

Toepassingsmogelijkheden van omgekeerde osmose bij mestverwerking

Publikatie

Referentienummer	91-349
Dossiernummer	112322-14129
CB-nummer	CB/349
Datum	september 1991

Auteurs
W.G.J.M. van Tongeren
Instituut voor Milieu- en Energietechnologie
TNO, Apeldoorn
P.J.W. ten Have
Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
(IMAG-DLO), Wageningen

Bestemd voor
Publikatie in I²P

Toepassingsmogelijkheden van omgekeerde osmose bij mestverwerking

W.G.J.M. van Tongeren,
Instituut voor Milieu- en Energietechnologie TNO, Apeldoorn
P.J.W. ten Have,
Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG-DLO), Wageningen

Bij de verwerking van mestoverschotten speelt het verwijderen van water een grote rol. Technieken die hierbij kunnen worden toegepast zijn indampen, drogen en omgekeerde osmose. TNO heeft de afgelopen 10 jaar, in samenwerking met het IMAG-DLO, veel onderzoek uitgevoerd op het laatstgenoemde terrein. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de resultaten van dit onderzoek, waarbij ook kort op de kosten van deze toepassing wordt ingegaan. Tevens wordt aangegeven wat de plaats van het omgekeerde osmoseproces is bij de verwerking van mest en hoe de stand van zaken is met betrekking tot deze toepassing.

Mestverwerking is, naast het al langer toegepaste drogen van runder- en kipmest, voor een belangrijk deel gericht op waterrijke mestsoorten zoals varkensdrijfmest en kalvergier. Er is de afgelopen 10 tot 15 jaar veel onderzoek verricht naar de verwerkingsmogelijkheden van met name deze mestsoorten. Een groot aantal biologische, mechanische, fysische en fysisch-chemische processen is onderzocht, waarbij zowel de aparte processtappen als totale mestverwerkingssystemen zijn beproefd. Hierbij is zowel aandacht besteed aan kleinschalige verwerking, bijvoorbeeld op de boerderij, als aan grootschalige verwerking gericht op de ontwikkeling van centrale verwerkingsinstallaties met een capaciteit tot meer dan 500.000 m³ mest per jaar.

Financiële ondersteuning voor dit onderzoek is verkregen van zowel de overheid als het landbouwbedrijfsleven.

Voor een overzicht van de stand van zaken met betrekking tot het onderzoek naar centrale mestverwerking wordt verwezen naar een artikel dat in juni 1990 in dit blad is gepubliceerd [1].

Mestverwerkingsprocessen

In bijna alle routes van zowel kleinschalige als grootschalige mestverwerking is een scheidingstrap voor niet-opgeloste droge stof opgenomen. Door middel van bezinken, filtreren of centrifugeren, eventueel met gebruikmaking van vlokmiddelen, vindt een splitsing plaats van de mest in een dikke fractie, waarin voornamelijk de niet-opgeloste bestanddelen aanwezig zijn, en een dunne fractie met daarin één tot enkele procenten droge stof, voornamelijk in de vorm van zouten en andere opgeloste verbindingen. De dikke fractie kan (eventueel na opslag en transport) direct als meststof worden aangewend of verder worden gedroogd. De in de dunne fractie opgeloste verbindingen, zoals organische stoffen, ammoniak en zouten zullen vergaand verwijderd moeten worden alvorens deze stroom kan worden geloosd.

Een aantal technieken is specifiek gericht op het verwijderen van bepaalde componenten, zoals organische stof (biologische zuivering), NH₃ (via nitrificatie/denitrificatie, strippen of transmembraan-chemisorptie) of fosfaat (chemisch of biologisch).

