

Ref.nr. : 87-331
Dossiernr. : 8722-13312
Datum : november 1987
NP

Titel
VERWERKINGSMOGELIJKHEDEN VAN VIA
OMGEKEERDE OSMOSE GECONCENTREERDE
MESTVLOEISTOFFEN

Auteur(s):

Ing. W.G.J.M. van Tongeren	MT-TNO
Ir. M. Nienoord	MT-TNO
Dr. Ir. H.W.G. Heynen	Cehave
Ing. J.P.G.H. Custers	Cehave

Met medewerking van:

Dr. G. van den Bosch	C.C.L.
L.M.M. Verhoeven	C.C.L.
Ir. R. van Tol	Cebe Son
Ir. G. Asmus	Stork C.R.O.
Ir. B.P. Eversdijk	Stork Friesland

Bestemd voor:

Commissie Hinderpreventie Veeteelt
bedrijven
t.a.v. Prof. Ir. A.A. Jongebreur
Directie Landbouwkundig Onderzoek
Dr. Mansholtlaan 4
6700 AB Wageningen

	Pagina
87-331/R.22/CAP	2
INHOUDSOPGAVE	
SAMENVATTING	3
1. INLEIDING	5
2. INDAMPEN	8
2.1 Toelichting op de uitvoering van het onderzoek	8
2.2 Samenvatting en interpretatie experimenteel onderzoek	8
2.2.1 Indampen van filtraat	9
2.2.2 Indampen van effluent van de biologische nitrificatie/ denitrificatie	11
2.2.3 Indamproef met effluent van de gebufferde nitrificatie	13
2.3 Kosten van het indampen van mestvloeistof	14
2.4 Evaluatie	16
3. VRIESCONCENTREREN	19
3.1 Oriënterend laboratoriumonderzoek	19
3.1.1 Proefopzet	19
3.1.2 Uitvoering en resultaten	20
3.2 Kosten van vriesconcentreren	22
4. DROGEN VAN HET CONCENTRAAT VAN HET INDAMPPROCES	24
5. EINDEVALUATIE	26
6. LITERATUUR	28

FIGUREN: 1 en 2

SAMENVATTING

De toepassingsmogelijkheden van indampen en vriesconcentreren voor het concentreren van via omgekeerde osmose voorgeconcentreerde mestvloei-stoffen zijn onderzocht. Daarnaast is een experiment uitgevoerd met het indirect drogen van concentraat van het indampproces opgemengd met mest-koek.

De belangrijkste conclusies aan de hand van het door Cehave en Stork uitgevoerde onderzoek naar het indampen van mestvloei-stof zijn:

- Concentreren van mestvloei-stof via indampen is mogelijk. Een limite-rende factor voor de te bereiken indikkingsgraad lijkt de voor corro-sie maximale chloride concentratie van 20 g/l, uitgaande van een in-stallatie van "standaard" r.v.s. Bij de experimenten is geen verpomp-baarheidsprobleem of onacceptabele apparaatvervuiling opgetreden.
- De samenstelling van het condensaat is in het algemeen zodanig dat rechtstreeks lozen ervan op oppervlaktewater mogelijk lijkt, na een aerobe nabehandeling. De concentratie van de vervuilen-de componenten is sterk afhankelijk van het type mestvloei-stof en van de voorbehan-deling.
- De kosten van het indampen van mestvloei-stof (niet via omgekeerde os-mose voorgeconcentreerd) zijn door Stork-Friesland, afhankelijk van de electriciteitsprijs, begroot op f 5,50 tot f 6,50 per ton waterverwij-dering, bij 90% waterverwijdering en een installatie van 20 ton per uur. Wanneer eerst wordt voorgeconcentreerd via omgekeerde osmose zal de indampinstallatie kleiner zijn, waardoor de indampkosten per m³ waterverwijdering waarschijnlijk hoger zullen zijn.
- Het is mogelijk concentraat van het indampproces te drogen in een in-directe droger door dit concentraat te mengen met mestkoek.

De belangrijkste conclusies van het oriënterende laboratoriumonderzoek naar het vriesconcentreerproces zijn:

- Door middel van vriesconcentreren kan mestvloei-stof (effluent van de gebufferde nitrificatie) dat via omgekeerde osmose is voorgeconcen-treerd met een factor 2 tot 4 worden geconcentreerd.

- Het via vriesconcentreren verwijderde water heeft een zodanige samenstelling dat lozing ervan op oppervlaktewater zonder meer mogelijk lijkt.
- De kosten van vriesconcentreren volgens de huidige beschikbare, in de levensmiddelenindustrie toegepaste technieken, bedragen f 30,-- tot f 40,-- per ton verwijderd water. In de toekomst lijkt bij het toepassen van directe warmtewisseling een daling van de kosten tot ca. f 10,-- mogelijk.
- Aanvullend onderzoek op pilotplant schaal is noodzakelijk, maar gezien het geringe perspectief op dit moment niet gewenst.

Bij het toepassen van indampen of vriesconcentreren in combinatie met omgekeerde osmose zal voor elke mestvloeistof moeten worden vastgesteld welke mate van voorconcentrering via omgekeerde osmose optimaal is. Hierbij spelen de kosten en de samenstelling van het verwijderde water een belangrijke rol.

1. INLEIDING

In het kader van onderzoek naar de procesmatige verwerking van mestoverschotten is door TNO een aantal onderzoeken uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van omgekeerde osmose bij de zuivering van mestvloei-stoffen [1, 2, 3]. Dit onderzoek is uitgevoerd met financiële ondersteuning van de Commissie Hinderpreventie Veeteeltbedrijven. Het betreft hierbij in het algemeen mestvloei-stoffen die ontstaan na machaanische, fysisch/chemische en/of biologische behandeling van de mest en die nog dermate veel verontreinigingen van zowel organische als anorganische aard bevatten dat lozing ervan op het riool of op oppervlakte water niet mogelijk is.

Voor een aantal van deze vloeistoffen is het mogelijk gebleken deze door middel van omgekeerde osmose te scheiden in een relatief schone vloeistof, het permeaat, dat loosbaar is op het riool of op oppervlaktewater, en een concentraat waarin de verontreinigingen zijn geconcentreerd. Hoe ver kan worden geconcentreerd is afhankelijk van het type mestvloei-stof en van de mogelijke procescondities. Hierbij speelt een aantal factoren een belangrijk rol, zoals ondermeer de osmotische druk van de vloeistof en de vervuiling van de membramen.

Daarnaast speelt het kostenaspect een belangrijke rol bij het vaststellen welke concentrering in technische en economische zin optimaal is. Voor de onderzochte mestvloei-stoffen is met omgekeerde osmose concentrering met een factor 2 tot meer dan een factor 5 mogelijk gebleken. Het hierbij verkregen concentraat bedraagt nog 20 tot 50% van de oorspronkelijke volumestroom en heeft een droge stofgehalte van 4 tot 10%. Verder concentreren van deze vloeistof tot een (in de landbouw) afzetbaar produkt is noodzakelijk.

Voor het verder concentreren van dit concentraat van de omgekeerde osmose komen de volgende processen in aanmerking:

- indampen,
- vriesconcentreren,
- drogen van het door indampen of vriesconcentreren verkregen concentraat

In het projectvoorstel van TNO betreffende vervolgonderzoek naar de toe-

passingsmogelijkheden van omgekeerde osmose bij de zuivering van varkensdrijfmest is een onderdeel opgenomen dat is gericht op oriënterend onderzoek van bovengenoemde processen.

In dit projectvoorstel is het onderzoek verdeeld in twee delen:

1. Verkennend laboratoriumonderzoek gericht op het verkrijgen van enkele belangrijke procesgegevens die nodig zijn voor een oriënterende technisch/economische evaluatie.
2. Oriënterende technisch/economische evaluatie van de drie bovengenoemde processen.

In het kader van ondersteunend onderzoek voor het verkrijgen van ontwerpgegevens voor o.a. de bouw van een proeffabriek voor mestverwerking (Promest) is in de afgelopen periode door de afdeling Technologische Research van Cehave en de Chemische Bedrijven Son in samenwerking met Stork-Friesland oriënterend onderzoek naar het indampen van verschillende typen mestvloeistoffen op zowel laboratoriumschaal als op semi-technische schaal [4,5]. Bij het onderzoek is ook een kostenberekening van het indampproces gemaakt.

