

ONDERZOEK ZUIVERING  
KALVERGIER  
SYSTEEM VAN OPBERGEN

December 1988

Stuurgroep Mestproblematiek Noord-Brabant  
Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

Ing. W. van Tongeren  
Ing. W. Goossens

ONDERZOEK NAAR DE ZUIVERING VAN KALVERGIER VOLGENS HET SYSTEEM VAN OPBERGEN

bij de proefinstallatie voor mestverwerking in Nistelrode

UITGEVOERD IN OPDRACHT VAN DE STUURGROEP MESTPROBLEMATIEK NOORD-BRABANT

Ing. W.G.J.M. van Tongeren, Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn

Ing. W.A.M. Goossens, Stuurgroep Mestproblematiek Noord-Brabant  
Postbus 91  
5000 MA Tilburg

December 1988

## INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	3
1. INLEIDING	4
2. MATERIAAL EN METHODEN	6
2.1 Voorbehandeling van de kalvergier	6
2.2 Uitvoering van de omgekeerde osmose experimenten	7
2.3 Toegepaste kalvergier	7
3. UITVOERING EN RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK	9
3.1 Voorbehandeling van de kalvergier	9
3.2 De omgekeerde osmose experimenten	11
3.3 Beschrijving van de individuele experimenten	12
4. BESPREKING VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN	19
4.1 Voorbehandeling van de kalvergier	19
4.2 Omgekeerde osmose	20
4.3 Interpretatie van de analyseresultaten	21
5. KOSTENSCHATTING	22
6. CONCLUSIES EN VERTALING VAN DE RESULTATEN NAAR DE PRAKTIJK	23
Bijlage 1: Analysekenmerken kalvergierzuivering volgens systeem van Opbergen (IMAG)	
Bijlage 2: Chemische kenmerken van kalvergier voor en na scheiding met Omgekeerde osmose-systeem van Opbergen. Proef 7. (CCL-Met. 88.039)	
Bijlage 3: Kostenschattting voor een installatie van 25.000 m <sup>3</sup> per jaar en 100.000 m <sup>3</sup> per jaar.(Josef van Opbergen)	

## SAMENVATTING

In opdracht van - en in samenwerking met de Stuurgroep Mestproblematiek Noord-Brabant is door de firma Josef van Opbergen een onderzoek uitgevoerd naar de praktische toepassingsmogelijkheden van een door deze firma ontwikkeld procedé voor de verwerking van kalvergier. Het systeem bestaat uit een voorbehandeling van de kalvergier gevolgd door omgekeerde osmose.

Het doel van de firma Josef van Opbergen is met behulp van omgekeerde osmose de kalvergier te scheiden in een loosbaar effluent en een zo klein mogelijk volume geconcentreerde kalvergier.

In eerste instantie is als voorbehandeling een systeem van flocculatie/sedimentatie onderzocht.

De omgekeerde osmose van de voorbehandelde kalvergier is in het algemeen zonder problemen verlopen. Alleen trad regelmatig verstopping van de voor deze omgekeerde osmose-installatie noodzakelijke voorfilters (10  $\mu\text{m}$ ) op. Later zijn experimenten uitgevoerd met voorbezinking gevolgd door microfiltratie als voorbehandeling.

Via de beproefde methode van verwerking via voorbehandeling en omgekeerde osmose is bij de experimenten in Nistelrode, met de hierbij gebruikte kalvergier, een volumevermindering van 55 tot 60 % verkregen, berekend ten opzichte van de oorspronkelijke kalvergier.

Lozing van de gezuiverde vloeistof op het oppervlaktewater is met name door de hoge CZV en  $\text{NH}_4\text{-N}$  -concentraties niet zondermeer mogelijk. Uit aanvullend onderzoek dat elders is uitgevoerd, is volgens de firma Josef van Opbergen gebleken dat de verdere zuivering van het permeaat mogelijk is.

Door de firma Josef van Opbergen zijn de kosten van de behandeling van 1  $\text{m}^3$  kalvergier - via voorbezinken en microfiltratie - geschat op DM 15,- (ca Hfl 17,-) voor een installatie met een capaciteit van 25.000  $\text{m}^3$  per jaar.

## 1. INLEIDING

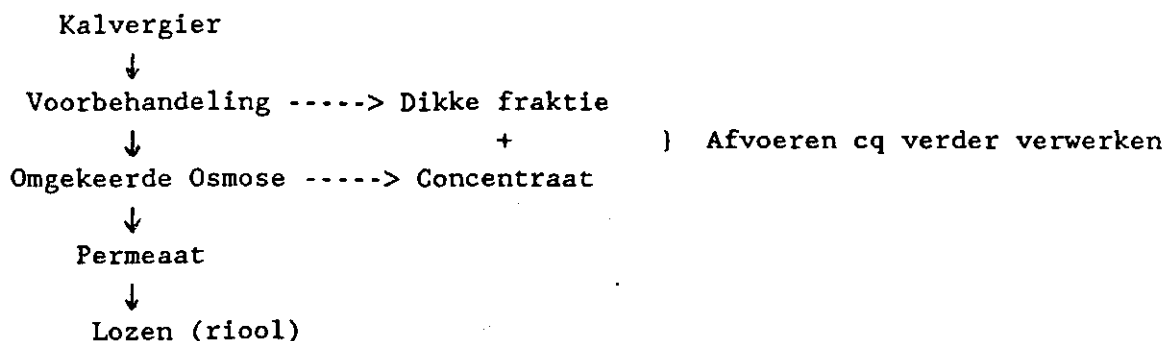
De beproeving in Nistelrode van een door de fa Josef van Opbergen ontwikkeld procedé voor de verwerking van kalvergier, die is uitgevoerd in de periode 29 juni tot 14 juli 1988, was in eerste instantie bedoeld als een demonstratie van deze verwerkingsmethode voor kalvergier, in aanwezigheid van vertegenwoordigers van de Stuurgroep Mestproblematiek, van het IMAG en van TNO.

Door de firma Josef van Opbergen wordt sinds 1985 onderzoek verricht naar de ontwikkeling van deze methode. Daarbij is het systeem gedurende een periode van enige maanden in de praktijk beproefd. Ondermeer is dit bij een kalvermester in Daarle (Lubbers) gebeurt.

Het systeem bestaat uit twee onderdelen:

1. De voorbehandeling van de kalvergier om deze geschikt te maken voor zuivering via omgekeerde osmose
2. De ontzouting van de voorbehandelde kalvergier door middel van omgekeerde osmose

Schematisch kan dit als volgt worden voorgesteld.



Met het systeem wordt het volgende beoogd:

- Concentrering van de kalvergier in een klein volume
- Het verkrijgen van een meststof (dikke fraktie + concentraat)
- Het verkrijgen van een loosbaar effluent (permeaat)

Aan het begin van de beproeving in Nistelrode bleek dat bij de voorbehandeling van de kalvergier problemen optraden. Het relatief hoge droge stofgehalte van de gebruikte kalvergier is hierbij waarschijnlijk van invloed geweest. Als gevolg hiervan is de oorspronkelijke opzet gewijzigd en zijn veel experimenten uitgevoerd ter verbetering van deze voorbehandeling.