Deze technieken leveren in het algemeen geen loosbaar effluent omdat vrijwel nergens het lozen van zoutrijke mestvloeistoffen wordt toegestaan. Voor het terughouden van de zoutfractie komt een aantal technieken in aanmerking, waarvan de belangrijkste zijn:

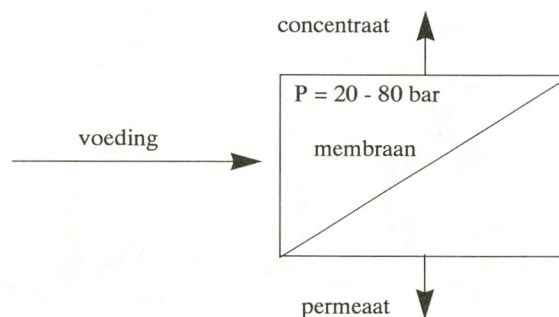
- indampen
- vriesconcentreren
- electrodialyse
- omgekeerde osmose

Het Omgekeerde Osmoseproces

Omgekeerde osmose (O-O), ook wel met hyperfiltratie aangeduid, is een filtratieproces, waarbij de scheiding plaats vindt over een semipermeabele wand, het membraan. Dit membraan laat water relatief goed door, maar de in het water opgeloste componenten in het algemeen zeer slecht. De drijvende kracht voor het proces is een drukverschil (20 tot 80 bar), dat over het membraan wordt aangelegd.

In een apart kader is een aantal begrippen toegelicht die met betrekking tot het uitgevoerde onderzoek van belang zijn. Figuur 1 geeft een prinscipeschema van het proces.

Voor een uitvoerige beschrijving van het proces wordt verwezen naar de betreffende literatuur [2].



Figuur 1 Prinscipeschema van het omgekeerde osmoseproces

Samenvatting van het uitgevoerde onderzoek

Er is in de periode vanaf 1982 onderzoek verricht aan een groot aantal verschillende soorten mestvloeistoffen. De invloed van de procescondities en de voorbehandeling zijn hierbij de belangrijkste aandachtspunten geweest. In tabel 1 zijn de belangrijkste onderzoeksresultaten samengevat, waarbij de nadruk ligt op het type mestvloeistof en de voorbehandeling. In de eerste kolom wordt aangegeven volgens welke procesroute de mestvloeistof ontstaat, bij de verwerking van respectievelijk varkensdrijfmest, zeugenmest en kalvergier. Voor de twee laatstgenoemde mestsoorten betreft deze verwerking soms alleen een eenvoudige scheiding. Met (noodzakelijke) voorbehandeling wordt de specifieke voorbehandeling bedoeld die ten behoeve van het O-O-proces nodig of gewenst is, zoals verdergaande deeltjesverwijdering of aanzuren. In een aantal gevallen zijn meerdere voorbehandelingsmethoden mogelijk.

De gegeven waarden voor flux, retentie en maximale concentrering zijn globale cijfers, afgeleid van de onderzoeksresultaten, voor praktijk-omstandigheden.

Tabel 1 Samenvatting O-O onderzoek mestvloeistoffen

Verwerkings- route mest	(Noodzakelijke) voorbehandeling t.b.v. O-O	Retentie bij 3* conc. (%)	Flux bij 3* concentr. (l/m ² .h)	Maximale Concen- trering
<i>Varkensdrijfmest</i>				
1. filtratie via zeefbandpers, nitr./denitr.	slib bezinken, aanzuren, pH=7	97,5	30	5,5
2. filtratie via zeefbandpers, gebuff. nitr.	aanzuren pH=6,5	97,5	18	3,5
3. vergisten, filtratie via zeefbandpers	geen, pH=8	95	10	2,5
	aanzuren, pH=6,8	97,5	9	2,5
4. filtratie via zeefbandpers	geen, pH=7,7	95	12,5	3
	aanzuren, pH=6,8	97	11	3
<i>Zeugenmest</i>				
5. bezinken, nitr./denitr.	slib bezinken, aanzuren, pH=6	98,5	40	8
6. bezinken, gebuff. nitr.	aanzuren, pH=6	97,5	30	5,5
7. bezinken	aanzuren, pH=6	98	17	3,5
8. centrifugeren	aanzuren, pH=6	98	15	3,5
9. centrifugeren, aëroob HB	slib bezinken aanzuren, pH=6	97,3	30	6
<i>Kalvergier</i>				
10. nitr./denitr., bezinken	aanzuren, pH=6	98,5	35	6,5
11. bezinken	geen, pH=8	93	16	3,5
	aanzuren, pH=6	98	16	3,5
	microfiltratie en aanzuren	98	20	4
12. centrifugeren	aanzuren, pH=6	98	15	3,5
13. centrifugeren, aëroob HB	aanzuren, pH=6	98	30	6

