

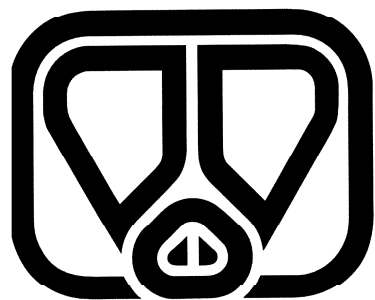
ing. J.P.B.F. van Gastel
ir. J.G.M. Thelosen¹

1) Informatie en Kennis Centrum,
afdeling Varkenshouderij

Vermindering van het volume van zeugenmest door middel van omgekeerde osmose

*Reduction of the volume of
sow slurry with reverse
osmosis*

Praktijkonderzoek Varkenshouderij



Locatie:
Varkensproefbedrijf
"Zuid- en West-Nederland"
Vlaamseweg 17
6029 PK Sterksel
Tel: 04907 - 62376

Proefverslag nummer P 1.129
mei 1995
ISSN 0922-8586

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	4
	SUMMARY	5
1	INLEIDING	6
2	MATERIALEN EN METHODEN	8
2.1	Inleiding in de membraanfiltratie	8
2'1.1	Het principe van omgekeerde osmose	9
2'1.2	Voorbehandeling	9
2'1.3	Enkele begrippen	10
2.2	Procesvoering	11
2.3	Onderzoek	13
2'3.1	Membraankwaliteit	14
2'3.2	Waarnemingen tijdens de batchexperimenten	14
2'3.3	Analyses vloeistofstromen	15
2'3.4	Reinigingsfrequentie	15
3	RESULTATEN	16
3.1	Bezinkproces	16
3.2	Het omgekeerde-osmoseproces	16
3'2.1	Technisch functioneren	16
3'2.2	Membraankwaliteit	16
3'2.3	Druk	18
3'2.4	Temperatuur	18
3'2.5	Zuurgraad	20
3'2.6	Concentratiefactor	21
3'2.7	Langsroomsnelheid	22
3'2.8	Drogestofgehalte	22
3'2.9	Batchvolume	24
3.3	Prestaties van de installatie	24
3.4	Samenstelling van concentraat en permeaat	26
3.5	Energieverbruik	26
3.6	Bedrijfservaringen	26
4	ECONOMISCHE ASPECTEN	28
4.1	Uitgangspunten	28
4.2	Investeringskosten	29
4.3	Jaarkosten	29
4.4	Gevoeligheidsanalyse	30
4.5	Schaalgrootte	30
4.6	Mate van concentreren	31
4.7	Besparingen	31
5	DISCUSSIE	33
5.1	Membraankwaliteit	33
5.2	Procesfactoren	33
5.3	Reductie van het mestvolume	33
5.4	Economisch perspectief	34
5.5	Afzet permeaat	34
5.6	Andere ontwikkelingen	36

6	CONCLUSIES	37
	LITERATUUR	38
	BIJLAGEN	39
	REEDS EERDER VERSCHENEN PROEFVERSLAGEN	48

SAMENVATTING

Dunne mestsoorten vormen een probleem, met name in regio's met mestoverschotten. Verwerking en transport van dunne mestsoorten is relatief duur en de acceptatiegraad van akkerbouwers voor deze mestsoorten ligt over het algemeen laag. Het Praktijkonderzoek Varkenshouderij onderzocht gedurende anderhalf jaar de mogelijkheden voor ontwatering van bezonken zeugenmest door middel van omgekeerde osmose op het Varkensproefbedrijf Zuid- en West-Nederland te Sterksel. Bij omgekeerde osmose wordt water uit de mest onttrokken door gebruik te maken van een membraan (een zeer fijn filter). Het doel van het onderzoek was vast te stellen of het concentreren van zeugenmest door middel van bezinken en omgekeerde osmose op boerderijschaal technisch mogelijk is en in hoeverre het mestvolume van een gegeven bedrijfsgrootte zou kunnen worden gereduceerd. Met behulp van de vastgestelde resultaten is vervolgens de economische haalbaarheid voor verschillende bedrijfsgrootten berekend.

Er zijn 42 experimenten uitgevoerd, waarbij bezonken zeugenmest met een drogestofgehalte van gemiddeld 1,7% onder verschillende proefomstandigheden is ontwaterd. Hierbij is gebruik gemaakt van een omgekeerde-osmose-installatie met buisvormige membranen met een gezamenlijk membraanoppervlak van 7,8 m². Charges (hoeveelheden) van gemiddeld 15 m³ dunne fractie van bezonken zeugenmest zijn ontwaterd. Onderzocht zijn onder meer het effect van druk, temperatuur, zuurgraad, stroomsnelheid langs de membranen en concentratiegraad op de haalbare capaciteit van de beschikbare omgekeerde-osmose-installatie.

Gebleken is dat het concentreren van bezonken zeugenmest technisch mogelijk

is, mits de te ontwateren mestvloeistof is ontdaan van zand en andere niet opgeloste bestanddelen. De afscheiding van deze deeltjes door middel van bezinken met polymeer verloopt niet altijd voldoende efficiënt, waardoor sterke slijtage van de membranen kan optreden.

Het water dat uit de mest kan worden onttrokken voldoet, afhankelijk van de procescondities, aan de lozingseisen voor het riool. De mate van concentreren en het al of niet aanzuren bepalen in sterke mate de haalbare effluentkwaliteit. Het permeaat is niet geschikt als drinkwater voor varkens, maar kan wel gebruikt worden voor de reiniging van de stallen. Aanwending van het permeaat op het land is eveneens mogelijk, maar hierbij gelden voorts nog de bepalingen voor waterige fracties zoals deze in de mestwetgeving zijn vastgelegd.

Het toepassen van omgekeerde osmose met bezinken als voorscheiding kost, inclusief de afzetkosten voor permeaat en de ingedikte mest, voor een bedrijfsgrootte van 485 zeugen circa f 25,- per m³ geproduceerde mest. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele besparingen op waterverbruik en mestopslagcapaciteit. Schaalvergroting heeft een positief effect op de jaarkosten per m³ mest. Bij een mestafzetprijs van f 19,50/m³ is omgekeerde osmose, volgens het in dit rapport beschreven concept, slechts voor bedrijven met meer dan 950 zeugen een interessante optie. Onder druk van de stijgende mestafzetprijzen worden steeds geconcentreerdere mestsoorten geproduceerd. Deze tendens verkleint het perspectief voor omgekeerde osmose. Het perspectief van de omgekeerde-osmosetechniek is tevens afhankelijk van de ontwikkelingen van de mestafzetprijzen en concurrerende technieken zoals indampen.

SUMMARY

Slurry of a breeding unit with a low dry matter contents causes a problem in regions with manure surpluses. Treatment and transportation of slurry with a low dry matter contents is relatively expensive and the acceptability for application on arable land is in general low.

The Research Institute for Pig Husbandry has carried out a research project during 1.5 years to define the possibilities for dewatering settled sow slurry with reverse osmosis. The research took place at the experiment pig farm 'Zuid- en West-Nederland', in Sterksel, the Netherlands.

The aim of the project was to determine whether the concentration of sow slurry would be technically and economically applicable on farm scale.

A number of 42 experiments were carried out under different conditions with settled sow slurry of an average dry matter contents of 1.7%. The effect of pressure, temperature, acidity, velocity of the flow and degree of concentration on the capacity of the reverse osmosis process was determined.

It can be concluded that dewatering of sow slurry is possible unless sand and suspended solids are removed from the influent of the reverse osmosis system. An efficient removal of particles can not always be guaranteed if sedimentation is used as pretreatment. Sand particles can cause severe

damage to the membranes.

Whether the permeate of sow slurry complies with the requirements for disposal on the Dutch sewer depends on the processing circumstances. Especially the degree of dewatering and the acidity of the influent are important factors which determine the permeate quality.

The permeate is not suitable as drinking water for pigs, but it can be used as cleaning water. Irrigation of the permeate on agricultural land is allowed by the manure legislation, but the permitted quantities need to be reconsidered.

The costs for dewatering sow manure by means of sedimentation and reverse osmosis amount to Dfl. 25.- per m³ manure produced on the farm, disposal of residues included. Savings on the use of cleaning water and decrease of manure storage capacity are not calculated in these costs. Staling-up has a positive effect on the annual costs per m³ manure. At the valid price level for manure disposal reverse osmosis as described in this report can be interesting for breeding units with more than 950 sows.

The perspective of reverse osmosis for dewatering liquid manure depends on the development of prices for manure disposal and competitive techniques like evaporation

1 INLEIDING

Nederland kampt met een groot mestoverschot. Dit mestoverschot is ontstaan als gevolg van de sterke groei van de veestapel in de afgelopen decennia.

De overheid heeft ter bescherming van de bodem en het grondwater regels gesteld aan het produceren en aanwenden van mest.

De aanscherping van de aanwendingsnormen zoals is vastgelegd in de derde fase van de mestwetgeving draagt er toe bij dat de plaatsingsruimte in Nederland afneemt (Anoniem, 1993). Dit heeft er toe geleid dat mest over grotere afstand binnen Nederland wordt gedistribueerd. Verdere aanscherping van de aanwendingsnormen zal er toe leiden dat meer mest verwerkt moet worden en in het buitenland moet worden afgezet. Met name de afzet van 'dunne' mestsoorten, zoals zeugmest, vormt in overschotgebieden een probleem. De transport- en verwerkingskosten zijn relatief hoog en tevens wordt door de beperkte plaatsingsmogelijkheden voor de dunne mest de prijs voor afzet opgedreven. Daarom is gezocht naar methodes om mest in te dikken.

Concentreren van dunne mestsoorten kan op verschillende manieren plaatsvinden. Beperking van de watergift is een voor de hand liggende mogelijkheid om de productie van extreem dunne mestsoorten te voorkomen. Investeringskosten om de watergift te beperken zijn in het algemeen rendabel. De mestproductie per zeug kan met gemiddeld 25% afnemen tot ca. 4 m³ per jaar, waarbij het netto voordeel kan oplopen tot f 30,- per gemiddeld aanwezige zeug (Bens et al., 1993). Mogelijkheden om via waterbeperking het mestvolume te verkleinen en het drogestofgehalte op te voeren zijn in de zeugenhouderij kleiner dan in de vleesvarkenssector.

Het scheiden van mest door bezinken of mechanische behandeling biedt in het kader van het terugbrengen van het mestvolume geen oplossingen, omdat de verkregen dunne fractie nog steeds als mest afgezet dient te worden. Dit betekent overigens niet dat het scheiden van mest niet voordelig zou kunnen zijn. Schellekens (1993)

berekende dat het scheiden van zeugenmest, afhankelijk van de bedrijfssituatie, een voordeel per zeug per jaar van f 27,- tot f 63,- kan opleveren ten opzichte van de situatie waarbij geen mestscheiding plaatsvindt. Dit voordeel ontstaat op grond van de uitrijnormen voor waterige fracties.

Het terugbrengen van het mestvolume is mogelijk door het onttrekken van loosbaar water uit de geproduceerde mest. Het onttrekken van 'water' uit mest is in principe mogelijk door middel van indampen en omgekeerde osmose.

Omgekeerde osmose is een filtratietechniek waarbij zeer fijne filters (membranen) worden gebruikt. Bij de indampstechniek wordt door het toevoeren van warmte, water omgezet in waterdamp. Bij geavanceerde indampstechnieken wordt de benodigde verdampingsenergie voor een deel teruggevoerd uit condensatiewarmte. Deze indampstechniek is op boerderijschaal vooralsnog te duur.

Inmiddels zijn diverse oriënterende onderzoeken naar de toepassingsmogelijkheden van omgekeerde osmose uitgevoerd door MT-TNO en IMAG-DLO (Van Tongeren en Van Veen, 1986; Van Tongeren, 1989; Van Tongeren en Ten Have, 1991). Uit deze onderzoeken bleek dat omgekeerde osmose een geschikte methode is voor het concentreren van dunne zeugenmest nadat deze is voorbehandeld via bezinken, centrifugeren en/of microfiltratie. Aanvullend op het oriënterend onderzoek is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van omgekeerde osmose op boerderijschaal (Van Tongeren en De Kleijn, 1990). Geconcludeerd werd dat toepassing van de omgekeerde-osmosetechniek interessant zou worden wanneer de afzetkosten meer dan f 20,- tot f 25,- per m³ mest zouden gaan bedragen.

De sterk stijgende afzetkosten voor dunne mestsoorten en de perspectiefvolle resultaten van de omgekeerde-osmosetechniek in het oriënterende onderzoek zijn voor het Praktijkonderzoek Varkenshouderij aanlei-

ding geweest de praktische haalbaarheid van het omgekeerde-osmoseproces op boerderijschaal te onderzoeken. Hierbij is gekozen voor bezinken als voorbehandeling voor het omgekeerde-osmoseproces, omdat bezinken een eenvoudig en relatief goedkoop scheidingsproces is (De Kleijn en Voermans, 1991).

Getracht is antwoord te vinden op de volgende onderzoeksvraaen:

- Voldoet het bezinken van zeugenmest als voorbehandeling voor de omgekeerde osmose?
- Is omgekeerde osmose op boerderijschaal technisch en economisch haalbaar?
- Hoever kan het mestvolume worden teruggebracht?
- Wat is de samenstelling van het permeaat en het concentraat en wat zijn de afzetmogelijkheden?

Dit onderzoek heeft kunnen plaatsvinden dankzij de financiële bijdragen van het Financieringsoverleg Mest en Ammoniak (FOMA) en de Stichting Mestproblematiek Zuid van de Federatie van Nederlandse Mengvoederfabrikanten (MPZ-FNM).

Aan dit project hebben meegewerkt:

- Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen;
- Varkensproefbedrijf Zuid- en West-Nederland, Sterksel;
- JOZ Agrotechnische Handelsonderneming, Westwoud;
- PCI Membrane Systems Ltd., Hampshire, Engeland;
- TNO-Milieu-Energietechnologie (TNO-ME), Apeldoorn;
- Raadgevend Bureau Poelma, Wageningen.

2.1.1 Het principe van omgekeerde osmose
Wanneer twee zoutoplossingen met verschillende concentraties gescheiden zijn door een semi-permeabel membraan, ontstaat er transport van water door het membraan. Het water stroomt van de oplossing met de lage zoutconcentratie naar de oplossing met de hoge zoutconcentratie. Dit verschijnsel wordt osmose genoemd. Het concentratieverschil tussen de oplossingen vormt de drijvende kracht voor de diffusie van water door het membraan (zie figuur 2). Dit proces kan plaatsvinden doordat een semi-permeabel membraan water in het algemeen veel beter doorlaat dan opgeloste stoffen.

In het voorbeeld ontstaat door het transport van water een niveauverschil in de benen van de U-buis. Wanneer de hydrostatische druk van de waterkolom even groot is als de osmotische druk stopt het transport.

Wanneer men een 'zoute' vloeistof zoals mest wil concentreren dan dient het watertransport door het semi-permeabele membraan juist in omgekeerde richting plaats te

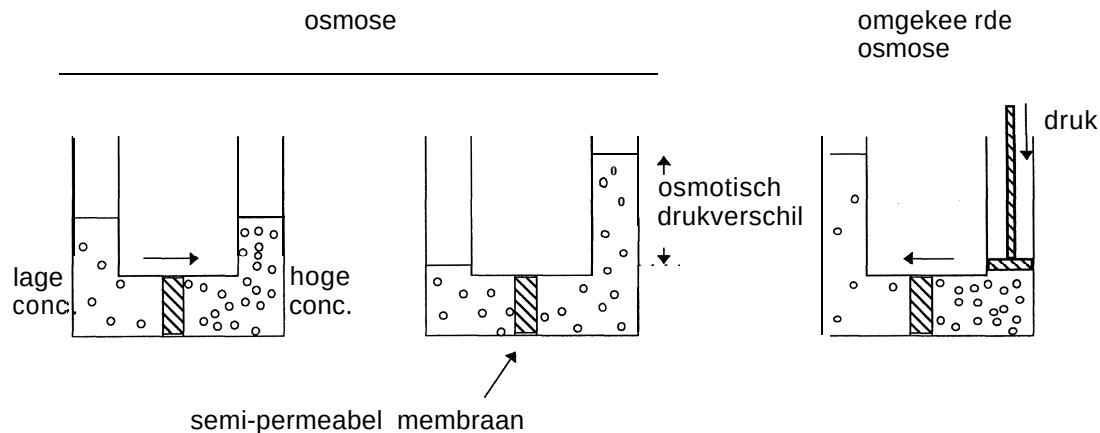
vinden. Het water moet als het ware uit de mestvloeistof worden geperst. Omgekeerde osmose kan dan ook alleen plaatsvinden wanneer er een tegendruk wordt aangelegd. De aangelegde druk dient hoger te zijn dan de zogenaamde osmotische druk van de vloeistof.