Tijdens de beproeving zijn behalve door medewerkers van de firma Josef van Opbergen ook door medewerkers van de Stuurgroep regelmatig metingen verricht en monsters genomen voor analyse van de verschillende processtromen.

De analyses zijn uitgevoerd door het IMAG en het C.C.L. te Veghel.

De resultaten van deze metingen en analyses zijn in dit rapport verwerkt.

Aanvullend is op basis van de experimentele resultaten door de firma Josef van Opbergen een kostenschatting gemaakt voor de verwerking van kalvergier voor een capaciteit van 25.000 m<sup>3</sup> en 100.000 m<sup>3</sup> per jaar. Deze berekening is als zodanig als bijlage 3 in dit rapport opgenomen.

## 2. MATERIAAL EN METHODEN

### 2.1 Voorbehandeling van de kalvergier

De voorbehandeling van de kalvergier wordt uitgevoerd om de aanwezige (niet opgeloste) deeltjes, welke een vervuilende werking op de membranen kunnen hebben te verwijderen.

Bij de oorspronkelijke opzet van de voorbehandeling werd aan de kalvergier vlokmiddel (poly-electrolyt) toegevoegd, waarna deze via een in de leiding gebouwde statische menger door een filterzak (maaswijdte 450  $\mu\text{m}$ ) werd geleid om het slib af te scheiden.

Bij de eerste vlokings-experimenten bleek dat toevoeging van een hulpstof (bentoniet) noodzakelijk was om een goede vlokvorming te verkrijgen.

Ook de slibafscheiding via de filterzak bleek, vanwege het grote slibvolume, problematisch. Voor de afscheiding van het slib is daarom overgegaan op bezinking, gevolgd door afzuigen van de bovenstaande vloeistof.

De volgende voorbehandelingsmethode is tenslotte vastgesteld:

Aan een hoeveelheid kalvergier wordt bentonietoplossing en vervolgens, via een statische menger in een leiding, poly-electrolytoplossing toegevoegd.

Tenzij anders vermeld is de volgende mengverhouding toegepast:

1000 l kalvergier

250 l bentonietoplossing (2 ‰)

25 l poly-electrolytoplossing (0,5 ‰)

Het mengsel wordt in een bezinkvat geleid. Na de bezinkperiode wordt de bovenstaande vloeistof via het 450  $\mu\text{m}$  filter overgepompt in het voedingvat van de omgekeerde osmose.

Bij de beschrijving van de experimentele resultaten wordt nader ingegaan op de verschillende vlokings- en slibafscheidingsexperimenten die zijn uitgevoerd.

Naast de hiervoor beschreven methode is microfiltratie als voorbehandeling beproefd.

De microfiltratie is uitgevoerd met holle vezelmembranen van de fa X-flow in een proefinstallatie van TNO. De gebruikte membranen zijn hydrofiele composietmembranen (vezeltype 87111719). Het membraanoppervlak was 0,4  $\text{m}^2$ , de poriediameter 0,2  $\mu\text{m}$ . De volgende condities zijn toegepast:

Systeemdruk 2 bar

Circulatie debiet 2  $\text{m}^3/\text{h}$

Concentrerings 10 maal

## 2.2 Uitvoering van de omgekeerde osmose experimenten.

De omgekeerde osmose experimenten zijn uitgevoerd met een proefinstallatie van de fa Josef van Opbergen van het type TUCTA.

De installatie bevatte twee "stapels" vlakke plaatmembranen van polyamide met een oppervlak van 6 m<sup>2</sup> per stapel. Ter vermindering van vervuiling van de membranen zijn voorfilters van 10 en 5 µm aangebracht.

De concentrering van de voorbehandelde mest is ladingsgewijs uitgevoerd. Dit betekent dat het concentraat van de installatie continu is teruggevoerd naar het voedingsvat van de omgekeerde osmose tot de gewenste concentreringsgraad is bereikt en dat het permeaat continu is afgevoerd.

De volgende condities zijn toegepast:

Systeemdruk 50 of 60 bar

Circulatiedebiet 800 of 1000 l/h

Concentreringsgraad: 2 tot 7 maal

De installatie was voorzien van registratie apparatuur, waarmee onder andere de temperatuur, het permeaatdebiet en de systeemdruk zijn geregistreerd.

## 2.3 Toegepaste kalvergier

Gedurende de experimenten is tweemaal een hoeveelheid kalvergier aangevoerd afkomstig van een kalvermester uit de omgeving van Nistelrode. De voeding van de kalveren was van het merk Alpuro. De kalveren waren bijna volgroeid. Bij de verschillende experimenten zijn steeds kleine hoeveelheden kalvergier vanuit een voorraadvat, dat vooraf werd geroerd, naar het voorbehandelingsvat overgepompt.

Bij de experimenten 10, 11 en 12 is voorbezonken gier toegepast.

De gebruikte kalvergier bleek met name met betrekking tot het droge stofgehalte sterk af te wijken van de gemiddelde kalvergier zoals die op de kalvergierzuiveringsinstallaties op de Veluwe wordt aangevoerd. De problemen die optraden bij de voorbehandeling worden hier voor een deel aan toegeschreven.

In navolgende tabel is de samenstelling van de gebruikte gier vergeleken met de gemiddelde waarden van de gier die aangeboden is aan de kalvergierzuiveringen in Putten en de Kleine Kolonie in de eerste 6 maanden van 1988. (opgave Willers, IMAG)



Tabel 1. Samenstelling kalvergier

	Kleine Kolonie (60.000 m <sup>3</sup> /j)	Putten (idem)	Kalvergier exp.1 tm 8	Bezonken kalver- gier, exp 10 tm 12
Droge stof (g/l)	16,3 (10,2-21,1)	15,9	27,5	20,6
As (% v. dr. stof)	59,6	59,6	62,9	57,0
CZV (g/l)	15,4 ( 7,6-23,6)	14,8	22,8	16,6
Kj-N (g/l)	2,8 ( 2,2- 3,9)	2,7	3,4	2,2
pH	7,6	7,6	7,5	7,2
Slibvolume (ml/l) (na 1 uur)	146	151		

De gegeven waarden zijn de gemiddelde waarden uit proportioneel samengestelde weekmonsters. De tussen haakjes geplaatste waarden geven de spreiding in deze weekmonsters weer.

Uit de tabel blijkt dat het droge stofgehalte van de gebruikte kalvergier, maar ook de CZV en de N-Kj aanzienlijk hoger is dan het gemiddelde van de kalvergier dat aan de kalvergierzuiveringen is aangeboden. Uit de tabel blijkt wel dat de spreiding aanzienlijk kan zijn. De gegeven waarden zijn weekgemiddelden, de werkelijke spreiding per bedrijf is nog aanzienlijk groter.

