tweede-generatie mestverwerkingsprocessen. Deze technieken worden hieronder kort omschreven, waarbij de sterke en zwakke kanten aan de orde komen, alsmede het voor verdere ontwikkeling noodzakelijke onderzoek.

5.2.1 Biogasproductie

Er is al veel aandacht besteed aan de vergisting van mest. Het proces is voor toepassing bij temperaturen van 30 tot 40 °C voldoende ontwikkeld. De noodzakelijke verblijftijd is in dit temperatuurtraject echter groot en daardoor het noodzakelijke reactorvolume (kosten).

Tot de kansrijk ingeschatte ontwikkelingen behoren:

- thermofiele vergisting (bij circa 60 °C) na ammoniakverwijdering;
- een UASB-reactor na afscheiding van de vaste stof en ammoniakverwijdering in combinatie met separate vergisting van de vaste stof;
- ontsluiting van de organische stof waardoor deze biologisch kan worden omgezet. Onderzoek naar de verwijdering van ammoniak is noodzakelijk en belangrijk om kleinere reactorvolumina mogelijk te maken. Ontsluiting van de organische stof door bijvoorbeeld een behandeling van de mest bij verhoogde temperatuur en druk is van

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

belang om een hogere biogasopbrengst te kunnen realiseren en kan ook belangrijk zijn om andere biotechnologische processen te optimaliseren.

Vermindering van ongecontroleerde methaanemissie uit mest kan wellicht in de toekomst een nieuwe impuls geven aan deze, uit het oogpunt van duurzaamheid aantrekkelijke optie.

Het benodigde onderzoek is toegepast van aard en dient op laboratorium- en op pilot-plant schaal plaats te vinden.

5.2.2 Verbranding

In het verleden is onderzoek verricht aan de verbranding van varkensdrijfmest. De belangstelling nu gaat vooral uit naar de verbranding van drogere mestsoorten als pluimveemest die op de boerderij met een drogestofgehalte van 50% en hoger kan worden geproduceerd.

De vrijkomende warmte kan worden gebruikt voor het drogen van pluimveemest dan wel voor het opwekken van elektriciteit. Dit laatste gebeurt al op praktijkschaal in Engeland.

Onderzoek hiernaar moet op pilot plant schaal of in de praktijk gebeuren. Het dient zich in eerste instantie te richten op de milieuproblematiek (emissies in de gasfase) en de kwaliteit van de as (toepasbaarheid van fosfaat voor bemestings- of industriële doeleinden). Daarna is studie vereist naar de verschillende mogelijkheden voor toepassing van de energie.

5.2.3 Stoomdroging

Het betreft hier het drogen met oververhitte stoom in plaats van lucht, hetgeen energetisch voordelen biedt. De afgasstroom is geringer van omvang en beter te reinigen onder andere door toepassing van partiële condensatie.

Voorafgaand aan onderzoek is een haalbaarheidsstudie gewenst waarin de potentiële voor- en nadelen (energieverbruik, behandeling drooggassen, behandeling condensaat, kosten etc.) nader worden gekwantificeerd. Het benodigde onderzoek kan vervolgens op pilot-plant schaal bij een bepaalde proefinstallatie plaatsvinden, waarbij tevens de reiniging van de spuistoom moet worden onderzocht.

5.2.4 Subcritische oxidatie

Hierbij wordt de organische stof gedeeltelijk geoxideerd bij verhoogde temperatuur en druk. Dit leidt tot een verbetering van de vast/vloeistofscheiding na de behandeling. Er vormen zich tevens intermediairen die geschikt kunnen zijn als uitgangsmateriaal voor biologische processen (vergisting, fermentatie).

Er wordt momenteel al onderzoek verricht naar subcritische oxidatie van mest door Scarabee.

Mogelijke aanvullingen zijn onderzoek in autoclaven en op pilot- of praktijkschaal gericht op de bovengenoemde voordelen.

5.2.5 Membraanscheiding

Aan toepassing van omgekeerde osmose is al veel onderzoek verricht. Voordelen van dit type processen zijn in het algemeen het lage energieverbruik, onderdrukking van schuimvorming, de goede scheidingsgraad en in principe de zuiverheid van het produkt.

De ontwikkeling van nieuwe membranen met andere scheidingseigenschappen biedt perspectieven voor nieuwe toepassingen. Een variant waarnaar reeds een vooronderzoek is verricht, is transmembraanchemosorptie (TMCS, 5.2.6) waarbij ammoniak door een membraan diffundeert en door zuur wordt geabsorbeerd.

Andere nieuwe varianten betreffen in het algemeen meer specifieke membranen als in het verleden reeds zijn onderzocht en zijn gericht op afscheiding van andere componenten via membraan-extractie en -verdampingsprocessen.

Voor de mestverwerking interessante ontwikkelingen liggen vooral op het terrein van nieuwe en goedkopere membranen voor micro-, nano- en ultrafiltratietechnieken. Dit zijn overigens geen ontzoutingstechnieken.

Het verdient aanbeveling naar de haalbaarheid van deze nieuwe mogelijkheden gericht op toepassing in de mestverwerking nadere studie te verrichten.

Deze technieken kunnen vooral toepassing vinden bij de zogenaamde downstream-processing van fermentatievloeistoffen om door fermentatie gevormde verbindingen uit de mest af te scheiden.

Opschaling van deze nieuwe membraantechnieken kan daarna een lang ontwikkelingstraject vragen. Elektrodialyse, dat al op grote schaal buiten de mestverwerking wordt toegepast, vormt hierop een uitzondering.

5.2.6 Transmembraanchemosorptie

Bij dit proces diffundeert ammoniak uit de mest door een membraan naar een zuur. Voordelen boven andere processen om ammoniak te winnen zijn het geringe energieverbruik, de zuiverheid van de ammoniak en de afwezigheid van schuimvorming.

Het proces is op kleine schaal onderzocht. Uit een haalbaarheidsstudie is gebleken dat het proces financieel met het stripproces kan concurreren.

Benodigd onderzoek betreft de opschaling naar een praktisch toepasbaar proces.

5.2.7 Naverbranding

Bij de behandeling van mest op grote schaal ontstaan in het algemeen afgassen met een hoge concentratie aan geurstoffen en ammoniak. Bij de behandeling hiervan spelen thermische technieken een belangrijke rol. Verbranding van de afgassen is mogelijk in een naverbrander dan wel in het ketelhuis. Metingen laten zien dat

geurverwijdering in voldoende mate optreedt.

De verwijdering van ammoniak en stikstofoxiden is echter niet (altijd) voldoende.

Een mogelijke oplossing is de optimalisatie van de werking van de naverbrander, waardoor de genoemde complexe reacties vollediger verlopen. Daar ook de vorming van N_2O bij voorkeur moet worden onderdrukt, is succes niet bij voorbaat verzekerd. In dat geval zullen na de naverbrander aanvullende maatregelen moeten worden getroffen. Toepassing van denox-katalysatoren als eindzuivering biedt daarvoor perspectieven.

Experimenteel onderzoek in laboratoriumsituaties en in de praktijk zal opheldering moeten verschaffen over de zuiveringsgraad en de stabiliteit van de oplossing(en).