(gebuff.) nitr. = biologische (gebufferde) nitrificatie
denitr. = denitrificatie
aëroob HB = aëroob biologisch hoogbelast

Membraansystemen en materialen

Membranen worden voor gebruik in de praktijk verpakt in modules, die een verschillende vorm kunnen hebben, zoals vlakke plaat, spiraalgewonden en buisvormig. Met name op grond van de beperkte vervuilingsgevoeligheid is bij aanvang van het onderzoek gekozen voor buisvormige membranen. Bijna alle bij TNO uitgevoerde experimenten zijn met dit type membraan uitgevoerd. Daarnaast zijn enkele experimenten met vlakke plaatmembranen gedaan. Spiraalgewonden membranen lijken alleen toepasbaar in combinatie met een intensieve voorbehandeling, zoals bijvoorbeeld microfiltratie (Dit is een membraanfiltratietechniek waarbij deeltjes $> 0,1 \mu\text{m}$ worden afgescheiden).

Met betrekking tot het membraanmateriaal is op basis van de resultaten, voornamelijk met betrekking tot de (chemische) resistentie, al in een vroeg stadium gekozen voor een composietmembraan (polyamide, type ZF-99 en later ACF-99, van PCI). Met dit membraan zijn de meeste experimenten uitgevoerd. Andere membraanmaterialen, zoals cellulose-acetaat, maar ook composietmembranen van een ander fabrikaat zijn zowel bij de start van het onderzoek als daarna regelmatig beproefd, maar bleken minder geschikt.

Voorbehandeling

Vervuiling van de membranen is één van de grootste problemen bij toepassing van membraanprocessen. Voorbehandeling van de vloeistof kan dit probleem verminderen. Uit tabel 1 blijkt dat het verwijderen van slib en/of aanzuren voor de meeste mestvloeistoffen moet worden toegepast. Zonder deze voorbehandeling treedt meestal al na enkele uren een daling van de flux op tot waarden onder de $10 \text{ l/m}^2\cdot\text{h}$. In een aantal gevallen is aanzuren niet zozeer noodzakelijk uit het oogpunt van vervuilingspreventie, maar wel gewenst vanwege de invloed ervan op de retentie, met name met betrekking tot NH_3 . Dit wordt veroorzaakt door de hogere retentie van de membranen voor NH_4^+ ten opzichte van NH_3 . Voor dit aanzuren is zoutzuur of zwavelzuur gebruikt; 1 tot 10 l geconcentreerd zuur per m^3 mestvloeistof, afhankelijk van het type vloeistof.

Het verwijderen van slib is in de meeste gevallen via bezinken uitgevoerd. In een aantal gevallen is microfiltratie beproefd voor het verwijderen van slib, maar het effect hiervan ten opzichte van bezinken was in het algemeen gering. Een uitzondering hierop zijn de experimenten met kalvergiervzuivering met behulp van plaatvormige membranen (niet in de tabel vermeld), waarbij microfiltratie noodzakelijk bleek [4].

Kwaliteit gezuiverde vloeistof

Uit tabel 1 blijkt dat de membraan retentie bij de meeste mestvloeistoffen varieerde tussen 97 en 98%. Deze waarden zijn bepaald aan de hand van geleidbaarheidsmetingen en geven een indruk van de gemiddelde waarden van de concentratieafname ten opzichte van de geconcentreerde vloeistof.

In tabel 2 is voor een drietal mestvloeistoffen de samenstelling van de mestvloeistof en de gezuiverde stroom na omgekeerde osmose gegeven. De cijfers in tabel 2 zijn globale, afgeronde waarden, berekend uit de experimentele resultaten en voorspellen de situatie in de praktijk.

Uit deze tabel blijkt dat de concentratie van de verschillende componenten, afhankelijk van het type verbinding, door het toepassen van omgekeerde osmose met een factor 10 tot meer dan 100 is afgenomen. Toch zal in het geval van mest die

niet biologisch is behandeld, lozing op het oppervlaktewater van het permeaat niet worden toegestaan, omdat het CZV- en het ammoniakgehalte nog te hoog zijn. Voor de lozing op het riool worden onder normale omstandigheden geen problemen verwacht. Bij verwerking op boerderijschaal en bij ontbreken van een riool-aansluiting, kan gebruik als spoelwater en verspreiden over het land ook tot de afvoermogelijkheden behoren. Voorts valt op dat de permeaten, ondanks de grote reductiepercentages, nog enkele honderden milligrammen zout per liter bevatten.