### 3. UITVOERING EN RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

#### 3.1 Voorbehandeling van de kalvergier

##### I Vlokvorming met poly-electrolyt

Aan het begin van de experimenten is de vlokvorming met alleen poly-electrolyt uitgevoerd. Het bleek echter niet mogelijk op deze wijze een goede vlok te verkrijgen. Daarom is overgegaan op een vlokvorming met bentoniet en poly-electrolyt.

##### II Vlokvorming met bentoniet en poly-electrolyt

De kalvergier is bij het overpompen uit het voorraadvat opgemengd met de bentonietoplossing via een in-line statische menger. Hierbij trad al vorming van kleine vlokken op. Vervolgens is aan het mengsel poly-electrolytoplossing gedoseerd. Dit gebeurde ook in-line. Het vaststellen van de optimale dosering is visueel geschied.

Tenzij anders vermeld is de in par 2.2 gegeven dosering toegepast.

De afscheiding van het gevormde slib op de oorspronkelijke wijze met de filterzak, volume 50 l, maaswijdte 450  $\mu\text{m}$ , bleek vanwege het grote slibvolume praktisch niet uitvoerbaar. Daarom is overgegaan op bezinking.

Deze bezinking is in eerst instantie in het voedingvat van de omgekeerde osmose uitgevoerd. De volgende werwijze is toegepast:

De vlokvorming is in een rechthoekig vat (ca 1  $\text{m}^3$ ) uitgevoerd. Na een korte bezinkperiode werd de TUCTA aangesloten om de bovenstaande vloeistof aan te zuigen en het concentraat terug in het voorraadvat te leiden. Door de wervelingen die optraden bij het terugvoeren van het concentraat kwamen er kleine slibdeeltjes in de voeding hetgeen verstopping van de voorfilters (10 en 5  $\mu\text{m}$ ) van de O-O-installatie veroorzaakten. Hierdoor moesten de eerste omgekeerde osmose-experimenten regelmatig onderbroken worden om de filters te vervangen.

Ook het aanzuigen van de voeding via de filterzak bleek geen oplossing voor dit probleem. Om het opwerpen van reeds bezonken slib te voorkomen werd de slibbezinking bij de volgende experimenten in een apart ruimte en later in een apart vat uitgevoerd.

Om het slib beter van de bovenstaande vloeistof te scheiden is in het bezinkvat een schot aangebracht. Het slibvrije effluent kon via nauwe spleten naar de voedingruimte van de O-O stromen. Ook hierbij bleken echter te veel slibdeeltjes mee te worden gevoerd met als gevolg verstopping van de voorfilters.

In een volgende fase is de bezinking van het slib in een apart vat uitgevoerd. Na een korte bezinkperiode werd de bovenstaande vloeistof met een pomp, die in de filterzak was geplaatst, overgepompt naar het voedingsvat van de omgekeerde osmose.

Op deze wijze werd een scheiding verkregen waarbij het slibvolume nog ca 50 tot 60 % van het oorspronkelijke volume kalvergier was. Bovendien trad nog regelmatig verstopping op van de voorfilters. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt doordat tengevolge van wervelingen nog slibdeeltjes werden meegevoerd.

Omdat het slibvolume nog erg groot was en er nog slibdeeltjes in het supernatant aanwezig waren is vanaf het vijfde O-O-experiment het afzuigen van de bovenstaande vloeistof uitgevoerd met behulp van de voedingspomp van de TUCTA (een centrifugaalpomp). Door de afzuigslang net onder het vloeistofoppervlak te houden werden wervelingen voorkomen.

Het volume van het af te voeren slib bedroeg ca 15 % van het oorspronkelijke volume kalvergier.

Om het probleem van de verstopping van de filters geheel los te koppelen van de omgekeerde osmose-experimenten is vanaf proef 6 de bovenstaande vloeistof vooraf ladingsgewijs over een 10  $\mu$ m filter gefiltreerd voordat deze in het voedingsvat van de omgekeerde osmose werd gebracht. Stopzetten van de installatie tijdens de O-O -experimenten bleek hierna niet meer nodig.

### III Voorbehandeling van de kalvergier met behulp van microfiltratie

Door de geringe capaciteit van de microfiltratie proefinstallatie was voor de produktie van filtraat meer dan 24 uur nodig. De microfiltratie van (voorbezonden) kalvergier onder de in hoofdstuk 2 vermelde condities is zonder problemen verlopen.

Bij het eerste microfiltratie-experiment is de kalvergier eerst over het 450  $\mu$ m filterzak gefiltreerd. Het permeaat van de microfiltratie was aanvankelijk helder, maar nadat het een weekend in een open vat had gestaan bleek troebeling op te zijn getreden.

De tweede en derde microfiltratie proef is uitgevoerd met voorbezonden kalvergier. Het filtraat bleef gedurende de experimenten helder.

Na het tweede microfiltratie-experiment is de installatie voor de eerste maal gereinigd met een zure en daarna met een alkalische zeepoplossing. De flux bij het derde experiment was gemiddeld het hoogst. Aan het eind van de proef bij ca 10 maal concentreren was deze nog 24 l/m<sup>2</sup>.h.

#### IV Voorbehandeling van bezonken kalvergier met verbeterde uitvloeking

Tijdens de uitgevoerde experimenten is gewerkt aan vermindering van de hoeveelheid toe te voegen water. De toevoeging van de bentonietoplossing kon worden teruggebracht tot 1 kg/m<sup>3</sup> als 1 % oplossing. Aanvullend is de poly-electrolytdosering teruggebracht tot 50 l van een 0,25 % oplossing per m<sup>3</sup>.

Het slibvolume bedroeg ca 10 % van het oorspronkelijke volume voorbezonden mest.

#### Voorbezinking

De experimenten 10, 11 en 12 zijn uitgevoerd met voorbezonden kalvergier. In een bezinkvat van 50 m<sup>3</sup> is 25 m<sup>3</sup> kalvergier gebracht. Na enkele dagen is een afscheiding verkregen van 5 m<sup>3</sup> dikke fraktie (ca 5 % d.s.) en 20 m<sup>3</sup> supernatant (ca 1,9 % d.s.). Dit supernatant is verder voorbehandeld via flocculatie sedimentatie cq via microfiltratie.

#### 3.2 Omgekeerde osmose-experimenten

Met de omgekeerde osmose-apparatuur zijn, met uitzondering van de genoemde verstopping van de voorfilters geen noemenswaardige problemen opgetreden. Er zijn in totaal 12 volledige experimenten (voorbehandeling van de kalvergier gevolgd door een verdere zuivering via omgekeerde osmose) uitgevoerd. Na elk experiment is de omgekeerde osmose-installatie gespoeld met water of permeaat. Vervolgens is steeds de schoonwaterflux bepaald. Alleen na proef 4 is een uitgebreide reiniging toegepast met een 2 % citroenzuuroplossing, pH = 2,2 en na proef 11 met een zeepoplossing, waarna weer met water werd gespoeld.

In de hierna volgende paragrafen zijn de belangrijkste gegevens en resultaten samengevat

De experimenten die onder dezelfde of bijna dezelfde omstandigheden zijn uitgevoerd zijn in één paragraaf beschreven.