5.2.8 Compostering

Compostering van braadkuikenmest vindt momenteel al plaats in de proefinstallatie van Ferm-O-Feed. Onderzoek naar toepassing op de koek van varkensdrijfmest vindt plaats aan de LUW. Compostering resulteert in een droger, stabiel product dat beter handelbaar is dan de oorspronkelijke mest, maar in het algemeen verder zal moeten worden gedroogd.

Het product is bruikbaar als meststof en mogelijk als veevoergrondstof. Voor de laatste toepassing mogelijk wordt is in verband met EG-regels een zeer uitgebreid onderzoek vereist.

Onderzoek voor de toekomst zal gericht moeten zijn op andere mestsoorten en het doden van kiemen en zaden. Dit onderzoek kan op proefinstallatieschaal plaatsvinden.

5.2.9 Fermentatie

Fermentatie van mest(vloeistof) heeft tot doel om uit de laagwaardige componenten in de mest een product met een hoge toegevoegde waarde te maken. In deze processen kunnen twee belangrijke elementen worden onderscheiden, de biologische omzetting zelf en daarna de winning van het product uit de mestvloeistof en de zuivering daarvan ofwel de downstream-processing.

Wil een dergelijk proces kunnen concurreren met een vergelijkbaar proces op basis van zuivere, maar toch goedkope grondstoffen als ammoniak en organische stof, dan dient er sprake te zijn van synergie tussen mestverwerking en fermentatie.

Een fermentatieproces waaraan momenteel veel onderzoek wordt verricht, betreft de productie van lysine. In principe kunnen ook andere aminozuren, citroenzuur, ethanol en acetaldehyde worden geproduceerd.

Benodigd onderzoek betreft de verkenning van deze andere produktiemogelijkheden, betere technieken voor de downstream-processing, de winning van het product en onderzoek naar het omzetten van de organische stof in mest naar biologisch afbreekbare componenten. Voor dit laatste zijn conversieprocessen bij verhoogde temperatuur en druk waarschijnlijk interessant, waaronder subcritische oxidatie en zure hydrolyse.

Het genoemde onderzoek zal in het algemeen op labschaal moeten starten, waarna opschaling dient plaats te vinden.

5.2.10 Extractie

Extractieprocessen zijn in het algemeen waarschijnlijk weinig perspectiefvol bij toepassing op mest(vloeistof) door de te heterogene samenstelling. Uitzonderingen zijn de winning van mestvet en de winning van vetzuren.

Bij onderzoek aan het Carver-Greenfield proces is gebleken dat in de gebruikte draagerolie vet oplost. Deze olie kan worden afgedampt, waarna mestvet achterblijft dat waarschijnlijk alleen als brandstof geschikt is. Het is dan vergelijkbaar met zware olie. De hoeveelheid mestvet vertegenwoordigt een energie die van vergelijkbare orde van grootte is als die van het winbare biogas, zodat een nadere bestudering van de extractie van mestvet door olie als zelfstandige processtap zinvol lijkt. Voordelen van mestvet als energiedrager boven biogas zijn de goedkopere opslag en de hogere energie-inhoud per eenheid energiedrager.

Winning van lagere vetzuren als azijnzuur biedt perspectief als wordt uitgegaan van condensaatstromen van indampers. Een (subcritische) oxidatie voorafgaand aan het indampen kan resulteren in een verhoging van de azijnzuuropbrengst.

Benodigd onderzoek omvat een start met experimenten op kleine schaal en een haalbaarheidsstudie naar deze processtap, waarna de verdere opschaling eventueel kan plaatsvinden.

6 **Additionele ontwikkelingen**

In de voorafgaande hoofdstukken is aandacht besteed aan de meestbelovende nieuwe technieken en ontwikkelingen van bestaande procestrappen. De wijze waarop in fabrieken van de tweede-generatie mest zal worden verwerkt, wordt echter niet alleen bepaald door het beschikbaar komen van nieuwe processen, maar ook door een aantal andere factoren. Er is getracht de belangrijkste factoren te identificeren en de verwachte effecten op de technologie van de mestverwerking aan te geven. Hieronder worden diverse ontwikkelingen genoemd. Sommige hiervan werken kostenbesparend, bijvoorbeeld beperking van het energieverbruik, terwijl andere aspecten daarentegen kostenverhogend zullen werken. Te denken valt daarbij aan produktverfijningen of verbeterde emissiebestrijding. Het is niet zeker dat de besparingen tegen de extra kosten opwegen. Het is derhalve evenmin voor de hand liggend dat de kosten van mestverwerking binnen een aantal jaren een duidelijke daling zullen vertonen.

Energie en kosten

Het verbruik van energie is een belangrijke kostenpost bij de mestverwerking. Veel aandacht zal derhalve worden gericht op reductie van het energieverbruik. De druk om tot besparing te komen wordt nog vergroot door het streven van de overheid om de uitstoot van kooldioxyde uit fossiele brandstof te verminderen.

Mogelijkheden tot verlaging van het energieverbruik zijn:

- Verbranding. Hierbij moet niet alleen worden gedacht aan het rechtstreeks verbranden van droge pluimveemest, maar ook aan natte oxydatie, aan verbranding van biogas uit mest, aan compostering (microbiële verbranding) en aan verbranding of vergisting van organische stof die via extractie is gewonnen.
- Optimalisatie van de thans gebruikte processen. Optimalisatie zal voornamelijk plaatsvinden door een betere koppeling van indampers en drogers gericht op de terugwinning van de verdampingswarmte van water en de introductie van efficiëntere drogers (onder andere stoomdroging).
- Aanvoer van drogere mest. Per kg eindprodukt behoeft dan minder water te worden getransporteerd en verdampt. Op pluimveebedrijven wordt steeds drogere mest geproduceerd door gebruik te maken van de warmte-inhoud van ventilatielucht. Gehaltes van 70-80% droge stof zijn mogelijk. Ook bij het mesten van varkens is er een trend naar hogere drogestofgehaltes. Op de mogelijkheden hiertoe wordt verderop in dit hoofdstuk nader ingegaan. Een globale verkenning van de invloed van het drogestofgehalte op de verwerkingskosten laat zien dat op dit punt aanzienlijke op kostenbesparingen mogelijk zijn.

In dit verband zou het wenselijk zijn dat van de bestaande processen een goede en eenduidige modelbeschrijving beschikbaar komt, zodat de consequenties van veranderingen, procesaanpassingen en introducties van andere stappen kunnen worden doorgerekend.

Emissies

De eisen die aan de emissie van gassen naar de atmosfeer en aan de samenstelling van het geloosde effluent worden gesteld zijn thans reeds buitengewoon streng vergeleken met die in andere landen. Thans kan niet in alle gevallen aan deze eisen worden voldaan. Verbetering van deze ongewenste situatie moet worden gevonden in:

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

- voortdurende verbetering van de bestaande reinigingstechnieken,
- naverbranding van gassen, al of niet met behulp van katalysatoren die zowel het rendement verbeteren als ook lagere temperaturen mogelijk maken,
- vermindering van afgasstromen.

Produkten

Met uitzondering van een tweetal verwerkingsprocessen, die ontwikkeld worden voor de bereiding van lysine en actieve kool, zijn alle thans beschikbare procesroutes gericht op de bereiding van meststoffen.