Omdat over de gegevens en resultaten van dit onderzoek kon worden beschikt leek het niet zinvol nogmaals oriënterend experimenteel onderzoek aan het indampproces uit te voeren. Daarom is door TNO meer aandacht besteed aan de andere onderdelen van het onderzoek.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat het genoemde onderzoek is uitgevoerd met mestvloeistoffen die niet eerst door middel van omgekeerde osmose al enige malen zijn geconcentreerd. De grootste problemen bij het indampproces doen zich in het algemeen echter voor bij de hoogste concentrering en de omstandigheden hierbij zullen voor wel of niet via omgekeerde osmose voorgeconcentreerde mestvloeistof vrijwel hetzelfde zijn.

In het onderhavige rapport zijn de resultaten van het door Cehave/-Cebe Son in samenwerking met Stork-Friesland uitgevoerde onderzoek voor de verschillende mestvloeistoffen samengevat, waarna het te verwachten effect van de toepassing van een voorconcentrerings- of omgekeerde osmose op de resultaten wordt besproken.

Het vriesconcentreerproces is wel door TNO oriënterend op laboratorium-

87-331/R.22/CAP

7

schaal onderzocht.

Met het concentraat van een indamproef is een droogexperiment uitgevoerd, waarbij het concentraat samen met mestkoek van een zeefbandpers (ca. 25% droge stof) is gedroogd in een pijpenbundeldroger.

2. INDAMPEN

2.1 Toelichting op de uitvoering van het onderzoek

In het projectvoorstel betreffende het beschreven onderzoek naar de werkmogelijkheden van concentraat van het omgekeerde osmoseproces is voorgesteld de in aanmerking komende technieken oriënterend op laboratoriumschaal te beproeven en vervolgens een verkennende technisch/economische evaluatie uit te voeren.

Door de afdeling Technologische Research van Cehave en de Chemische bedrijven Son in samenwerking met Stork-Friesland is al onderzoek uitgevoerd naar het indampen van verschillende typen mestvloeistoffen op zowel laboratoriumschaal als semi-technische schaal. Wel dient hierbij te worden opgemerkt dat dit onderzoek is uitgevoerd met mestvloeistoffen die niet eerst door middel van omgekeerde osmose al enige malen zijn geconcentreerd. De grootste problemen doen zich bij het indampproces in het algemeen voor bij de hoogste concentrering en de omstandigheden hierbij zullen voor wel of niet via omgekeerde osmose voorgeconcentreerde mestvloeistof weinig verschillen, omdat in beide gevallen naar dezelfde eindconcentratie in de verdamper wordt gestreefd. De samenstelling van het condensaat van het indampproces na omgekeerde osmose zal in het algemeen wel verschillen van de bij bovengenoemde experimenten gemaakte samenstelling. Bij de interpretatie van de analysecijfers zal hiermee rekening worden gehouden.

2.2 Samenvatting en interpretatie experimenteel onderzoek Cehave/Stork

Door de Cehave/Stork zijn experimenten uitgevoerd met 3 typen mestvloeistof:

- a. filtraat van de zeefbandpers (25% vergiste mest);
- b. effluent van de biologische nitrificatie/denitrificatie;
- d. effluent van de gebufferde nitrificatie;

De mestvloeistoffen zijn alle drie afkomstig van de proefinstallatie voor mestverwerking van de NCB in Sterksel.

Met de twee eerstgenoemde vloeistoffen is zowel op laboratoriumschaal door Cebe Son als op semi-technische schaal door Stork een experiment

uitgevoerd; met de laatstgenoemde vloeistof is alleen een proef op semi-technische schaal uitgevoerd.

2.2.1 Indampen van filtraat

Laboratorium-experiment

In een destillatieopstelling is 1.000 ml filtraat ingedampt tot 60 ml concentraat. Doordat sterke schuimvorming optrad, was het noodzakelijk een antischuimmiddel toe te voegen.

In onderstaande tabel zijn enige analysecijfers gegeven.

Tabel 1 Analysecijfers indampexperiment filtraat

Omschrijving	Filtraat	Concentraat	Condensaat eerste 200 ml	Condensaat laatste 140 ml
pH	8,0	6,2	9,3	7,0
NH ₄ -N (g/l)	2,8	6,8	9,3	0,74
CZV (g/l)	13	>200	1,2	8,6

Uit de tabel blijkt dat ca. 85% van de NH₄-N in het condensaat terecht komt, waarvan ca. 75% in de eerste 200 ml. De CVZ-concentraties in het condensaat blijkt nog enkele grammen per liter te zijn.

Indampen van filtraat op semi-technische schaal

In figuur 1 is een schema gegeven van de proefinstallatie waarmee de experimenten op semi-technische schaal zijn uitgevoerd. De voedingscapaciteit van deze valstroomverdamper is 75-90 kg/uur. Het concentraat van de ene stap wordt steeds weer als voeding voor de volgende stap gebruikt. Op deze wijze is 497 kg filtraat met 2,1% d.s. in 4 stappen geconcentreerd tot 30 kg eindprodukt met 34% d.s. Bij deze concenteringsgraad wordt de voor het indampmateriaal (r.v.s.) maximaal geachte chlorideconcentratie van ca. 20 g/l bereikt.

Het experiment is zonder technische problemen verlopen.

Het filtraat is vóór verzending van Sterksel naar Stork (Nieuw Venne), aangezuurd met 8,1 kg, H₂SO₄ per m³ filtraat, tot pH 6,3. In onderstaande tabel worden de analysecijfers van de verschillende passes gegeven.

Tabel 2 Analyseresultaten aangezuurd mestfiltraat

Omschrijving	Filtraat (aangezuurd)	Concentraat 4e stap	Condensaat			
			1e stap	2e stap	3e stap	4e stap
pH	6,3	6,0	8,3	9,1	6,4	7,0
Massa (kg)	497	30	199	166	78	21
NH ₄ -N (g/l)	2,9	25	1,1	0,7	1,2	2,4
CVZ (g/l)	19	220	1,9	4,6	11	17
d.s. (g/l)	21	340	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Uit de tabel blijkt dat ondanks het aanzuren tot pH 6,3 slechts ca. 50% van de NH₄-N in het concentraat is achtergebleven (Opmerking: De NH₄-N balans blijkt niet geheel te kloppen, ca. 15% ontbreekt. Een verklaring hiervoor kan niet worden gegeven). De CZV-concentratie in de condensaten neemt toe van ca. 2 g bij de 1e stap tot ca. 17 bij de 4e stap. Het gewogen gemiddelde bedraagt ca. 5 g/l.

Naast de in de tabel gegeven cijfers zijn in het condensaat van de 4e stap ook nog geanalyseerd: PO₄, SO₄, Cl, K, Na en enige zware metalen. Deze zijn geen van alle in dit condensaat aangetoond. Het condensaat is vanwege de hoge NH₄-N- en CZV-concentraties niet zondermeer loosbaar op het riool of op oppervlaktewater. Een (biologische) nazuivering is noodzakelijk.

Zoals reeds eerder is vermeld, zijn de indamproeven uitgevoerd met filtraat dat niet via omgekeerde osmose is voorgeconcentreerd. Door middel van omgekeerde osmose is het mogelijk filtraat ongeveer een factor 2 te concentreren (5). Het permeaat van de omgekeerde osmose bevat ca. 100 - 200 mg/l NH₄-N en CZV. Dit betekent dat bij het toepassen van omgekeerde osmose als voorconcentrering het in te dampen volume de helft is en de NH₄-N en CZV-concentratie van de in te dampen vloeistof ongeveer een factor 2 hoger. De eindconcentratie van het concentraat van het indamproces zal ongeveer hetzelfde zijn of nu wel of geen omgekeerde osmose wordt toegepast. Het condensaat van de indamper zal echter ongeveer 2 maal zoveel CZV en NH₄-N bevatten als bij rechtstreeks indampen, het volume is ongeveer gehalveerd. Dit kan van invloed zijn op de noodzake-

lijke verdere zuivering van de vloeistof.

Zonder omgekeerde osmose als voorconcentrerend moet een hoeveelheid condensaat met ca. 5 g/l CZV gezuiverd worden. Wanneer wel omgekeerde osmose wordt toegepast is deze hoeveelheid gesplitst in twee te zuiveren stromen van het halve volume, één met een CVZ-concentratie van ca. 10 g/l en één met 100 - 200 mg/l CZV. De laatstgenoemde hoeveelheid zou eventueel op het riool geloosd kunnen worden.

2.2.2 Indampen van effluent van de biologische nitrificatie/ denitrificatie

Laboratoriumexperiment

Bij het indampen van effluent op laboratoriumschaal is 1.000 ml. geconcentreerd tot 35 ml. Er trad geen schuimvorming op en de vervuilingproblemen waren minder dan bij het indampen van filtraat. Het condensaat bevatte nog ca. 10 mg/l CZV.