De osmotische druk wordt bepaald door de aard en de hoeveelheid opgeloste stoffen in de vloeistof. Zo heeft zeewater met een zoutconcentratie van 3,5% een osmotische druk van ongeveer 25 bar.

2.1.2 Voorbehandeling

Vervuiling van de membranen is één van de grootste problemen bij de toepassing van membraanprocessen. Daarnaast zijn de membranen gemakkelijk te beschadigen door harde bestanddelen die voorkomen in de mest zoals bijvoorbeeld zanddeeltjes. Deze bestanddelen dienen daarom eerst tot een zo laag mogelijk gehalte te worden teruggebracht.

Daarom dient de mestvloeistof eerst geschikt te worden gemaakt voor het omgekeerde-osmoseproces. Als voorbehandeling



1. Begin situatie

Water stroomt van een lage concentratie naar een hoge concentratie (osmose).

2. Evenwicht situatie

De hydrostatische druk in de rechter kolom is gelijk aan het osmotisch drukverschil.

3. Omgekeerde osmose

Wanneer de aangelegde druk groter is dan de osmotische druk, keert de vloeistofstroom om.

Figuur 2: Het principe van omgekeerde osmose.

van zeugenmest voor het omgekeerde-osmoseproces komen een aantal technieken in aanmerking, namelijk: bezinken, centrifugeren, microfiltratie en ultrafiltratie (Van Tongeren en Ten Have, 1991). Het bezinken is de goedkoopste techniek waarmee een goede scheiding van niet-opgeloste bestanddelen in zeugenmest te verwezenlijken is.

Hoe lager het drogestofgehalte in de mest, hoe beter de mest van nature bezinkt. Het bezinken van mest heeft echter beperkingen ten aanzien van de toepassing bij mestsoorten met een drogestofgehalte van 7% of meer (Poelma, 1987). Om het bezinkingsproces te versnellen kunnen zwak kationische poly-elektrolieten toegeediend worden. Zonder dosering van poly-elektrolieten is bezinking van zeugenmest niet goed mogelijk boven een mesttemperatuur van 16°C. Zonder polymeedosering verloopt het proces minder snel en is het scheidingsresultaat minder goed (De Kleijn en Voermans, 1991).

Wanneer bezinking gekozen wordt als voorscheiding voor het omgekeerde-osmoseproces heeft de toepassing met polymeedosering het meeste perspectief. Tabel 1 toont het haalbare scheidingsresultaat door bezinken van zeugenmest onder toevoeging van polymeer.

Een nadeel van het bezinken is dat de dikke fractie nog altijd circa 30% van het volume inneemt. Dit heeft grote invloed op de realiseerbare vermindering van het oorspronkelijk mestvolume.

Hoe groter het deel van het oorspronkelijk mestvolume geschikt gemaakt kan worden voor het omgekeerde-osmoseproces, des te meer water kan in totaliteit onttrokken worden

2.1.3 Enkele begrippen

De flux en de retentie zijn de belangrijkste parameters aan de hand waarvan de werking van het omgekeerde-osmoseproces wordt beoordeeld.

Flux (F)

De flux is de hoeveelheid gezuiverde vloeistof, permeaat, die per tijdseenheid het membraan passeert en wordt uitgedrukt in l/m².uur.

Retentie (R)

De retentie geeft de mate aan waarin componenten door het membraan worden tegengehouden. De geleidbaarheid wordt hierbij aangehouden als maat voor de zoutconcentratie in de betreffende vloeistofstromen. De retentie wordt als volgt berekend:

$$R = (G_c - G_p) / G_c \cdot 100\%$$

Waarbij:

G_c = Geleidbaarheid van het concentraat;

G_p = Geleidbaarheid van het permeaat.

Voor het vaststellen van de specifieke zoutretentie van een bepaalde component dient de concentratie van de component in het concentraat en het permeaat te worden gemeten.

Concentreringsfactor (CF)

De concentreringsfactor geeft de mate van concentrering aan. De concentreringsfactor wordt als volgt berekend:

$$CF = \text{Volume bij aanvang} / \text{Volume na concentreren}$$

De maximale concentreringsgraad wordt theoretisch begrensd door de osmotische druk van de te zuiveren vloeistof en het aangelegde drukverschil. Bezonden zeugen-

Tabel 1: Verdeling van volume, droge stof, N, P₂O₅ en K₂O over de fracties na toevoeging van 40 gram poly-elektroliet per m³ mest. (De Kleijn en Voermans, 1991).

	Volume	droge stof	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Dikke fractie	28%	68%	44%	90%	28%
Dunne fractie	72%	32%	56%	10%	72%

mest heeft een osmotische druk van circa 15 bar. Bij een systeemdruk van 55 bar bedraagt de maximale concentreringsfactor circa 3,5.

Belangrijke procesfactoren

De *temperatuur* (°C) is van invloed op de flux. Naarmate de temperatuur stijgt neemt de diffusiesnelheid van water door het membraan en daarmee de flux toe. De diffusiesnelheid van zouten door het membraan neemt eveneens toe maar minder sterk, zodat bij een hogere procestemperatuur tevens een hogere zoutretentie verwacht mag worden en daarmee een betere kwaliteit van het permeaat.

De *systeemdruk* (bar) is van invloed op de flux. Naarmate het verschil tussen de aangelegde systeemdruk en de osmotische druk van de vloeistof toeneemt, neemt de flux toe. De relatie tussen het drukverschil en de flux is bij lage concentraties lineair. De *langsstroomsnelheid* (m/s) is de snelheid waarmee de te concentreren vloeistof langs het membraan stroomt. Bij omgekeerde osmose staat de langstroomrichting loodrecht op de stromingsrichting door het membraan (zie figuur 3). De langstroomsnelheid is van invloed op de snelheid waarmee het membraan vervuult.

Hogere langsstroomsnelheden resulteren in het algemeen in een hogere gemiddelde flux. Het energieverbruik neemt bij hogere langsstroomsnelheden ook toe. Tevens is de kans op membraanslijtage groter bij een

hogere langsstroomsnelheid.

Het *aanzuren* van de te behandelen vloeistof kan plaatsvinden om vervuiling door kalkaanslag op de membranen te voorkomen. Hierdoor is het mogelijk een hogere flux te realiseren. Aanzuren kan ook gewenst zijn vanwege de invloed op de retentie. NH_4^+ wordt door de membranen beter tegengehouden dan NH_3 .

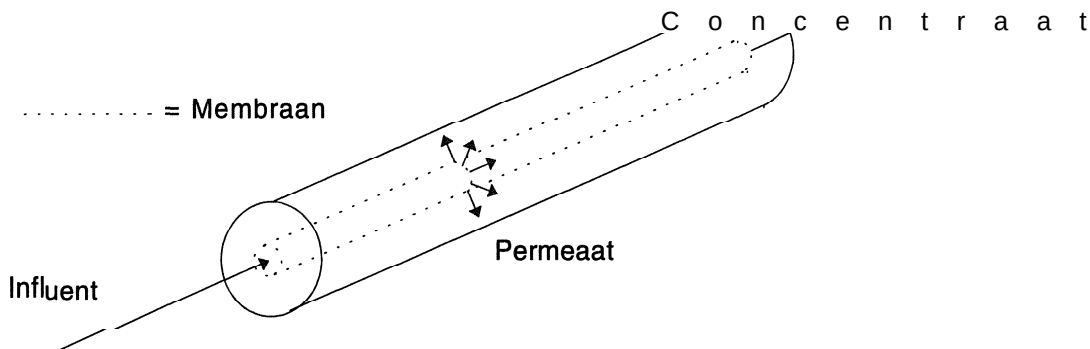
De *reinigingsfrequentie* van de membranen is naast de reeds genoemde aspecten een belangrijke factor ten aanzien van de te realiseren gemiddelde flux. Wanneer de flux (en/of de retentie) gedaald is beneden een vooraf vastgesteld niveau is reiniging van de membranen nodig. Het is mogelijk dat door een frequentere reiniging een gemiddeld hogere flux realiseerbaar is.

2.2 Procesvoering

Het schema (figuur 4) op de volgende pagina geeft een overzicht van de opeenvolgende stappen die gevolgd zijn bij de uitvoering van het onderzoek.

Stal

Er is gebruik gemaakt van een mengsel van mest van guste en dragende zeugen, gespeende biggen, opfokzeugen en van zogende zeugen. De mest is via een centrale pompput in charges naar een bezinksilo gebracht (hoogte 7,2 m, doorsnede 5,1 m). Wanneer de silo nagenoeg vol was, (130-145 m³) werd een bezinkprocedure opgestart.



Figuur 3: Vloeistofstromen in buisvormige membranen.

Bezin ken

De bezinkprocedure is uitgevoerd zoals is beschreven door De Kleijn en Voermans (1991).

Gedurende de onderzoeksperiode zijn 16 bezinkbatches uitgevoerd met een gemiddelde mesthoeveelheid van 140 m^3 . Telkens is 40 gram polymeer per m^3 mest gedoseerd. Steeds is hetzelfde type polymeer gebruikt, namelijk Praestol 611 BC. Na een bezinktijd van minimaal 3 dagen werd circa 100 m^3 dunne fractie verkregen. Hiervan is circa 50 m^3 op halve hoogte van de bezink-silo afgelaten en opgeslagen om te voorkomen dat dunne fractie van mindere kwaliteit zou worden gebruikt voor de omgekeerde-osmoseproeven. Het overige deel van de mest is afgevoerd naar mestopslagsilo's. De bezinkprocedure is steeds onder dezelfde condities uitgevoerd. De samenstelling van de verkregen dunne fractie, het influent voor het omgekeerde-osmoseproces, is vastgesteld.

Opslag dunne fractie

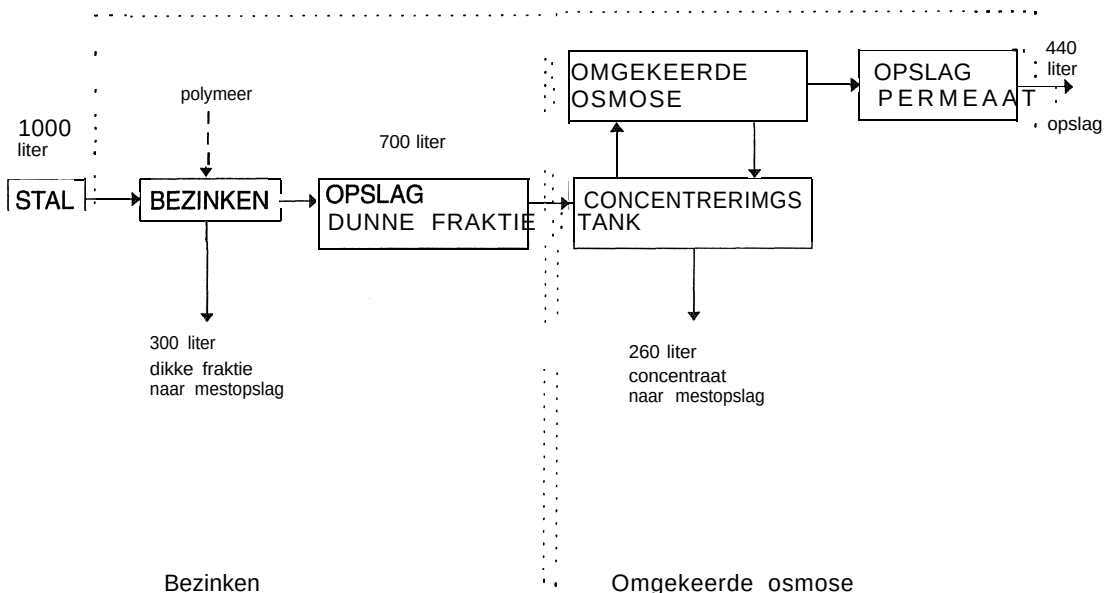
De na bezinken verkregen dunne fractie werd opgeslagen in een container (100 m^3). Gedurende de tijd dat de vloeistof in de opslagcontainer zat, variërend van enkele

dagen tot enkele weken, vond nog enige nabezinking plaats. Vanuit de opslagcontainer zijn met behulp van een pomp batches van 10 tot 20 m^3 overgebracht naar de concentreringstank. Door de pomp juist onder het vloeistofoppervlak te plaatsen is getracht te voorkomen dat bezinksel zou worden overgepompt. Enkele malen gedurende de proefperiode is de bezinklaag uit de voorraadcontainer afgevoerd.

Concentreringsstank

Bij het vullen van de tank vanuit de opslagcontainer bestond de mogelijkheid zuur te doseren. Om het effect van aanzuren op de zoutretentie en de flux te kunnen vaststellen, is bij enkele batches de dunne fractie aangezuurd met 3 tot 3,5 liter zwavelzuur van 98% per m^3 mest. Dit resulteerde in een pH van de mestvloeistof van 6,5 tot 7,0. Het zuur werd gedoseerd tijdens het vullen van de concentreringstank.

Aanvankelijk is gebruik gemaakt van een liggende concentreringstank met een inhoud van 20 m^3 . Omdat het niet mogelijk was deze tank na het beëindigen van een batch volledig te ledigen, vond ophoping



Figuur 4: Blokschema van het omgekeerde-osmoseproces

van zand en zoutneerslagen plaats. Later is gebruik gemaakt van een staande concentreringstank met een inhoud van 20 m³ die wel volledig geleidigd kon worden na elk experiment.

De concentreringstank en de omgekeerde-osmose-installatie zijn in een vorstvrije ruimte geplaatst.

Omgekeerde-osmose-installatie

Vanuit de concentreringstank werd de dunne fractie naar de omgekeerde-osmose-installatie geleid (zie foto 1). In de installatie werd de vloeistof op druk gebracht waardoor het permeaat door de membraanwand uit de mestvloeistof werd geperst.

De geconcentreerde mestvloeistof werd terug geleid naar de concentreringstank om vervolgens opnieuw door de installatie te worden gepompt en verder te worden ontwaterd. Het experiment werd beëindigd na het bereiken van de gewenste concentreringsgraad.

De gebruikte installatie was afkomstig van de Engelse firma PCI Membrane Systems Ltd. en is geïmporteerd en geïnstalleerd door JOZ-Agrotechnische Handelssondereming.

De installatie heeft de volgende specificaties:

- drie modules van elk 3,6 m lang met 18 buisvormige composietmembranen, type AFC 99 (zie foto 2);
- totaal membraanoppervlak: 7,8 m²;
- motorvermogen plunjerpomp: 4 kW;
- pompcapaciteit: 1,1 of 1,5 m³/h (afhankelijk van de geïnstalleerde riemschijf);

- stroomsnelheid langs de membranen respectievelijk 2,7 of 3,7 m/s;
- handmatige bediening van kleppen en drukregelaar;
- reinigingsvat van 250 l met verwarmings-element;
- temperatuurmeter in de voedingsleiding;
- drukmeter in de aanvoerleiding en in het hogedruk gedeelte;
- beveiligingen voor druk (<15 bar en >60 bar);
- bedrijfsurenteller.

Opslag permeaat

Alvorens het permeaat naar het riool werd afgevoerd vond opslag plaats, zodat per batch verzamelmonsters genomen konden worden. Voor aanvang van elke nieuwe batch is de permeaatopslag geleidigd.

2.3 Onderzoek

Een aantal factoren die het omgekeerde-osmoseproces beïnvloeden zijn per batch ingesteld om het effect op de prestaties van de installatie te kunnen achterhalen. Tabel 2 geeft een overzicht van de invloedsfactoren die gedurende de proefperiode per batch zijn ingesteld:

- procesdruk: 55 bar;
- aanzuren: wel/niet dosering van 3,5 liter 98% zwavelzuur per m³ mest;
- langsstroomsnelheid: hoog = 3,7 m/s en laag = 2,7 m/s;
- concentreringsgraad: alle batches zijn meer dan 1,5 keer geconcentreerd, slechts 6 batches zijn meer dan 3,5 keer geconcentreerd.