Verwacht mag worden dat de markt een breed scala van korrelvormen zal wensen, afhankelijk van het gebruik van de eindprodukten. Thans vindt nog uitsluitend agglomeratie in de vorm van pelletisering plaats. Er zal aandacht moeten worden besteed aan het vergroten van het assortiment in vorm en afmetingen van de korrels (groot, klein, pellets, granules). Belangrijk hierbij zijn hardheid, slijtvastheid en uniformiteit van de korrel. Verder zijn stofvorming, geur, opslagcondities, watervasthoudend vermogen en snelheid van uiteenvallen in water van belang.

Niet alleen ten aanzien van korrelvormen, maar ook wat betreft de samenstelling van de droge mest zullen afnemers met wensen komen. Verwacht mag worden dat de lijst van stoffen die bij de vormgeving kunnen worden toegevoegd (thans uitsluitend N, P, K) wordt uitgebreid. Hierbij wordt ook gedacht aan het bijmengen van organische stof.

Het assortiment meststoffen kan nog worden vergroot door de ruwe mest in een aantal losse componenten te scheiden, respectievelijk in stromen die rijk zijn aan N, P en K. Hierdoor nemen de afzetmogelijkheden toe; hierbij behoort ook de levering van basisgrondstoffen aan de kunstmestindustrie. Een voorbeeld van mogelijke toepassing van dierlijke mest, waaruit een bepaalde component is verwijderd, is de wijnbouw, waar voornamelijk behoefte is aan N-arme meststoffen. Ammoniak is betrekkelijk eenvoudig als een ammoniumzout te winnen. Bij de mechanische scheiding van mest ontstaan een dunne en een dikke fractie. De dikke fractie is rijk aan fosfaat; de dunne aan kalium. Onbekend is nog in hoeverre gebruik van dergelijke stromen als basisgrondstof in de kunstmestsector een reële optie is. Bij vergaande eisen aan de zuiverheid van de aangeboden N-, P- of K-rijke stroom kunnen de opwerkingskosten weleens beperkend zijn.

De werking van de diverse componenten in de mest zal beter bekend moeten zijn. Hierbij kan sprake zijn van tegengestelde eisen ten aanzien van de snelheid waarmee N en P beschikbaar komt voor de plant.

Het is nog onvoldoende duidelijk in welke marktsegmenten (gewas-grond-klimaat) de produkten van de thans bekende procescombinaties (zoals Promest, MeMon, Scarabee, Ferm-O-Feed, Vefinex) maximaal tot waarde kunnen worden gebracht. Hierdoor is ook de waarde van bepaalde componenten niet goed in te schatten. Dit maakt het moeilijk om goede berekeningen te maken inzake de netto-kosten van verbranding, waarbij immers organische stof en stikstof verdwijnen. Ook is het niet duidelijk of en zo ja, wanneer het de moeite loont om de oplosbaarheid (beschikbaarheid) van fosfaat te vergroten. Wanneer tengevolge van de introductie van mestprodukten hierover meer informatie beschikbaar komt, zal mogelijk aanpassing van bepaalde produktieprocessen plaats moeten vinden.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Het gehalte aan de zware metalen Cu en Zn is in dierlijke mest en derhalve ook in verwerkte mest aan de hoge kant, zeker in vergelijking met de niveaus die in ons land voor slib en compost gelden [32]. Het is niet onmogelijk dat in ons land en ook in andere landen eisen aan verwerkte mest zullen worden gesteld waaraan deze producten in hun huidige samenstelling niet kunnen voldoen. Een oplossing moet in eerste instantie worden gezocht in een verdere verlaging van de toegevoegde koper- en zinkzouten. Indien een grotere reductie van de concentraties van deze elementen of van andere metalen gewenst is, moet worden gedacht aan de inzet van metaalarme grondstoffen in het voer. Verwijderingsmethoden voor zware metalen uit mest zijn thans niet in zicht.

Het is niet onmogelijk dat op den duur strengere eisen zullen worden gesteld ten aanzien van de afwezigheid van ziektekiemen en onkruidzaden dan thans in de een onlangs vastgestelde richtlijn van de EG (zogenaamde 'Bezemregeling') zijn geformuleerd. Dit kan worden opgevangen door de warmtebehandeling die thans bij het drogen reeds plaatsvindt te intensiveren richting sterilisatie. Vergaande kiemdoding kan ook van belang zijn om sluiting van de grens in verband met besmettingsgevaar te voorkomen. Naar verwachting zullen de verwerkende bedrijven in de toekomst ook meer aandacht moeten besteden aan de preventie van de verspreiding van dierziekten via transportauto's voor ruwe mest.

De maximale hoeveelheden N en P die door middel van dierlijke mest op landbouwgrond mogen worden gebracht, worden de komende jaren verlaagd. Te verwachten valt dat de veevoerfabrikanten zullen streven naar een vermindering van de uitscheiding van N en P via het veevoer. De gehalten aan N en P in de eindprodukten van mestverwerkende bedrijven gaan hierdoor omlaag. Beperking van de emissie van ammoniak uit stallen en opslagen leidt daarentegen tot een verhoging van de N-concentratie in mest en mestprodukten. Het netto-effect is voor stikstof moeilijk voorspelbaar. Ten aanzien van de P is het duidelijk dat verlaging in het veevoer leidt tot een lager P-gehalte in het eindprodukt. Verlagingen zullen moeten worden opgevangen door het toevoegen van nutriënten om aan garanties ten aanzien van minimumgehalten aan voedingsstoffen te voldoen.

Gedroogde mest heeft een duidelijke geur, afhankelijk van de diersoort en het gevolgde proces. Het is niet onmogelijk dat de geur van een aantal produkten tot problemen bij opslag, transport en verkoop aanleiding zal geven. Anderzijds biedt de aanwezigheid van specifieke geur in sommige gevallen de mogelijkheid om in te spelen op het natuurlijke karakter van de mestprodukten. Hoe eventueel de geur van een eindprodukt kan worden verminderd dient nog te worden bestudeerd. Te denken valt aan biologische oxydatie, zoals compostering en behandeling door middel van actief-slib, aan maskering en aan inkapseling.

Een aantal ontwikkelingen leidt ertoe dat de produkten nog uitsluitend verpakt, dus niet in bulk, mogen worden afgeleverd. Deze zijn:

- de brandbaarheid van droge mest. Dit geldt in bijzondere mate voor nitraathoudende produkten. De aanwezigheid van stof moet zoveel mogelijk worden onderdrukt,
- de kans dat bij onzorgvuldige opslag vocht bij het produkt komt en daardoor broei ontstaat,
- de kans dat tijdens opslag, transport en distributie onzorgvuldig met het produkt wordt omgesprongen, met als resultaat een daling van de kwaliteit,

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

- de veelvuldig in gezondheidscertificaten en in de hiervoor genoemde bezemregeling gestelde eis dat herbesmetting met ziektekiemen moet worden voorkomen door zorgvuldige opslag en verpakking,
- voorkómen van overlast door geuremissie.

