

1

R87-07w

# Elektro-akoustisch ontwateren van zuiverings-slib en varkensdrijfmest

De haalbaarheid van het  
Battelle E.A.D.-proces

**BIBLIOTHEEK DE HAAG**  
Droevendaalsesteeg 30  
Postbus 241  
6700 AE Wageningen

Samenvattend rapport

## uitgevoerd in een samenwerkingsverband van:

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater STORA  
zuiveringsschap hollandse eilanden en waarden ZHEW  
gemeenschappelijke technologische dienst oost-brabant GTD-OB  
dienst binnenwateren/RIZA  
ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer VROM  
financieringsoverleg mestonderzoek FOM  
instituut voor mechanisatie, arbeid en gebouwen IMAG  
promest b.v.  
industriële raad voor energie en milieu IREM  
technische maatschappij bergmann b.v.



Verkrijgbaar bij de STORA, postbus 80200, 2508 GE Den Haag, tel: 070 - 512710.

3 JAN 2004

	Inhoud	1
	Ten geleide	2
1	INLEIDING	3
2	DE OPZET VAN HET ONDERZOEK	4
3	WERKINGSPRINCIPE VAN ELEKTRO-AKOUSTISCH ONTWATEREN	5
4	DE RESULTATEN	6 - 8
4.1	Varkensdrijfmest	6 - 7
4.1.1	haalbaarheidsonderzoek (taak 2)	6
4.1.2	onderzoek naar ontwerpparameters (taak 5)	6 - 7
4.2	Zuiveringsslib	7 - 8
4.2.1	haalbaarheidsonderzoek (taak 3)	7
4.2.2	onderzoek naar ontwerpparameters (taak 6)	8
5	ECONOMISCHE EVALUATIE VOOR ZUIVERINGSSLIB	9 - 10
5.1	Opzet en uitgangspunten	9
5.2	Jaarlijkse kosten	9 - 10
6	CONCLUSIES	11
	Bijlage 1: Uitgangspunten voor de kostenvergelijking	12 - 13
	Bijlage 2: Jaarlijkse kosten van de ontwatering van zuiveringsslib	14

## Ten geleide

De huidige, commercieel verkrijgbare ontwateringsapparatuur - zoals bijvoorbeeld de zeefbandpers - ontwaterd zuiveringsslib tot circa 20 à 25 % droge stof, een gehalte dat ligt onder de grenzen die worden verlangd bij bewerkingen als storten en verbranden. Voor dierlijke meststoffen ligt het door middel van zeefbandpersen te bereiken drogestofgehalte wat hoger: circa 30%. Desondanks is ook hier behoefte aan een verdergaande ontwatering.

Het Amerikaanse onderzoekinstituut Battelle vond dat de ontwatering van dergelijke slibben aanzienlijk kon worden verbeterd - tot circa 40% droge stof - door een gecombineerd toepassen van elektrische krachten en hoog-frequent geluid: het EAD-proces.

Het thans voorliggende rapport beschrijft onderzoek naar de haalbaarheid van het EAD-principe in combinatie met een zeefbandpers voor zuiveringsslib en varkensdrijfmest. Het onderzoek werd uitgevoerd door medewerkers van de Columbus Division van het Battelle Instituut, Columbus, Ohio U.S.A. (dr. H.S. Muralidhara, dr. S.P. Chauhan, C. Criner en B.F. Jirjis) en Technische Maatschappij Bergmann B.V. (S. Rozendaal, ir. J. van de Velden en A. Rozendaal).

Gezien de veelbelovendheid van het principe en de aanzienlijke, mogelijke besparingen op de verwijderingskosten van slib en de verwerkingskosten van drijfmest is het onderzoek technisch en financieel breed ondersteund.

Aan de voorbereiding en/of begeleiding van een of meer stadia van het onderzoek namen deel:

drs. J.P.N. Smit* (voorzitter b.c.)	VROM
ir. T.W.M. Wouda*	GTD-OB
ir. H.A. Meijer	ZHEW
ing. I.H. Smith*	ZHEW
ir. P.C. Stamperius*	STORA
ir. W. van Starckenburg*	DBW/RIZA
ing. P.J.C. Kuiper	DBW/RIZA
dr. J. Voorburg	IMAG
ir. P.J.W. ten Have*	IMAG
ir. B. Hilberts	PROMEST B.V.
ing. J. Baltussen*	PROMEST B.V.
ir. J.H.O. Hazewinkel	IREM

Dit samenvattend rapport bevat in het kort de aanleiding en opzet van het onderzoek, de fysisch-chemische principes, de voornaamste resultaten en een beschouwing van de technisch-economische haalbaarheid. Het is gebaseerd op een door de onderzoekers van Battelle opgesteld werkrapport, waarin uitvoerig alle uitgevoerde experimenten, proefcondities, berekeningen, en verwerking van de resultaten worden beschreven, en alle meetwaarden in appendices worden gegeven.