Experiment op semi-technische schaal

Het indampen van effluent van de biologische nitrificatie/denitrificatie op semi-technische schaal is met dezelfde proefinstallatie uitgevoerd als het indampen van filtraat. In 5 "passes" is 360 kg effluent ingedikt tot 34 kg. Het concentraat van de ene "pass" is, voor dat het als voeding voor de volgende "pass" is gebruikt, opgemengd met het restant uitgangsmateriaal in het voorraadvat van de installatie. Dit om materiaalverlies zoveel mogelijk te beperken.

Ten tijde van de monstername in Sterksel functioneerde de slibbezinking van de biologische zuivering niet goed, waardoor het effluent meer droge stof(slib) bevatte dan bij de laboratorium experiment. Verwacht kan worden dat in een grootschalige installatie door een betere procesbeheersing de effluentkwaliteit beter zal zijn, waardoor ook een beter condensaat verkregen zal worden.

In onderstaande tabel worden de analysecijfers van de verschillende 'passes' gegeven.

Tabel 3 Analysecijfers effluent van de nitrificatie/denitrificatie

Omschrijving	Effluent nitr./denitr.	Concen- traat 5e pass	Condensaat			
			1e pass	2e pass	3e pass	4e pass
Massa (kg)	360	34	207	82	14	14
NH ₄ -N (g/l)	0,07	0,23	0,05	0,04	0,05	0,04
CZV (g/l)	5,7	65	0,007	0,012	0,06	0,11
d.s. (g/l)	13,9	146	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P (g/l)	0,1	0,6	<0,1			
SO ₄ (g/l)	0,21	0,92	<0,0002			
Cl (g/l)	1,9	18	<0,002			

Van de 5e pass kon tijdens de proef geen representatief monster genomen worden. De gemeten NH₄-N-concentraties van 40-50 mg/l in het condensaat zijn relatief hoog. Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat bij een goed functionerende biologische zuivering de concentratie in het effluent minder dan 1 mg/l kan zijn, hetgeen aanzienlijk lager is dan de gemeten waarde van 70 mg/l.

De CZV neemt toe van 7 mg/l in het condensaat van de eerste pass tot 110 mg/l in het condensaat in de vierde pass. Wanneer aangenomen wordt dat de CZV-concentratie in het condensaat van de vijfde pass 200 mg/l is, dan wordt een gewogen gemiddelde van ca. 20 mg/l berekend. In de condensaten zijn geen aantoonbare hoeveelheden van de diverse zouten aangetoond. De concentraties P en SO₄ in het concentraat zijn slechts ca. 5 maal zo hoog als in de voeding, terwijl ca. 10 maal is geconcentreerd. Dit zou kunnen wijzen op neerslag van deze zouten op de verdamperpijpen, hoewel geen verandering in de warmteoverdracht is geconstateerd. De duur van dit experiment is echter slechts 10 uur geweest.

Bij het toepassen van omgekeerde osmose op dit type effluent is een voorconcentrering met een factor 4 à 5 mogelijk, waarbij een op oppervlaktewater loosbaar permeaat wordt verkregen. De concentraties aan verontreinigingen in het condensaat zullen dan ook een factor 4 à 5 hoger zijn. De aanwezigheid van slibdeeltjes in het effluent kan van grote invloed zijn op het omgekeerde osmoseproces. Hierdoor kan sterke

membraanvervuiling optreden, waardoor de prestaties van de membranen aanzienlijk kunnen verminderen, tenzij een geschikte voorbehandeling kan worden gevonden.

2.2.3 Indampproef met effluent van de gebufferde nitrificatie

Met het effluent van de gebufferde nitrificatie is alleen een proef op semi-technische schaal uitgevoerd. Bij dit experiment is geprobeerd het effluent zover mogelijk te concentreren. De concentrering is uitgevoerd in 6 stappen. Tijdens het experiment zijn geen technische problemen opgetreden. In onderstaande tabel zijn de belangrijkste analysecijfers gegeven.

Tabel 4 Analysecijfers indampproef effluent van de gebufferde nitrificatie

Omschrijving	Effluent gebuff.nit.	Concentraat		Condensaat			Permeaat 0-0
		3e pass	6e pass	1e pass	2e pass	6e pass	3*conc
Massa (kg)	1000	132	47	526	194	20	
pH	7,4	5,9	5,1	9,0	8,8	9,1	
NH ₄ -N (mg/l)	170 *		4480	170	10	10	
NO ₃ -N (mg/l)	2100	15400	38000			1,2	140
CVZ (mg/l)	2500 *		51000	36	39	37	11
d.s. (g/l)	18,4	139,1	392		< 0,1	< 0,1	
P (mg/l)	100		400			<100	80
SO ₄ (mg/l)	<100	150	380				
Cl (g/l)	2,3	19,9	53,1				

* Gehaltes zijn hoog door het niet optimaal werken van de proefopstelling voor de gebufferde nitrificatie

Uit de tabel blijkt dat ongeveer 20 maal is geconcentreerd. De in verband met corrosie maximaal toelaatbaar geachte chloride-concentratie van 20 g/l is na de 3e pass al bereikt. Het effluent is dan ca. 8 maal geconcentreerd. Evenals bij de proef met het indampen van effluent van de nitrificatie/denitrificatie geldt dat de concentratie P in het concentraat van de 6e pass aanzienlijk lager is dan mag worden verwacht op ba-

sis van de toegepaste concentrering van ca. 20 maal. Afzetting van de zouten op de verdamperpijpen kan hiervan de oorzaak zijn.

De aanwezigheid van een kleine hoeveelheid $\text{NO}_3\text{-N}$ in het condensaat zou volgens de uitvoerders van de experimenten veroorzaakt kunnen zijn tijdens de behandeling van de monsters.

Door middel van omgekeerde osmose is het mogelijk het effluent van de gebufferde nitrificatie ongeveer een factor 3 te concentreren. Ter vergelijking zijn enkele analysecijfers van het permeaat na 3 maal concentreren gegeven.

De $\text{NO}_3\text{-N}$ concentratie in het permeaat van de omgekeerde osmose is aanzienlijk hoger dan in het condensaat van de indamper. Dit betekent dat bij toepassing van omgekeerde osmose als voorconcentrerend voor het indampen er twee stromen zullen ontstaan, een permeaatstroom met ongeveer de CZV- en $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties zoals die in de tabel zijn gegeven en een condensaatstroom met een lage $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie en een CZV van ca. 100 mg/l. Het volume van de laatste stroom is de helft van de eerstgenoemde stroom.

2.3 Kosten van indampen van mestvloeistof

Door Stork-Friesland b.v. zijn op basis van de hiervoor beschreven experimenten de kosten berekend voor het indampen van mestvloeistof. Er is uitgegaan van een ééntraps valstroomverdamer met mechanische dampcompressie voor het concentreren van 20.000 resp. 60.000 kg/h mestvloeistof tot 2.000 resp. 6.000 kg/h concentraat.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de verschillende kostenfactoren.

Tabel 5 Investerings- en produktiekosten indampen mestvloeistof

verwerkingscapaciteit	kg/h	20.000	60.000
a. totale procesinvestering		2.000.000	3.200.000
b. <u>produktiekosten per jaar:</u>			
- afschrijving in 10 jaar	f	200.000	320.000
- rente 8%	f	80.000	128.000
- stoom à f 40/ton			
0,011 ton/ton waterverdamping	f	48.000	144.000
- elektra à f 0,20 kWh			
(totaal 16,9 kWh/ton waterverdamping)	f	365.040	
(of totaal 15,1 kWh/ton waterver-			
damping)	f		978.480
- koelwater à f 0,10 m ³			
(0,83 m ³ /ton waterverdamping)	f	9.000	27.000
- mankosten 0,5 uur/dag	f	3.750	3.750
- onderhoud 2% van de investering	f	40.000	64.000
totale produktiekosten per jaar	f	745.790	1.665.230
produktiekosten per ton voeding	f	6,22	4,63
c. <u>bij elektra à f 0,15 kWh</u> zijn de totale			
produktiekosten per jaar	f	654.530	1.420.610
produktiekosten per ton voeding	f	5,45	3,95

Deze kostenberekening is gebaseerd op het rechtstreeks indampen van mestvloeistof. Wanneer eerst wordt voorgeconcentreerd via omgekeerde osmose zijn de in te dampen hoeveelheden, afhankelijk van het type mestvloeistof, een factor 2 tot 5 minder. Dit betekent dat de indampinstallatie kleiner zal zijn en de relatieve kosten per ton in te dampen materiaal hoger. In de volgende paragraaf zal hier nader op worden ingegaan.