Overige aspecten

De beheersing van het productieproces krijgt steeds meer aandacht onder druk van toenemende kwaliteitseisen (certificering) en milieuvoorwaarden (milieuzorgsystemen). Twee aspecten zijn daarbij van bijzonder belang:

- er is behoefte aan verbetering van meet- en analysemethodieken en uitbreiding van de mogelijkheden van monitoring en het gebruik van sensoren,
- sommige grote pluimveebedrijven verwerken de droge mest in eigen beheer tot een pellet en bieden deze opgezakt aan. Op deze wijze kunnen echter niet steeds voldoende garanties worden gegeven over de kwaliteit van het produkt ten aanzien van vochtgehalte, samenstelling en de afwezigheid van ziektekiemen. Naar verwachting zullen toenemende kwaliteitseisen er toe leiden dat de afwerking van het op de boerderij voorgedroogde produkt uitsluitend centraal plaatsvindt.

Door diverse instanties en bedrijven wordt gewerkt aan de ontwikkeling van mestbehandelingssystemen op boerderijniveau. Het doel hiervan is in het algemeen zowel de emissie van ammoniak te verminderen als ook het vochtgehalte van de mest te verlagen. Om het laatstgenoemde doel te bereiken kan onder andere gebruik gemaakt worden van de volgende mogelijkheden:

- het verdampen van water door middel van ventilatielucht in combinatie met de door de dieren afgegeven warmte,
- scheiding tussen urine en feces met concentrering van urine door middel van omgekeerde osmose. Dit leidt wel tot aparte produktstromen.

Wat betreft de mestverwerking kan dit tot belangrijke besparingen op de transport- en verwerkingskosten leiden, zoals in het begin van dit hoofdstuk al is aangegeven. Indien de mest door de voorbehandeling pasteus is geworden zijn er problemen te verwachten ten aanzien van de hanteerbaarheid. Bij varkensmest ligt deze grens bij ongeveer 18-20% ds. Bij een te geconcentreerde mest kan er bij toepassing van biogasinstallaties remming door ammoniak optreden. De fabrieken zullen hun opslag en verwerkingssystemen op deze punten moeten aanpassen. Er dient te worden nagegaan of het netto-resultaat financieel gunstig is voor de varkenshouder.

Wat betreft de beheersing van het ontwijken van ammoniak bij verwerking lijken er ook mogelijkheden te zijn bij samenwerking tussen mesterij en fabriek. Het is misschien mogelijk om bij varkensmesterijen de feces en urine zo snel uit het hok te verwijderen zodat er nog geen afbraak van ureum heeft plaatsgevonden. Vervolgens zou het enzyme urease onwerkzaam gemaakt moeten worden door verhitting. Een belangrijke vraag is hierbij of niet alsnog ammoniak vrijkomt bij het drogen op het verwerkende bedrijf. Indien geen ammoniak vrijkomt lijkt de positie van het MeMon-proces, waarbij aanzuren dan niet meer nodig is, te verbeteren ten opzichte van de andere thans bekende processen. Wellicht komt dan ook een droogproces, zoals Vefinex dat toepast, voor varkensmest in aanmerking.

Een andere mogelijkheid is om het aanzuren op de boerderij te laten plaatsvinden indien dit bedrijf zijn mest aan een fabriek levert die aanzuurt om de ammoniak te binden. Dit kan in principe zowel met een mineraal zuur als middels microbiële verzuring (zie 3.2.2). Als mogelijke voordelen van deze synergie kunnen worden gezien:

Tweede-generatie mestverwerking

Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

- een verminderde ammoniakemissie vanuit de boerderij,
- weinig problemen met ongewenste denitrificatie bij gebruik van salpeterzuur voor aanzuring als de mest regelmatig wordt opgehaald,
- geen problemen met schuimvorming bij aanzuren op de fabriek.

Een derde mogelijkheid van synergie tussen een varkensmesterij en een verwerkings-eenheid die volgens het Carver-Greenfield proces (McMon) werkt is het gebruik van dragerolie als afdeklaag op de mestopslag. Hierdoor wordt de emissie van ammoniak gereduceerd. De dragerolie wordt in de fabriek van de mest gescheiden en weer terug geleverd.

De steeds geringere afzetmogelijkheden voor mest kunnen er toe leiden dat ook overschotten aan vloeibare runderdrijfmest dienen te worden verwerkt. Te verwachten is dat de technologie grotendeels gelijk is aan die welke voor de verwerking van varkensmest wordt ingezet. Controle van deze veronderstelling is echter wel geboden.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De studie is uitgevoerd om na te gaan welke mogelijkheden er zijn om de huidige generatie mestverwerking te verbeteren. Verbetering kan in principe op twee manieren worden bereikt en wel door:

- het introduceren van nieuwe of verbeterde technieken, meestal deelprocessen en
- het maken van producten uit mest met een hoge toegevoegde waarde en een goede marktpotentie.

Beide invalshoeken, techniek en produkt, zijn geïnventariseerd en geëvalueerd op hun mogelijkheden.

De aandacht is in deze studie in eerste instantie gericht op de verwerking van varkensdrijfmest en pluimveemest. In de toekomst zal mogelijk ook de verwerking van runderdrijfmest aandacht moeten krijgen.

In dit hoofdstuk komen achtereenvolgens aan de orde:

- de belangrijkste conclusies;
- de selectie van perspectievolle technieken;
- mogelijke nieuwe producten uit mest;
- verwachte ontwikkelingen die de mestverwerking zullen beïnvloeden;
- aanbevelingen voor onderzoek ten behoeve van de ontwikkeling van nieuwe technieken en producten en optimalisatie van bestaande processen.

Met betrekking tot de financiële aspecten van de verschillende processen is het van belang op te merken dat de potentiële voor- of nadelen voor de mestverwerking in dit stadium niet zijn te kwantificeren. Op dit moment is daarvoor onvoldoende informatie beschikbaar.

Belangrijkste conclusies

Veel van de processtappen die in deze studie zijn vermeld, sluiten aan bij bestaande routes op het gebied van de mestverwerking. Bestaande mestverwerkingsroutes blijven daarom ook in de toekomst van belang. Vernieuwingen zullen aansluiten op de eerste generatie mestverwerking. Een voorbeeld hiervan is het eventuele inpassen van de productie van lysine in het proces van Promest.

Veel van de besproken processtappen zijn al bekend, zoals compostering en biogaswinning, of staan al in de belangstelling, zoals transmembraanchemosorptie. In de meeste gevallen gaat het hierbij om een verdere verbetering of ontwikkeling op grond van verwachte potenties.

Enkele (op)nieuw naar voren gebrachte elementen zijn de verwerking van pluimveemest door middel van verbranding (productie van energie), de extractie van organische verbindingen uit mest en de ontsluiting van de organische stof in de mest. De perspectieven hiervan zijn nog onzeker.

Extractie van mest kan leiden tot de winning van mestvet of vetzuren. De energie-inhoud van het mestvet kan van dezelfde orde van grootte zijn als die van het nu gewonnen biogas en vindt nu reeds plaats als nevenprodukt bij het verwerkingsproces van MeMon.

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

Ontsluiting van organische stof waardoor deze beter biologisch omzetbaar wordt, biedt mogelijkheden voor een verhoging van de biogasproductie of voor andere biotechnologische processen (koolstofbron).

Een mogelijke nieuwe procesroute kan het proces van natte oxidatie in combinatie met droging zijn dat momenteel bijvoorbeeld door Scarabee Waste Conversion wordt onderzocht voor varkensdrijfmest. De technische en financiële onderbouwing van dit laatste proces is echter confidentieel, zodat de informatie moet worden afgewacht die mogelijk op korte termijn vrijkomt op basis van resultaten uit de proeffabriek.