De redactiecommissie

A. Rozendaal  
ing. I.H. Smith  
ir. P.C. Stamperius  
ir. T.W.M. Wouda

---

\* tevens lid begeleidingscommissie.

## 1 INLEIDING

Jaarlijks ontstaan grote hoeveelheden afvalslibben en afvalslurries, zoals dierlijke drijfmesten, zuiveringslib en baggerspecie, die door hun hoge watergehalte bijzondere verwijderingsproblemen met zich meebrengen. De verwijderingskosten van deze afvalstoffen worden zeer sterk bepaald door de mate waarin ontwatering mogelijk is.

Afhankelijk van het karakter van de afvalstof is met de huidige ontwateringstechnieken een drogestofgehalte te bereiken van 15 tot 30%. Vaak is echter een hoger drogestofgehalte vereist, bijvoorbeeld ten behoeve van storten en verbranden, zodat de slibben onderworpen moeten worden aan behandelingen die meer water verwijderen en/of het drogestofgehalte verder verhogen.

Het Amerikaanse onderzoeksinstituut Battelle heeft op laboratoriumschaal aangetoond dat de ontwatering van slibben aanzienlijk kan worden verbeterd door het toepassen van een combinatie van elektrische krachten en hoogfrequent geluid tijdens het ontwateren onder de condities behorend bij een zeefbandpers.

materiaal	d.s.-invoer %	drogestofgehalte van de slibkoek in %	
		conventioneel	elektro-akoustisch
zuiveringslib (primair + sec.)	1	15 - 22	38
zuiveringslib (primair + sec.)	5	15 - 22	45
uitgegist slib	4	15 - 22	45
brouwersgist	5	22	41
papierpulp-slib	3	18	50

Tabel 1. Resultaten van elektro-akoustisch ontwateren van enkele slibben en slurries (Battelle laboratoriumexperimenten).

Voor zuiveringslib betekende dit dat tot 40% droge stof bereikt werd in plaats van circa 20% zonder toepassing van het EAD-principe. De consequenties van een dergelijke winst zijn aanzienlijk, wanneer men denkt aan vervoer, verbranden, storten en verwerking van mest-/slibkoeken.

Het onderhavige project beoogt de op laboratoriumschaal ontwikkelde hoogefficiënte ontwateringstechniek op basis van het elektro-akoustische ontwateringsproces (EAD- proces) op te schalen voor toepassing op de ontwatering van zuiveringslib en varkensdrijfmest op zeefbandpersen.

De daartoe ondernomen stappen worden beschreven in hoofdstuk 2 "De opzet van het onderzoek". Na behandeling van het principe van het elektro-akoustisch ontwateren in hoofdstuk 3, volgen in hoofdstuk 4 de hoofdzaken van de resultaten van de experimenten met twee soorten zuiveringslib, en met vergiste en onvergiste varkensdrijfmest. Aan de hand van diverse aannamen voor energiebehoeften en werkwijzen worden in hoofdstuk 5 economische evaluaties gegeven, waarin de elektro-akoustische ontwatering vergeleken wordt met de conventionele ontwatering voor zuiveringslib. In hoofdstuk 6 tenslotte worden de hoofdconclusies gegeven.

## 2 DE OPZET VAN HET ONDERZOEK

Het totale project beslaat een onderzoek in twee fasen. De eerste fase omvat het uitvoeren van experimenten met zuiveringsslibben en varkensdrijfmest in de laboratoriumapparatuur van Battelle. De verkregen testresultaten dienen de eisen c.q. randvoorwaarden (energieverbruik, capaciteit) te verschaffen, waaraan een zeefbandpers en de elektro-akoustische hulpsystemen moeten voldoen om een in de praktijk bevredigend werkend geheel te kunnen construeren.

In de tweede fase wordt bij gebleken haalbaarheid de bouw van een dergelijke zeefbandpers beoogd en het in de praktijk testen ervan onder diverse omstandigheden. In dit samenvattend rapport en ook in het Battelle werkrapport wordt uitsluitend de eerste fase van het project behandeld.