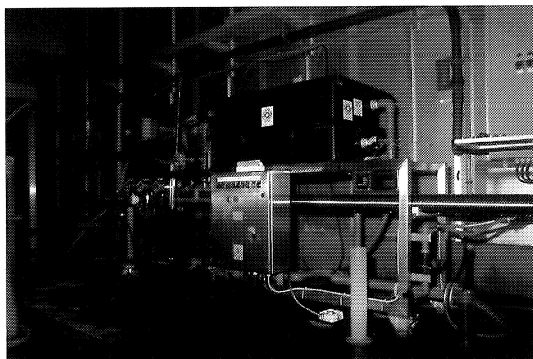


Foto 1: De omgekeerde-osmose-installatie



Foto 2: Buisvormige membranen van de omgekeerde-osmose-installatie

De procesdruk kon weliswaar worden gekozen, maar is bij alle batchexperimenten ingesteld op 55 bar. Het effect van de procesdruk op de flux is in korte oriënterende proeven vastgelegd. Drie batches van 1m³ dunne fractie zeugenmest zijn geconcentreerd bij een druk van respectievelijk 35, 45 en 55 bar. Omdat bij een systeemdruk van 55 bar de hoogste capaciteit en concentreringsgraad gerealiseerd kon worden, leek het niet zinvol uit oogpunt van optimalisatie gedurende de onderzoeksperiode lagere systeemdrukken te hanteren.

Naast de genoemde variabelen is rekening gehouden met een aantal wisselende procesomstandigheden die niet vooraf ingesteld of beïnvloed konden worden:

- de aanvangstemperatuur: variatie afhankelijk van het seizoen;
- het drogestofgehalte van de bezonken zeugenmest: variatie afhankelijk van het verloop van de bezinkprocedure en mestsamenstelling;
- de kwaliteit van de membranen: variatie afhankelijk van het ontstaan van beschadigingen;
- het aanvangsvolume: variatie afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid zeugenmest.

2.3.1 Membraankwaliteit

Voor de aanvang van elke batchproef is de membraankwaliteit vastgesteld aan de hand van een standaard zouttest.

Bij een zouttest worden, onder gestandaardiseerde temperatuur en druk, de zoutretentie en permeaatflux bepaald van een beken-

de zoutoplossing.

De gehanteerde condities zijn:

- systeemdruk: 40 bar;
- vloeistoftemperatuur: 20°C;
- zoutoplossing (keukenzout): 2,5 g/l.

De zouttest is uitgevoerd nadat de membranen zijn gereinigd en nagespoeld met leiding water. Vervolgens is het aanwezige water uit de installatie afgelaten en is 150 liter zoutoplossing aangemaakt. Gedurende de zouttest werd de zoutoplossing gecirculeerd over de installatie, waarbij zowel het permeaat als het concentraat naar de voorraadtank met de zoutoplossing werden teruggeleid. Na 10 minuten en na 20 minuten werd de geleidbaarheid gemeten van de zoutoplossing en van het geproduceerde permeaat. Tevens is de gerealiseerde flux vastgesteld. Op deze wijze kan worden bepaald in welke mate de zouten door het membraan worden tegengehouden en kan een uitspaak worden gedaan over de kwaliteit van de membranen.

2.3.2 Waarnemingen tijdens de batchexperimenten

Bij elke experiment zijn de volgende waarnemingen verricht:

- pompdebiet;
- systeemdruk;
- volume in concentreringstank;
- hoeveelheid toegediend zuur per m³ dunne fractie;
- pH van de te concentreren vloeistof en het permeaat;
- temperatuur van de te concentreren vloeistof en het permeaat;

Tabel 2: Aantal batchproeven dat is uitgevoerd onder aangegeven omstandigheden.

Procesdruk 55 bar	Aanzuren	Stroomsnelheid	Eind concentrering CF:				
			1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	≥3,5
39	17 wel	10 hoog	1	3	0	3	3
		7 laag	0	1	4	2	0
	22 niet	22 hoog	3	8	4	4	3
Totaal:			4	12	8	9	6

- geleidbaarheid van de te concentreren vloeistof en het permeaat;
- stand bedrijfsurenteller;
- stand kWh-meter.

De waarnemingen zijn tenminste tweemaal per dag uitgevoerd. Met behulp van de genoemde waarnemingen zijn de gerealiseerde flux, retentie en concentreringsfactor berekend. Bijlage 1 toont een voorbeeld van een ingevuld waarnemingenblad.

2.3.3 Analyses vloeistofstromen

Bij elk experiment is een monster genomen van de te concentreren dunne mestfractie en van de geconcentreerde mestfractie. Tijdens het concentreringsproces zijn op verschillende momenten monsters genomen van het geproduceerde permeaat. De monsterflessen zijn luchtdicht afgesloten en in ingevroren toestand getransporteerd naar het IMAG-DL0 milieulaboratorium te Wageningen.

De tijdsduur tussen monsternamen en analyse varieerde van enkele dagen tot enkele weken.

Na het ontdooien en homogeniseren van de monsters zijn de monsters geanalyseerd op:

- Ammonium stikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$);
- Kjeldal stikstof (Nkj);
- Totaal fosfor (P);
- Chemisch zuurstofverbruik (CZV);*
- Biologisch zuurstofverbruik (BZV);*
- Kalium (K^+);
- Chloride (Cl^-);
- Nitriet (NO_2^-) en nitraat (NO_3^-);*

- Sulfaat (SO_4^{2-});
- Sulfide (S^{2-});
- Droge stof (DS);
- Anorganische stof in de droge stof (As);
- Droge stof niet opgeloste deeltjes (SS).

Een tweetal permeaatmonsters zijn verstuurd naar de Gezondheidsdienst voor Dieren te Bostel om de bacteriologische kwaliteit te bepalen.

Tevens is door de Gezondheidsdienst voor Dieren nagegaan of het permeaat geschikt zou zijn voor hergebruik als reinigings- of drinkwater.

2.2.4 Reinigingsfrequentie

Na elke batch is een standaard reinigingsprocedure uitgevoerd.

Na het afsluiten van de batch werd het in de modules aanwezige concentraat en permeaat met leidingwater verdrongen en afgevoerd naar de mestopslag. Vervolgens werd 150 liter van het alkalisch reinigsmiddel P3 Ultrasil 11(Henkel) aangemaakt in een concentratie van 2,5 gram per liter. Bij een temperatuur van 40°C werd het reinigingsmiddel vervolgens gedurende minimaal 30 minuten over de membranen gerecirculeerd. Tijdens het reinigen werd de druk zo laag mogelijk gehouden (circa 15 bar). Na de reinigingsprocedure zijn de membranen gespoeld met leidingwater, Wanneer de installatie niet binnen enkele uren in gebruik zou worden genomen zijn de membranen geconserveerd door een oplossing van 1,0 gram per liter P3 Ultrasil 200 (Henkel) in de modules te brengen.

* Incidenteel

3 RESULTATEN

3.1 Bezinkproces

Tabel 3 toont de gemiddelde samenstelling van de dunne fractie van de bezonken zeugenmest.

Uit tabel 3 blijkt dat de dunne fractie van de bezonken zeugenmest niet constant van samenstelling was. Het bezinkproces is niet altijd even efficiënt verlopen, waardoor ook dunne fractie van bezonken zeugenmest met een drogestofgehalte van meer dan 2% voor het omgekeerde-osmoseproces is gebruikt.

3.2 Het omgekeerde-osmoseproces

Gedurende een onderzoeksperiode van anderhalf jaar zijn 42 experimenten uitgevoerd. De resultaten van drie experimenten zijn niet in dit hoofdstuk opgenomen omdat deze ten gevolge van storingen of wijziging van het influent niet representatief waren. In bijlage 2 is een samenvattende tabel opgenomen waarin de resultaten en de procesomstandigheden van alle experimenten staan vermeld.

3.2.1 Technisch functioneren van de installatie

Storingen traden sporadisch op. De drukpomp van de omgekeerde-osmose-installatie

bleek weinig aanzuigcapaciteit te bezitten. Hierdoor kon bij een geringe onderdruk in de aanzuigleiding de installatie niet op de gewenste druk worden gebracht. De storingen werden voorkomen door het regelmatig schoonmaken van het groffilter in de aanzuigleiding en door het installeren van een extra influentpomp waardoor een voordruk van 1,5 bar werd gerealiseerd. Gedurende de onderzoeksperiode is één maal een lekkage in de drukpomp opgetreden. Vervanging van enkele pakkingen in de pomp verhielpen de storing.

3.2.2 Membraankwaliteit

Figuur 5 toont de resultaten van de standaard zouttesten die voorafgaande aan elke batch zijn uitgevoerd om de membraankwaliteit te bepalen.

Nieuwe membranen hebben onder standaard condities een zoutretentie van meer dan 99%. Verwacht werd dat de standaard zoutretentie van de membranen zich zou stabiliseren op ongeveer 97 tot 98%. Echter telkens bleek de standaard zoutretentie geleidelijk verder af te nemen.

In de loop van het onderzoek zijn de membranen door nieuwe vervangen ten gevolge van de sterk teruglopende zoutretentie.

De eerste set membranen is vervangen na 13 batchproeven. Voorafgaande aan deze

Tabel 3: De gemiddelde samenstelling van de dunne fractie zeugenmest verkregen na bezinken onder toevoeging van 40 gram polymeer per m³ mest.

Voeding	aantal monsters	gemiddelde	SEM ¹
Droge stof (%)	37	1,73	0,22
Anorganische stof in ds (%)	37	54,4	4,59
Niet opgeloste delen (%)	37	0,16	0,11
Nkj (g/l)	33	2,63	0,23
Cl ⁻ (g/l)	23	1,40	0,31
P (g/l)	15	0,12	0,03
K ⁺ (g/l)	15	3,86	0,47
S ²⁻ (g/l)	31	0,04	0,03
Chemische Zuurstof Verbruik (g/l)	3	13,77	0,85

¹ SEM = standaard afwijking van het gemiddelde.

batchproeven zijn tevens enkele oriënterende proeven uitgevoerd met 0,5 tot 1,0 m³ zeugenmest. De zoutretentie nam gedurende deze eerste periode af van >99% tot 80%.

Onderzoek van de membranen door de membraanleverancier bracht naar voren dat de membranen op diverse plaatsen mechanische beschadigingen vertoonden.

Er waren perforatiesporen op het membraanoppervlak zichtbaar. Gezien de grootte van de perforaties werd aangenomen dat deeltjes in de orde van grootte van 100 µm in het concentraat de beschadigingen veroorzaakten.

Met een filtratieproef werden deeltjes in het concentraat aangetoond op een filter van 100 µm. De deeltjes waren hard en korrelig en niet oplosbaar in een 1 molair HCl-oplossing. Aangenomen is dat zanddeeltjes de oorzaak van de mechanische beschadiging van de membranen waren.

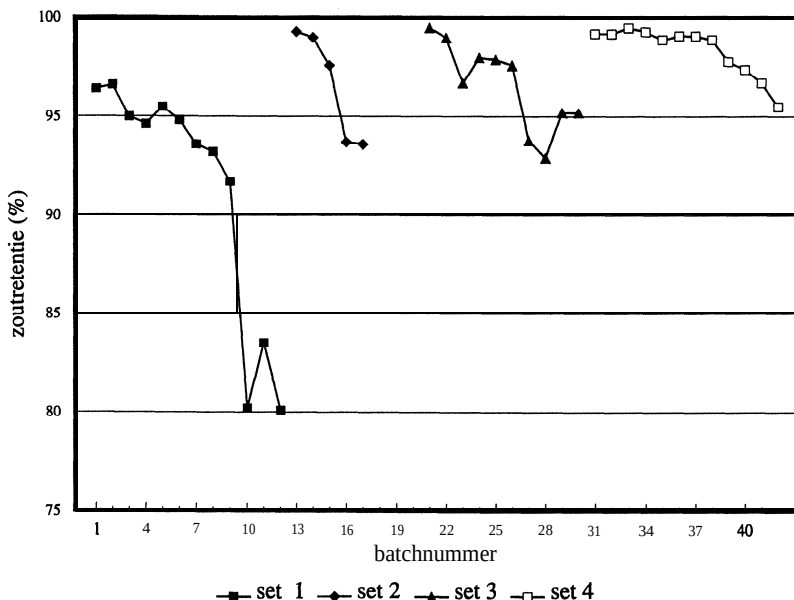
De reden waarom dergelijke zanddeeltjes in het concentraat aanwezig konden zijn werd toegeschreven aan het feit dat het concentraat na het afsluiten van een batch niet volledig kon worden afgelaten uit de liggend opgestelde concentreringstank. Na enige batchproeven werd een bezinklaag in de

concentreringsstank waargenomen. Vervolgens is een nieuw aftappunt op een lager punt op de tankbodem aangebracht en is de aanwezige bezinklaag uit de tank gespoeld.

De retentiewaarden van de standaard zouttesten daalden bij de tweede set membranen in 8 experimenten van meer dan 99% tot minder dan 93%. Opnieuw werden mechanische beschadigingen aan de membranen geconstateerd.

Omdat de concentreringstank liggend was opgesteld, bleek het ondanks het geïnstalleerde aftappunt niet mogelijk de tank na een batch volledig te ledigen. Tevens was de tank gaan roesten, zodat roestschilfers in de te concentreren vloeistof terecht konden komen.

Besloten is een nieuwe concentreringstank te installeren. Gekozen is voor een geëmailleerde, staande tank voorzien van een aftaapt punt op de tankbodem. Om te voorkomen dat eventueel aanwezig bezinksel zou worden meegezogen naar de omgekeerde-osmose-installatie is een drijver in de tank gebracht, waaraan de aanzuigleiding bevestigd werd. Op deze wijze was het mogelijk steeds de toplaag uit de tank naar de installatie te verpompen.



Figuur 5: Resultaten van de standaard zouttesten.

De derde set membranen moest na 7 batches vervangen worden. De zoutretentie nam af van >99% tot <93%. De oorzaak van de snelle verslechtering van deze set membranen bleek echter een fout in het productieproces van de membranen te zijn. De beschadigingen waren in dit geval dus niet het gevolg van mechanische slijtage. Om te kunnen aantonen dat bij gebruik van een geschikte mestvloeistof de kwaliteit van de membranen niet blijft afnemen is besloten een aantal extra maatregelen te treffen. Bij de eerst volgende batches met de vierde set membranen werd in de aanvoerleiding naar de omgekeerde-osmose-installatie een trommelzeef met een poriediameter van 100 μm geïnstalleerd. Tevens werd de te concentreren vloeistof aangezuurd om te voorkomen dat kalkaanslag zou ontstaan. Bij eerdere batches waren schilfers kalkaanslag in het groffilter van de installatie aangekomen. Hoewel niet verwacht werd dat deze broze deeltjes schade zouden kunnen veroorzaken is toch getracht middels aanzuren het ontstaan van kalkaanslag te voorkomen.

Gedurende 5 batches bleven de resultaten van de standaard zouttesten goed (>99%). Vervolgens is het aanzuren achterwege gelaten. Echter pas na het verwijderen van de trommelzeef, na nog eens 3 batches, werd wederom een snelle daling van de

membraankwaliteit waargenomen.

Na het verwijderen van de zeef nam de standaard zoutretentie in 4 batches af van 99% tot 97%.

Op basis van deze zouttesten zou kunnen worden aangenomen dat het zeven van de vloeistof over een zeef van 100 μm een afdoende maatregel is om membraanbeschadigingen te voorkomen. De functie van de zeef is echter niet geheel duidelijk, omdat:

- op de zeef geen deeltjes konden worden waargenomen;
- bij de inspectie van de beschadigde membranen geen perforaties konden worden waargenomen.