In bijlage 1 en 2 zijn alle analysecijfers samengevat.

### 3.3 Beschrijving van de individuele experimenten

#### 3.3.1 Experiment 1 tot en met 4

Voorbehandeling:

Vlokvorming met bentonietoplossing en poly-electrolytoplossing onder de in par 2.1 genoemde condities: Per 1000 l kalvergier is 250 l bentonietoplossing (2%) en 25 l poly-electrolytoplossing (0,5%) toegevoegd. Afpompen van het supernatant met dompelpomp via het 450 um filter.

Omgekeerde osmose:

Systeemdruk                    50 bar  
Circulatiedebiet            1000 l/h

Bij de eerste drie omgekeerde osmose-experimenten verstopte het 10 um filter voor het omgekeerde osmosesysteem zeer regelmatig (enige malen per uur) waardoor van een continue procesvoering geen sprake was. Van deze experimenten zijn daarom geen resultaten weergegeven.

Bij experiment 4 is in 19 uur een concentrering van 2,2 maal bereikt.

Het fluxverloop was als volgt:

bij start	11,5 l/m <sup>2</sup> .h
na 1 uur	9,4 l/m <sup>2</sup> .h
na 3 uur	7,2 l/m <sup>2</sup> .h
na 8,5 uur	3,5 l/m <sup>2</sup> .h
na 19 uur	3,4 l/m <sup>2</sup> .h

De gemiddelde flux over de gehele periode was 4,9 l/m<sup>2</sup>.h. De zoutretentie daalde in deze periode van 96,6 tot 89,1 % De proef is na 19 uur beëindigd omdat bij deze lage waarden voor de flux het enige dagen zou duren om de gewenste concentrering van ca 5 te behalen.

In onderstaand tabel wordt een overzicht gegeven van de volumina van de verschillende stromen.

Tabel 2 : Volumina van de vloeistofstromen proef 4

Kalvergier	2430 l, 2,65 % d.s.
Bentonietoplossing	600 l, 2,0 % d.s.
Poly-electrolytopl.	60 l, 0,5 % d.s.
Slib na scheiding	1750 l
Supernatant (=voeding 0-0)	1340 l, 1,7 % d.s.
Concentraat	610 l, 3,6 % d.s.
Gezuiverde vloeistof(Permeaat)	730 l, 0,1 % d.s.
Resterend slib + concentraat	2360 l

Uit de tabel blijkt duidelijk dat in dit stadium van het onderzoek de slibafscheiding nog veel problemen opleverde: de hoeveelheid slib die na afscheiding van het supernatant achterbleef was meer dan de verkregen hoeveelheid voeding voor de omgekeerde osmose.

Dit experiment is in eerste instantie uitgevoerd om de werking van de omgekeerde osmose-installatie gedurende een langere periode te demonstreren. Hiervoor is voldoende voeding bereid van de gewenste kwaliteit. Aan het verminderen van het slibvolume is nauwelijks aandacht besteed.

### 3.3.2 Experiment 5 tot en met 8

Voorbehandeling:

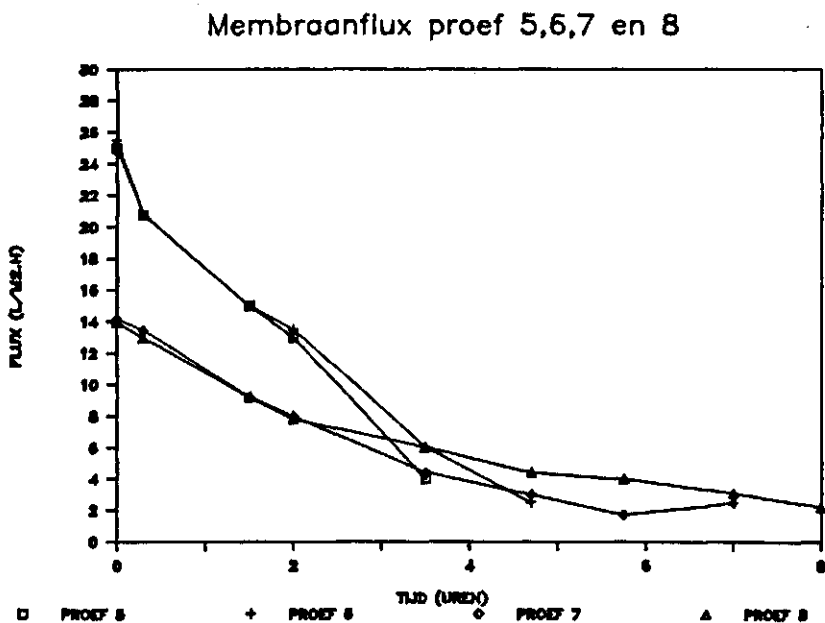
Vlokvorming met bentonietoplossing en poly-electrolytoplossing onder de in par 2.1 genoemde condities. Afpompen van het supernatant met een centrifugaalpomp met aanzuiging via een slang. Deze pomp veroorzaakte minder beweging in het bezinkvat dan de bij exp. 4 toegepaste dompelpomp, waardoor meer supernatant kon worden overgepompt zonder dat kleine slibvlokjes werden meegevoerd.

Vanaf proef 6 is het op deze wijze geproduceerde supernatant, voorafgaande aan de concentrering via de omgekeerde osmose, eerst nog over een 10 um filter gefiltreerd. Op deze wijze werd onderbreking van de omgekeerde osmoseproeven voor het verwisselen van de voorfilters voorkomen.

Tabel 3 Gegevens omgekeerde osmose-experimenten 5 tot en met 8

	Experiment 5	Experiment 6	Experiment 7	Experiment 8
Systeemdruk	60 bar	60 bar	60 bar	60 bar
Circulatiedebiet	1000 l/h	1000 l/h	1000 l/h	1000 l/h
Proefduur	5 uur	5 uur	7 uur	8 uur
Begintemperatuur		19,1 C	20,0 C	19,0 C
Eindtemperatuur		38,7 C	42,7 C	42,1 C
Eindconcentrering	5,3 maal	4,6 maal	5,4 maal	5,3 maal
Gemiddelde flux	10,3 l/m <sup>2</sup> .h	10,8 l/m <sup>2</sup> .h	7,4 l/m <sup>2</sup> .h	5,7 l/m <sup>2</sup> .h

Het fluxverloop van de vier experimenten is in figuur 1 weergegeven.



Opvallend is dat de flux bij de experimenten 5 en 6 - met name in de eerste uren van de experimenten - aanzienlijk hoger is dan bij experiment 7 en 8. Alleen voorafgaande aan proef 5 is het membraan chemisch gereinigd. Voor de andere experimenten heeft alleen een spoeling met permeaat plaatsgevonden. Aan het einde van de proeven, wanneer ca 5 maal is geconcentreerd, is de flux bij alle drie experimenten laag, ca 2,5 l/m<sup>2</sup>.h. Dit ondanks de forse temperatuurstijging van ca 20 C naar ca 40 C. De retentie was bij het begin van de experimenten steeds ca 95 %, maar nam na verloop van tijd af tot 80 a 85 %.