Voor wat betreft het maken van producten uit mest met een hoge toegevoegde waarde kan op korte termijn (enkele jaren) de productie van **lysine** en wellicht ook andere aminozuren uit varkensdrijfmest van belang worden. Aan de ontwikkeling van dit proces wordt momenteel intensief gewerkt.

De perspectieven voor het maken van andere, hoogwaardige en beter afzetbare producten uit mest zijn beperkt. Winning van mestvet, ammoniakzouten en fosfaat is interessant, maar deze verbindingen zijn niet als hoogwaardig aan te merken.

De techniek

Met behulp van een multicriteria-analyse zijn 29 technieken c.q. deelprocessen voor mestverwerking geëvalueerd. De analyse is uitgevoerd op basis van de volgende aspecten:

- toepasbaarheid,
- perspectief (verwerkingskosten, energieverbruik),
- onderzoek (slaagkans, onderzoekskosten),
- beschikbare alternatieven.

Het resultaat van de evaluatie is samengevat in tabel 9.

Tabel 9 Beoordeling van diverse technieken

Nummer 1 t/m 10	Nummer 11 t/m 20	Nummer 21 t/m 29
Score: hoog	Score: middelmatig	Score: laag
- biogasproductie - verbranding - stoomdroging - subcritische oxidatie - membraanfiltratie - transmembraanchemosorptie - naverbranding - compostering - fermentatie - extractie	- stripping - enzymatische behandeling - ionenwisseling - geïmmobiliseerde micro-organismen - supercritische oxidatie - Anamox - elektrodialyse - kristallisatie indamping - precipitatie (MAP) - elektroforese	- vergassing - gasscheiding - pyrolyse - algenkweek - vriesconcentrerend - chemische oxidatie - pervaporatie - verglazing - pertractie

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Biogasproductie scoort hoog, omdat er potentieel belangrijke verbeteringen mogelijk zijn, die breed toepasbaar zijn en een betrekkelijk geringe onderzoeksinspanning vergen. Het betreft hier het gescheiden vergisten van de dunne en de dikke fractie na scheiding en ammoniakverwijdering.

Met uitzondering van stoomdrogen en extractie zijn de geselecteerde technieken ('top tien') in het verleden voor een belangrijk deel onderzocht (bijvoorbeeld biogasproductie, subcritische oxidatie) of staan thans al in de belangstelling (bijvoorbeeld transmembraanchemosorptie, fermentatie).

In veel gevallen gaat het derhalve om een verdere ontwikkeling c.q. verbetering op grond van verwachte potenties of andere toepassingen.

Verlaging van het energieverbruik vormt een belangrijk aandachtspunt. Dit kan in principe op drie manieren worden bereikt:

- via aanvoer van drogere mest,
- energiewinning door oxidatie (verbranding),
- optimalisatie van huidige processen.

Voor energiewinning door verbranding zijn er verschillende mogelijkheden: rechtstreeks verbranden van pluimveemest, natte oxidatie en biogaswinning van drijfmest, alsmede composteren (microbiële verbranding) van de drogere mestsoorten. Een andere mogelijkheid is extractie van organische componenten uit mest met aansluitend verbranding of vergisting van het geëxtraheerde materiaal. Deze energiewinning uit mest kan een bijdrage leveren aan het terugdringen van de CO₂-uitstoot door het gebruik van fossiele brandstoffen.

Optimalisatie van het energieverbruik bij de huidige mestverwerking kan tot stand komen door een betere afstemming van droger en indamper gericht op de terugwinning van de verdampingswarmte. Daarnaast kan worden gedacht aan het introduceren van efficiëntere drogers. In dit verband kan stoomdroging mogelijk een interessante optie zijn.

Een ander belangrijk aandachtspunt is **de beperking van emissies** met name naar de atmosfeer. Hierbij gaat het vooral om vermindering van geur en verzurende componenten, zoals NH₃ en NO_x, alsmede de reductie van N₂O in het kader van het broeikaseffect. Bij verbranding is er mogelijk ook sprake van dioxinen. Voor de verdergaande emissiebeperking komt naverbranden, al dan niet katalytisch in aanmerking. Voor de verwijdering van NO_x uit de afgassen (zogenaamd DeNox) kan mogelijk ammoniak uit mest worden gebruikt. Wellicht is dit bij kolencentrales ook te bereiken door mest toe te voegen.

Een betere ontsluiting van organisch materiaal ten behoeve van de winning van biogas, het maken van een grondstof voor fermentatieprocessen (bijvoorbeeld lysine), of de afbraak van colloïden ter verbetering van de mechanische scheiding van mest kan nuttig zijn. Hiervoor kan worden gedacht aan thermische, enzymatische of microbiologische behandeling (bijvoorbeeld de pensreactor).

Membraanfiltratie hoeft zich niet uitsluitend te beperken tot omgekeerde osmose. Micro-, nano-, en ultrafiltratie kunnen interessant zijn, vooral als het gaat om het opwerken en zuiveren van bijvoorbeeld aminozuren uit fermentatievloeistof. In dit geval kunnen ook processen als elektrolyse, ionenwisseling en elektroforese eventueel gecombineerd met membraanscheiding belangrijk worden.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Het produkt

Met betrekking tot mogelijke produkten uit mest zijn de volgende produkten bestudeerd:

- mineralen
- eiwitten
- vetten
- koolhydraten
- aminozuren
- vetzuren
- cellulose
- fijnchemicaliën
- actieve kool

Mineralen worden zoveel mogelijk in één eindprodukt geconcentreerd. De hoofdlijn blijft de produktie van een organische mengmeststof (N, P, K, Ca, Mg, organische stof). Een scheiding van de mest in een N-, P, en K-rijke fractie is technisch mogelijk, waarschijnlijk tegen acceptabele kosten als er geen hoge eisen gesteld worden aan de zuiverheid van deze fracties. Dit kan leiden tot meststoffen met een specifieke samenstelling, bijvoorbeeld arm in stikstof. Onbekend is of deze fracties voor de kunstmestsector interessant zijn.

Verbrandingsas uit mest bevat fosfaat, maar er dient nog onderzoek te worden verricht naar de bruikbaarheid als fosfaatgrondstof, fosfaadmeststof en als veevoederadditief.

Rechtstreekse winning van eiwitten en andere veevoedercomponenten (bijvoorbeeld biomassa) uit mest wordt ernstig bemoeilijkt door de zeer strenge toelatingseisen die de EG aan een dergelijke toepassing stelt. Het produceren van eiwitten, vetten en koolhydraten is mede daardoor niet interessant.

Mestvetwinning met aansluitend het gebruik daarvan als energiebron kan mogelijk een interessante optie worden.

Gezien de hoge prijs van essentiële aminozuren kan de produktie daarvan interessant zijn. De technische en economische haalbaarheid wordt op dit moment onderzocht. Naast aminozuur, dat een hoge mate van zuiverheid moet hebben, zal er altijd een mineraal mestprodukt (mogelijk zelfs meerdere produkten) worden gemaakt.