2.4 Evaluatie

In dit hoofdstuk is voornamelijk aandacht besteed aan de toepassingsmogelijkheden van het indampproces bij de verdere concentrering van concentraat van de omgekeerde osmose van mestvloeistoffen. Dit is uitgevoerd aan de hand van de resultaten van het door Cehave en Stork uitgevoerde onderzoek naar het rechtstreeks indampen van deze mestvloeistoffen. Uit dit onderzoek is gebleken dat de onderzochte mestvloeistoffen in een valstroomindampinstallatie kunnen worden geconcentreerd, waarbij i.v.m. corrosie bij toepassing van "standaard" r.v.s. het maximaal geachte chloride-gehalte van 20 g/l in het concentraat limiterend is voor de te bereiken concentreringsgraad. Verpompbaarheidsproblemen en onacceptabele apparatuurvervuiling zijn niet opgetreden. Voor het indampen van concentraat van de omgekeerde osmose zullen bovengenoemde beperkingen en gegevens eveneens gelden. Met betrekking tot de samenstelling van het condensaat van de indamper zal in het algemeen gelden dat de concentratie van de verschillende componenten hoger zal zijn naarmate via omgekeerde osmose meer is voorgeconcentreerd. Afhankelijk van het type ingedampte mestvloeistof zal een nazuivering van het condensaat noodzakelijk zijn.

De kosten per m³ waterverwijdering voor indampen na omgekeerde osmose zullen in het algemeen hoger zijn omdat kleinere hoeveelheden moeten worden ingedampt.

In dit hoofdstuk is tot nu toe alleen gesproken over de mogelijkheden van toepassing van het indampproces bij het verder concentreren van via omgekeerde osmose voorgeconcentreerde mestvloeistoffen. Voor het concentreren van mestvloeistoffen in een totaal mestverwerkingssysteem zal echter gekozen worden voor de in technisch en economisch opzicht meest optimale procesroute, waarbij de verschillende processtappen goed op elkaar moeten worden afgestemd.

Belangrijk is hierbij de vraag hoever de mestvloeistof via omgekeerde osmose moet worden voorgeconcentreerd c.q. of omgekeerde osmose in alle gevallen wel moet worden toegepast voordat de mestvloeistof wordt ingedampt. Behalve het kostenaspect is het type te concentreren mestvloeistof en de samenstelling van de gezuiverde vloeistof hierop van grote invloed.

Het type mestvloeistof is bepalend voor de prestaties van de membranen. De aanwezigheid van slibdeeltjes of slecht oplosbare zouten veroorzaakt sterke membraanvervuiling waardoor er vaker gereinigd moet worden, een voorbehandeling noodzakelijk is en/of de gemiddelde flux lager zal zijn. Hoge zoutconcentraties in de vloeistof hebben een hoge osmotische druk tot gevolg waardoor de maximale concentreringsgraad voor omgekeerde osmose wordt beperkt.

De samenstelling van de gezuiverde vloeistofstromen en de verdere verwerkingsmogelijkheden ervan kunnen van grote invloed zijn op de proceskeuze. Het type mestvloeistof is hierop van invloed.

1. Bij het toepassen van omgekeerde osmose op filtraat gevolgd door indampen ontstaan twee gezuiverde vloeistofstromen, één met lage en één met hoge CZV.

Eerst genoemde hoeveelheid is eventueel loosbaar op het riool. Zonder omgekeerde osmose is de CZV-concentratie in het condensaat van de indamper de helft; het volume is echter twee keer zo groot.

2. Bij het concentreren van effluent van de nitrificatie/denitrificatie kan via omgekeerde osmose een factor 4 à 5 worden geconcentreerd. Het permeaat is loosbaar op oppervlaktewater. Het condensaat van de indamper heeft naar verwachting een 5 maal zo hoge CVZ-concentratie en een 5 maal zo klein volume wanneer eerst via omgekeerde osmose wordt voorgeconcentreerd.

3. Bij de omgekeerde osmose van effluent van de gebufferde nitrificatie bevat het permeaat nog 140 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$; bij indampen is de concentratie $\text{NO}_3\text{-N}$ in het condensaat meer dan een factor 100 lager. De CZV in het condensaat van de indamper is echter wel hoger dan in het permeaat van de omgekeerde osmose.

Het is afhankelijk van de verdere verwerkings/afzetmogelijkheden van het concentraat en van de gezuiverde vloeistof welke de meest optimale procesroute is.

Bovengenoemde factoren hebben ook invloed op het kostenaspect.

Samengevat kan worden geconcludeerd dat mestvloeistoffen via omgekeerde

osmose gevolgd door indampen kunnen worden geconcentreerd, maar dat voor de inpassing van de beide processtappen in het totale mestverwerkings-systeem een optimalisatie in technische en economisch opzicht moet worden uitgevoerd.

3. VRIESCONCENTREREN

Vriesconcentreren is een proces, waarbij door afkoeling van een waterig systeem ijskristallen worden gevormd. De gevormde ijskristallen worden van de moederloog gescheiden en als smeltwater afgevoerd. Op deze wijze stijgt de concentratie in de achterblijvende moederloog.

Indien er geen verontreinigingen in de ijskristallen worden ingesloten en de scheiding tussen ijskristallen en moederloog met een waskolom wordt uitgevoerd, is het mogelijk zeer zuiver smeltwater af te scheiden.

3.1 Oriënterend laboratorium onderzoek

Met een beperkte hoeveelheid voorgeconcentreerde mestvloeistof (20 l) is een oriënterend onderzoek gedaan. De mestvloeistof was voorgeconcentreerd met behulp van omgekeerde osmose en bevatte ca. 4% droge stof.

Doelstelling was een indruk te krijgen van de filtreerbaarheid van de gevormde ijskristallen (kwalitatief), de zuiverheid van het gevormd ijs en de mogelijke concentreringsgraad van de mestvloeistof.

De ijskristallen zijn met een suspensiekristallisatieproces met indirecte koeling gevormd.

3.1.1 Proefopzet

Voor de gebruikte opstelling wordt verwezen naar figuur 2 achter in dit rapport.

Uit vacuïmkolf (5) wordt met pomp (9) mestvloeistof in kristallisator (7) gepompt. De in de kristallisator gevormde kristalsuspensie stroomt via leiding (6) naar büchnertrechter (3). De moederloog wordt in de büchnertrechter van de kristallen opgezogen en stroomt terug in de vacuïmkolf. De afgescheiden ijskristallen blijven in de büchnertrechter achter en worden regelmatig uitgeschept (2).

De moederloog, welke op deze wijze een hogere concentratie heeft gekregen, wordt teruggepompt naar de kristallisator.

Als het niveau van de geconcentreerde mestvloeistof in vacuïmkolf (5)

bijna de bodem bereikt heeft, wordt nieuwe mestvloeistof uit voorraadvat (1) via de trechter in kolf 5 toegelaten.

De concentrering is geschat met geleidbaarheidsmeting en chloridegehaltebepaling.

3.1.2 Uitvoering en resultaten

Van de uitgangsmestvloeistof zijn de volgende grootheden vastgesteld.

Geleidbaarheid	: $50 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$
Chlorideconcentratie	: 4.600 mg/l
Beginpunt van kristalvorming	: -2°C
Kleur	: bruin-zwart

Tijdens de experimenten bleek het niet goed mogelijk met de büchner-trechter een goede scheiding tussen ijskristallen en moederloog te bewerkstelligen. Luchtdoorslag door voorkeurskanalen in het kristalbed was er de oorzaak van, dat de drukval over het kristalbed weg viel en de filtratie stopte.

Door de slechte scheidende werking van de büchnertrechter verliep de concentrering weinig efficiënt.

Nadat alle uitgangsmestvloeistof was verbruikt zijn de volgende grootheden van het mestvloeistofconcentraat vastgesteld:

Geleidbaarheid	: $110 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$
Chlorideconcentratie	: 10.200 mg/l
Kristallisatietemperatuur	: -5°C

Hieruit volgt zowel op basis van de geleidbaarheidstoename als van de chlorideconcentratiestijging een concentratiefactor van 2,2. Dit betekent een volumereduktie van:

$$\left(1 - \frac{1}{2,2}\right) 100\% = 55\%$$

Van de geproduceerde ijskristallen werd regelmatig een kleine hoeveelheid gewassen met gedestilleerd water. Dit gebeurde door een kleine hoe-

veelheid ijskristallen met aanhangend moederloog over te brengen in een voorgekoeld filterbuisje, het kristalbed licht aan te drukken en vervolgens gedestilleerd water door het kristalbed te zuigen. Nadat het gewassen ijs was gesmolten, werd de geleidbaarheid van het smeltwater gemeten. Hieruit krijgt men een indruk van de zuiverheid van de ijskristallen.