De werkzaamheden van fase 1 werden onderverdeeld in zes taken:

### Taak 1

Het samenstellen, verzenden en opbouwen van de Amerikaanse EAD-laboratoriumapparatuur voor experimenten in Europa; de apparatuur werd opgebouwd bij Bergmann te Berkel en Rodenrijs, waar ook de experimenten zijn uitgevoerd. Tekeningen, technische bijzonderheden en procedures zijn vermeld in het Battelle werkrapport.

### Taak 2

Haalbaarheidsonderzoek op vergiste en onvergiste varkensdrijfmest, teneinde het te bereiken drogestofpercentage en de benodigde energie bij gebruik van EAD te kunnen vaststellen.

### Taak 3

Haalbaarheidsonderzoek op zuiveringsslib ter bepaling van het te behalen drogestofgehalte en de benodigde energie. Onderzocht zijn de aëroob gemineraliseerde slibben van de rwzi's Ridderkerk en Veghel-Uden, en de anaëroob vergiste slibben van de rwzi's Dokhaven en 's-Hertogenbosch.

### Taak 4

Het voorbereiden van een concept-ontwerp voor een zeefbandpers uitgerust met EAD; nadere uitwerking in dit ontwerp van elektrodes, ultrasoon gedeelte en modificaties aan de zeefbandpers. Dit ontwerp en de proces-omstandigheden daarbij vormen de basis voor de nadere laboratoriumexperimenten van de taken 5 en 6.

### Taak 5

Testprogramma voor het verkrijgen van de ontwerpgegevens, met name de ontwateringsgraad en het energieverbruik, voor het prototype zeefbandpers uitgerust met EAD ten behoeve van varkensmest. Te onderzoeken parameters daarbij zijn: het verband stroom-spanning, het ultrasoon vermogen, de ontwateringstijd en de persdruk.

### Taak 6

Gelijk aan taak 5, maar nu gericht op het verkrijgen van de ontwerpgegevens voor zuiveringsslib. De experimenten werden uitgevoerd met het aëroob gemineraliseerde slib van de rwzi Ridderkerk en het uitgegiste slib van de rwzi 's-Hertogenbosch.

### 3 WERKINGSPRINCIPE VAN HET ELEKTRO-AKOUSTISCH ONTWATEREN

De vastestofdeeltjes in slibben hebben meestal een negatieve oppervlaktelading. Daardoor ontstaat een ladingsverdeling in de waterlaag die de deeltjes omgeeft, zodat de watermassa een lading krijgt die gelijk, doch tegengesteld is aan die van de vaste deeltjes; het systeem blijft elektrisch neutraal. De afstotende krachten van de geladen deeltjes houden de deeltjes goed gedispergeerd; de suspensies zijn daardoor stabiel en moeilijk te ontwateren.

Bij het aanbrengen van een spanning over een dergelijke suspensie vindt transport plaats van positief geladen deeltjes en watermoleculen naar de negatieve elektrode (kathode), waarbij tegelijkertijd de vastestofdeeltjes door de kathode worden afgestoten (elektro-osmose). Elektro-osmose is bij het ontwateren van slibben toegepast, maar heeft geen hoge vlucht genomen; door directe spanningsgeleiding en hydraulische beperkingen bleek het principe duur en nauwelijks efficiënter dan mechanisch ontwateren.

Deze nadelige verschijnselen blijken goeddeels onderdrukt te worden door het instralen van hoogfrequent geluid: mechanische trillingsenergie die zich als golven door materie voortplant. De zo ontstane techniek, waarvan de resultaten blijkens tabel 1 wijzen op een substantiële verbetering van de effectiviteit van de ontwatering, werd door Battelle "Electro-Acoustic Dewatering" genoemd. De akoustische component uit de EAD-methode maakt vlokgebonden water mobiel, waardoor uit slibkoeken water vrijgemaakt kan worden dat via normale filtratietechnieken niet vrijkomt. Bovendien kunnen de geluidsgolven gesuspendeerde deeltjes laten agglomereren.

In principe kan traditionele ontwateringsapparatuur dus worden uitgerust met apparatuur benodigd voor het opwekken van elektro-akoustische krachten. In de praktijk zal de zeefbandpers hiervoor geschikt zijn, aangezien het slib in controleerbare laagdikten aanwezig is en een eenduidige toepassing van elektro-akoustische krachten mogelijk is.