Tabel 2 Samenstelling mestvloeistoffen vóór en na toepassing van omgekeerde osmose

Mestsoort Voorbehandeling Vóór/na O-O	Varkensdrijfmest Zeefbandpers Gebuff. nitr. (2)* Toevoer Per- meaat		zeugenmest Bezinken (7)* Toevoer Per- meaat		Kalvergier Nitr./denitr., Bezinken (10)* Toevoer Per- meaat	
pH	7		6,5		6	
Ds (g/l)	25	1,5	15	<1	10	<1
CZV (mg/l)	2.000	10	10.000	200	600	15
NO ₃ -N (mg/l)	3.000	200				
NH ₄ -N (mg/l)			2.000	100	50	1,5
P (mg/l)	20	<0,1	70	0,6	40	0,1
K (mg/l)	4.200	400	2.700	100	3.000	100
Cl (mg/l)	1.500	30	1.800	75	2.200	100

* Deze getallen verwijzen naar de proefnummers in tabel 1

Membraanflux

De waarde van de flux bepaalt voor een groot deel de economische haalbaarheid van het proces. De flux is afhankelijk van de procesomstandigheden (druk, temperatuur, concentrering, langsstroomsnelheid) en van het type vloeistof (membraanvervuiling, osmotische druk). De in tabel 1 gegeven waarden zijn ter vergelijking allen bij dezelfde concentrering gegeven, uitgaande van dezelfde procescondities.

In het algemeen blijkt dat met de biologisch gezuiverde mestvloeistoffen de hoogste waarden voor de flux worden bereikt. De verwijdering van organische verbindingen heeft een verlaging van de osmotische druk tot gevolg en levert bovendien in de meeste gevallen een zeer heldere vloeistof (na bezinken), waardoor de vervuiling van de membranen aanzienlijk minder is.

Concentreringsgraad

De maximale concentreringsgraad wordt theoretisch begrensd door de osmotische druk van de te zuiveren vloeistof. Bij een vloeistof met een osmotische druk van 10 bar (bijvoorbeeld effluent nr. 2 uit tabel 1) en een aangelegde druk van 60 bar is de resterende drijvende kracht bij 6 maal concentreren nihil. In de praktijk

wordt de maximale concentreringsgraad bepaald door de minimale waarde voor de flux die economisch nog acceptabel is, waarbij het aspect van membraanvervuiling een belangrijke rol speelt. Voor deze toepassing is een minimale flux van circa 12,5 l/m².h als uitgangspunt genomen.

Uit tabel 1 blijkt dat niet-biologisch gezuiverde vloeistoffen 2,5 tot 3,5 maal kunnen worden geconcentreerd; voor biologisch gezuiverde mestvloeistoffen varieert de concentreringsfactor van 3,5 tot meer dan een factor 6.

Volgens de huidige stand van de techniek is de maximale druk voor deze toepassingen 60 bar. Hogere drukken zijn technisch mogelijk maar in economisch opzicht niet erg aantrekkelijk. Dit betekent in de praktijk dat het maximale gehalte van de opgeloste stof in het concentraat bij de toepassing van omgekeerde osmose op mestvloeistoffen ongeveer 6% is.

Membraanreiniging

Wanneer de flux en/of de retentie is gedaald beneden een vooraf vastgesteld niveau is reiniging van de membranen nodig. Tijdens de eerste experimenten met mestvloeistof is een reinigingsprocedure vastgesteld die gedurende het resterende onderzoek is gehandhaafd. De belangrijkste onderdelen bij deze reiniging zijn het met leidingwater in propstroom leegpersen van de installatie, het spoelen met en weken in een alkalisch reinigingsmiddel bij 40 °C, eventueel gevolgd door een zure spoeling, en het opnieuw in propstroom verwijderen van de inhoud met water. In de praktijk kan bij de reiniging permeaat worden gebruikt.