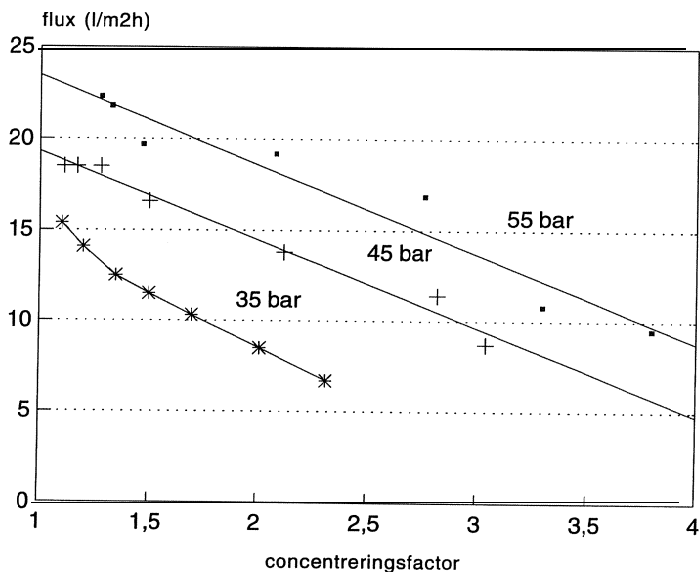
3.2.3 Druk

In figuur 6 is de invloed van de systeemdruk op de flux uitgezet tegen de concentreringsfactor.

Naarmate het verschil tussen de aangelegde systeemdruk en de osmotische druk groter is kan een grotere flux gerealiseerd worden. Tevens kan bij een hogere systeemdruk verder geconcentreerd worden.

3.2.4 Temperatuur

De temperatuur van de voeding varieerde gedurende het onderzoek tussen 5,3°C en 20,2°C. In figuur 7 is de relatie tussen de

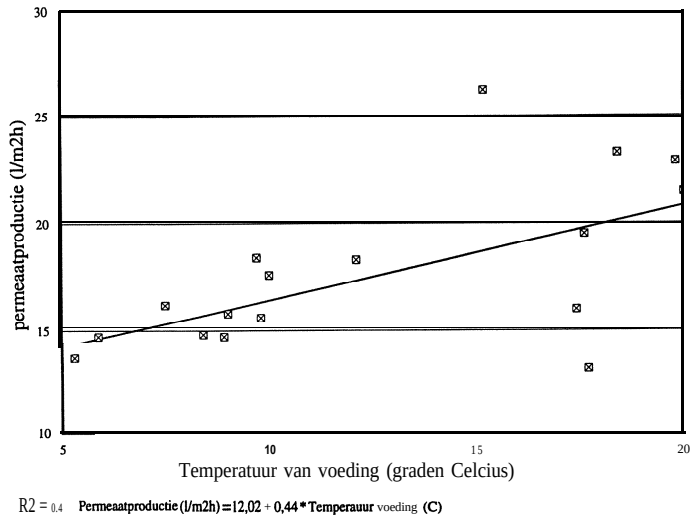


Figuur 6: Invloed van druk op de flux bij toenemende concentreringsgraad.

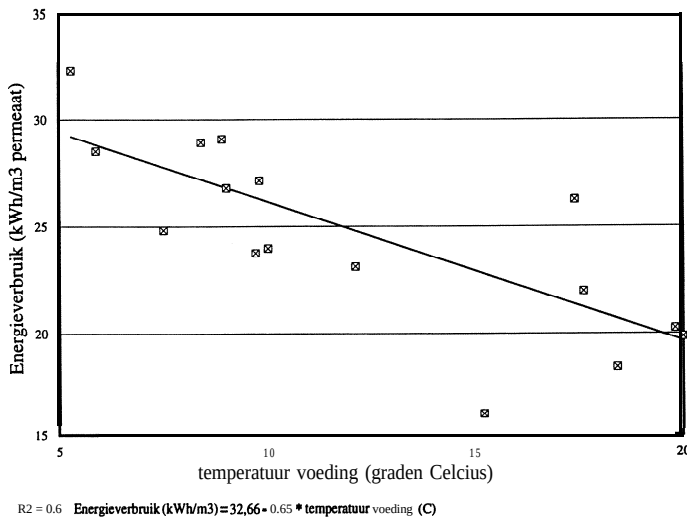
temperatuur van de voeding en de gereali-
seerde flux weergegeven.
Vergeleken zijn alle experimenten tot een
concentratiefactor 2.
De relatie die tussen flux en temperatuur is
herleid, suggereert een lineair verband tus-
sen flux en temperatuur, waarmee kan wor-
den berekend dat per graad Celsius stijging
van de temperatuur de flux toeneemt met
 $0,44 \text{ l}/(\text{m}^2 \text{ uur})$. De meetwaarden vertonen

echter een grote spreiding om de getrokken
lijn. Verschillen in drogestofgehaltes van de
voeding en variatie van de membraankwali-
teit kunnen hebben bijgedragen aan de
grote spreiding.

Ook energetisch gezien is een hogere tem-
peratuur van de voeding gunstig. Bij hogere
temperaturen neemt het energieverbruik per
 m^3 permeaat af. Per graad Celsius neemt



Figuur 7: Relatie tussen temperatuur van de voeding en flux. Vergelijken zijn experimenten waarbij: CF = 2; pH = 8, langsstroomsnelheid = $3,7 \text{ m/s}$.



Figuur 8: Invloed van de temperatuur van de voeding op het energieverbruik per m^3 permeaat. Vergelijken zijn experimenten waarbij: CF = 2; pH = 8, langsstroomsnelheid = $3,7 \text{ m/s}$.

het energieverbruik met 0,65 kWh per m³ permeaat af. Figuur 8 toont het verband tussen de temperatuur van het influent en het energieverbruik per m³ permeaat. Verschillen in drogestofgehaltes van de voeding en variatie van de membraankwaliteit kunnen hebben bijgedragen aan de grote spreiding in figuur 8.

3.2.5 Zuurgraad

De invloed van aanzuren op de prestaties van de omgekeerde-osmose-installatie zijn weergegeven in tabel 4.

Een belangrijk verschil tussen de resultaten van de experimenten met aangezuurde en niet aanzuurde voeding is het verschil in het gemiddelde drogestofgehalte tussen de twee groepen experimenten. De dosering van 3,5 liter geconcentreerd zwavelzuur 98% w/w per m³ bezonken zeugenmest verklaart dit verschil.

Het aanzuren van het influent resulteert niet in een verhoogde permeaatopbrengst. Ook het energieverbruik is bij beide experimentengroepen nagenoeg gelijk. Het aanzuren van mest heeft echter wel effect op de kwaliteit van het permeaat. In tabel 5 zijn de gehalten van een aantal componenten weergegeven zoals die gemeten zijn in permeaat van aangezuurde en niet aangezuurde mest. Belangrijk bij de vergelijking van de permeaatsamenstellingen is een gelijke mem-

braankwaliteit van de te vergelijken batches. Gezien de eerder aangegeven problemen ten aanzien van het handhaven van een goede membraankwaliteit is het aantal te vergelijken batches beperkt.

Uit tabel 5 blijkt dat door het aanzuren van het influent een betere permeaatkwaliteit verkregen wordt. De gehalten in het permeaat van de aangezuurde zeugenmest liggen voor de gemeten bestanddelen lager dan bij de niet aangezuurde zeugenmest. Het fosfaatgehalte in het permeaat van de aangezuurde mest is nagenoeg gelijk aan het fosfaatgehalte van het permeaat in de niet aangezuurde mest.

Opvallend is dat het sulfaatgehalte in het permeaat van de aangezuurde zeugenmest lager is dan in het permeaat van de niet aangezuurde zeugenmest, terwijl het sulfaatgehalte in de aangezuurde mest juist wordt verhoogd door het doseren van zwavelzuur

Ook het sulfide-gehalte in het aangezuurde permeaat is lager dan in het niet aangezuurde permeaat. Sulfide kan ontstaan door reductie van sulfaat en werd daarom in verhoogde concentratie verwacht in de met zwavelzuur aangezuurde mest. Mogelijk is het sulfide in gasvorm uit de mest ontweken ten gevolge van de schuimvorming tijdens het aanzuren.

Tabel 4: Effect van aanzuren op de prestaties van de omgekeerde-osmose-installatie. Vergeleken zijn experimenten waarbij: CF = 2, langsstroomsnelheid = 3,7 m/s.

	A ¹	SEM ²	NA ³	SEM
Aantal batches	9		13	
pH voeding	6,5	0,32	8,0	0,15
Temperatuur voeding bij aanvang (°C)	15,7	3,97	15,2	3,79
Drogestofgehalte in voeding (%)	1,84			
Aanvangsvolume (m ³)	14,7	0,63	15,2	0,161,76
Gerealiseerde flux tot CF 2 (l/m ² uur)	19,7	4,70	19,4	3,59
Benodigde tijd tot CF 2 (uur)	52,2	10,20	52,4	12,60
Benodigde energie tot CF 2 (kWh)	159,0	31,97	172,4	41,55
Energieverbruik per m ³ permeaat (kWh)	21,7	4,70	22,4	4,57

¹ A = aangezuurd

² SEM = standaard afwijking van het gemiddelde.

³ NA = niet aangezuurd

3.2.6 Concentreringsfactor

De relatie tussen de gemiddelde permeaat-productie en de mate van concentreren is weergegeven in tabel 6.

Uit tabel 6 blijkt dat naarmate verder geconcentreerd wordt de gemiddelde realiseerbare flux en daarmee de capaciteit van de installatie afneemt.

Ook de permeaatsamenstelling hangt sterk

samen met de mate van concentreren.

In tabel 7 is de samenstelling van enkele componenten van het permeaat bij verschillende concentreringsfactoren aangegeven. Naarmate verder geconcentreerd wordt neemt de permeaatkwaliteit af.

Figuur 9 geeft een voorbeeld van het concentratieverloop van kalium in het permeaat gedurende het concentreren van bezonken zeugenmest.

Tabel 5: Gemiddelde permeaatkwaliteit bij wel en niet aanzuren van het influent. Vergelijken zijn experimenten waarbij: CF = 2, langsstroomsnelheid = 3,7 m/s, standaard zoutretentie > 89,9%.

	A ¹	SEM ²	NA ³	SEM
Aantal batches	5		3	
pH	6,6	116 01	280' 79	01 ,
Chemisch Zuurstof Verbruik (mg/l)	32			
Nkj (mg/l)	53,4	18;9	294	53,4
Nitriet (mg/l)	0		0	
Nitraat (mg/l)	0		0	
Fosfor (mg/l)	16	03 ,	14	03 ,
Kalium (mg/l)	30'0	20 ,	126'	18
Chloride (mg/l)	29	67 ,	165	105'
Sulfaat (mg/l)	7,3	31 ,	49,5	8,0
Sulfide (mg/l)	0,4	05 ,	84,1	4,2

¹ A = aangezuurd

² SEM = standaard afwijking van het gemiddelde.

³ NA = niet aangezuurd

Tabel 6: Permeaatproductie bij verschillende concentratiegraden. Uitgangspunten: langsstroomsnelheid = 3,7 m/s, niet aangezuurd.

	liter/(m ² uur)	per dag (liter)
CF = 1,6.	20,5	3.838
CF = 2,0	19,5	3.650
CF = 2,7	17,5	3.276

Tabel 7: Permeaatkwaliteit ten aanzien van stikstof, chloride en kalium in relatie tot de mate van concentrering. Vergelijken zijn experimenten waarbij: langsstroomsnelheid = 3,7 m/s, pH = 7, zoutretentie = 80 - 97%.

CF	Nkj (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
1	77,6	85,4	130,9
15,	139,8	129,3	211,6
20 ,	243,3	146,8	364
25 ,	340,8	345	490,5
30 ,	612,9	482,5	1.363,3

In figuur 9 is te zien dat de concentratie van kalium meer dan evenredig toeneemt bij verhoging van de concentratiefactor.

3.2.7 Langsstromsnelheid

De stroomsnelheid van de dunne mestfractie door de modules kan invloed hebben op de prestaties van de omgekeerde-osmose-installatie. Hoe groter de stroomsnelheid hoe minder kans op concentratiepolarisatie langs de membranen (het aanwezig zijn van dun laagje met hogere zoutconcentratie langs de membranen) en hoe minder kans op vervuiling van de membranen. In tabel 8 zijn de procesresultaten weergegeven in relatie tot de stroomsnelheid bij een stroomsnelheid van circa 2,7 m/s en circa 3,7 m/s.

In tabel 8 is te zien dat de uitgangssituaties voor beide experimentgroepen vrijwel identiek zijn. Bij een hogere langsstromsnelheid is een verdere concentrering bereikt met een gunstiger energieverbruik per m³ geproduceerd permeaat en een duidelijk hogere flux. Wordt tot concentreringsfactor 2,0 gewerkt, dan is het verschil in flux nog wel aanwezig maar kan energetisch gezien

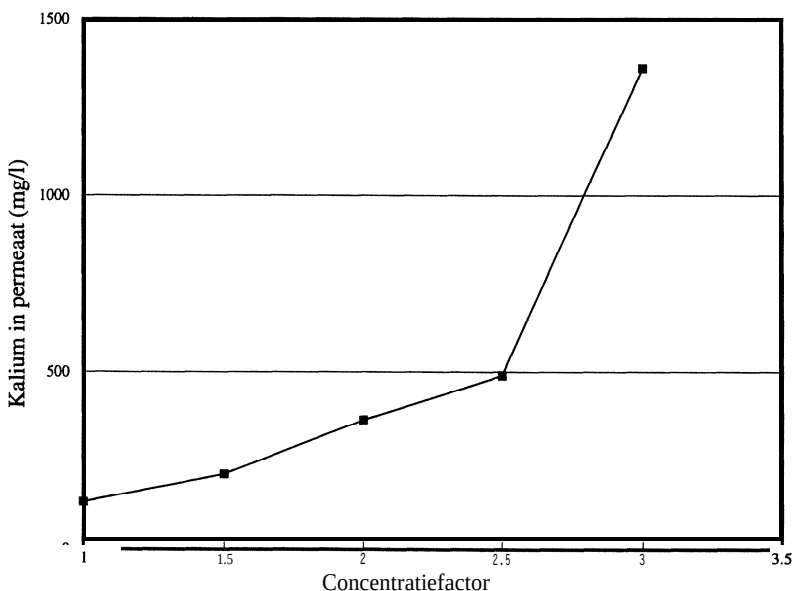
beter gewerkt worden bij een laag pompdebiet. De capaciteit van de omgekeerde-osmose-installatie is echter lager bij een lagere langsstromsnelheid.

3.2.8 Drogestofgehalte

Het drogestofgehalte van het influent van de omgekeerde-osmose-installatie heeft een sterke invloed op de realiseerbare flux. In figuur 10 staat het verband tussen het drogestofgehalte van de voeding en de gerealiserte permeaatproductie weergegeven. Uit de functie die het verband tussen het drogestofgehalte en de flux beschrijft, kan worden berekend dat binnen het meetgebied elke 0,1% verlaging van het drogestofgehalte van het influent resulteert in circa 2 l/(m² h) toename van de flux.

Het drogestofgehalte van de bezonken zeugenmest wordt bepaald door het gehalte aan opgeloste bestanddelen (o.a. zouten) en niet opgeloste bestanddelen (o.a. organische stoffen en zand).

Het zoutgehalte van de bezonken zeugenmest was niet bij alle experimenten gelijk (zie tabel 3). Een hoger zoutgehalte leidt tot



Figuur 9: Concentratieverloop van kalium in het permeaat bij het concentreren van bezonken zeugenmest volgens tabel 7.

een hogere osmotische druk van de bezonken zeugenmest, waardoor bij een gegeven aangelegd drukverschil een lagere permeaatflux wordt gerealiseerd.

De niet opgeloste organische bestanddelen kunnen bijdragen aan de vervuiling van de membranen en de daarmee leiden tot een daling van de permeaatflux.