Tabel 6 Geleidbaarheid van gesmolten ijskristallen

Smeltwatermonster	Geleidbaarheid * 10^6 ($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$)
1210	258
1224	127
1230	62
1430	150
1515	80
1550	95
1600	176
1620	87

De variaties in de geleidbaarheid in tabel 6 moeten een gevolg zijn van de verschillen in was-effectiviteit.

Ter vergelijking: leidingwater gaf een geleidbaarheid van $180 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$. De zuiverheid van het verwijderde smeltwater is dus qua geleidbaarheid vergelijkbaar of zelfs beter dan leidingwater.

Door het beperkte scheidend vermogen van de büchertrechter en de beperkte hoeveelheid voeding werd slechts een geringe concentrering bereikt.

Om het effect van een hogere concentratie op het vriesconcentreren te onderzoeken is de mestvloeistof in open bakken enkele dagen aan de lucht ingedampt. Na indampen zijn de volgende grootheden van de vloeistof vastgesteld:

Geleidbaarheid : $147 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$

Chlorideconcentratie : 22.400 mg/l

Kristallisatietemperatuur : -8°C

Op basis van de geleidbaarheid zou de ingedampte vloeistof 3 maal geconcentreerd zijn ten opzichte van de uitgangsvloeistof. Op basis van de chlorideconcentratie verwacht men een 4,8 voudige concentrering t.o.v. de uitgangsvloeistof, terwijl op basis van de vriespuntsverlaging een concentrering van minder dan 4 maal te verwachten is. Een verklaring voor deze verschillen is moeilijk te geven. Mogelijk speelt de geconstateerde vorming van een neerslag tijdens het indampen een rol. Resumerend kan worden gesteld dat de ingedampte mestvloeistof circa 4 keer geconcentreerd is t.o.v. de uitgangsvloeistof.

Van de bij -8°C gevormde ijskristallen was het binnen het bestek van dit onderzoek niet mogelijk de zuiverheid vast te stellen. Doordat de bij -8°C gevormde kristallen kleiner waren (visuele beoordeling) dan de bij hogere temperatuur gevormde en doordat de moederloog visceuzer was, lukte het niet een hoeveelheid wasvloeistof door een kristalbed te zuigen.

In de praktijk betekent dit, dat de scheiding tussen kristallen, gevormd bij -8°C moederloog minder gemakkelijk zal verlopen. Door de groeiomstandigheden van de kristallen te optimaliseren kunnen waarschijnlijk grotere kristallen worden verkregen. Grote kristallen zijn eenvoudiger te scheiden van moederloog dan kleine.

Een aanwijzing, dat een viervoudige concentrering van de mestvloeistof met behulp van vriesconcentreren mogelijk moet zijn, is het feit dat in de levensmiddelenindustrie vriesconcentreren tot het viervoudige van de uitgangskoncentratie met succes wordt toegepast.

3.2 Kosten van vriesconcentreren

Vriesconcentreren wordt in de levensmiddelenindustrie veelvuldig toegepast. De kosten van de concentrering komen uit op f 30,-- à f 40,-- per ton verwijderd water [6]. Hierbij moet bedacht worden dat in de levensmiddelenindustrie de installaties relatief duur zijn, omdat ze met indirecte warmtewisseling werken en bovendien aan strenge sanitaire eisen moeten voldoen. Door gebruikmaking van directe warmtewisseling [7] lijkt het mogelijk de kosten van concentrering te beperken tot ruim f 10,--

per ton verwijderd water. Een nadeel van deze laatste methode is, dat ze nog niet ontwikkeld is voor grootschalige toepassing.

4. DROGEN VAN HET CONCENTRAAT VAN HET INDAMPPROCES

Bij de procesmatige verwerking van varkensdrijfmest is een mogelijk processtap voor de verdere verwerking van de koek van de zeefbandpers het drogen van deze koek. Het lijkt in eerste instantie voor de hand liggend het drogen van het indampconcentraat hiermee zo mogelijk te combineren. Een tweede mogelijkheid is het drogen van dit concentraat in een spreedroger. Naar verwachting zullen de kosten hiervan hoger zijn, met name omdat hierbij de zuivering van een grote hoeveelheid afgaslucht noodzakelijk is.

Eind 1986 is door TNO een onderzoek uitgevoerd naar het indirect drogen van mestkoek van de zeefbandpersontwatering van varkensdrijfmest [8]. Bij dit onderzoek zijn ook enige experimenten uitgevoerd, waarbij aan de te drogen mestkoek concentraat van een indampproef (droge stofgehalte ca. 22%) is toegevoegd. Voor het invoeren van het te drogen materiaal in de droger was het noodzakelijk dit op te mengen met gedroogd produkt tot een materiaal met goede stromingseigenschappen. Het maximale vochtgehalte van de invoer bleek bij de meeste experimenten ca. 30% te zijn. Na het bijmengen van indampconcentraat bleek het materiaal ook bij hogere vochtgehaltes nog goede stromingseigenschappen te bezitten. Voor een goede vergelijking zijn de droogexperimenten echter ook bij een voedingsdrogestofgehalte van ca. 30% uitgevoerd.

In onderstaande tabel zijn resultaten van de experimenten met bijmengen van concentraat vergeleken met experimenten onder vergelijkbare condities waarbij geen concentraat is toegevoegd.

Tabel 7 Resultaten droogproeven met en zonder toevoeging concentraat

Vocht perc. voeding (%)	Debiet (kg/h)	Vocht perc. produkt (%)	Verdamp. capaciteit (kg/m ² .h)	Opmerkingen
33.3	47.0	14.2	3,49	Geen concentr. bijgemengd
33.0	45	12.3	3.54	Alleen concentr. bijgemengd
33.3	65.0	14.4	4.78	Geen concentr. bijgemengd
31.9	66.6	14.8	4.46	Natte koek+concentr.bijgemengd
33.0	67.9	14.7	4.86	Alleen concentr. bijgemengd
31.1	103	18.5	5.31	Geen concentr. bijgemengd
31.9	107	17.2	6.30	Natte koek+concentr.bijgemengd

Waar in de tabel staat "alleen concentr. bijgemengd" is alleen concentraat met droge mestkoek gemengd. Bij de experimenten waar ook natte koek is bijgemengd is de verhouding tussen de hoeveelheid natte koek en concentraat ca. 5:1 geweest. Uit de tabel blijkt dat het toevoegen van concentraat niet tot opvallend andere resultaten heeft geleid. Wel bleek de consistentie van het produkt anders onder invloed van het toevoegen van concentraat. Het produkt bevatte veel kleinere korrels van één tot enkele mm met een zeer droge harde buitenwand en een nog enigszins vochtige kern. Bij de experimenten waarbij alleen concentraat is toegevoegd was de hoeveelheid kleine korrels het grootst.

5. EINDEVALUTATIE

Het verder concentreren van via omgekeerde osmose voorgeconcentreerde mestvloeistoffen is mogelijk via indampen of vriesconcentreren. Het verkregen concentraat kan samen met de mestkoek in een indirecte droger worden gedroogd.

Aan de hand van het door Cehave en Stork uitgevoerde onderzoek naar het indampen van mestvloeistoffen kan voor het indampen van concentraat van het omgekeerde osmose proces het volgende worden geconcludeerd:

- Voor de onderzochte mestvloeistoffen is indampen mogelijk waarbij de i.v.m. corrosie maximale chloride-concentratie van 20 g/l (voor standaard" r.v.s.) limiterend is voor de te bereiken indikkingsgraad. Bij de indampexperimenten is geen verpompaarheidsprobleem of onacceptabele apparaatvervuiling opgetreden.
Verder concentreren lijkt mogelijk bij toepassing van andere materialen (b.v. Monel, echter duurder). Hiervoor is aanvullend onderzoek noodzakelijk.
- Nazuiveren van het condensaat van de indamper is in het algemeen noodzakelijk. De concentratie van de verschillende componenten is sterk afhankelijk van het type mestvloeistof en de eventuele voorbehandeling.
- De kosten van indampen van niet via omgekeerde osmose voorgeconcentreerde mestvloeistoffen zijn door Stork-Friesland begroot op ruim f 5,50 per m³ waterverwijdering voor een installatie van 20 ton per uur. Voor het concentreren van via omgekeerde osmose voorgeconcentreerde mestvloeistoffen zal de capaciteit kleiner zijn, waardoor de prijs per m³ waterverwijdering hoger zal zijn.

De belangrijkste conclusies van het oriënterende laboratoriumonderzoek aan het vriesconcentreerproces zijn:

- Vriesconcentreren van via omgekeerde osmose ruim 2 maal voorgeconcentreerde mestvloeistof (effluent van de gebufferde nitrificatie) lijkt mogelijk tot maximaal een factor 4. De Chloride-concentratie is dan ruim 20 g/l.