De frequentie waarmee de reiniging moet worden uitgevoerd is sterk afhankelijk van de mestvloeistof. In een aantal gevallen, wanneer veel slib in de vloeistof aanwezig was, bleek het noodzakelijk éénmaal per 48 uur te reinigen.

Bij vrijwel heldere mestvloeistoffen, zoals goed bezonken effluent van een kalvergierzuiveringsinstallatie, lijkt het voldoende slechts éénmaal per twee weken een reiniging toe te passen. In het algemeen is een niet door reiniging onderbroken produktieperiode van meerdere dagen mogelijk.

Levensduur membranen

Met een aantal mestvloeistoffen zijn duurproeven uitgevoerd.

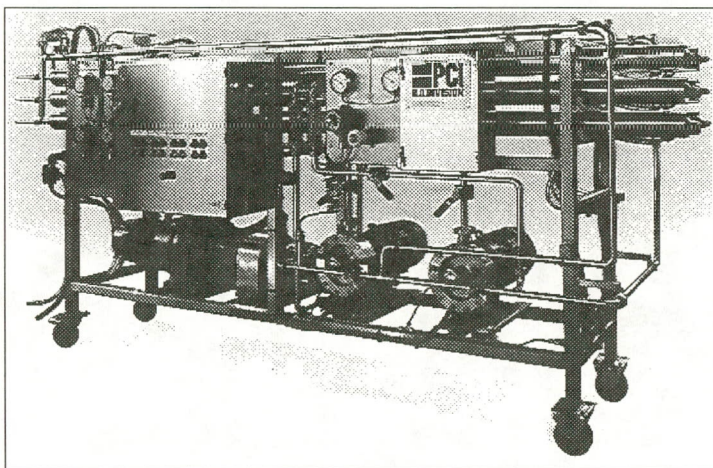
Effluent van de gebufferde nitrificatie is gedurende 9 maanden met hetzelfde membraan beproefd.

Bij de duurproeven met het effluent van een kalvergierzuiveringsinstallatie (kgzi) was na circa 120 dagen membraanvervanging noodzakelijk. Bij inspectie bleken de membranen mechanische beschadigingen te vertonen, waarschijnlijk tengevolge van het grote aantal noodstops door stroomstoringen. De verwachting is dat onder praktijkomstandigheden de levensduur van de membranen minimaal 2 jaar zal zijn mits extreme drukstoten worden voorkomen.

Plaats van het omgekeerde osmose proces bij mestverwerking en stand van zaken

Voor de zeer dunne mestsoorten kalvergier en zeugmest kunnen ondermeer de volgende toepassingen worden genoemd:

1. Nazuivering van het effluent van een biologische zuiveringsinstallatie. De gezuiverde vloeistof kan worden geloosd; het concentraat kan samen met het slib van de biologische zuivering worden afgevoerd naar tekortgebieden of in een mestverwerkingsfabriek verder worden gedroogd. Het hoge chloridegehalte van het concentraat vormt echter een probleem bij de afzet als meststof. De stand van zaken met betrekking tot deze toepassing is als volgt:
Er is een duurproef van ongeveer een half jaar uitgevoerd. Op basis van de resultaten lijkt toepassing in de praktijk zonder meer mogelijk achter de bestaande kalvergierzauiveringen, maar ook voor biologisch gezuiverde zeugenmest.
2. Concentreren van de dunne fractie van zeugenmest na bezinken. De via O-O gezuiverde vloeistof wordt geloosd of op het land versproeid. De geconcentreerde stroom wordt met de dikke bezonken fractie opgemengd en kan op dezelfde wijze als dikke mest worden behandeld. De combinatie bezinken-omgekeerde osmose kan als een concentreringsmethode voor zeer dunne mest worden beschouwd. Een demonstratieproject op praktijkschaal (voor circa 3.000 m³ mest per jaar) wordt eind 1991 gestart bij een varkensproefbedrijf in Sterksel. Een afbeelding van een proefinstallatie, zoals die hierbij zal worden opgesteld, is in figuur 2 gegeven.



Figuur 2 Proefinstallatie met buisvormige membranen voor circa 250 l/h

Bovengenoemde voorbeelden hebben betrekking op de toepassing van buisvormige membraansystemen bij de verwerking van kalvergier en zeugenmest.