Het isoleren van zeer specifieke verbindingen (bijvoorbeeld steroïden, geur- en smaakstoffen) uit mest in een zuivere vorm is zeer twijfelachtig. Tegenover aantrekkelijke prijzen staan zeer hoge zuiveringskosten, waardoor dergelijke produkten waarschijnlijk beter uit schonere grondstoffen gewonnen kunnen worden. Bovendien is de markt voor dergelijke produkten doorgaans klein.

Het fabriceren van een goede kwaliteit actieve kool uit pluimveemest door pyrolyse is nog onvoldoende bewezen.

Resumerend kan gesteld worden dat er op dit moment geen processen beschikbaar zijn die hoogwaardige produkten uit mest kunnen opleveren. De winning van essentiële aminozuren kan de eerste uitzondering op deze regel vormen.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

Verwachte ontwikkelingen

Onder dit hoofd worden enkele aspecten genoemd die in het kader van de te verwachten ontwikkelingen mogelijk van belang kunnen worden. Een aantal aspecten heeft direct betrekking op het mestverwerkingsproces, terwijl andere betrekking hebben op het mestprodukt in verband met de afzet daarvan.

In verband met de toenemende kwaliteitseisen (certificering, ook in Europees verband) en de strenge emissie-eisen zal de beheersing van het productieproces steeds meer aandacht moeten krijgen. Hierdoor zal de behoefte aan adequate meetmethodieken toenemen.

Het verwerkingsproces zal in staat moeten zijn om mest met hoge drogestofgehalten te kunnen verwerken. Door maatregelen op de boerderij zal het drogestofgehalte van varkensdrijfmest en pluimveemest verder stijgen. Deze ontwikkeling kan leiden tot lagere transport- en verwerkingskosten. Verzuring of aanzuring van mest op de boerderij kan voordelen hebben bij de centrale verwerking.

Mogelijk dat er in de toekomst een betere preventie tegen de verspreiding van dierziekten moet plaatsvinden. Voor het proces zou dit het inbouwen van een sterilisatiestap kunnen betekenen.

Doordat de afzetmogelijkheden van rundermest bij aanscherping van de bemestingsnormen afnemen, zal van deze mestsoort op termijn waarschijnlijk een niet-plaatsbaar overschot ontstaan. Dit heeft tot gevolg dat ook runderdrijfmest moet worden verwerkt. Verwacht wordt dat de technologie in grote lijnen overeen zal komen met de technologie die voor de verwerking van varkensdrijfmest wordt toegepast.

Enkele aspecten die specifiek op het produkt van toepassing zijn, zijn hieronder kort samengevat:

- vermindering van de geur van het eindprodukt,
- verbreding van het produktspectrum naar vorm (pellets, granules), samenstelling (verrijking met N, P, K, organische stof), beschikbaarheid en voorspelbaarheid van de plantenvoedingsstoffen,
- verlaging van het gehalte aan zware metalen.

Deze aspecten kunnen aanleiding zijn c.q. worden voor nieuwe onderzoeksvragen.

7.2 Aanbevelingen

Op grond van het voorgaande kunnen voor de diverse aandachtsgebieden enkele aanbevelingen worden gedaan:

De resultaten naar de haalbaarheid van de productie van aminozuren moeten worden afgewacht. Extra onderzoek is alleen verantwoord als het perspectief voor de mestverwerking duidelijk is vastgesteld.

Verbranding van pluimveemest of andere ontwaterde of gedroogde mestsoorten wordt in het kader van energieproductie van belang geacht. Belangrijke onderzoeks-

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

aspecten zijn de rookgasreiniging en de asbenutting en de mogelijkheid van gecombineerde verbranding met andere brandstoffen (kolen) of afval.

De verwijdering van ammoniak uit mest door middel van transmembraanchemosorptie dient in vergelijking met het reeds lopende onderzoek naar de zure dampwassing van ammoniak te worden onderzocht. Dit houdt een voortzetting van reeds uitgevoerd onderzoek in. De ontwikkelingstijd is beperkt (maximaal enkele jaren).

De ontsluiting van de organische stof om deze beschikbaar te maken voor microbiële omzetting door vergisting of andere fermentaties dient op zijn technische en economische haalbaarheid te worden onderzocht. Hierbij moet worden gedacht aan bijvoorbeeld ontsluiting door natte oxidatie of andere processen bij verhoogde temperatuur en druk.

Vernieuwend onderzoek naar een verbeterde biogasopbrengst uit het vergistingsproces is zinvol uit een oogpunt van energiebesparing. Gedacht kan daarbij worden aan een gescheiden vergisting van dunne en dikke varkensmestfractie, al dan niet in combinatie met hogere temperaturen, ammoniakverwijdering en ontsluiting van de organische stof.

De haalbaarheid van extractie van (voorbehandelde) mest moet door middel van verkennende laboratoriumexperimenten worden nagegaan. Onderzocht moet worden welke stoffen door extractie uit mest kunnen worden verwijderd en welke toepassing er vervolgens voor de extracten bestaan. Het onderzoek moet in eerste instantie een beperkte omvang krijgen.

In het kader van de verdergaande emissiebestrijding moet het onderwerp naverbranding meer aandacht krijgen. De nadruk dient hierbij vooral op de verwijdering van stikstof (NH_3 en NO_x) te liggen. Verbranding met en zonder katalysator dient te worden onderzocht.

In verband met besparing van energie bij het indampen en drogen lijkt het drogen met oververhitte stoom (stoomdrogen) interessant. Door het uitvoeren van enkele proeven op pilot-schaal kan de potentie van deze wijze van droging voor mestverwerking worden vastgesteld. Hieraan voorafgaand moet het perspectief verder worden verkend.

In verband met systemen voor milieuzorg en kwaliteitsborging kan de ontwikkeling van goede meetmethoden (monitoring, toepassing van sensoren) belangrijk worden. Hieraan dient in een vroeg stadium aandacht te worden besteed.

Bij compostering dient te worden nagegaan hoe groot de kiemdodende eigenschappen van dit proces zijn en wat de kosten zijn in vergelijking met droging.

Het is wenselijk dat van de bestaande verwerkingsroutes goede modelmatige beschrijvingen beschikbaar komen, zodat de consequenties van procesaanpassingen of van het introduceren van nieuwe processtappen kunnen worden doorgerekend.

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

In verband met de mogelijkheid dat in de toekomst ook runderdrijfmest fabrieksmatig moet worden verwerkt is een verkennende, inventariserende studie van de mogelijkheden gewenst. Aangevuld met ondersteunende experimenten moet worden vastgesteld op welke onderdelen deze mestsoort zich afwijkend gedraagt van varkensdrijfmest.

Indien er vanuit de markt nieuwe produkteisen worden gesteld, zal het onderzoek hierop adequaat moeten inspelen. Op dit moment is niet duidelijk welke onderzoeksbehoefte er op dit punt bestaat. Het reeds in gang gezette onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden zal verder moeten worden uitgebouwd.