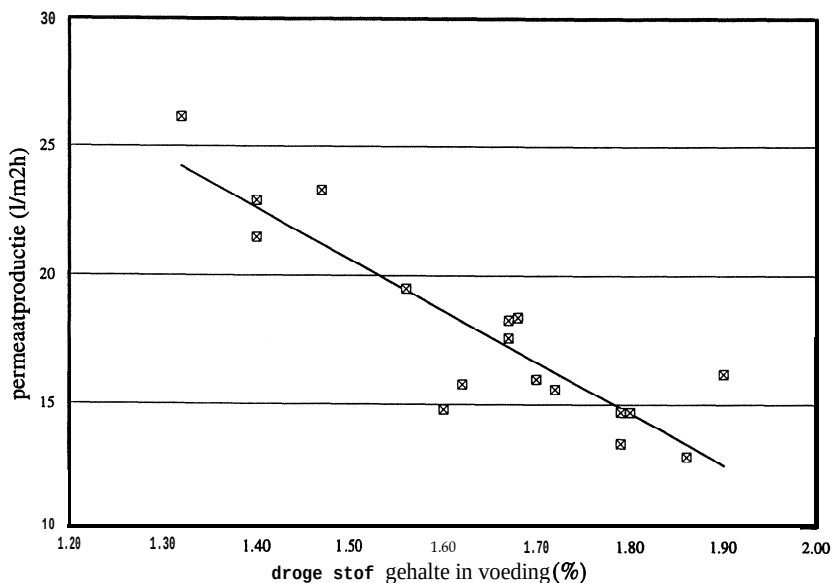
Tabel 8: Effecten van langsstroomsnelheid op de prestaties van de omgekeerde-osmose-installatie; vergeleken zijn experimenten waarbij pH = 7.

	L ¹	SEM ²	H ³	SEM
Aantal batches	4		10	
Pompdebiet (m ³ /uur)	1,1		15	
Temperatuur voeding bij aanvang (°C)	15'3	3,96	15'4	5,72
Drogestofgehalte in voeding (%)	1'83	0,09	1'84	0,19
Aanvangsvolume (m ³)	13,4	2,05	14,3	1,43
Gerealiseerde concentreringsfactor	2,7	0,69	2,9	0,22
Gerealiseerde flux (l/m ² uur)	14,5	2,57	17,1	3,14
Benodigde tijd (uur)	74,0	14,70	67,7	16,52
Benodigde energie (kWh)	176,5	33,08	210,6	49,05
Energieverbruik per m ³ permeaat (kWh)	26,3	4,12	24,7	4,72
Gerealiseerde flux tot CF 2 (l/m ² uur)	15,3	3,02	19,4	4,50
Benodigde tijd tot CF 2 (uur)	56,8	8,38	50,3	11,31
Benodigde energie tot CF 2 (kWh)	135,5	20,38	154,3	33,44
Energie per m ³ permeaat tot CF 2 (kWh)	20,7	4,03	21,7	4,46

¹ L = lage langsstroomsnelheid, 2,7 m/s.

² SEM = standaard afwijking van het gemiddelde.

³ H = hoge langsstroomsnelheid, 3,7 m/s.



Figuur 10: De invloed van het drogestofgehalte van de mestvloeistof op de realiseerbare permeaatflux. Uitgangspunten: CF = 2, langsstroomsnelheid = 3,7 m/s, niet aangezuurd.

3.2.9 Batchvolume

In dit onderzoek is gewerkt met batchvolumes tussen 10 en 20 m³ (zie figuur 11). Hoe groter het te verwerken volume is, hoe groter de kans wordt op vervuiling van de membranen. Uit de resultaten kan geen relatie worden vastgesteld tussen batchvolume en de prestaties van de omgekeerde-osmose-installatie.

3.3 Prestaties van de installatie

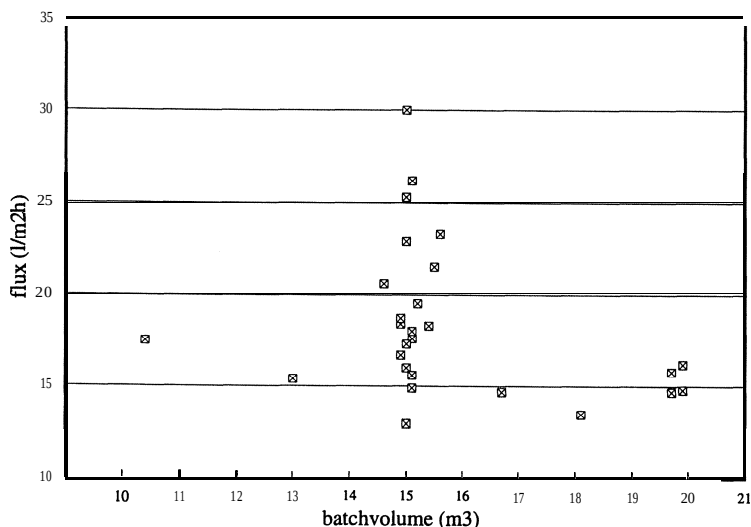
In de voorgaande paragrafen zijn de procesvariabelen en hun invloed op het verloop van het omgekeerde-osmoseproces aan de orde geweest.

Van de behandelde invloedsfactoren is geen aantoonbare relatie vastgesteld van de zuurgraad en de batchgrootte op de realiseerbare flux. De druk en de langs-

Tabel 9: Gemiddelde procesomstandigheden en prestaties van de omgekeerde-osmose-installatie.

	gemiddelde	SEM ¹
Temperatuur voeding bij aanvang (°C)	13,3	4,6
Gerealiseerde concentreringsfactor	2,7	0,7
Gerealiseerde flux (l/m ² uur)	16,3	3,3
Drogestofgehalte in voeding (%)	1,7	0,2
Aanvangsvolume (m ³)	15,7	2,1
Benodigde tijd voor batch (uur)	78,4	25,9
Benodigde energie (kWh)	250,6	91,5
Gerealiseerde flux tot CF 2 (l/m ² uur)	18,5	3,9
Benodigde tijd tot CF 2 (uur)	56,9	15,0
Benodigde energie tot CF 2 (kWh)	184,4	51,3
Energieverbruik per m ³ permeaat (kWh)	23,4	4,7

¹SEM = standaard afwijking van het gemiddelde.



R² < 0.08

Figuur 11: Relatie tussen het batchvolume en permeaatflux. Uitgangspunten: CF = 2,0, langstroomsnelheid = 3,7 m/s.

stroomsnelheid hebben wel een duidelijk effect op de capaciteit van de omgekeerde-osmose-installatie, maar zullen onder praktijkomstandigheden constant gehouden worden. Tevens zal in de praktijk gestreefd worden naar een gewenste concentrering, zodat de capaciteit niet door de concentratiefactor zal worden beïnvloed. Wel van invloed op de capaciteit van de installatie onder praktijkcondities zijn de variatie in het drogestofgehalte van de voeding en de temperatuur van de voeding. In tabel 9 zijn de gemiddelde prestaties van de installatie en procesomstandigheden gedurende de onderzoeksperiode weergegeven

De gemiddelde capaciteit van de omgekeerde-osmose-installatie bedraagt onder de onderzoeksomstandigheden ongeveer 127 liter permeaat per uur tot een concen-

treringsfactor van 2,7. Wordt echter tot een concentreringsfactor 2,0 gewerkt dan neemt de capaciteit van de installatie toe tot 144 liter permeaatproductie per uur.

Deze gemiddelde prestaties vormen geen reëel beeld van de prestaties die in de praktijk haalbaar zijn. Met name de experimenten die zijn uitgevoerd bij een lage langsstroomsnelheid drukken de gemiddelde capaciteit van de installatie. Een reële onder praktijkomstandigheden haalbare capaciteit met de bijbehorende procescondities staat weergegeven in tabel 10.

Het al of niet aanzuren heeft geen effect op de capaciteit van het proces en is daarom als procesfactor niet in de tabel aangegeven. Aanzuren heeft overigens wel invloed op de samenstelling van het permeaat (tabel 12).

Tabel 10: Reële procescapaciteit onder praktijkcondities.

Procescondities:

Temperatuur voeding bij aanvang (°C)	13,3
Langsstroomsnelheid (m/s)	3,7
Drogestofgehalte in voeding in (%)	17
Aanvangsvolume in (m ³)	15,7

Capaciteit:

Flux tot CF 2,7 (l/(m ² uur))	17,5
Flux tot CF 2,0 (l/(m ² uur))	19,5
Flux tot CF 1,6 (l/(m ² uur))	20,5

Tabel 11: De gemiddelde samenstelling van het concentraat.

Concentraat	n ¹	gemiddelde	SEM ²
Concentreringsfactor	36	2,69	0,70
Droge stof (%)	36	4,59	1,03
Anorganische stof in ds (%)	36	54,5	3,50
Niet opgeloste delen (%)	36	0,26	0,17
Nkj (g/l)	32	6,67	1,17
Cl ⁻ (g/l)	23	4,04	0,90
P (g/l)	15	0,26	0,05
K ⁺ (g/l)	15	11,52	2,44
S ²⁻ (g/l)	31	0,04	0,02
Chemische Zuurstof Verbruik (g/l)	3	43,0	22,50

¹ n = aantal metingen.

² SEM = standaard afwijking van het gemiddelde.

3.4 Samenstelling van concentraat en permeaat

In tabel 11 en 12 wordt respectievelijk de gemiddelde samenstelling van het concentraat en het permeaat weergegeven. De permeaatsamenstelling is gedurende de proefperiode zeer sterk beïnvloed door slechte toestand van de membranen. In de tabel 12 zijn permeaatsamenstellingen weergegevens die zijn gerealiseerd met een membraankwaliteit met een retentie >90%.

3.5 Energieverbruik

Uit tabel 9 is af te leiden hoeveel energie verbruikt wordt om één m³ permeaat te produceren. Het energieverbruik van deze installatie per m³ geproduceerd permeaat bedraagt gemiddeld 23,4 kWh bij concentratiefactor 2,0. Bij concentratiefactor 2,7

bedraagt het energieverbruik per m³ geproduceerd permeaat gemiddeld 25,4 kWh. De lineaire relatie tussen het energieverbruik en de flux is gegeven in figuur 12.

Het opgenomen vermogen van de installatie is in de tijd constant, en bedraagt 3,2 kWh per uur produktietijd. Naarmate er verder geconcentreerd wordt, neemt de permeaatproductie af. De energieconsumptie blijft echter per productie-uur constant. Dus gedurende het ontwateringsproces nemen de energiekosten per volume-eenheid permeaat steeds toe.

3.6 Bedrijfservaringen

De omgekeerde-osmose-installatie is eenvoudig te bedienen en het proces vraagt weinig toezicht. Tevens behoeft de installatie weinig onderhoud (paragraaf 3.2.1). Het

Tabel 12: Samenstelling van het permeaat bij wel en niet aanzuren van het influent (retentie van de membranen >90%).

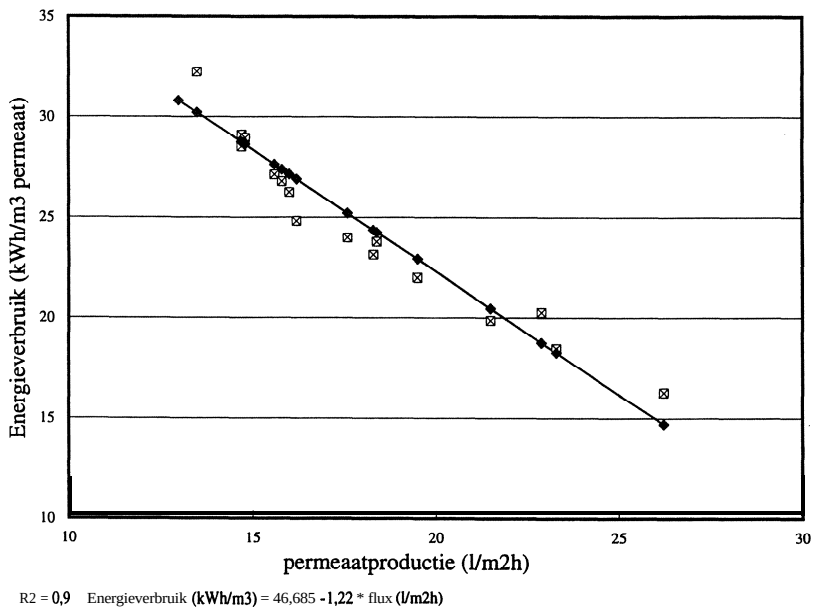
Aangezuurde mest	n ¹	gemiddelde	SEM ²
Concentratiefactor	5	2,24	0,4
PH	5	6,6	0,1
Chemisch Zuurstof Verbruik (mg/l)	5	32	11,6
Nkj (mg/l)	5	53,4	18,9
Nitriet (mg/l)	5	0	
Nitraat (mg/l)	5	0	
Fosfor (mg/l)	2	1,6	0,3
Kalium (mg/l)	2	30,0	2,0
Chloride (mg/l)	5	29	6,7
Sulfaat (mg/l)	5	7,3	3,1
Sulfide (mg/l)	5	0,4	0,5
Niet aangezuurde mest			
Concentratiefactor	3	2,1	0,1
PH	3	7,9	0,1
Chemisch Zuurstof Verbruik (mg/l)	1	280	
Nkj (mg/l)	3	294	53,4
Fosfor (mg/l)	3		
Kalium (mg/l)	3	126,14	03,18
Chloride (mg/l)	2	165	105,0
Sulfaat (mg/l)	2	49,5	8,0
Sulfide (mg/l)	3	84,1	42,0

¹ n = aantal metingen

² SEM = standaard afwijking van het gemiddelde.

ruimtebeslag van de installatie is gering: enkele m². Een voorwaarde voor de ruimte waar de installatie geplaatst wordt, is dat deze vorstvrij dient te zijn en dat een 380 V stoomvoorziening aanwezig moet zijn. Verwacht wordt dat plaatsing van omgekeerde-osmose-installaties op varkenshouderijbe-

drijven eenvoudig kan worden gerealiseerd. Een aandachtspunt is het reinigingsproces van de membranen. Het reinigen van de membranen kost wekelijks 1 à 2 uur arbeidstijd. Het heeft de voorkeur het reinigingsproces te automatiseren.



Figuur 12: Relatie tussen de permeaatproductie en het energieverbruik.

4 ECONOMISCHE EVALUATIE

In dit hoofdstuk worden de kosten berekend voor de ontwatering van bezonken zeugenmest via bezinken en omgekeerde osmose.

4.1 Uitgangspunten

De gebruikte gegevens zijn ontleend aan: de technische kengetallen verkregen uit dit onderzoek (tabel 10), aan KWIN (-1992-1993), De Kleijn en Voermans (1991) en Schellekens et al. (1993).

De geteste installatie is de kleinste in zijn soort en kan bij optimaal gebruik het mestvolume van een bedrijf met 485 zeugen met 44% verminderen.

Het geproduceerde permeaat wordt deels hergebruikt voor het reinigen van de stallen en deels verregend over het land. Er worden momenteel voorstellen uitgewerkt om het verregenen van permeaat uit mest over het land mogelijk te maken. (Schellekens, 1995 in voorbereiding). De benodigde hoeveelheid reinigingswater bedraagt ca. 1 m³ per zeugenplaats per jaar. Aangenomen is dat op het bedrijf een mestpomp aanwezig is voor het verpompen van de mest naar de mestopslag of bezinksilo. Tabel 13 toont de uitgangspunten die gehanteerd zijn bij de berekening van de jaarkosten.

Tabel 13: Uitgangspunten ten behoeve van de berekening van de jaarkosten voor omgekeerde osmose met bezinken als voorscheiding voor een bedrijf met 485 zeugen.

	hoeveelheid	eenheid			
Bedrijfsgegevens:					
Bedrijfsgrootte	485	zeugen			
Mestproductie (5% droge stof)	2.522	m ³ /jaar			
Permeaatproductie (0,02% droge stof)	1.107	m ³ /jaar			
- Geconcentreerde mest (8,9% droge stof)	1.415	m ³ /jaar			
Bezin ken:					
Inhoud bezinksilo	50	m ³			
Inhoud mengtank polymeer dosering	2	m ³			
Percentage dunne fractie na bezinken	70	%			
Polymeerdosering	1	gr/kg DS			
Inhoud concentreringstank	20	m ³			
Omgekeerde osmose:					
Membraanoppervlak van de installatie	7,8	m ²			
Productie-uren	8.112	uren/jaar			
Energieverbruik installatie	3,2	kWh/uur			
Overig energieverbruik (pompen, roeren, reinigen)	0,5	kWh/uur			
Bestemming permeaat en geconcentreerde mest:					
Reinigingswater	485	m ³ /jaar			
Opslag/verregenen permeaat à f 2,-/m ³	622	m ³ /jaar			
Afzet geconcentreerde mest à f 19,50/m ³	1.415	m ³ /jaar			
Rente, afschrijving en onderhoud:					
	Re.	Af.	On.		
Tanks en silo's	4,1	5 0	2,5	11,6	%
Leidingen	4,1	10;0	0,0	14,1	%
Pompen	4,1	7 5	3,0	14,6	%
Omgek. osmose-inst.	4,1	12;5	2,0	18,6	%

4.2 Investeringskosten

In tabel 14 staan de investeringskosten weergegeven.