## 4 DE RESULTATEN

### 4.1 Varkensdrijfmest

#### 4.1.1 haalbaarheidsonderzoek (taak 2)

Hierbij zijn vergiste en onvergiste varkensdrijfmestsoorten onderzocht; de karakteristieken van deze mestsoorten zijn in tabel 2 samengevat.

soort mest	d.s. in %	pH	specifieke geleiding (mS/cm)
ruw, onvergist	5 - 6	8,15	> 20
vergist			
- niet behandeld	5 - 6	8,32	> 20
- zeefbandpers (koek van Sterksel)	22,2	-	-
koek van Bergmann*	20 - 28	-	-

Tabel 2. Karakteristieken van de onderzochte soorten varkensdrijfmest

\* natuurlijke ontwatering, daarna geperst.

Niet-ontwaterde mestmonsters werden vooraf op het laboratorium, via een gestandaardiseerde flocculatie-procedure, voorzien van polymeer en vervolgens voorontwaterd tot 15 à 28 % droge stof.

De experimenten uit dit onderdeel toonden aan dat:

- een absolute toename van 8 tot 10 % in het eind-drogestofgehalte kon worden bereikt;
- de benodigde ultrasoon-energie hoog was.

Bij enkele inleidende testen werd ook aandacht besteed aan spuislib van een zuiveringsinstallatie voor kalvergier, voorontwaterd tot circa 10 % d.s. Een verdere ontwatering met EAD tot 32,5 % d.s. bleek bereikt te kunnen worden bij een energieverbruik van 0,132 kWh/kg extra filtraat.

#### 4.1.2 onderzoek naar ontwerpparameters (taak 5)

Bij dit deel van het onderzoek werden combinaties onderzocht van een groot aantal parameters, die op hun beurt over bepaalde bereiken werden gevarieerd. Tabel 3 geeft een overzicht van de parameters en hun bereiken.

parameter	eenheid	bereik
voltage	Volt	0 - 25
ultrasoon vermogen	Watt	0 - 45
ontwateringstijd	minuten	2 - 4
drogestofbelasting	kg d.s./m <sup>2</sup>	0,9 - 3,8
polymeerdosering	procenten	0,1 - 0,5
pH		6,65 - 8,5
persdruk	bar	0,17 - 0,34

Tabel 3. Onderzochte ontwerpparameters voor EAD bij varkensdrijfmest

Het werkrapport van Battelle beschrijft uitvoerig de omvangrijke reeks experimenten (121 testen), die aanleiding gaf tot de volgende conclusies:

- door elektro-akoustische ontwatering kan het eind-drogestofgehalte met 8% verhoogd worden tot 37%. Afhankelijk van de omstandigheden bedraagt het extra energieverbruik hiervoor 0,22 tot 0,31 kWh/kg extra filtraat;

- de belangrijkste parameters bij het EAD-proces zijn het voltage, de drogestofbelasting, de ontwateringstijd en de ultrasoon-energie. Daarnaast speelt de geleidbaarheid van de vloeistof een rol van betekenis bij de energiebehoefte;
- verlaging van de drogestofbelasting per m<sup>2</sup> zeefband heeft een aanmerkelijke vermindering van de EAD-energie tot gevolg;
- een lager voltage en een langere ontwateringstijd leiden tot een lagere specifieke energiebehoefte (Esp, uitgedrukt in kWh/kg extra filtraat) dan hoge voltages en korte ontwateringstijden;
- het verdient aanbeveling te streven naar een zo hoog mogelijk drogestofgehalte vóór de EAD-bewerking;
- door verlaging van de pH van 8,2 naar 6,65 wordt de specifieke energiebehoefte verlaagd met ongeveer 15%; een ongunstig neveneffect is de vorming van schuim;
- het doseren van flocculanten in hogere concentraties (tot 0,5%) blijkt gunstig.

Het specifieke karakter van varkensdrijfmest leidt tot een relatief hoog energieverbruik voor de EAD-toepassing. De voornaamste oorzaak ligt in het hoge zoutgehalte en daardoor de hoge geleidbaarheid van de vloeistof.

Hierdoor vervalt een van de meest aantrekkelijke opties van het proces. Immers voor varkensdrijfmest zijn thans technieken operationeel, waarmee hoge drogestofgehalten kunnen worden verkregen bij gelijke of geringere energiebehoefte. Op basis van deze argumenten is vooralsnog afgezien van een verdere ontwikkeling van het EAD-proces voor varkensdrijfmest.