8 Referenties

- [1] Feenstra L., F. Voorneburg Van, J.A. Zeevalkink
Mestverwerking, stand van zaken medio 1992
Deelrapport behorend bij 'De mestoverschottenproblematiek in 1995 en 2000'
TNO-rapport ref.nr. 92-202, augustus 1992
- [2] Strategie mestverwerking
Tweede Kamer, vergaderjaar 1987-1988, 20398, nrs. 1-2
- [3] Feenstra L., F. Voorneburg Van
Mestscheiding bij centrale mestverwerking, basisdocument
ICM, september 1992, ISBN 90-800913-4-0
- [4] Crumm C.J., K.A. Plueneke
Development of an efficient biomass drying process and its commercial use for energy recovery.
In: Energy from biomass and wastes VIII, Proc. Symp. Inst. of Gas Technology, Orlando, USA, 1984
- [5] Henckens M., J. Oomen, Chr. Trentelman
Mestvernietiging. Ja? Nee? Hoe?
Technische Hogeschool Eindhoven, december 1971
- [6] Rulkens W.H., e.a.
Feasibility study of wet oxidation processes for treatment of six selected waste streams
TNO-rapport ref.nr. 88-398, June 1989
- [7] Bukkems F.H.J.
Werkwijze voor het verwerken van een mengsel van organisch materiaal, anorganisch materiaal en water tot een nagenoeg droge stof, alsmede inrichting voor het uitvoeren van de werkwijze en toepassing daarvan bij het verwerken van vloeibare mest
Patent aanvraag Nr. 8701651, 14 juli 1987
- [8] Modell M., et al.
Gasification Process
US Patent 4,113,446, Sep. 12, 1978
- [9] Geurden J.M.G., H.H.B. Vonken
Superkritische behandeling van varkensdrijfmest: een tweede-generatie technologie
Pt-procestechniek 43 (1988), nr. 4, 35-37
- [10] Gacesa, P., J. Hubble
The enzymatic treatment of waste materials.
In: Martin, A.M. (ed.). Bioconversion of waste materials to industrial products. Elsevier Applied Science, Londen, p. 39-61, 1991.

*Tweede-generatie mestverwerking**Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling*

- [11] De Wit, W.
Utilization of cellulose and hemicellulose of pig faeces by *Trichoderma viride*.
Dissertatie LUW, 1980
- [12] Bisaria, V.S.
Bioprocessing of Agro-residues to Glucose and Chemicals.
In: Martin, A.M. (ed.). Bioconversion of waste materials to industrial products. Elsevier Applied Science, Londen, p. 187-224, 1991
- [13] Lee, B.H.
Bioconversion of Starch Wastes.
In: Martin, A.M. (ed.). Bioconversion of waste materials to industrial products. Elsevier Applied Science, Londen, p. 265-292, 1991
- [14] Chahal, D.S.
Lignocellulosic Wastes: Biological Conversion.
In: Martin, A.M. (ed.). Bioconversion of waste materials to industrial products. Elsevier Applied Science, Londen, p. 373-400, 1991
- [15] Lie, E., G. Molin
Conversion of low grade fats by biological means.
In: Martin, A.M. (ed.). Bioconversion of waste materials to industrial products. Elsevier Applied Science, Londen, p. 401-416, 1991
- [16] Fallowfield, H.J.M., M.K. Garrett
The treatment of wastes by algal culture.
Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement, 187S-205S, 1985
- [17] Fallowfield, H.J., M.K. Garrett
The photosynthetic treatment of piggery slurry in temperate climatic conditions: a pilot plant study.
Agricultural Wastes 12, 111-136, 1985
- [18] Groeneweg, J.
Behandlung von Abwasser aus Massentierhaltungen in Algengraben.
Wissenschaft und Umwelt 4, 165-170, 1980
- [19] Pauw, N. de, H. Verlet, L. de Leenkeer
Heated and unheated outdoor cultures of marine algae with animal manures.
In: Algae biomass (Shelef, G. en C.J. Soeder (Eds)). Elsevier/ North Holland, Biomedical Press, London, 1980
- [20] Svoboda, I.F., H.J. Fallowfield
An anaerobic piggery slurry treatment system with integrated heat recovery and high-rate algal ponds.
Wat. Sc. Tech. 21, 277-289, 1989
- [21] Wilson, M., J.A. Houghton
Continuous cultivation of *Chlorella Emersonii* on pig manure.
Irish Journal of Agricultural Research 16, 21-33, 1977

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

- [22] Tongeren Van W.G.J.M., P.J.W. Ten Have
Toepassing van omgekeerde osmose bij mestverwerking
Proces Technologie, december 1991, 21-25
- [23] Akkerhuis J.J., R. Klaassen, F. Voorneburg Van
Verwijdering van ammoniak uit mestvloeistoffen door middel van
transmembraanchemisorptie (TMCS)
TNO-rapport ref.nr. 91-219, juni 1991
- [24] Kemenade Van A.W.C., e.a.
Project mestverwerking (electroforese); onderzoek eerste fase
Stichting Afval en Milieu Mestrecycling BV, Vessem, maart 1989
- [25] Ellig, D.L., J.B. Althouse, F.P. Mc Candless
Concentration of methane from mixtures with carbondioxide by permeation
through polymeric films.
Journal of Membrane Science, 6 (1980) 259-263
- [26] Anonymus
Goed(koop) produkt via vriesconcentratie
I²Procestechologie 6-91, 66-70
- [27] Arkenbout G.J.
Vriesconcentreren van varkensdrijfmest
Intern TNO-rapport 84/03562/4303-10068/GA/IH december 1984
- [28] Smits A.A.M, T.C. Rijk De, H.J. Huizing
Interimrapportage van de eerste fase van een onderzoekprogramma gericht op
de opwerking en valorisatie van mest
Rapport ATO-DLO 192
- [29] Lehmkuhl J.
Verfahren für die Ammonium-Elimination
Wasser, Luft und Boden, Nummer 11-12, 46-48, 1990
- [30] Lehmkuhl J.
Neue Aspekte der chemischen Phosphat- und Ammoniumfällung mit
anschließender Rezyklierung
AWT-Abwassertechnik, Nummer 1, 19-22, 1992
- [31] Zeevalkink J.A.
Tweede-generatie mestverwerking
ICM-rapport 1: Symposium Mestverwerking, 1992
- [32] Besluit Overige Organische Meststoffen (BOOM)

Tweede-generatie mestverwerking
Verkenning van de mogelijkheden voor technologische ontwikkeling

9 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA)
Postbus 59
6700 AB Wageningen

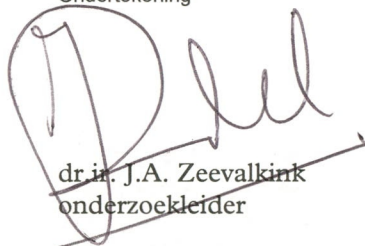
Namen en functies van de medewerkers

ing. F. van Voorneburg	IMET-TNO
ir. P.J.W. ten Have	IMAG-DLO
dr.ir. J.A. Zeevalkink	IMET-TNO
prof.dr.ir. W.H. Rulkens	LUW

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

Ondertekening



dr.ir. J.A. Zeevalkink
onderzoekleider

Goedgekeurd door



dr.ir. J.A. Don
hoofd afdeling Milieutechnologie

Bijlage 1 Overzicht van de interviews

Oxidatietechnieken

- bespreking met P.H.A.M.J. de Bekker van VerTech Treatment Systems op 28 november 1991
- bespreking met B.P. Evans ABB Lummus Crest en P.V. du Saillant van L'AIR LIQUIDE op 9 juni 1991
- bespreking met J.M.L. Penninger van AKZO op 30 mei 1991
- bespreking met J.W. Assink en J. Joziase van TNO op 10 april 1991