Een Duits bedrijf heeft de toepassing van een plaatvormig membraansysteem beproefd, voornamelijk voor de zuivering van kalvergier en varkensmest [3]. De resultaten waren bemoedigend. Experimenten die in samenwerking met onder andere TNO zijn uitgevoerd leverden minder goede resultaten [4].

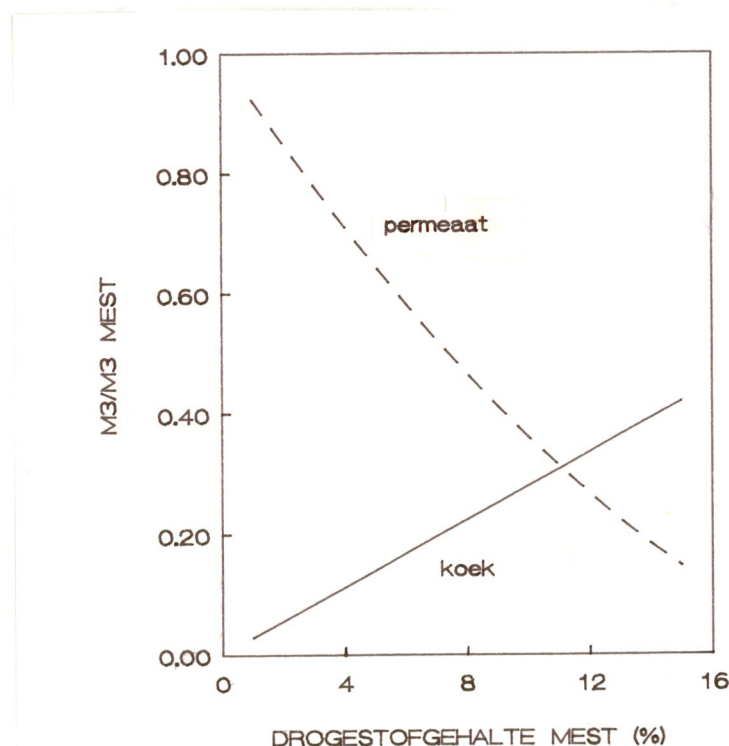
Een Nederlands bedrijf houdt zich bezig met de ontwikkeling van een systeem waarbij microfiltratie in combinatie met spiraalgewonden membranen wordt toegepast. Het systeem lijkt vanwege de complexiteit vooral geschikt voor een schaal > 10.000 m³/jaar, bijvoorbeeld bij een loonwerker, waarbij enig toezicht mogelijk is.

Voor drijfmest van mestvarkens is met name het concentreren van het effluent van de gebufferde nitrificatie actueel. Omgekeerde osmose zou kunnen worden toegepast als voorconcentrerend voor het indampproces, indien dit (economische) voordelen biedt.

Gedurende een periode van circa een jaar zijn experimenten uitgevoerd met een vergelijkbare vloeistof. De scheidingsstap was in dit geval een zeefbandpers. Eind 1991 wordt een duurproef van minimaal 6 maanden gestart met effluent uit een proeffabriek.

Door waterbesparende maatregelen op de bedrijven neemt het drogestofgehalte van varkensmest, zowel van zeugen als van mestvarkens, de laatste tijd sterk toe. Hierbij moet men bij mestvarkens denken aan een toename van 6-8 naar 10-14% ds. Figuur 3 laat zien wat de relatie is tussen het drogestofgehalte van de mest en het deel van het volume van de mest dat als permeaat kan worden afgescheiden. Hierbij is verondersteld dat:

- van de drogestof 30% in opgeloste vorm aanwezig is;
- door voorscheiding (bijvoorbeeld centrifugeren) alle niet-opgeloste droge stof wordt afgescheiden en wordt ontwaterd tot 25% droge stof
- het permeaat van de O-O geen droge stof bevat
- het drogestofgehalte in het concentraat van de O-O 6% bedraagt



Figuur 3 Invloed van het drogestofgehalte van varkensdrijfmest op het volume koek en het volume permeaat bij de verwerking van mest via centrifugeren en omgekeerde osmose

Uit de figuur blijkt dat van mest met een ds-gehalte van meer dan 8% minder dan 0,5 m³ permeaat kan worden afgescheiden, uitgaande van een mechanische voor-scheiding, gevolgd door omgekeerde osmose. Het ziet er dan ook naar uit dat voor het concentreren van mestvarkensdrijfmest bij bedrijven, waar zeer zuinig met water wordt omgesprongen, de toepassingsmogelijkheden voor O-O beperkt zijn. Voor grootschalige verwerking is de invloed van het hogere drogestofgehalte ook aanwezig, echter de toepassingsgrenzen zijn hierbij afhankelijk van de gekozen verwerkingsroute.