- Het verwijderde water heeft een zodanige kwaliteit dat lozing ervan op oppervlaktewater zonder meer mogelijk is.
- De kosten van vriesconcentreren volgens de huidige beschikbare en in de levensmiddelenindustrie toegepaste technieken bedragen f 30,-- tot f 40,-- per m³ verwijderd water. Kostenverlaging (tot ca. f 10,-- ?) lijkt mogelijk bij toepassing van directe warmtewisseling. Deze techniek is echter nog in ontwikkeling.
- Aanvullend onderzoek op pilot-plant schaal is nodig om het verwijderen van de ijskristallen bij 4 maal concentreren volgens de in de praktijk toegepaste methode te onderzoeken.

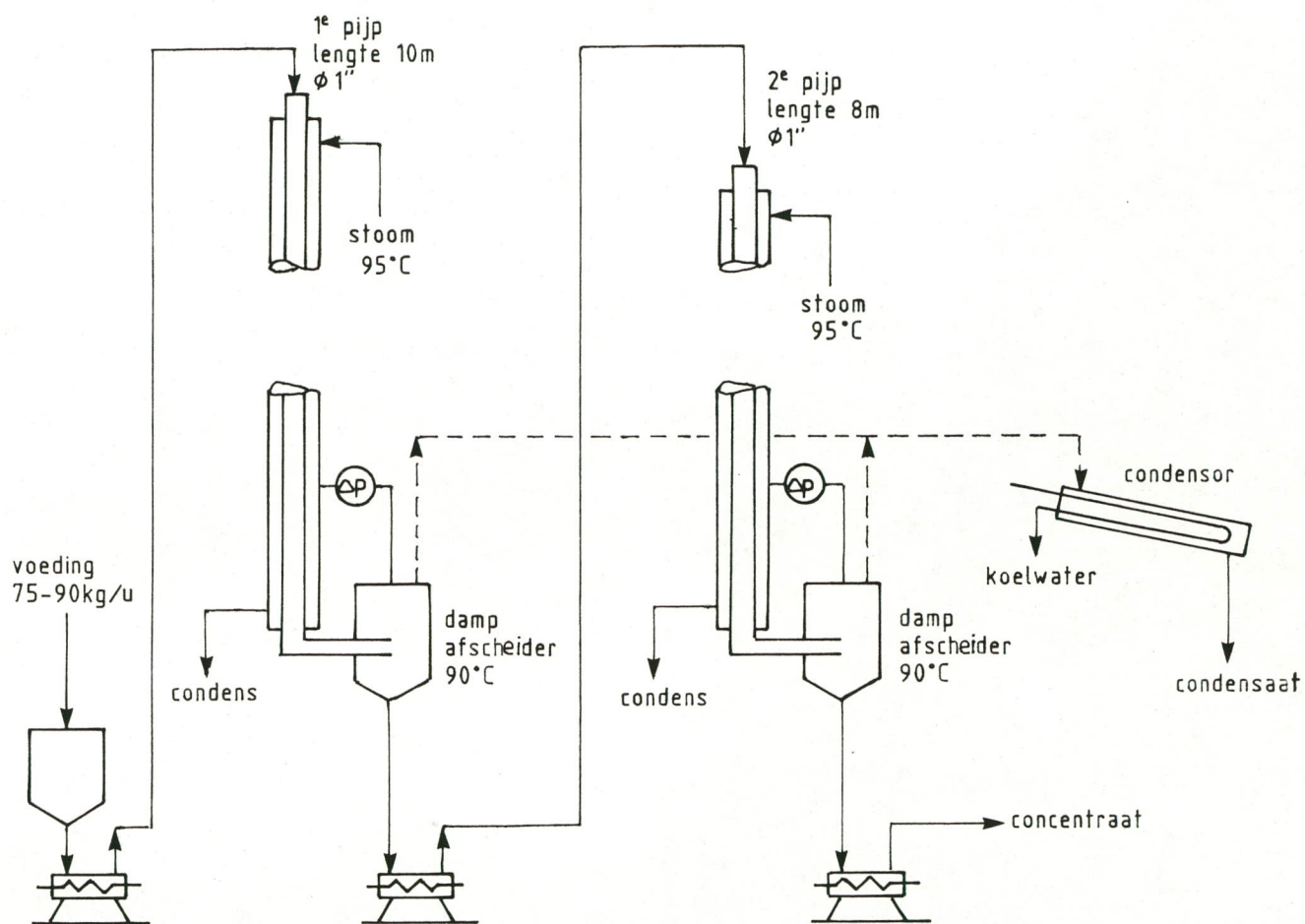
Bij het concentreren van mestvloeistoffen zal voor elke mestvloeistof c.q. elke mestverwerkingsroute een optimum bepaald moeten worden tussen voorconcentreren via omgekeerde osmose en verder in dampen of vriesconcentreren. Voor het vaststellen van de meest optimale route voor het concentreren van mestvloeistoffen speelt naast het kostenaspect de samenstelling van de vrijkomende afvalwaterstromen een belangrijke rol.

87-331/R.22/CAP

28

6. LITERATUUR

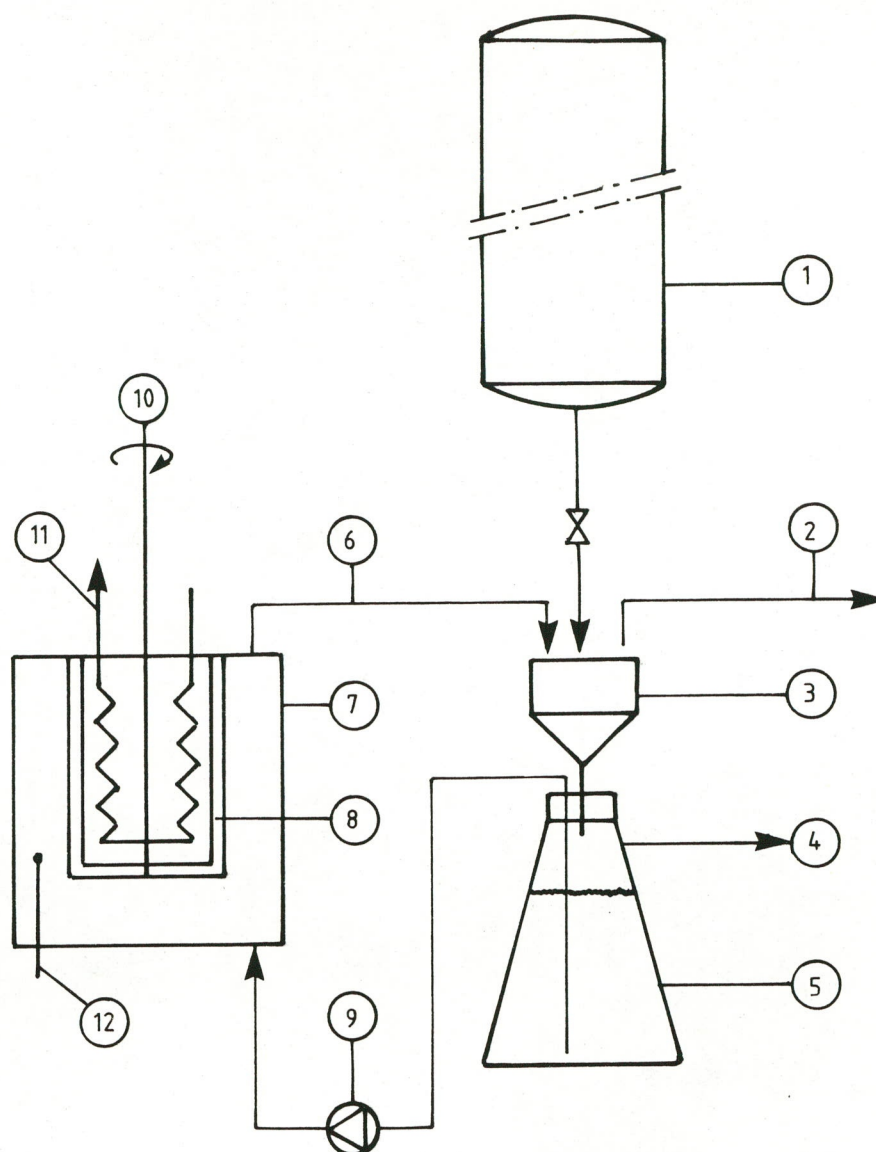
- [1] Van Tongeren W.G.J.M. en van Veen H.J.
Onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van omgekeerde osmose bij de zuivering van varkensdrijfmest.
TNO-rapport nr. 83-015272, maart 1984
- [2] Van Tongeren W.G.J.M.
Toepassing van omgekeerde osmose bij de zuivering van mestvloeistof (duurproeven).
TNO-rapport nr. 86-155, maart 1986
- [3] Van Tongeren W.G.J.M.
Toepassingsmogelijkheden van membraanfiltratie bij de zuivering van mestvloeistoffen.
TNO-rapport nr. 87-109, april 1987
- [4] Heynen H.W.G. en Custers J.P.G.H.
Indampen van varkensdrijfmestfiltraat en effluent (biologisch gezuiverd filtraat).
Cehave rapport TR-Afval 86.002
- [5] Heynen H.W.G. en Custers J.P.G.H.
Indamproef met effluent van gebufferde nitrificatie.
Cehave rapport TR-Afval 86.005
- [6] Thijssen H.A.C. en Oyen N.S.M., P.T. Procestechniek 34 nr. 1 (1979) 19-28
- [7] Thijssen H.A.C., Biotechnologie in Nederland 3 4 (1986) 177-8
- [8] Van Tongeren W.G.J.M.
Indirect drogen van mechanisch ontwaterde varkensdrijfmest.
le tussenrapport: Beproeving Vetter pijpenbundeldroger
TNO-rapport nr. 86-402