Uit tabel 14 blijkt dat de investeringskosten voor omgekeerde osmose en bezinken voor een bedrijfsgrootte van 485 zeugenplaatsen f 230,- per zeugenplaats bedragen. Circa driekwart van de vereiste investeringen is toe te schrijven aan de aanschafkosten voor de omgekeerde-osmose-installatie.

4.3 Jaarkosten

De kosten voor de afzet van het restant van het mestvolume vormt de belangrijkste post op de jaarkostenrekening, zie tabel 15. Voor het bedrijf met 485 zeugen dient nog altijd 1415 m³ geconcentreerde mest via de gebruikelijke kanalen te worden afgezet. Omdat het drogestofgehalte van de af te

zetten mest minder dan 10% bedraagt, is voor de geconcentreerde mest dezelfde afzetprijs gehanteerd als voor de dunne mest, namelijk f 19,50 per m³.

Tevens is er bij de berekening van de jaar-kosten van uitgegaan, dat de membranen één maal per jaar vervangen dienen te worden

De arbeid die nodig is voor het uitvoeren van het omgekeerde-osmoseproces bedraagt 2,5 uur per week. De arbeid bestaat voornamelijk uit het aanmaken van de polymeeroplossing ten behoeve van de bezinkprocedure, het reinigen van de membranen na elke batch en de dagelijkse controle op het proces,

Het ontwateren van bezonken zeugmest door middel van omgekeerde osmose op een bedrijf met 485 zeugen bedraagt inclusief de afzetkosten voor restfracties circa f 25,- per m³ geproduceerde mest.

Tabel 14: Investeringskosten ten behoeve van bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 485 zeugen.

	guldens	percentage van de investering
Bezinksilo (50 m ³)	12.500	11,2
Polymeerdoseerinstallatie (2 m ³)	3.400	3,0
Leidingen (45 meter à f 35,- per meter)	1.575	1,4
Dompelpomp (30 m ³ /uur, 2 kW)	4.000	3,6
Concentreringsstank (20 m ³)	5.000	4,5
Omgekeerde-osmose-installatie (7,8 m ²)	85.000	76,3
Totaal investeringskosten:	111.475	100,0
Investeringskosten per zeugenplaats per jaar	230	

Tabel 15: Jaarkostenkosten voor bezinken, omgekeerde osmose en afzet van restfracties voor een bedrijf met 485 zeugen.

	per jaar	per m ³ mest
Rente, afschrijving, onderhoud van de investeringen	19.040,48	7,55
Polymeer (126 kg à f 15,-)	1.890,00	0,75
Membranen (7,8 m ² à f 503,-/m ²)	3.923,40	1,56
Energie (30.185 kWh à f 0,18)	5.433,30	2,15
Reinigingsmiddelen	374,40	0,15
Opslaan/verregenen permeaat (622 m ³ à f 2,-/m ³)	1.244,00	0,49
Arbeid (2,5 uur/week à f 29,92/uur)	3.889,60	1,54
Afzet geconc. mest (1415 m ³ à f 19,50)	27.572,50	10,94
Totaal :	63.431,48	25,13

4.4 Gevoeligheidsanalyse

Onderzocht is wat het effect is van gewijzigde uitgangspunten op de jaarkosten. Tabel 16 toont het effect van vijf varianten op de jaarkosten.

Variatie van de afschrijvingstermijn, de aanschafprijs en permeaatproduktie van de installatie hebben een relatief gering effect op de jaarkosten. Indien een extra set membranen dient te worden geïnstalleerd nemen de jaarkosten per m³ mest met f 1,56 toe.

Wanneer de mestafzetkosten toenemen, stijgen ook de totale mestkosten bij toepassing van omgekeerde osmose per m³ mest, echter minder sterk. Dit betekent dat naarmate de mestafzetprijs stijgt het perspectief voor omgekeerde osmose toeneemt.

Indien de mestproduktie afneemt van 5,2 naar 4,2 per zeug per jaar, nemen de totale jaarkosten voor de bewerking van zeugenmest en de afzet van restfracties af. Per m³ mestproduktie worden de kosten echter f 3,55 hoger. Dit betekent dat het perspectief voor bewerking van zeugenmest door middel van omgekeerde osmose bij een gegeven bedrijfsgrootte afneemt naarmate de mestproduktie per zeug lager ligt.

4.5 Schaalgrootte

Wanneer het omgekeerde-osmoseproces op grotere bedrijven wordt toegepast dalen de kosten per m³ mest. Verdubbeling van de capaciteit van de omgekeerde-osmose-installatie heeft geen verdubbeling van de investeringskosten tot gevolg. Een type groter dan de geteste installatie bezit het dubbele membraanoppervlak en kost

f 111.150,-. Deze installatie is geschikt om het mestvolume van een bedrijfsgrootte met 950 zeugenplaatsen met 44% te verminderen. In bijlage 3 is de berekening van de investerings- en jaarkosten weergegeven voor bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 950 zeugen.

Tabel 17 geeft een overzicht van kosten voor omgekeerde osmose bij verschillende bedrijfsgrootten.

Toepassing van omgekeerde osmose op bedrijven met minder dan 485 zeugenplaatsen is relatief fors duurder, omdat er voornamelijk nog geen kleinere installatie dan het geteste type leverbaar is. Dit betekent ook dat de investeringen ten behoeve van het bezinkproces niet afnemen omdat de procesvoering van het bezinken is afgestemd op de capaciteit van de omgekeerde-osmose-installatie. In bijlage 4 is de berekening

Tabel 16: Invloed van variaties in de uitgangspunten op de jaarkosten voor bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 485 zeugen.

	per jaar	per m ³ mest
Afschrijving installatie + 1 jaar	-1.190	-0,47
Aanschafprijs installatie - f 10.000	-1.860	-0,74
Extra set membranen	+3.923	+1,56
Permeaatproduktie + 1 l/(m ² uur)	-1.100	-0,44
Mestafzetkosten + f 5,00 per m ³	+7.095	+2,81
Mestproduktie - 1 m ³ /zeug/jaar	-4.350	+3,55

Tabel 17: Overzicht van kosten voor bezinken en omgekeerde osmose voor drie bedrijfsgrootten.

Aantal zeugenplaatsen	200	485	950
Investeringskosten per zeugenplaats	557,00	230,00	155,00
Jaarkosten per m ³ mest	38,44	25,13	21,53

van de investerings- en jaarkosten weergegeven voor bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 200 zeugen.

4.6 Mate van concentreren

Gebleden is dat de mate van concentreren een sterke invloed op de haalbare capaciteit van de omgekeerde-osmose-installatie heeft (tabel 6). Minder ver concentreren resulteert in een hogere gemiddelde flux, zodat op een groot bedrijf zou kunnen worden volstaan met een kleinere installatie. De verhoging van de capaciteit en de lagere investeringskosten maken het produceren van permeaat goedkoper. Echter, door minder ver te concentreren neemt het af te zetten volume geconcentreerde mest toe en daarmee de totale mestafzetkosten.

Het effect van de mate van concentreren op de jaarkosten per m³ mest is aan de hand van een voorbeeld uitgewerkt in bijlage 5. In het voorbeeld is een installatie met 7,8m² membraanoppervlak ingezet op een bedrijf met 950 zeugen. Deze installatie is, zoals in paragraaf 4.5 is aangegeven, in principe geschikt voor een bedrijf met 485 zeugen. De bezonken zeugenmest wordt in het voorbeeld met een factor 1,6 ingedikt, waardoor een gemiddelde flux kan worden behaald van 20,5l/(m² uur)(tabel 6). Dit resulteert in een afname van het totale mestvolume van circa 26%.

De totale investeringskosten voor de aangegeven opzet bedragen f 128,-perzeugenplaats per jaar.
De jaarkosten per m³ geproduceerde mest bedragen f 22,19.

Wanneer de installatie uit het voorbeeld wordt ingezet op een bedrijf met 485 zeu-

gen (tabel 17) kan de mest weliswaar verder ingedikt worden, maar leidt dit tot hogere jaarkosten per m³ geproduceerde mest, namelijk f 25,13.

In paragraaf 4.5 is voor een bedrijf van 950 zeugen een berekening van de jaarkosten gemaakt voor het terugbrengen van het mestvolume met 44%. De hiervoor benodigde installatie heeft een membraanoppervlak van 15,4m². Dit is het dubbele van het benodigde membraanoppervlak in het voorbeeld in bijlage 5 waarbij het mestvolume met 26% wordt teruggebracht. Het verschil in jaarkosten per m³ op het bedrijf geproduceerde mest bedraagt tussen beide berekeningen minder dan 70 cent.

4.7 Besparingen

Wanneer het permeaat wordt gebruikt om de stallen te reinigen, wordt bespaard op waterverbruik. Rekenend met een prijs voor leidingwater van f 1,20 per m³ en een (reinigings)waterverbruik per zeug van 1 m³/jaar kan de besparing voor een gegeven bedrijfsgrootte eenvoudig berekend worden De besparing is beperkt. Zie tabel 18.

Wanneer op het bedrijf onvoldoende mestopslagcapaciteit aanwezig is, kan door het ontwateren van mest bespaard worden op kosten voor mestopslag. In tabel 18 staan de maximale besparingen op mestopslagcapaciteit bij het bedrijven van omgekeerde osmose. Hierbij is gerekend met een investering voor mestopslag van f 100,- per m³ en 11,6% jaarkosten voor rente, afschrijving en onderhoud. Uitgangspunt is een gewenste opslagcapaciteit van 6 maanden. Voor een bedrijf met 485 zeugen en een permeaatproduktie van 1107 m³ per jaar betekent dit een maximale

Tabel 18: Mogelijke besparingen ten gevolge van bezinken en omgekeerde osmose op een bedrijf met 485 zeugen.

	per jaar	per m ³ mest
Reinigingswater 485 m ³ à f 1,20	582,00	0,23
Mestopslagcapaciteit 553,5 m ³ à f 11,60	6.420,60	2,52

besparing in opslagcapaciteit van 553,5 m³. Indien onvoldoende opslagcapaciteit aanwezig is en gebruik gemaakt kan worden van de besparing in de benodigde opslagcapaciteit door ontwatering van de mest, kunnen de jaarkosten met **f** 2,52 per m³ mest dalen.

Echter, indien het verregenen van het permeaat niet (het gehele jaar) wordt toegestaan, dient opslagcapaciteit voor het permeaat te worden aangelegd. Het voordeel op de besparing in mestopslagcapaciteit vervalt dan.

5 DISCUSSIE

5.1 Membraankwaliteit

Gedurende het onderzoek is het niet mogelijk gebleken om via de gehanteerde bezink-procedure zand en andere niet opgeloste bestanddelen in voldoende mate uit de mest-vloeistof te verwijderen.

Aangetoond is dat de genoemde bestanddelen schade veroorzaken aan de omgekeerde-osmosemembranen. Vooral nog wordt verondersteld dat wanneer de niet opgeloste deeltjes uit de te behandelen mestvloeistof kunnen worden verwijderd, een levensduur van de omgekeerde-osmosemembranen van meer dan één jaar kan worden gegarandeerd. Technieken waarmee niet opgeloste stoffen verregaand uit een vloeistofstroom verwijderd kunnen worden zijn microfiltratie en ultrafiltratie. Ook bacteriën en enzymen worden door het micro- en ultrafiltratie-membraan in hoge mate tegengehouden, waardoor de kans op enzymatische aantasting van de omgekeerde-osmosemembranen afneemt.

Microfiltratie of ultrafiltratie is duurder dan bezinken. Echter de zeer goede afscheiding van deeltjes heeft een positief effect op de realiseerbare capaciteit van de omgekeerde-osmose-installatie en maakt het mogelijk goedkopere spiraalgewonden of vlakke plaat membranen te gebruiken. Daartegenover staat dat microfiltratie en ultrafiltratie eveneens een voorbehandeling van de ingaande mestvloeistof vereisen.

Uit het oogpunt van het behoud van een goede membraankwaliteit zou de combinatie bezinken, microfiltratie en omgekeerde osmose een goede proceskeuze zijn. Of deze proceskeuze ook in economische zin een goede keuze is hangt af van de mate waarin de capaciteit van het proces verhoogd wordt ten opzichte van het in dit onderzoek gehanteerde concept.

Het is mogelijk dat naast mechanische beschadiging ook andere oorzaken aange-wezen kunnen worden voor de snelle vermindering van de membraankwaliteit. De membraankwaliteit kan verminderen door enzymatische en chemische aantasting. In

hoeverre chemische en/of enzymatische aantasting van de membranen een rol hebben gespeeld in dit onderzoek is niet duidelijk.

5.2 Procesfactoren

Gedurende het onderzoek is de invloed van een groot aantal variabelen op het omgekeerde-osmoseproces onderzocht. Bij het vaststellen van het effect van één van de procesvariabelen op de capaciteit van de installatie is getracht de andere invloedsfactoren zoveel mogelijk constant te houden. Dit is slechts ten dele gelukt. Met name het drogestofgehalte van het influent en de membraankwaliteit varieerden bij elk experiment. Deze variatie veroorzaakte een relatief grote spreiding in de resultaten.

5.3 Reductie van het mestvolume

Met behulp van de tijdens dit onderzoek gebruikte omgekeerde-osmose-installatie is het mogelijk om het mestvolume van een bedrijf met 485 zeugen met 44% terug te brengen. De volumereductie wordt ondermeer beperkt door de bezinkstap. Na het bezinken van zeugenmest wordt maximaal circa 70% van het aanvangsmestvolume omgezet in geschikte dunne fractie voor het omgekeerde-osmoseproces. Dit betekent dat 30% van het mestvolume niet voor ontwatering in aanmerking komt en als zodanig dient te worden afgezet of aangewend. Het is duidelijk dat naarmate een groter deel van het mestvolume geschikt gemaakt kan worden voor het omgekeerde-osmoseproces de uiteindelijke volumereductie zal toenemen

Door middel van centrifugeren van zeugenmest kan tot meer dan 85% van het aanvangsvolume geschikt gemaakt worden voor omgekeerde osmose. (Feenstra en Van Voorneburg, 1992). Echter de afscheiding van niet opgeloste bestanddelen uit zeugenmest is bij centrifugeren over het algemeen minder goed dan bij het toepassen van bezinken. Met het oog op het behoud

van een goede membraankwaliteit heeft toepassing van centrifuge als (enige) voorbehandeling voor het omgekeerde-osmoseproces daarom niet de voorkeur.

De na bezinken verkregen dunne fractie zeugenmest kan maximaal circa 3,5 keer geconcentreerd worden. Elke m^3 zeugenmest levert 700 liter geschikte vloeistof voor het toepassen van het omgekeerde-osmoseproces. Deze 700 liter kan vervolgens worden ingedikt tot 200 liter concentraat. Ofwel uit elke m^3 zeugenmest kan volgens de in dit onderzoek gehanteerde opzet maximaal 500 liter water worden onttrokken. Het is echter niet aantrekkelijk dit maximale resultaat na te streven. Het onttrekken van de 'laatste liters' water vergt veel produktietijd en kost relatief veel energie. Uit eerder onderzoek is gebleken dat hogere concentreringsfactoren bij het toepassen van omgekeerde osmose op zeugenmest mogelijk zijn na een aerobe behandeling van de mestvloeistof (Van Tongeren en Ten Have, 1991). Een dergelijke voorbehandeling zal de investerings- en jaarkosten sterk verhogen en bovendien de complexiteit van de installatie vergroten,

5.4 Economisch perspectief

De investeringskosten voor het toepassen van omgekeerde osmose volgens het in dit rapport beschreven concept bedragen voor een bedrijfsgrootte van 485 zeugen f 230,- per zeugenplaats. Afhankelijk van de bedrijfssituatie kunnen de investeringen enigszins verminderen indien gebruik gemaakt kan worden van reeds aanwezige faciliteiten, zoals pompen, tanks en/of putten. Echter 75% van de investeringskosten komt voor rekening van de omgekeerde-osmoseinstallatie.