## 4.2 Zuiveringsslib

### 4.2.1 haalbaarheidsonderzoek (taak 3)

Vier slibsoorten zijn bij taak 3 onderzocht, alle afkomstig uit communale zuiveringsinrichtingen (met een gedeelte industrieel afvalwater):

- Ridderkerk, oxydatiesloot, aëroob gestabiliseerd slib;
- 's-Hertogenbosch, actief-slibinstallatie, vergist slib;
- Dokhaven Rotterdam, actief-slibinstallatie, vergist slib;
- Veghel-Uden, oxydatiesloot, aëroob gestabiliseerd slib.

De meeste experimenten zijn met het slib van Ridderkerk en 's-Hertogenbosch uitgevoerd. De belangrijkste conclusies uit dit onderdeel waren:

- ontwatering tot maximaal 48% d.s. is mogelijk;
- bij ontwatering tot circa 30% is de extra energie voor EAD geringer dan de energie die nodig is voor droging; de Esp < 0,15 kWh/kg extra filtraat;
- bij toepassing van EAD is het uit een oogpunt van energie gunstig om tot een zo hoog mogelijk drogestofgehalte voor te ontwateren;
- het bereiken van een bepaald ontwateringsresultaat via een combinatie van ultrasoon-energie en elektrische energie is economischer dan het toepassen van elektrische energie alleen;
- de energiebehoefte lijkt toe te nemen bij hogere flocculantdoseringen.

Naast deze proeven werden enkele oriënterende experimenten uitgevoerd met thermofiel vergist slib, waarbij na voorontwatering tot circa 25 % d.s. verdere ontwatering met EAD een einddrogestofgehalte opleverde van 42% bij een specifiek energieverbruik van 0,266 kWh/ kg extra filtraat.

### 4.2.2 onderzoek naar de ontwerpparameters (taak 6)

Dit deel van het onderzoek, uitgevoerd met de slibben van de rwzi's Ridderkerk en 's-Hertogenbosch, richtte de aandacht op combinaties van een groot aantal parameters. In tabel 4 is aangegeven in welke bereiken instelling van de onderzochte parameters plaats heeft gehad.



parameter	eenheid	bereik+	bereik*
voltage	Volt	0 - 60	0 - 80
ultrasoon vermogen	Watt	0 - 25	0 - 20
ontwateringstijd	minuten	1,5 - 4	2 - 5
drogestofbelasting	kg d.s./m <sup>2</sup>	1,1 - 2,3	1 - 2,5
polymeerdosering	g/kg d.s.	4 - 7	4 - 8
persdruk	bar	0,17 - 0,34	0,17 - 0,34

Tabel 4. EAD-parameters bij onderzoek ontwerpparameters

+ slib 's-Hertogenbosch

\* slib Ridderkerk

In totaal zijn 105 proeven met de twee slibsoorten uitgevoerd. De belangrijkste conclusies die uit de resultaten kunnen worden getrokken, zijn de volgende:

- het is technisch haalbaar zuiveringsslib elektro-akustisch te ontwateren tot 28% en 35% droge stof, voldoende voor autotherme verbranding, respectievelijk storten;
- evenals bij het ontwateren van varkensdrijfmest zijn ook voor zuiveringsslib het voltage, de drogestofbelasting, de ontwateringstijd en de ultrasoon-energie de voornaamste parameters;
- lagere voltages en langere ontwateringstijden leiden bij het streven naar een bepaald drogestofgehalte tot een lagere specifieke energiebehoefte (Esp) dan hoge voltages bij kortere ontwateringstijden;
- een lage drogestofbelasting reduceert het energieverbruik aanzienlijk. Als praktische waarde wordt 1,2 kg droge stof per m<sup>2</sup> voorgesteld;
- het verkrijgen van hogere eind-drogestofgehalten bij constante ontwateringstijd vraagt hogere voltages en een meer dan evenredig toenemen van de Esp. Het toepassen van ultrasoon-energie als alternatief voor het verhogen van het voltage vermindert het energieverbruik;
- toedienen van teveel aan flocculant verhoogt de energiebehoefte;
- de persdruk speelt geen rol van betekenis in het onderzochte bereik;
- het verdient aanbeveling te streven naar een zo hoog mogelijk drogestofgehalte vóór de EAD-bewerking;
- het lijkt aantrekkelijk om niet een geïntegreerde, doch een losse EAD-module achter bestaande zeefbandpersen te schakelen.