Schema van de semitechnische Stork indampinstallatie

Stork / Cehave

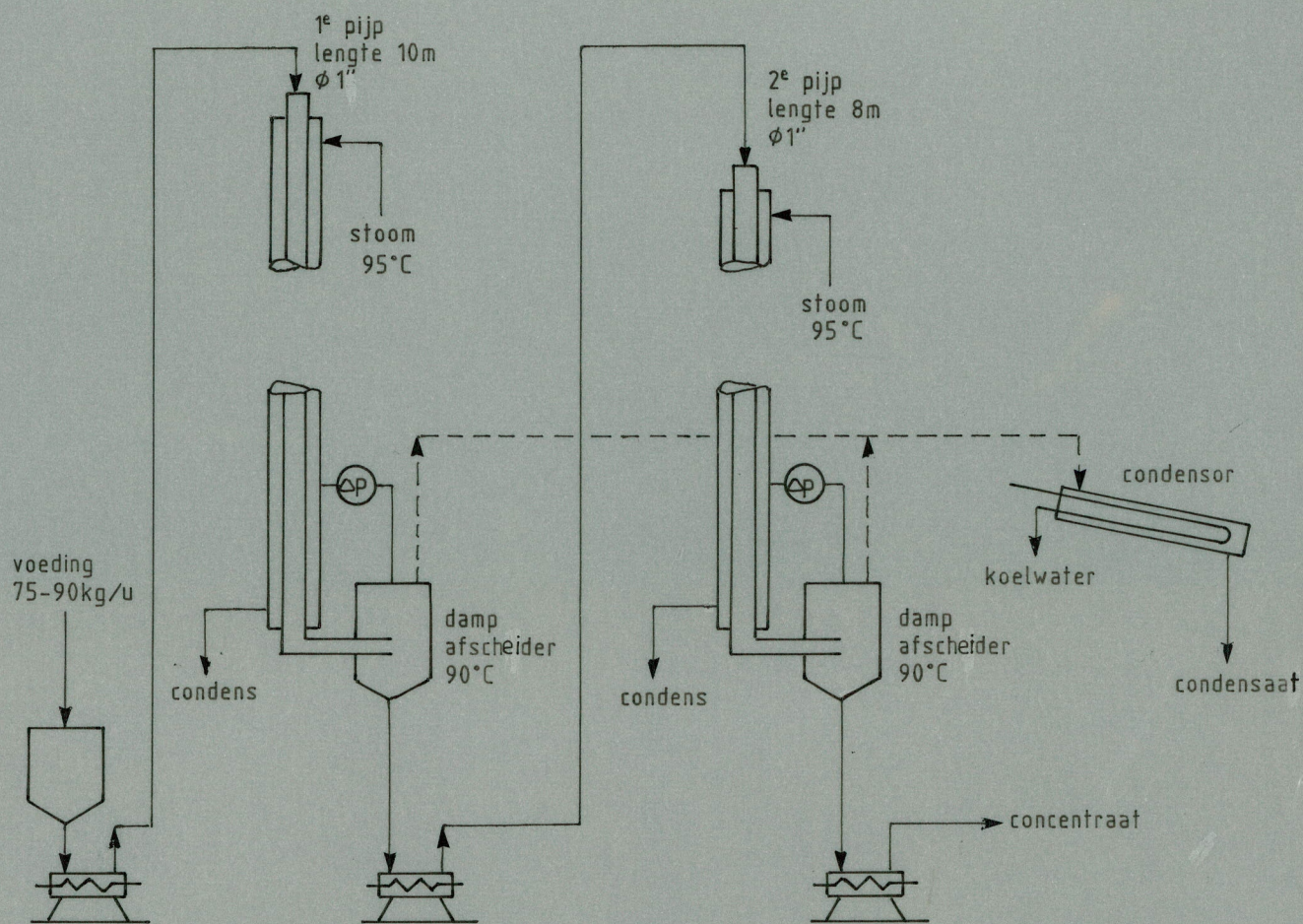
Fig.1



1. Voorraadvat mestvloeistof
2. Afvoeren van ijs uit trechter
3. Büchner trechter
4. Naar vacuümpomp
5. Vacuümkolf
6. Leiding voor kristalsuspensie naar trechter
7. Kristallisor; 2,5l inhoud
8. extern geschraapte warmtewisselaar; 0,03m² oppervlak
9. Voedingspomp
10. Motor schrapermesses, tevens roerder
11. Naar koelmachine
12. Weerstandsthermometer (PT-100)

Schema van de gebruikte proefopstelling voor vriesconcentrering.