In onderstaande tabel zijn de volumina van de verschillende stromen bij de experimenten 5 tot en met 8 weergegeven

Tabel 4 Volumina vloeistofstromen experiment 5 tot en met 8

	Experiment 5		Experiment 6		Experiment 7		Experiment 8	
	Volume (1)	D.s (%)	Volume (1)	D.s (%)	Volume (1)	D.s (%)	Volume (1)	D.s (%)
Kalvergier	748	2,2	775	2,9	693	2,8	660	2,2.
Bentonietoplossing	200	2,0	200	2,0	200	2,0	200	2,0.
Poly-electrolytopl.	20	0,5	20	0,5	20	0,5	20	0,5.
-----								
Slib	210		165		153	4,0	176	
Voeding 0-0	760	1,7	830	1,6	760	1,75	675	1,8
-----								
Concentraat	143		180		140		127	
Permeaat	617		650		620		548	
-----								
Slib + concentraat	353		345		293		303	
-----								
Volumereduktie tov oorspr. kalvergier	53 %		55 %		58 %		54 %	

Uit de tabel is af te leiden dat bij deze experimenten per m<sup>3</sup> kalvergier 200 tot 300 l slib wordt gevormd en ca 1000 l via omgekeerde osmose te zuiveren vloeistof. Bij een concentrering van 5 maal wordt hieruit 200 l concentraat gevormd dat samen met het slib zal moeten worden afgezet. De totale volumereduktie ten opzichte van de oorspronkelijke hoeveelheid kalvergier bedraagt 50 tot 60 %.

### 3.3.3 Experiment 9 tot en met 11

Vanaf proef 9 is een nieuwe charge kalvergier gebruikt.

Voorbehandeling: Microfiltratie, concentrering ca 10 maal.

Bij experiment 9 is de kalvergier voorafgaande aan de microfiltratie gefiltreerd over de filterzak om de de grotere deeltjes te verwijderen.

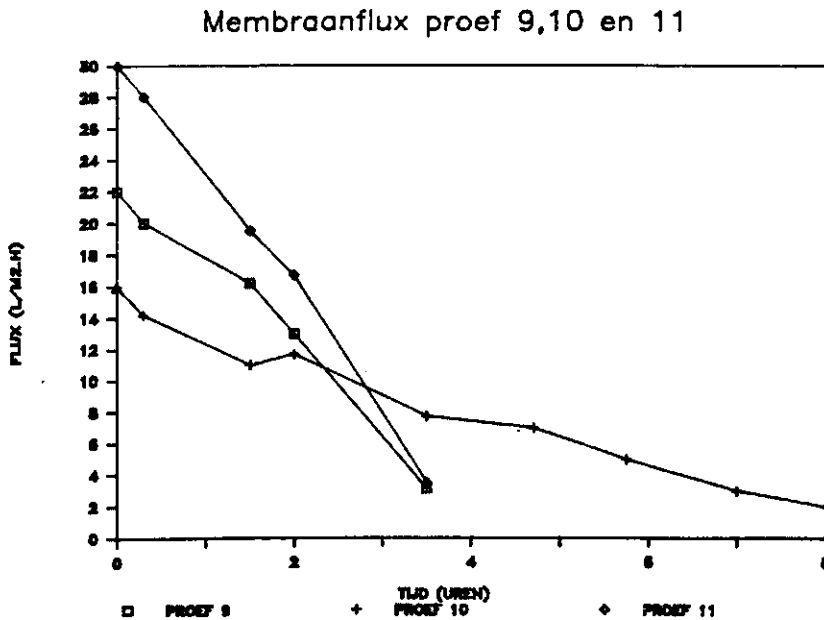
Bij experiment 10 en 11 is de kalvergier eerst voorbezonden in een bezink-silo, waarna de bovenstaande vloeistof via microfiltratie is behandeld.



Tabel 5 Gegevens omgekeerde osmose-experimenten 9, 10 en 11

	Experiment 9	Experiment 10	Experiment 11
Systeemdruk	60 bar	60 bar	60 bar
Circulatiedebiet	1000 l/h	800 l/h	1000 l/h
Proefduur	3,3 uur	7 uur	3,7 uur
Begintemperatuur	26,2 C	23,5 C	20,9 C
Eindtemperatuur	41,0 C	47,9 C	42,8 C
Eindconcentrering	5,5 maal	5,4 maal	7 maal
Gemiddelde flux	13 l/m <sup>2</sup> .h	7,7 l/m <sup>2</sup> .h	13,7 l/m <sup>2</sup> .h

Het fluxverloop van de experimenten 9, 10 en 11 is in figuur 2 gegeven.



Er is bij deze experimenten slechts één "membraanstapel" (= 6 m<sup>2</sup> membraan) gebruikt.

De beginwaarde van de flux is voor de drie experimenten sterk verschillend.

Na enkele uren is de flux steeds weer gedaald tot ver beneden 10 l/m<sup>2</sup>.h

De retentie nam bij proef 9 af van 96 naar 85 %, bij proef 10 van 96 naar 76 % en bij proef 11 van 99 naar 75 %. (Voor een verklaring hiervan zie 4.2)

Tabel 6: Volumina vloeistofstromen experiment 9, 10 en 11

	Experiment 9		Experiment 10		Experiment 11	
	Volume (1)	D.s. (%)	Volume (1)	D.s. (%)	Volume (1)	D.s. (%)
(Bezonden) kalvergier	?		440	1,89	395	1,94
Concentraat MF			44		40	
Permeaat MF (voeding 0-0)	323	1,65	396	1,65	355	1,51
-----						
Concentraat 0-0	65		73		48	
Permeaat 0-0	258		323		305	
-----						
<b>Totaal concentraten</b>			<b>117</b>		<b>88</b>	
-----						
Volume reductie tov oorspr. bezonden kalvergier			73 %		78 %	

De bij de proeven 10 en 11 gegeven volumereductie is berekend ten opzichte van het volume voorbezonden kalvergier. De volumeverhouding dikke fraktie en supernatant bij de voorbezinking was bij deze experimenten 1:5.

De volumereductie ten opzichte van de oorspronkelijke niet voorbezonden kalvergier bedraagt bij deze proeven 60 tot 65 %.