De jaarkosten voor een bedrijfsgrootte van 485 zeugen bedragen f 130,- per zeugenplaats per jaar. Omgerekend naar de jaarkosten per m^3 geproduceerde mest bedragen deze kosten f 25,- per m^3 .

De afzetkosten voor het restant van het mestvolume vormen de belangrijkste post op de jaarkostenrekening. De reden hiervoor is dat de mate van concentreren

beperkt is en het af te zetten restvolume daarom relatief groot. Zonder aanvullende maatregelen is het door middel van bezinken en omgekeerde osmose onder praktijkomstandigheden niet mogelijk het mestvolume met meer dan 50% te verminderen.

Enige besparingen zijn mogelijk. Het permeaat kan worden hergebruikt voor de reiniging van de stallen. De besparing op de jaarkosten per m^3 mest zijn echter zeer beperkt, namelijk 23 cent per m^3 .

Ook kan bespaard worden op mestopslagcapaciteit. Deze besparing geldt echter alleen in het geval dat de varkenshouder nog niet over voldoende opslagcapaciteit beschikt. Maximaal bedraagt deze besparing op de bewerkingskosten 2,52 per m^3 . Wanneer echter het permeaat niet verregend kan worden, moeten kosten worden berekend voor het emissie-arm aanwenden en de opslag van het permeaat. Deze kosten bedragen voor de bedrijfsgrootte van 485 zeugen circa f 2,50 per m^3 mestproduktie.

Schaalvergroting heeft een positief effect op de bewerkingskosten per m^3 mest. Echter zelfs bij een bedrijfsgrootte van 950 zeugen bedragen de totale mestkosten nog altijd f 21,53 per m^3 mest. Voor de weinige bedrijven in Nederland van deze omvang kan met het oog op de stijgende mestafzetkosten voor dunne zeugenmest het omgekeerde-osmoseproces een mogelijke optie zijn voor de nabije toekomst. Verdere schaalvergroting zal de bewerkingskosten per m^3 mest verder doen afnemen. Bewerking van zeugenmest met behulp van omgekeerde osmose op loonwerkersschaal zou perspectief kunnen hebben (Zie ook 5.6).

5.5 Afzet permeaat

Het is in principe mogelijk om via omgekeerde osmose uit mest water te onttrekken dat voldoet aan de normen voor lozing op het riool.

Het blijkt dat, onder overigens gelijke factoren, aanzuren van de mestvloeistof tot een betere permeaatkwaliteit leidt dan niet aanzuren.

Door het aanzuren verschuift het zuur/base-

evenwicht van ammoniak naar $\text{NH}_4^+.\text{NH}_4^+$ wordt sterker door het membraan tegengehouden dan NH_3 , zodat het Nkj-gehalte in het permeaat van aangezuurde mest beduidend lager is dan in het permeaat van niet aangezuurde mest. Daarnaast heeft een zure vloeistof een verdichtend effect op de membraanstructuur. Hierdoor wordt verklaard waarom ook ionen als chloride en kalium in mindere mate in het permeaat van aangezuurde mest aanwezig zijn.

In tabel 19 worden de gemeten permeaatsamenstelling en de indicatieve lozingsnormen voor lozing op het riool in Noord-Brabant (Anoniem, 1990) weergegeven.

Uit tabel 19 blijkt dat bij niet aanzuren van de zeugenmest de gemiddelde permeaatkwaliteit de lozingsnormen overschrijdt ten aanzien van stikstof en chloride. Permeaat uit aangezuurde mest voldoet aan alle eisen voor lozing op het riool. Voor zowel het permeaat dat is ontstaan uit aangezuurde dan wel uit niet aangezuurde mest geldt, dat het waterschap waarin de lozing plaatsvindt beoordeelt of lozing kan worden toegestaan. Afhankelijk van de situatie in het betreffende waterschap kan een lozingsvergunning worden verleend. De te betalen lozingsheffing hangt uiteraard samen met de kwaliteit van het permeaat dat geloosd wordt.

De permeaatkwaliteit wordt tevens bepaald door de mate van concentreren. De toename van de concentratie van de componenten in het permeaat ten gevolge van het concentreren wordt als volgt verklaard.

Naarmate de concentratie van zouten in de te concentreren vloeistof toeneemt ten gevolge van het onttrekken van water neemt de diffusiesnelheid van zouten door het membraan naar het permeaat toe. Tegelijkertijd neemt als gevolg van de concentrering de permeaatflux af. Dus het transport van zouten door het membraan neemt toe terwijl het transport van water door het membraan afneemt. Dit resulteert in hogere zoutconcentraties in het permeaat.

Het is mogelijk het verkregen permeaat op het land aan te wenden. Echter de huidige regelgeving biedt hiervoor slechts beperkte mogelijkheden.

In de mestwetgeving is opgenomen dat mest met een drogestofgehalte lager dan 5%, verkregen door scheiden van mest, onder de categorie 'waterige fractie' valt. Permeaat verkregen door omgekeerde osmose wordt aldus gerekend tot 'waterige fractie'. Dit houdt in dat van het permeaat per hectare slechts 50 m³ op grasland mag worden aangewend en 25 m³ op mais- en bouwland. Op basis van gebruiksnormen mag aanvullend worden bemest met normale dierlijke mest, mits de waterige fractie is bemonsterd en geanalyseerd op het fosfaatgehalte.

De regelgeving voor waterige fracties is opgesteld om uitspoeling van stikstof te voorkomen. Echter bij omgekeerde osmose blijft ook stikstof voor circa 90% achter in het concentraat, zelfs als de mest vooraf niet is aangezuurd.

Dit roept de vraag op of aanwendingsnormen voor waterige fracties, verkregen uit technieken zoals omgekeerde osmose en

Tabel 19: Permeaatkwaliteit en indicatieve normen voor lozing op het riool in Noord-Brabant (gehalten in mg/l).

	aangezuurd	niet aangezuurd	norm
PH	6,5-7,0	8,5	6,5-9,0
c z v	32	280	1.500
BZV	25		500
Stikstof (Nkj)	53	294	100
Fosfor	14,	1,6	30
Chloride	30	165	150
Kleur	p.m.	p.m.	p.m.

indampen, aangepast moeten worden.

Door de invoering van een mineralenboekhouding waarin de derde fase van het mestbeleid voorziet, dienen alle nutriëntenstromen op het bedrijf in kaart te worden gebracht. Op deze wijze is het mogelijk de aanwending van nutriënten nauwkeurig af te stemmen op de geldende aanwendingsnormen. De hoeveelheid water die tezamen met de nutriënten wordt aangewend is van minder belang. Door middel van de invoering van de mineralenboekhouding zou de aanwending van waterige fracties geregeld kunnen worden.

Het is niet zonder meer mogelijk het permeaat te gebruiken als drinkwater voor de varkens. Het H_2S dat in geringe hoeveelheden in het permeaat aanwezig is, is reeds bij lage concentraties giftig voor de varkens. Wanneer het H_2S is verwijderd kan het permeaat wel worden gebruikt voor de reiniging van de stallen. Het verwijderen van H_2S kan eenvoudig plaatsvinden door het plaatsen van een kleine beluchtingspomp in de opslagtank van het permeaat. Het H_2S wordt op deze wijze deels uitgedreven en deels geoxideerd tot SO_4^{2-} .

5.6 Andere ontwikkelingen

De stijgende kosten voor de mestafzet hebben ertoe geleid dat varkenshouderijbedrijven steeds bewuster zijn gaan omspringen met het gebruik van water. Dit heeft geleid

tot de productie van steeds geconcentreerdere mestsoorten. Naarmate het drogestofgehalte van de mest toeneemt, verloopt het scheiden door bezinken moeizamer (Poelma, 1987).

Daarnaast hebben geconcentreerdere mestsoorten hogere zoutgehaltes, waardoor deze minder ver te ontwateren zijn via omgekeerde osmose.

Deze ontwikkeling vermindert daarom het perspectief van de omgekeerde-osmose-techniek.

Met behulp van indampstechnieken is het mogelijk dunne zeugenmest veel verder te concentreren dan met behulp van omgekeerde osmose mogelijk is. De indampstechnieken lijken echter te duur voor toepassing op boerderijschaal. Recentelijk is de mogelijkheid geïntroduceerd om via een indampinstallatie bij loonwerkers dunne mest (bijvoorbeeld bezonken zeugenmest) te ontwateren.

Een concentrering met een factor 10 wordt mogelijk geacht. Ook met de indampstechniek is het mogelijk water te produceren dat voldoet aan de lozingseisen voor het riool. Deze indampstechnologie is operationeel. Loonwerkers halen de dunne zeugenmest van varkenshouders in de nabije omtrek op en concentreren de mest voor transport over grotere afstanden. Verwacht wordt dat deze ontwikkeling zich in de toekomst doorzet.

6 CONCLUSIES

Het concentreren van zeugenmest met behulp van omgekeerde osmose is technisch mogelijk, mits de te gebruiken mestvloeistof is ontdaan van zand en andere niet opgeloste bestanddelen. De afscheiding van deeltjes door middel van bezinking met behulp van polymeren verloopt niet altijd voldoende efficiënt, waardoor sterke slijtage van de membranen kan optreden.

Het mestvolume kan door middel van bezinken en omgekeerde osmose maximaal met 50% worden gereduceerd. Het is echter economisch minder aantrekkelijk deze maximale concentrering na te streven. Naarmate de eindconcentrering bereikt wordt, loopt de procescapaciteit sterk terug. Een concentrering van 44% is een meer reële waarde voor de praktijk voor de opzet zoals in dit rapport is beschreven.

Het uit mest onttrokken water via de omgekeerde-osmosetechniek kan voldoen aan de lozingseisen voor lozing op het riool, mits de membranen niet beschadigd zijn en de mestvloeistof vooraf is aangezuurd tot een pH van 6,5.

Bij niet aanzuren worden de normen ten aanzien van stikstof en chloride overschreden. Het waterschap bepaalt of lozing op het riool kan worden toegestaan. Het onttrokken water valt in de mestwetgeving onder de categorie 'waterige fractie' en

mag onder de daarvoor geldende restricties worden aangewend. Vanwege het voortschrijden van de technische mogelijkheden voor de scheiding van mest is de definitie voor waterige fractie aan heroverweging toe.

Een deel van het permeaat kan worden aangewend voor de reiniging van stallen wanneer het in het permeaat aanwezige H_2S is verwijderd.

Het economisch perspectief voor het omgekeerde-osmoseproces is vooralsnog klein. De totale mestkosten voor het proces en de afzet van restfracties bedragen f 25,- per m^3 geproduceerde mest voor een bedrijf met 485 zeugen. Hierbij zijn eventuele besparingen op waterverbruik en mestopslagcapaciteit van maximaal f 2,75 per m^3 niet meegerekend. Wanneer de mestafzetkosten verder stijgen is het omgekeerde-osmoseproces een mogelijke optie voor grote bedrijven voor de nabije toekomst.

Onder druk van de stijgende mestafzetprijzen worden steeds geconcentreerdere mestsoorten geproduceerd. Deze tendens verkleint het perspectief van membraanfiltratie. Daarnaast is de toepassing van de indampstechniek op loonwerkerschaal een bruikbaar alternatief voor het omgekeerde-osmoseproces.

LITERATUUR

Anoniem 1991. *Voorlopige inspectie richtlijn mestverwerkingsinstallaties*. Publicatie 91-02 van het ministerie VROM, Den Haag.

Anoniem 1993. *Notitie Mest- en ammoniakbeleid derde fase*. Tweede kamer, vergaderjaar 1992-1993, 19882, nr. 34, Uitg. SDU, Den Haag.

Bens, P.A.M., J.J.M. Schellekens en A.A.M. Thus 1993. *Mest- en mineralenoverschot op individuele varkensbedrijven*. IKC Veehouderij, Ede, GL 12, p58-63.

Feenstra, L. en F. van Voorneburg 1992. *Mestscheiding bij centrale mestverwerking*. ICM, ISBN 90-80091 13-4-0, Wageningen.

Kleijn, de J.P.L. en J.A.M. Voermans 1991. *Scheiden van zeugenmest door bezinking*. Varkensproefbedrijf "Zuid- en West-Nederland", Sterksel. Proefverslag nr. P 1.62, pp. 56.

Poelma, H.R. 1987. *Bewerking van dunne varkensmest in bijzonder door bezinking*. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen, Nota 287 (HAB), 31 pp.

Schellekens, J.J.M. 1993. *Door mestbewerking lagere mestafzetkosten mogelijk*. Infobulletin Varkenshouderij, IKC Veehouderij, Ede, nr. 5, p5-10.

Schellekens, J.J.M. 1995. *Effluent uit mestbewerking op boerderijniveau. Oplossingen voor knelpunten in de regelgeving voor de afzet van effluent uit mestbewerkingsystemen op boerderijniveau*. IKC veehouderij (in voorbereiding).

Tongeren, van W.G.J.M. en H.J. van Veen 1986. *Toepassing van omgekeerde osmose bij zuivering van varkensdrijfmest*. H₂O (19) 1986, nr. 21.

Tongeren, van W.G.J.M. 1989. *Toepassing van omgekeerde osmose bij verwerking van dunne mestsoorten*. MT-TNO, Apeldoorn, nr. 89-236/C1.

Tongeren, van W.G.J.M. en J.P.L. de Kleijn 1990. *Verwerking van zeugenmest op de boerderij via bezinken en omgekeerde osmose*. MT-TNO, Apeldoorn, nr. 90-261.

Tongeren, van W.G.J.M. en P.J.W. Ten Have 1991. *Toepassing van omgekeerde osmose bij mestverwerking*. Procestechologie, december 1991. p21-25.

Verdoes, N, G.M. den Brok en J.H.M. van Cuyck 1992. *Mechanische mestscheiders als mogelijke schakel in de mestbewerking op bedrijfsniveau*. Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen. Proefverslag nr. P 1.77, pp. 56.