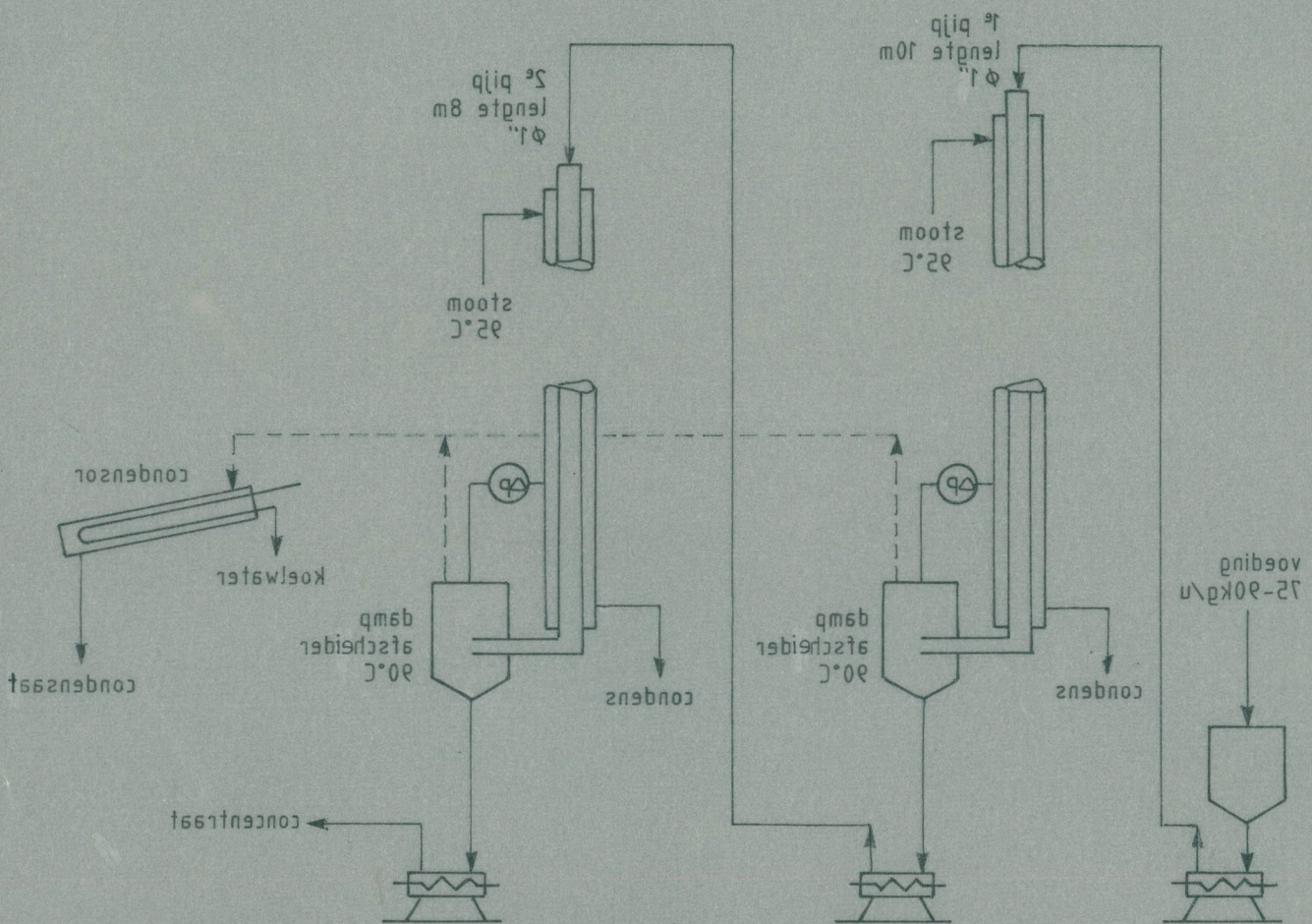
MT-TNO
13312
Fig.2

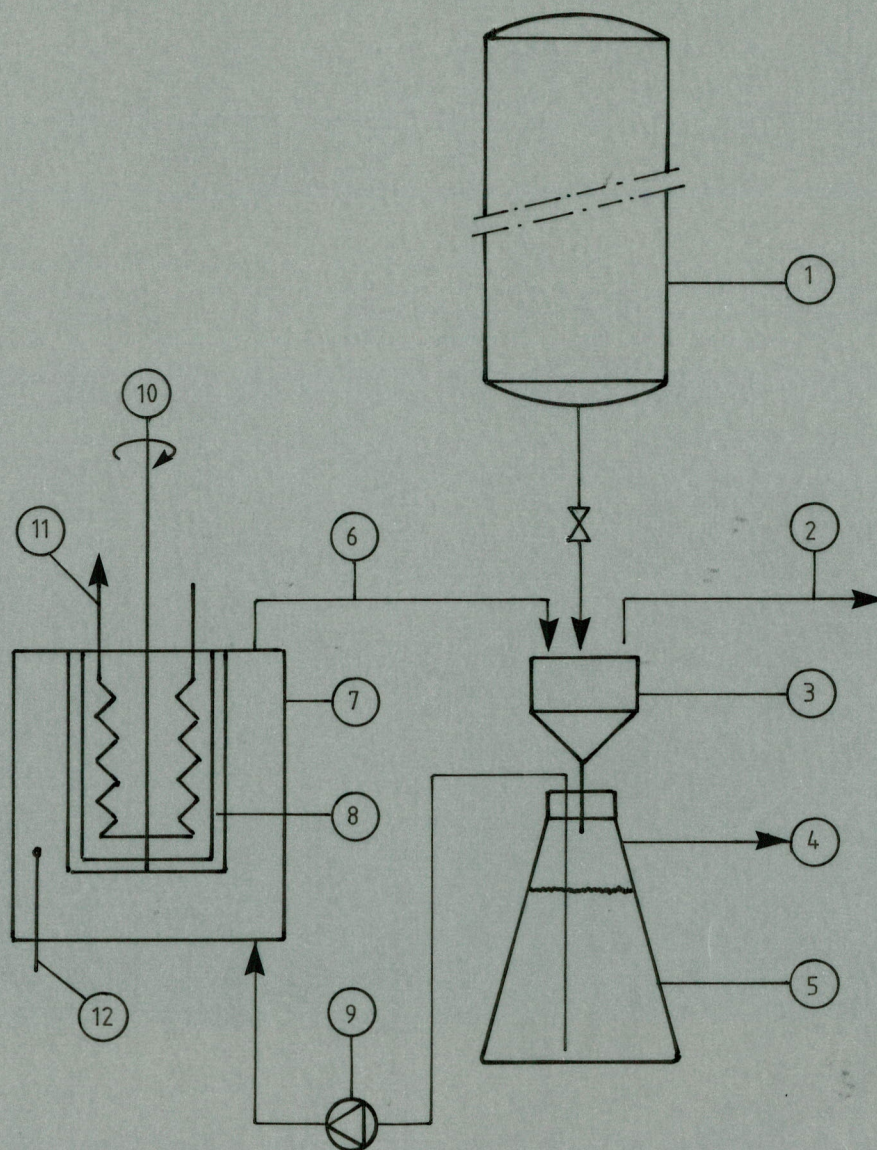


Schema van de semitechnische Stork indampinstallatie

Stork / Cehave

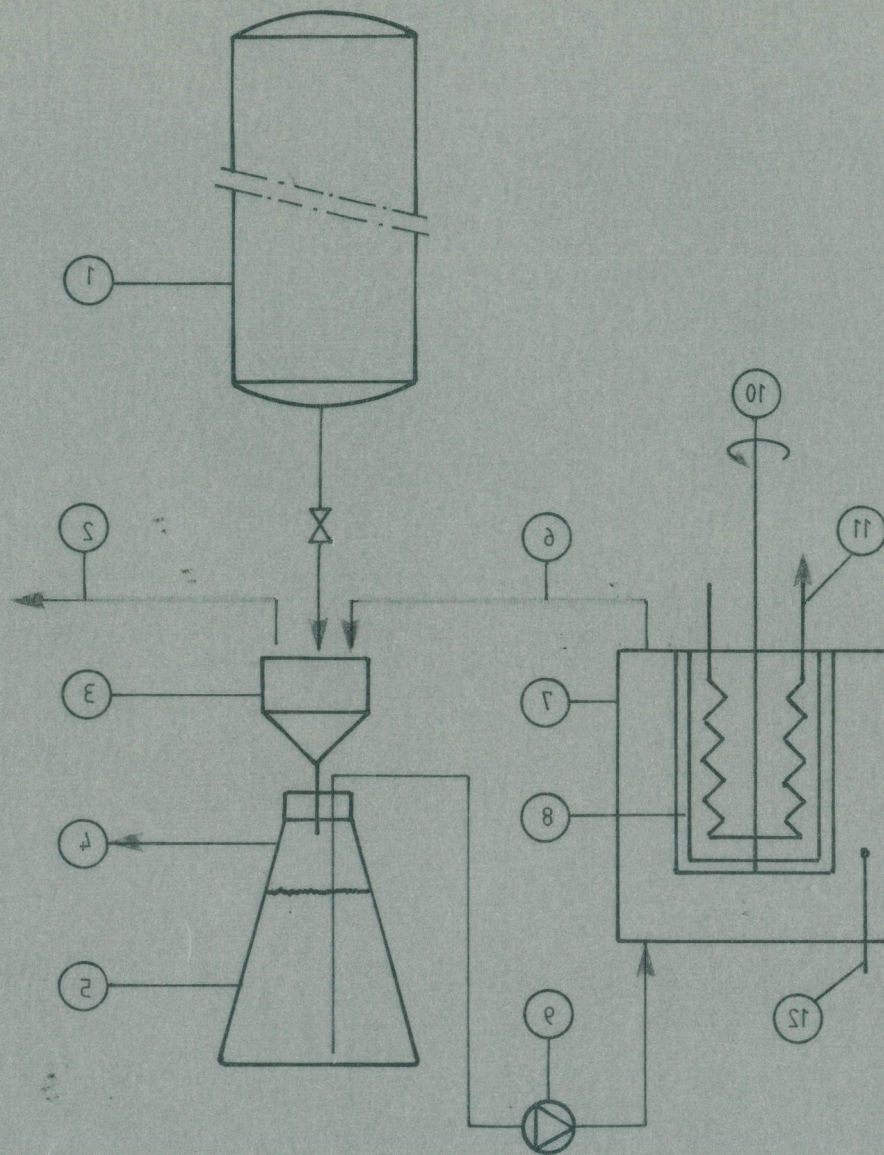
Fig.1





1. Voorraadvat mestvloeistof
2. Afvoeren van ijs uit trechter
3. Büchner trechter
4. Naar vacuümpomp
5. Vacuümkolf
6. Leiding voor kristalsuspensie naar trechter
7. Kristallisor; 2,5l inhoud
8. extern geschraapte warmtewisselaar; 0,03m² oppervlak
9. Voedingspomp
10. Motor schrapermessen, tevens roerder
11. Naar koelmachine
12. Weerstandsthermometer (PT-100)

Schema van de gebruikte proefopstelling voor vriesconcentrering.



1. Voorraadvat mestvloeijsstof
2. Afvoeren van ijs uit trechter
3. Büchner trechter
4. Naar vacuüm pomp
5. Vacuüm kolf
6. Leiding voor kristalsuspensie naar trechter
7. Kristallizator; 2,5 l inhoud
8. Extern geschraapte warmtewisselaar; 0,03 m² oppervlak
9. Voeding pomp
10. Motor schrapermessen, tevens roerder
11. Naar koelmachine
12. Weerstandsthermometer (PT-100)