### 3.3.4. Experiment 12

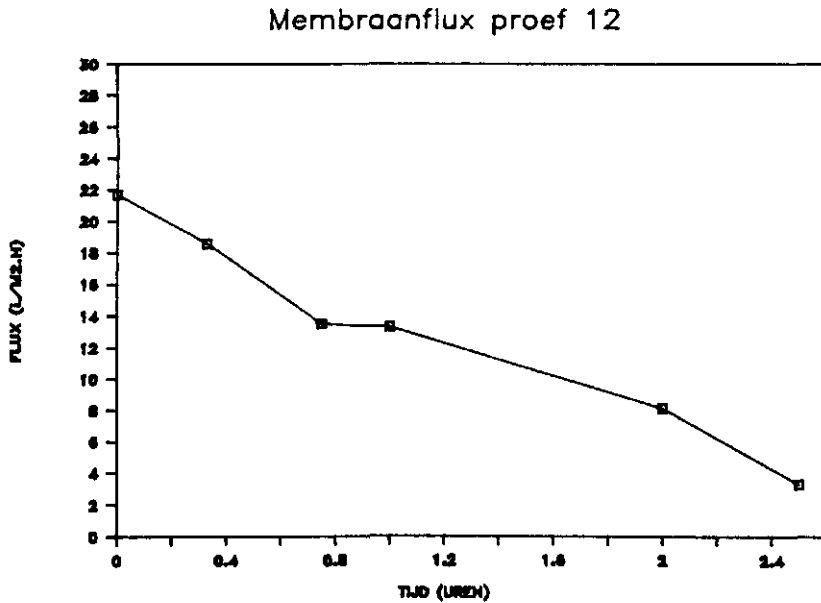
Voorbehandeling:

Als voorbehandeling is net als bij de proeven 5 tot en met 8 flocculatie-sedimentatie en filtratie toegepast, echter met een ander type bentoniet en een aanzienlijk lagere dosering van de chemicaliën. Er is uitgegaan van voorbezonden kalvergier.

Tabel 7 Gegevens omgekeerde osmose experiment 12:

Systeemdruk	60 bar
Circulatiedebiet	1000 l/h
Proefduur	2,5 uur
Begintemperatuur	17,9 C
Eindtemperatuur	36,1 C
Eindconcentrering	6,25 maal
Gemiddelde flux	11,5 l/m <sup>2</sup> .h

Het fluxverloop wordt in figuur 3 gegeven.



In onderstaande tabel worden de volumina van de verschillende stromen gegeven

Tabel 8: Volumestromen experiment 12

Voorbezonden kalvergier	400 l, 1,87 % d.s.
Bentonietoplossing	40 l, 1,0 % d.s.
Poly-electrolytopl.	20 l, 0,25 % d.s.
Slib na scheiding	49 l
Supernatant (=voeding 0-0)	411 l
Concentraat	66 l
Gezuiverde vloeistof(Permeaat)	345 l
Resterend slib + concentraat	115 l

De volumereduktie ten opzichte van het volume voorbezonden kalvergier bedraagt ca 71 %. Uitgaande van ca 15 % slib bij de voorbezinking is de volumereduktie ten opzichte van de oorspronkelijke kalvergier ca 60 %

## 4 BESPREKING VAN DE ONDERZOEKRESULTATEN

### 4.1 Voorbehandeling van de kalvergier

#### 4.1.1 Flocculatie

Bij de eerste flocculatie-experimenten bleek dat bij toepassing van de bij eerdere proeven vastgestelde optimale vlokmiddeldosering met de in Nistelrode aangevoerde kalvergier geen goede vlokvorming werd verkregen. Toepassing van een hulpstof, bentoniet, bleek noodzakelijk. De samenstelling van de kalvergier en met name het droge stofgehalte lijkt van grote invloed op de flocculatie.

Voor de flocculatie moeten aanzienlijke hoeveelheden verdunde chemicaliën worden toegevoegd, hetgeen in eerst instantie tot volumevergroting leidt.

Bij de experimenten 1 tot en met 8 is per m<sup>3</sup> kalvergier 275 l vloeistof toegevoegd. Bij experiment 12, met voorbezonden kalvergier, was dit 150 l per m<sup>3</sup>. Voor de aanmaak van de chemicaliën kan permeaat worden gebruikt. Dit heeft alleen vermindering van leidingwater tot gevolg, de via omgekeerde osmose te behandelen hoeveelheid vloeistof blijft hetzelfde.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de bij deze experimenten gebruikte kalvergier dikker was dan gemiddeld, hetgeen waarschijnlijk een hogere dosering tot gevolg had.

#### 4.1.2 Slibafscheiding

De afscheiding van het bij de flocculatie gevormde slib bleek moeilijk. De hierbij oorspronkelijk voorgestelde methode (filtratie over een filterzak met 450 um filter) bleek niet toepasbaar.

De toegepaste methode van bezinken en afpompen van het supernatant, waarbij de zuigslang met de hand over het vloeistofoppervlak werd bewogen, voldeed bij het experimenteel onderzoek. Ter beperking van de verstopping van de voorfilters van de omgekeerde osmose-installatie is het noodzakelijk de aanwezigheid van slibdeeltjes zoveel mogelijk te voorkomen, hetgeen bij de proeven niet steeds lukte. De toegepaste extra filtratie over een 10 um-filter wordt in de praktijk kostbaar wanneer nog veel slib aanwezig is.

Het volume slib dat overblijft na flocculatie en slibafscheiding bedraagt nog 20 tot 30 % van het oorspronkelijke volume kalvergier. Het grote slibvolume is waarschijnlijk het gevolg van het ontbreken van apparatuur voor een goede slibafscheiding en van het relatief hoge drogestofgehalte van de gebruikte kalvergier.

#### 4.1.3. Microfiltratie

Er zijn 3 microfiltratie-experimenten uitgevoerd met de proefinstallatie, waaruit bruikbare resultaten zijn verkregen voor de beoordeling van het proces.

Bij proef 10 daalde de flux gedurende de concentrering van 72 l/m<sup>2</sup>.h naar 30 l/m<sup>2</sup>.h. Voor uitvoering van proef 11 volgde een reiniging met schoon water. In de daarna volgende microfiltratieproef, waarbij ca 10 maal is geconcentreerd, daalde de flux van 62,5 naar 30 l/m<sup>2</sup>.h.

De retentie van de microfiltratiemembranen is alleen beoordeeld aan de hand van de CZV-redukatie en via een visuele beoordeling.

Toepassing van microfiltratie lijkt in technisch opzicht een geschikte voorbehandelingsmethode. Alleen met voorbezonden kalvergier zijn kwantitatieve gegevens bekend. De hoeveelheid concentraat was hierbij slechts ca 10 %. Of met niet voorbezonden kalvergier dezelfde concentrering kan worden bereikt dient nader te worden onderzocht.