Biologische en biotechnologische technieken

- bespreking met G. Lettinga en G. Zeeman van de LUW op 24 april 1991
- bespreking met A. Mulder van TNO-IMW op 9 april 1991 en 26 januari 1992
- bespreking met H.J. Doddema van TNO-IMW op 12 april 1991
- bespreking met J. Tramper van de LUW, vakgroep Levensmiddelentechnologie, sectie Proceskunde op 24 september 1992

Membraantechnieken

- bespreking met B. Ph. ter Meulen en J.H.H. Hanemaaijer van TNO-IMET op 27 mei 1991
- bespreking met J.P.P. Tholen (Tholen Ingenieursburo Membraantechnologie) en J.H.H. Hanemaaijer van TNO op 3 juli 1991
- bespreking met D. Schmal van TNO-IMW op 22 januari 1991

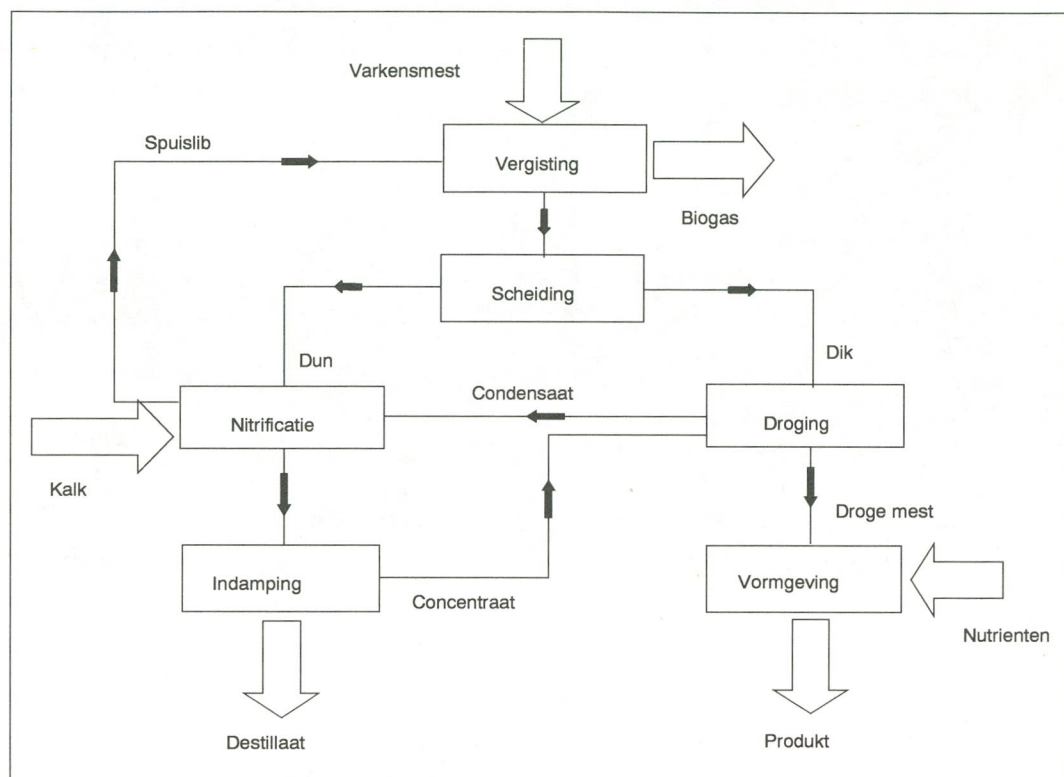
Overige technieken

- bespreking met P.J.A.M. Kerkhof en W.J. Coumans van TU-Eindhoven op 21 mei 1991
- bespreking met L.M. Landman van Grenco Process Technology op 8 augustus 1991
- bespreking met J.H.O. Hazewinkel van Milieu Adviesbureau Infoplan op 17 mei 1991
- bespreking met W.P.M. Van Swaay van TU-Twente op 21 januari 1992

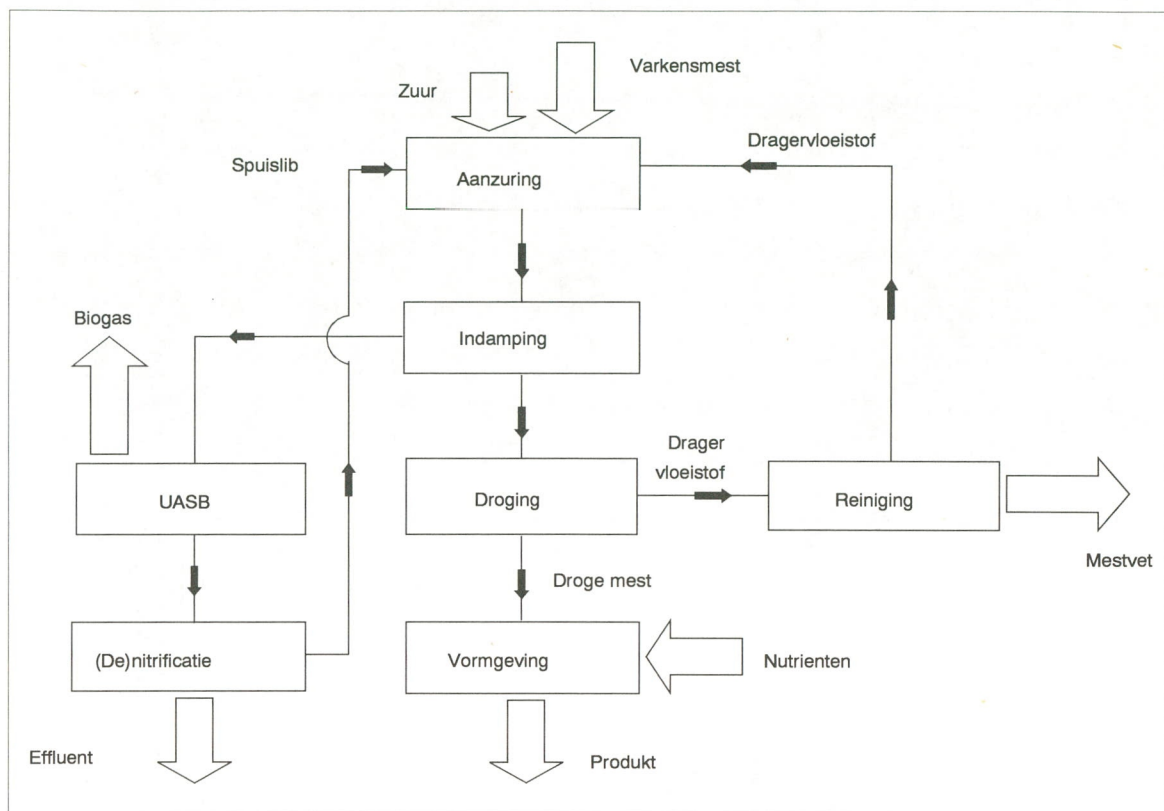
Produkten

- bespreking met E.A. van Os van het IMAG op 11 april 1991
- bespreking met G. van den Bosch van het CCL op 21 juni 1991

Bijlage 2 Processchema Promest



Bijlage 3 Processchema MeMon



Bijlage 5 Processchema Ferm-O-Feed