Kosten

Ten behoeve van een evaluatie van de mogelijkheden van omgekeerde osmose bij het concentreren van de dunste mestsoorten, te weten kalvergier (1,6% ds) en zeugenmest (4% ds) is onlangs een aantal kostenberekeningen gemaakt, zowel voor boerderijschaal als voor grootschalige verwerking [6]. De kosten voor de membraanfiltratie, **exclusief** de kosten van aanvoer, voorbehandeling, nabehandeling permeaat en afvoer van concentraat, bleken tussen de 6 en 12 gulden per m³ mest te liggen, waarbij de laagste kosten gelden voor grootschalige verwerking. De belangrijkste post is kapitaal (40-50%), daarna volgen zuur, vervanging van membranen en elektriciteit. Tenslotte zijn er nog kleine posten voor aardgas (verwarming), onderhoud, personeel en chemische analyses. Gerekend is met een stroomverbruik van 7 tot 15 kWh/m³ voeding en een levensduur van de membranen van twee jaar. Het is mogelijk dat de levensduur korter is. Een halvering van de levensduur betekent een kostenstijging van ongeveer f 0,35 tot 0,60 per m³ voeding.

Zowel op boerderijniveau als bij centrale verwerking (200.000 m³/jaar) kost de scheiding van mest, via een voorbehandeling, waarbij het merendeel van de niet-opgeloste stof door bezinken of centrifugeren wordt afgescheiden, gevolgd door omgekeerde osmose in het totaal ongeveer f 15 per m³ mest. Bij zeugenmest is dan 50% van het vocht verwijderd, zodat het drogestofgehalte in het mengsel van bezinksel en concentraat op 8% ds is gebracht. Bij kalvergier bevat het concentraat 4,5% ds en is 65% als permeaat afgescheiden. Per m³ verwijderd water bedragen de totale kosten derhalve minimaal f 20. Dat is meer dan de thans geldende afzetkosten. De verwachting is evenwel dat deze kosten de komende jaren sterk zullen toenemen onder invloed van de verdere beperking van de maximale mestgift. Voorts zal de praktijk moeten uitwijzen in hoeverre de waarde van de geconcentreerde mest voor de (potentiële) afnemers is toegenomen.

De kosten van ontzouting van het effluent van een biologische kalvergierzuivering met nitrificatie en denitrificatie, met een capaciteit van 200.000 m³/jaar, wordt op ongeveer f 6 per m³ gier geraamd. Hierbij blijft per m³ gier 0,15 m³ concentraat met 6% ds achter. In dit geval worden de kosten voor omgekeerde osmose positief beïnvloed door de relatief hoge flux (30 l/m².h).

Tot slot

De aanvankelijke problemen ten aanzien van membraanvervuiling zijn beheersbaar gebleken, mits de juiste methode van voorbehandelen en het juiste membraansysteem en membraanmateriaal worden gekozen. Gesteld kan worden dat omgekeerde osmose een betrouwbare techniek is om zoutarm water uit mest af te

scheiden. Hoewel het permeaat in het algemeen helder en kleurloos is, voldoet het permeaat, bij systemen zonder biologische behandeling, echter niet aan de eisen voor lozing op oppervlaktewater. De beste resultaten zijn geboekt met het ontzouten van het effluent van biologisch gezuiverde gier.

Het belangrijkste alternatief voor omgekeerde osmose, met name bij grootschalige verwerking, is indampen. Hiermee kan verder worden geconcentreerd, namelijk tot minstens 25% ds, terwijl bij O-O de grens bij ongeveer 6% ds ligt. Het is ook denkbaar dat bij centrale verwerking, net als in de zuivelindustrie, omgekeerde osmose wordt ingezet vóór een indampproces.