#### 4.2 Omgekeerde osmose

De belangrijkste resultaten met betrekking tot de omgekeerde osmose-experimenten kunnen als volgt worden samengevat:

- De installatie heeft met uitzondering van verstopping van de voorfilters zonder problemen gedraaid.
- Concentrerings van de voorbehandelde vloeistof met een factor 5 tot 7 is mogelijk. Per m<sup>3</sup> voeding ontstaat 150 tot 200 l concentraat dat samen met het slib van de voorbehandeling moet worden afgezet of verder verwerkt.
- De flux daalde tijdens de experimenten in het algemeen snel van 15 tot 25 l/m<sup>2</sup>.h in het begin tot 2,5 a 5 l/m<sup>2</sup>.h na enkele uren. Het verschil in beginflux wordt ondermeer veroorzaakt door het verschil in reiniging voorafgaande aan de experimenten. De oorzaak van de fluxdaling is o.a. de toenemende concentrering en de vervuiling van de membranen. De gemiddelde flux per experiment varieerde van 6 tot 14 l/m<sup>2</sup>.h. en bleek onder meer afhankelijk van de proefduur.
- De retentie was bij de start van de experimenten ca 95 % en daalde tot een waarde van 80 tot 85 % aan het einde van de experimenten. De afname van de retentie staat in directe relatie met de afname van de permeaatflux.
- De concentratie van de verschillende componenten in het permeaat was gemiddeld ca een factor 10 tot 20 lager dan in de oorspronkelijke vloeistof. Een uitzondering hierop zijn de P-concentratie die met meer dan 99 % afnam en de concentratie NH<sub>4</sub>-N die slechts met 80 tot 85 % afnam. Bij de laatstgenoemde verbinding speelt de pH van de voeding van de O-O een belangrijke rol. In het volgende hoofdstuk wordt nader ingegaan op de samenstelling van de verschillende stromen.

### 4.3 Effect van de zuivering op de chemische samenstelling

Er is door het IMAG en het C.C.L een aantal analyses uitgevoerd van monsters van verschillende experimenten. De resultaten van deze analyses zijn samengevat in bijlage 1 en 2. Onder voeding wordt verstaan de voeding van de omgekeerde osmose na de voorbehandeling. De monsternamen van de voeding is steeds vlak voor aanvang van het experiment uitgevoerd. De concentraat- en permeaatmonsters zijn steeds direct na afloop van de proef genomen. Het permeaat van één experiment is steeds in een vat verzameld. Het permeaatmonster is derhalve een mengmonster, het concentraatmonster een eindmonster.

Uit de bijlage blijkt dat de samenstelling van de voeding van alle experimenten globaal hetzelfde is geweest. Alleen de concentratie van de diverse componenten in de voeding van proef 8 was gemiddeld ca 20 % lager. Hiervoor is geen verklaring gevonden. Het zwevende stofgehalte na microfiltratie is ca een factor 2 lager dan na flocculatie/sedimentatie.

De verschillende voorbehandelingsmethoden hebben een aanzienlijke verlaging van de CZV tot gevolg als gevolg van afscheiding van deeltjes. Het blijkt dat onafhankelijk van de CZV van de niet voorbehandelde kalvergier de CZV na voorbehandeling steeds ca 12.000 mg/l is.

Ook veroorzaakt de voorbehandeling een reductie van het P-gehalte, waarbij ook steeds globaal dezelfde eindwaarde wordt bereikt. De verschillen in CZV en P in de niet voorbehandelde kalvergier worden waarschijnlijk veroorzaakt door een slechte menging van de kalvergier bij het nemen van de monsters voor de experimenten.

Het resultaat van de zuivering door middel van omgekeerde-osmose is voor de meeste experimenten ongeveer hetzelfde:

De CZV-reductie ten opzichte van de voeding is ca 95 tot 97 %. De CZV-waarden in het permeaat variëren van 300 tot 500 mg/l.

De K-concentratie wordt verlaagd van ca 4.000 tot ca 200 mg/l, hetgeen een afname is van ca 95 %.

De concentratie P blijkt ten opzichte van de voeding met ca 99 % te zijn afgenomen tot waarden van 2 tot 4 mg/l.

Voor de Cl-concentratie in het permeaat worden sterk verschillende waarden gegeven. Afnames van 80 tot 99 % worden gegeven. Een verklaring voor deze verschillen kan niet worden gegeven. De resultaten van proef 9 t.m. 12, waarbij een reductie van 90 tot 93 % zijn gemeten, passen het best in het totale beeld.

De afname van de  $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentratie is het kleinst, slechts 80 tot 85 %. De  $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentratie in het permeaat is 200 tot 300 mg/l. De pH van de voeding speelt hierbij waarschijnlijk een rol.

## 5. KOSTENSCHATTING

Door de fa Josef van Opbergen is op basis van de onderzoekresultaten een kostenschatting gemaakt voor de verwerking van kalvergiel voor een capaciteit van 25.000 m<sup>3</sup> en 100.000 m<sup>3</sup> per jaar. De uitgangsgegevens die hierbij door de firma Josef van Opbergen zijn gehanteerd zijn bij de auteurs niet bekend.

In bijlage 3 wordt het door hen opgestelde verwerkingsschema met de berekende kostenberekening weergegeven.

Uitgaande van de route voorbezinking - microfiltratie - omgekeerde osmose - NH<sub>4</sub>-N-verwijdering zijn de kosten voor het scheiden van 1 m<sup>3</sup> mest in 720 l op het riool te lozen water en 280 l nog af te zetten cq te verwerken geconcentreerde mest door hen berekend op ca DM 15,- (HF1 17,-), voor een installatiegrootte van 25.000 m<sup>3</sup> per jaar. Bij een toenemende installatiegrootte nemen de verwerkingskosten per m<sup>3</sup> vanzelfsprekend af.

## 6. CONCLUSIES EN VERTALING VAN DE RESULTATEN NAAR DE PRAKTIJK

Aan de hand van de resultaten van het in Nistelrode uitgevoerde onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van het door de fa Josef van Opbergen voorgestelde systeem voor de verwerking van kalvergier kunnen een aantal conclusies worden geformuleerd. Hierbij dient er echter rekening mee te worden gehouden dat bij de proeven relatief dikke kalvergier is gebruikt.

- De samenstelling van de te behandelen kalvergier is van invloed op de flocculatie-sedimentatiestap. In de praktijk betekent dit dat de vlok-middeldosering worden aangepast aan de samenstelling van de kalvergier. Anderzijds zullen in de praktijk buffers worden toegepast. De variatie in de samenstelling van de aan de verwerkingsinstallatie aangeboden kalvergier zal daardoor niet groot zijn.
- Bij toepassing van flocculatie zijn aanzienlijke hoeveelheden verdunde chemicaliën nodig, waardoor het te verwerken volume met ca 25 % toeneemt. Bij de proeven in Nistelrode ontstond een grote hoeveelheid slib, 250 -300 l per m<sup>3</sup> kalvergier. Bij toepassing van dunnere kalvergier en betere apparatuur voor het afscheiden van dit slib zal de slibhoeveelheid aanzienlijk minder zijn.
- Microfiltratie (na filtratie over een 450 um -filter) lijkt een geschikte voorbehandelingsmethode bij de omgekeerde osmose van kalvergier. Er zijn geen chemicaliën nodig, waardoor geen volumevergroting optreedt. De vloeistof na microfiltratie is bovendien deeltjesvrij. Bij de microfiltratie van voorbezonden kalvergier is een concentrering met een factor 10 mogelijk.  
Het volume van het uiteindelijk (na omgekeerde osmose) te lozen afvalwater is kleiner dan bij flocculatie/sedimentatie. Wanneer bij de bezinking van kalvergier uitgegaan wordt van 150 l dikke fractie per m<sup>3</sup> kalvergier is de volumevermindering door de verwerking van kalvergier via de route voorbezinken-microfiltratie-omgekeerde osmose ca 60 %.
- De omgekeerde osmose-installatie heeft met uitzondering van de verstopping van de 10 um voorfilters vrijwel probleemloos gedraaid. Een concentrering van 5 tot 7 maal kon worden bereikt. De flux daalde bij alle experimenten snel van 15 - 25 l/m<sup>2</sup>.h. bij de start tot 2,5-5 l/m<sup>2</sup>.h na enkele uren. De gemiddelde flux bij de experimenten varieerde van 6 tot 14 l/m<sup>2</sup>.h. De gemiddelde retentie daalde van ca 95 % bij de start tot 80 a 85 % aan het einde van de experimenten.
- Lozing van de gezuiverde vloeistof op het oppervlaktewater is met name door de hoge waarden van de CZV (300 -500 mg/l) en de NH<sub>4</sub>-N-concentratie