BIJLAGEN

Bijlage 1: Waarnemingsformulier

Datum: 15-02-93 Run: 26										Waarnemer:					
Monstercodering: Voeding Concentraat: Permeaat:										Proefcondities: pH: 7,8 H ₂ SO ₄ 0 l/m ³ Temp: 6 Druk: 55					
Reiniging uitgevoerd ja/ nee Filter gecontroleerd ja/ nee										Zouttest 2,5 g/l, 40 bar nu batch 25 Retentie: 99,9 Flux: 48,7					
Tijd	Uren	Druk bar	Temp. P C		pH P C		Debiet l/h	Flux l/m ² h	G Perm uS/cm	G Conc mS/cm	R %	Inhoud M3	CF	E kWh	
15/02															
11.00	2299	55	8,5	6,4	6,36	7,88	160	20,5	588	29,7	98,0	19,7	1,0	6906	
12.00		55	6,4	5,9	6,61	7,88	130	16,7	1064	30,0	96,5	19,6	1,01		
16.15		55	6,4	5,8	6,54	7,85	120	15,4	1132	30,6	96,3	18,9	1,04		
16/02		5													
7.55	2321	55	7,8	7,7	6,62	7,87	110	14,1	1423	34,5	95,8	16,7	1,18	6775	
16.10		55	10,2	9,0	6,87	7,99	110	14,1	1722	36,9	95,3	15,8	1,25		
17/02															
8.10	2345	55	10,8	10,6	6,80	7,92	100	12,8	2,10 mS	41,0	94,8	13,8	1,43	6854	
16.10		55	11,5	10,3	6,94	7,97	95	12,2	2,33	42,6	94,5	12,9	1,53		
18/02															
8.00	2369	55	13,4	13,8	6,94	8,02	75	9,6	3,15	48,1	93,4	11,2	1,76	6932	
16.10		55	14,4	14,5	7,08	8,01	65	8,3	3,65	50,7	92,8	10,5	1,88		
19/02															
8.05	2393	55	16,3	16,5	7,03	7,85	50	6,41	4,54	55,6	91,7	9,3	2,12	7012	

Bijlage 2: Samenvattend overzicht resultaten omgekeerde osmose

Batch	pH (feed)	Q (m³/h)	T (°C)	CF	Flux (l/m²h)	Retentie (%)	Flux ztest (l/m²h)	Ret.ztest (%)
1	6	1.5	9-18	3.3	13.8	98.5-94.3	38.5	96.4
2	6	1.5	9-18	3.4	14.8	98.5-89.4	38.5	96.6
3	6	1.1	10-17	2.9	11.7	97.2-92.5	39.1	95.0
4	6	1.1	12.8-18.7	2.7	14.5	97.6-92.6	41.6	94.6
5	6.4	1.1	13.7-24.8	2.7	13.2	96.7-74.0	41.6	95.5
6	6.2	1.1	25.0-26.4	2.3	18.6	96.7-89.7	48.7	94.8
7	6.5	1.5	19.3-23.7	3.5	14.7	96.3-73.9	39.7	93.6
8	6.8	1.5	20.2-25.0	3.6	19.1	94.1-73.9	41.7	93.2
9	7.0	1.5	17.0-28.3	3.5	25.4	94.2-81.7	43.7	91.7
10	6.9	1.1	21.5-28.5	2.7	16.2	96.3-91.0	>51.3	80.2
11	6.9	1.1	21.8-26.9	3.2	17.6	94.1-82.2	>51.3	83.5
12	7.5	1.1	19.1-24.5	3.1	12.5	94.4-76.9	>51.3	80.1
13							51.0	99.3
14	8	1.5	15.2-21.2	3.5	18.7	96.3-91.8	41.0	99.0
15	8	1.5	12.1-18.9	3.5	14.9	98.1-90.3	43.6	97.6
16	8	1.5	9.6-18.4	3.4	14.9	96.7-90.9	42.9	93.7
17	8	1.5	10.5-18.3	2.7	14.0	94.9-88.7	43.6	93.6
18	8	1.5	9.8-19.8	2.9	13.2	95.1-86.1	43.6	?
19	7.8	1.5	-	3.3	13.7	-	-	-
20	7.8	1.5	10.0-21.1	3.3	14.2			
21							32.1	99.5
22	7.8	1.5	9.7-21.3	3.0	14.1	97.8-89.9	46.2	99.0
23	7.8	1.5	9.1-18.0	4.4	11.7	97.9-84.6	51.3	96.7
24	7.8	1.5	7.5-17.1	2.7	11.7	97.9-90.9	43.6	98.0
25	7.8	1.5	8.9-12.5	1.9	14.2	97.5-93.7	48.7	97.9
26	7.8	1.5	5.9-16.5	2.1	14.2	96.5-91.7	43.6	97.6
27	7.8	1.5	5.3-15.9	2.1	13.4	96.1-94.5	43.6	93.8
28							51.3	92.9
29	7.8	1.5	8.4-20.0	2.8	14.7	96.0-87.9	46.2	95.2
30	7.8	1.5	9.0-16.5	2.3	15.6	95.6-93.4	48.7	95.2
31	6.5	1.5	11.6-18.6	3.1	16.7	99.0-97.9	>51.3	99.2
32	5.7	1.5	13.7-25.0	2.0	18.0	99.5-97.5	57.1	99.2

Bijlage 3: Berekening van de jaarkosten ten behoeve van bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 950 zeugen

Tabel 3.1: Uitgangspunten ten behoeve van de berekening van de jaarkosten voor omgekeerde osmose met bezinken als voorscheiding voor een bedrijf met 950 zeugen.

	hoeveelheid	eenheid			
Bedrijfsgegevens:					
Bedrijfsgrootte	950	zeugen			
Mestproductie (5% droge stof)	4.940	m ³ /jaar			
Permeaatproductie (0,02% droge stof)	2.177	m ³ /jaar			
Geconcentreerde mest (8,9% droge stof)	2.763	m ³ /jaar			
Bezinken:					
Inhoud bezinksilo	100	m ³			
Inhoud mengtank polymeerdosering	2	m ³			
Percentage dunne fractie na bezinken	70	%			
Polymeerdosering	1	gr/kg DS			
Inhoud concentreringstank	35	m ³			
Omgekeerde osmose:					
Membraanoppervlak van de installatie	15,6	m ²			
Productie-uren	8.112	uren/jaar			
Energieverbruik installatie	5,5	kWh/uur			
Overig energieverbruik (schatting)	0,5	kWh/uur			
Bestemming permeaat en geconcentreerde mest:					
Reinigingswater	950	m ³ /jaar			
Opslag/verregenen permeaat à f 2,-/m ³	1.227	m ³ /jaar			
Afzet geconcentreerde mest à f 19,50/m ³	2.763	m ³ /jaar			
Rente, afschrijving en onderhoud:					
	Re.	Af.	On.		
Tanks en silo's	4,1	5 0	2,5	11,6	%
Leidingen	4,1	10;0	0,0	14,1	%
Pompen	4,1	7 5	3,0	14,6	%
Omgek. osmose-inst.	4,1	12;5	2,0	18,6	%

Tabel 3.2: Investeringskosten ten behoeve van bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 950 zeugen.

	guldens
Bezinksilo (100 m ³)	20.000
Polymeerdoseerinstallatie (2 m ³)	3.400
Leidingen (45 meter à f 35,- per meter)	1.575
Dompelpomp (30 m ³ /uur, 2 kWh)	4.000
Concentreringsstank (35 m ³)	7.500
Omgekeerde-osmose-installatie (15,6m ²)	111.150
Totaal investeringskosten:	147.625
Investeringskosten per zeugenplaats per jaar	155

Tabel 3.3: Jaarkosten voor bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 950 zeugen.

	per jaar	per m ³ mest
Rente, afschrijving, onderhoud van de investeringen	25.064,38	5,07
Polymeer (247 kg à f 15,-)	3.705,00	0,75
Membranen (15,6m ² à f 503,-/m ²)	7.846,80	1,58
Energie (48.801 kWh à f 0,18)	8.784,18	1,78
Reinigingsmiddelen	748,80	0,15
Afzet permeaat: (1227 m ³ à f 2,-/m ³)	2.454,00	0,50
Arbeid (2,5 uur/week à f 29,92/uur)	3.889,60	0,79
Afzet geconc. mest (2763 m ³ à f 19,50)	53.878,50	10,91
Totaal :	106.371,26	21,53

Bijlage 4: Berekening van de jaarkosten ten behoeve van bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 200 zeugen.

Tabel 4.1: Uitgangspunten ten behoeve van de berekening van de jaarkosten voor omgekeerde osmose met bezinken als voorscheiding voor een bedrijf met 200 zeugen.

	hoeveelheid	eenheid			
Bedrijfsgegevens:					
Bedrijfsgrootte	200	Zeugen			
Mestproductie (5% droge stof)	1.040	m ³ /jaar			
Permeaatproductie (0,02% droge stof)	520	m ³ /jaar			
Geconcentreerde mest (9,8% droge stof)	520	m ³ /jaar			
Bezinken:					
Inhoud bezinksilo	50	m ³			
Inhoud mengtank polymeerdosering	2	m ³			
Percentage dunne fractie na bezinken	70	%			
Polymeerdosering	1	gr/kg DS			
Inhoud concentreringstank	20	m ³			
Omgekeerde osmose:					
Membraanoppervlak van de installatie	78	m ²			
Productie-uren	4.444	uren/jaar			
Energieverbruik installatie	3,2	kWh/uur			
Overig energieverbruik (schatting)	0,5	kWh/uur			
Bestemming permeaat en geconcentreerde mest:					
Reinigingswater	200	m ³ /jaar			
Opslag/verregenen permeaat à f 2,-/m ³	320	m ³ /jaar			
Afzet geconcentreerde mest à f 19,50/m ³	520	m ³ /jaar			
Rente, afschrijving en onderhoud:					
	Re.	Af.	On.		
Tanks en silo's	4,1	50	2,5	11,6	%
Leidingen	4,1	10,0	0,0	14,1	%
Pompen	4,1	75	3,0	14,6	%
Omgek. osmose-inst.	4,1	12,5	2,0	18,6	%

Tabel 4.2: Investeringskosten ten behoeve van bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 200 zeugen.

	guldens
Bezinksilo (50 m ³)	12.500
Polymeerdoseerinstallatie (2 m ³)	3.400
Leidingen (45 meter à f 35,- per meter)	1.575
Dompelpomp (30 m ³ /uur, 2 kWh)	4.000
Concentreringsstank (20 m ³)	5.000
Omgekeerde-osmose-installatie (7,8 m ²)	85.000
Totaal investeringskosten:	111.475
Investeringskosten per zeugenplaats per jaar	557

Tabel 4.3: Jaarkosten voor bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 200 zeugen.

	per jaar	per m ³ mest
Rente, afschrijving, onderhoud van de investeringen	19.040,00	18,31
Polymeer (52 kg à f 15,-)	780,00	0,75
Membranen (7,8 m ² à f 503,-/m ²)	3.923,40	3,77
Energie (18.405 kWh à f 0,18)	3.312,90	3,19
Reinigingsmiddelen	156,00	0,15
Afzet permeaat: (320 m ³ à f 2,-/m ³)	640,00	0,62
Arbeid (1,25 uur/week à f 29,92/uur)	1.944,80	1,87
Afzet geconc. mest (1415 m ³ à f 19,50)	10.140,00	9,75
Totaal:	39.937,58	38,44

Bijlage 5: Berekening van de jaarkosten ten behoeve van bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 950 zeugen met een kleine installatie (7,8 m² membraanoppervlak).

Tabel 5.1: Uitgangspunten ten behoeve van de berekening van de jaarkosten voor omgekeerde osmose met bezinken als voorscheiding voor een bedrijf met 950 zeugen (7,8 m² membraanoppervlak).

	hoeveelheid	eenheid			
Bedrijfsgegevens:					
Bed rijfsg rootte	950	zeugen			
Mestproduktie (5% droge stof)	4.940	m ³ /jaar			
Permeaatproduktie (0,02% droge stof)	1.297	m ³ /jaar			
Geconcentreerde mest (6,7% droge stof)	3.643	m ³ /jaar			
Bezin ken:					
Inhoud bezinksilo	100	m ³			
Inhoud mengtank polymeedosering	2	m ³			
Percentage dunne fractie na bezinken	70	%			
Polymeerdosering	1	gr/kg DS			
Inhoud concentreringstank	35	m ³			
Omgekeerde osmose:					
Membraanoppervlak van de installatie	7 8	m ²			
Productie-uren	8.11'1	uren/jaar			
Energieverbruik installatie	3,2	kWh/uur			
Overig energieverbruik (schatting)	0,5	kWh/uur			
Bestemming permeaat en geconcentreerde mest:					
Reinigingswater	950	m ³ /jaar			
Opslag/verregenen permeaat à f 2,-/m ³	347	m ³ /jaar			
Afzet geconcentreerde mest à f 19,50/m ³	3.643	m ³ /jaar			
Rente, afschrijving en onderhoud:					
	Re.	Af	On.		
Tanks en silo's	4,1	5 0	2,5	11,6	%
Leidingen	4,1	10'0	0,0	14,1	%
Pompen	4,1	7 5	3,0	14,6	%
Omgek. osmose-inst.	4,1	12'5	2,0	18,6	%

Tabel 5.2: Investeringskosten ten behoeve van bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 950 zeugen bij gebruik van een kleine installatie met 7,8 m² membraanoppervlak.

	guldens
Bezinksilo (100 m ³)	20.000
Polymeerdoseerinstallatie (2 m ³)	3.400
Leidingen (45 meter à f 35,- per meter)	1.575
Dompelpomp (30 m ³ /uur, 2 kWh)	4.000
Concentreringsstank (35 m ³)	7.500
Omgekeerde-osmose-installatie (7,8 m ²)	85.000
Totaal investeringskosten:	121.475
Investeringskosten per zeugenplaats per jaar	128

Tabel 5.3: Jaarkosten voor bezinken en omgekeerde osmose voor een bedrijf met 950 zeugen bij gebruik van een kleine installatie met 7,8 m² membraanoppervlak.

	per jaar	per m ³ mest
Rente, afschrijving, onderhoud van de investeringen	20.200,50	4,09
Polymeer (52 kg à f 15,-)	3.705,00	0,75
Membranen (7,8 m ² à f 503,-/m ²)	3.923,40	0,79
Energie (30.000 kWh à f 0,18)	5.400,00	1,10
Reinigingsmiddelen	748,80	0,15
Afzet permeaat: (347 m ³ à f 2,-/m ³)	694,00	0,14
Arbeid (1,25 uur/week à f 29,92/uur)	3.889,60	0,79
Afzet geconc. mest (3643 m ³ à f 19,50)	71.038,50	14,38
Totaal:	109.599,80	22,19

REEDS EERDER VERSCHENEN PROEFVERSLAGEN

Proefverslag P1.117

"Technisch Model Varkensvoeding." Informatiemodel. C.M.C. van der Peet-Schwering e.a., 1994.

Proefverslag P1.118

"Het effect van de groepsgrootte bij gespeende biggen op technische- en economische resultaten". H.M. Vermeer en A.I.J. Hoofs, 1994.

Proefverslag P1. 119

"Onderzoek naar mogelijkheden tot bepaling van de vleeskwantiteit van koppels vleesvarkens door benutting van lichtreflectiemeting". M.J.H.M. Klein Breteler, W.M. Wes, J.H. Huiskes, E. Kanis en P. Walstra, 1994.

Proefverslag P1. 120

"Vergelijking van het één-, twee- en drie-weekse productiesysteem voor vermeerderingsbedrijven". P.F.M.M. Roelofs en P.M.H.K. Verbaarschot, 1994.

Proefverslag P1. 121

"Literatuurstudie naar de problematiek rondom het mesten van beertjes". R.H. J. Scholten, J.H. Huiskes en P.C. Vesseur, 1994.

Proefverslag P1. 122

"Mogelijkheden tot productie van vleesbeertjes en afzet van vlees en vleesprodukten hiervan". R.H.J. Scholten, J.H. Huiskes, W.H.M. Baltussen, R. Hoste, J.G.M. Thelosen en A.W. Vermeer, 1994.

Proefverslag P1.122a

"Handleiding Rekenmodel BeerBorg + diskette". R.H.J. Scholten en J.H. Huiskes, 1994.

Proefverslag P1. 123

"Automatische bepaling van het individuele lichaamsgewicht van in groepen gehuisveste vleesvarkens met een voorhandweegsysteem". P.J.L. Ramaekers, J.H. Huiskes, M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, P.C. Vesseur en J.W.G.M. Swinkels, 1994.

Proefverslag P1. 124

"Varkenssector op kruispunt; drie mogelijke toekomstbeelden voor 2005". P.A.M. Bens, G.B.C. Backus en I.A.M.A. Jahae, november 1994.

Proefverslag PI. 125

"Studie naar klimatisering dekstal in relatie tot emissie en energie". I.A.A.C. Mouwen en J.G. Plagge, januari 1995.

Proefverslag PI. 126

"Relatie tussen speendiarree en het ijzer- en zinkgehalte in speenvoer bij biggen". J.W.G.M. Swinkels, G.P. Binnendijk en C.M.C. van der Peet-Schwering, februari 1995.

Proefverslag P1. 127

"Gebruikswaarde van kunststof roosters in kraamhokken met volledig roostervloer". A.I.J. Hoofs, maart 1995.

Proefverslag P1. 128

"Vrijwaringsprogramma's tegen infectieuze ziekten voor Nederlandse varkensbedrijven". J.W.G.M. Swinkels, P.C. Vesseur, maart 1995.

Exemplaren van proefverslagen kunnen worden verkregen door f 18,50 per verslag (m.u.v. PI ,117, deze kost f 50,-) over te maken op Postbanknummer 51.73.462 ten name van het Proefstation voor de Varkenshouderij, Lunerikampweg 7, 5245 NB ROSMALEN, onder vermelding van het gewenste verslagnummer. Buitenlandse abonnees betalen f 20,- per P 1-verslag (dit is inclusief verzendkosten) én f 15,- administratiekosten per bestelling (m.u.v. PI .117, deze kost f 75,-). Ook bestaat de mogelijkheid een abonnement te nemen op de proefverslagen voor f 250,- per jaar.