Op boerderijniveau lijken er mogelijkheden te liggen op het vlak van de opwerking van zeer dunne mest tot wat dikkere mest. Hierdoor neemt de aantrekkelijkheid voor (potentiële) afnemers toe en verminderen de kosten voor opslag en transport. De kosten zijn echter, met minimaal f 20 per m³ afgescheiden water, op dit moment nog te hoog in vergelijking met andere mogelijkheden. Verwacht mag worden dat dit kostenniveau, onder invloed van de verdere verscherping van de mestwetgeving, binnen enkele jaren acceptabel wordt.

Literatuur

1. Ten Have, P.J.W. en van Voorneburg, F., Vorderingen in het onderzoek naar centrale mestverwerking, I²P 6, pp 47-55, juni 1990.
2. Bungay et al. Synthetic membranes: Science, Engineering and Applications. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
3. Mende, U. en van Opbergen, G., Gülleaufbereitung mit Umkehrosmose. Aachener Membran Kolloquium, maart 1989.
4. Van Tongeren, W.G.J.M. en Goossens, W., Onderzoek zuivering kalvergier, systeem van Opbergen, Rapport Stuurgroep Mestproblematiek Noord-Brabant/TNO, december 1988.
5. Van Tongeren, W.G.J.M. en ten Have, P.J.W., Toepassing van omgekeerde osmose bij de verwerking van kalvergier en zeugenmest. Evaluatierapport. Rapport TNO/IMAG nr. 90-291, augustus 1990.

Apart kader

Flux, retentie

De **flux** is de hoeveelheid gezuiverde vloeistof die per tijdseenheid het membraan passeert en wordt meestal uitgedrukt in l/m².h.

De (membraan-) **retentie** is een maat voor de mate waarin componenten door een membraan worden tegengehouden en wordt als volgt berekend:

$R = (1 - C_p/C_c) * 100\%$. C_p en C_c zijn respectievelijk de concentraties in het permeaat (de gezuiverde vloeistof) en het concentraat.

De retentie kan per component of als totaal (bijvoorbeeld op basis van geleidbaarheid) worden uitgedrukt.

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

Recovery en osmotische druk

De **recovery** is het volumepercentage van de voeding (de te zuiveren vloeistof) dat in permeaat (gezuiverde vloeistof) wordt omgezet.

De **osmotische druk** is een kracht die de aangelegde systeemdruk bij het O-O-proces tegenwerkt. De osmotische druk is ongeveer recht evenredig met de ionenconcentratie in de vloeistof en neemt dus toe bij toenemende recovery.

De osmotische druk van de onderzochte (niet ingedikte) mestvloeistoffen varieert van 3 tot meer dan 10 bar. Ter vergelijking: zeewater met circa 3,5% zout heeft een osmotische druk van circa 25 bar.

Membraanvervuiling

Dit is een van de grootste problemen bij het toepassen van membraanprocessen. Tengevolge van membraanvervuiling nemen de flux en de retentie af. Membraanvervuiling kan worden veroorzaakt door neerslag van slecht oplosbare zouten en van deeltjes en verbindingen (onder andere slib, eiwitten, polymeren) op het membraan. Door het toepassen van een juiste **voorbehandeling** kan vervuiling van de membranen worden voorkomen of beperkt. Wanneer het membraan sterk is vervuild, is reiniging mogelijk.

Overige procesparameters

De **temperatuur** is van invloed op de flux. Bij het onderzochte membraantype neemt de flux circa 4% toe per graad temperatuurstijging. De meeste experimenten zijn uitgevoerd bij 30 °C.

De **systeemdruk** is nodig om de osmotische druk te overwinnen en de vloeistof door het membraan te persen. De flux is lineair afhankelijk van de druk. Voor dit type mestvloeistoffen is een druk van 40 tot 60 bar noodzakelijk.

De **langsstroomsnelheid** is de snelheid waarmee de vloeistof langs het membraan stroomt. Bij omgekeerde osmose staat de langsstroomrichting loodrecht op de stroomrichting door het membraan. De langsstroomsnelheid is van invloed op de snelheid waarmee het membraan vervuilt. Afhankelijk van het type mestvloeistof wordt een snelheid van 2 tot 4 m/s toegepast.