(200 -300 mg/l) niet mogelijk. Aanvullende experimenten die door de firma van Opbergen zijn uitgevoerd hebben volgens de firma van Opbergen aangetoond dat de  $\text{NH}_4\text{-N}$  concentratie met een factor 10 kan worden gereduceerd.

De te lozen vloeistof is visueel wel schoon.

- Bij de verwerking van kalvergier volgens het door de fa Josef van Opbergen voorgestelde systeem van voorbehandeling gevolgd door omgekeerde osmose was de uiteindelijke volumereductie (ten opzichte van de oorspronkelijke kalvergier) die bij de experimenten in Nistelrode werd bereikt maximaal ca 60 %. Bij een goede voorbehandeling en kan bij grootschalige toepassing een volumereductie van de kalvergier van minimaal 70 % worden verwacht.
- De kosten voor de verwerking van 1 m<sup>3</sup> kalvergier zijn door de fa Josef van Opbergen berekend op DM 15,- (ca Hfl 17,-) voor een installatie met een capaciteit van 25.000 m<sup>3</sup> per jaar.

BIJLAGE 1

ANALYSE KENMERKEN KALVERGIERZUIVERING VOLGENS SYSTEEM VAN OPBERGEN

monster	ds	as	ss	bzv	czv	Kj-N	NH4-N	P	K	Cl	pH
:	g/l	% ds	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
<u>proef 4</u>											
kalvergier	27.5	62.9		10300	22850	3430	2930	707	5480	4720	7.5
voeding	16.8	69.0		6600	11810	2380	2220	365	4300	3760	7.6
concentr.	36.4	65.5			24230					7430	8.4
permeaat	0.9	70.0		190	500					800	7.7
<u>proef 5</u>											
kalvergier	22.8	66.4		7000	12530	2510	1745	370	3980	4440	7.7
voeding	17.3	67.7	740	6960	11200	2390	2290	354	4240	3860	7.5
slib	38.8	64.6			22970					4460	7.5
concentr.	131.0	38.0			49800					15560	8.4
permeaat	1.4			290	510	350	335	3.6	220	64	8.1
<u>proef 6</u>											
voeding	16.4	67.3	780	7080	10380	2260	2070	332	3980	3550	7.5
slib	42.5	65.1			20340					4340	7.5
concentr.	100.0	43.0			42200					12800	8.1
permeaat	1.3			230	465	296	287	2.5	160	34	7.5
<u>proef 8</u>											
voeding	13.8	65.9		4330	8480	1930	1750	280	3520	3160	8.1
concentr.	98.2	44.1			43800					13600	8.4
permeaat	1.7			280	500	394	320	3.3	280	44	8.6
<u>proef 9</u>											
voeding	16.4	65.0	514	6700	12510	2360	2130	240	4080	3560	7.9
concentr.	94.6				52080					13300	8.9
permeaat	0.7			110	260	255	250	1.21	140	190	8.7
<u>proef 10</u>											
bez.kalv.	20.1	56.7			18360	2810				3440	7.2
conc. MF	35.6	36.6			40760					5000	7.8
voeding	17.0	63.7	345		13260	2500			4160	4200	7.8
concentr.	96.2	44.9			57300					13600	8.8
permeaat	1.6	66.7		155	370	403		3.33	280	400	9.2
<u>proef 11</u>											
bez.kalv.	20.6	57.0		7250	16600	2220	1820	314	4080	2880	7.2
conc. MF	36.5	35.7			39140	3970				3600	8.0
voeding	16.8	66.0	405	6710	12420	2510	2080	234	4040	3280	8.0
concentr.	115.0	43.4			61070					15200	8.8
permeaat	0.7	81.6		170	350	350	260	2.16	200	280	9.1
<u>proef 12</u>											
bez.kalv.	19.6	58.3			16900	2670				3700	7.1
slib	33.1	47.8			34800					3800	7.2
voeding	15.5	64.9	1000		13520	2330	2100	257	3640	3200	7.4
concentr.	72.5	54.9			55600					12400	8.2
permeaat	0.7	81.0		170	300	207	200	1.84	100	220	7.1

BIJLAGE 2

CHEMISCHE KENMERKEN VAN KALVERGIER VOOR EN NA SCHEIDING MET OMGEKEERDE  
OSMOSESISTEEM VAN OPBERGEN

CCL-Met.88.039

(Mengmonster van proef 07-07-1988 te Nistelrode; voor toegepaste analysemethoden zie rapport CCL-Met. 86.012 van 16-10-1986.)

kenmerk	kalver gier 7-7-'88	slib proef 7	input proef 7	koncen- traat proef 7	permeaat proef 7
d.s. (%)	2,7	4,6	1,5	6,1	<0,1
as (%)					
totaal stikstof N-Kj (%)					
ammonium stikstof N-NH <sub>4</sub> (%)					
nitraat stikstof N-NO <sub>3</sub> (%)					
C.Z.V. (mg/l)					
fosfor (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,26	0,20	0,090	0,32	0,006
natrium (%Na <sub>2</sub> O)	0,25	0,21	0,20	0,80	0,012
kalium (%K <sub>2</sub> O)	0,63	0,56	0,50	1,49	0,036
calcium (%CaO)	0,101	0,22	0,006	0,004	<0,003
magnesium (%MgO)	0,054	0,12	0,002	<0,001	<0,001
koper (mg/kg)	1,68	2,58	<0,20	0,20	<0,20
ijzer (mg/kg)	14,0	734	0,79	3,27	<0,20
mangaan (mg/kg)	5,73	12,4	0,30	0,50	<0,20
zink (mg/kg)	9,78	13,0	1,46	2,18	1,35
nitriet (mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<25	<25	<25	<25	<5
nitraat (mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<25	<25	<25	<25	<5
sulfaat (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	<25	<25	<25	<25	7
chloride (mg/l Cl <sup>-</sup> )	4272*	3304	3338	13240	336
cadmium (mg/kg)					
lood (mg/kg)					
chrom (mg/kg)					

\* Chloride vlg. Volhardt 0,50% (5000 mg Cl/l).