## 5 ECONOMISCHE EVALUATIE VOOR ZUIVERINGSSLIB

### 5.1 Opzet en uitgangspunten

Met het EAD-proces kunnen voor zuiveringsslib drogestofgehalten tot meer dan 40% worden verkregen. Dit is aanzienlijk hoger dan mogelijk is met conventionele ontwatering, waarbij 18 tot 22% droge stof wordt bereikt. Om daaruit een stortbaar produkt te verkrijgen, dient echter het drogestofgehalte van de slibkoek circa 35% te bedragen. Teneinde een dergelijk hoog drogestofgehalte te bewerkstelligen, moet het met een conventionele zeefbandpers ontwaterde slib nog een extra bewerking ondergaan. De in aanmerking komende methoden zijn het toevoegen van kalk of het in de open lucht drogen van de slibkoek.

De jaarlijkse kosten van slibverwerking en slibafzet met gebruikmaking van het EAD-proces zijn in het hiernavolgende vergeleken met die van de afzet en verwerking met behulp van een conventionele zeefbandpers. Bij de toepassing van EAD is uitgegaan van het incorporeren van het EAD-proces in een hiervoor ontwikkelde zeefbandpers; de investeringskosten van zeefbandpersen zijn verstrekt door Bergmann.

Als eindbestemming van het slib zijn storten en verbranden in een slibverbrandingsinstallatie (SVI) beschouwd; beide methoden zijn in de berekeningen van de ontwaterings-, verwerkings- en afzetkosten nader uitgewerkt.

Als varianten zijn beschouwd:

- IA : kalktoevoeging op de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) en storten;
- IB : drogen in de open lucht en storten;
- IIA : verbranden in een aardgasgestookte SVI; het slib wordt voorgedroogd met aardgaswarmte;
- IIB : verbranden in een SVI gekoppeld aan een huisvuilverbrandingsinstallatie (VVI) waarbij de restwarmte van de VVI voor de slibdroging wordt benut.

Bij de berekeningen voor de varianten IIA en IIB is een drogestofgehalte van 18% voor de 'conventionele' slibkoek aangehouden en 28% voor de slibkoek van de EAD-pers. Bij 28% droge stof kan het slib zonder voordroging autotherm worden verbrand. Voor het zichtbaar maken van het effect op de totale kosten is ook gerekend met EAD-slibkoek van 35% d.s., waarbij geen extra opbrengst uit het overschot aan energie in het slib in rekening is gebracht.

Voor de berekening van de kosten voor drogen en storten zijn de ervaringscijfers gehanteerd van de voor zuiveringsslib ingerichte drooglocatie Hartelmond A en de stortlocatie Hartelmond B van het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden. Verdere uitgangspunten zijn:

- slibproductie van de rwzi : 5.000 ton d.s./j (300.000 i.e.)
- capaciteit van de SVI : 50.000 ton d.s./j
- specifieke energie Esp bij EAD : minimaal 150 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat  
maximaal 210 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat.

De kosten worden opgegeven inclusief 20% BTW en exclusief de bouwkundige kosten voor ontwatering, aangezien deze voor alle varianten gelijk zijn. Voor de gedetailleerde (proces)technische en financiële uitgangspunten wordt verwezen naar de informatie in bijlage 1.

### 5.2 Jaarlijkse kosten

De jaarlijkse kosten worden in bijlage 2 gedetailleerd opgegeven, verdeeld naar de diverse kostenposten, de drie ontwateringsvarianten en de vier verwerkingsvarianten. In tabel 5 worden de totale kosten in f./ton d.s. weergegeven voor de varianten I A, I B, II A en II B.

Ten behoeve van dit kostenoverzicht is ondermeer uitgegaan van een 'worst case', namelijk die waarbij het specifiek energieverbruik Esp 210 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat bedraagt. Uit het onderzoek is echter naar voren gekomen dat het specifiek energieverbruik omgekeerd evenredig is met de ontwateringstijd; vergroting van de persen leidt bij gelijkblijvende capaciteit tot een lager energieverbruik.

Om de invloed van Esp en de capaciteit van de EAD-pers op de uitkomsten van de kostenberekening na te gaan, zijn twee mogelijkheden bekeken. Bij konstantgehouden investeringskosten voor de EAD-pers zijn de vier varianten doorgerekend voor een Esp van 150 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat, terwijl bij de tweede mogelijkheid, bij gelijkgehouden Esp, de investeringskosten van de EAD-persen met 35% zijn verlaagd.

variant	conv. zeef- bandp.	EAD-pers					
		'worst case'1)		geoptimaliseerd naar			
				energie2)		investerings3)	
% d.s.	18	28	35	28	35	28	35
I A kalk+storten	1001		532		499		504
I B drogen+storten	541		532		499		504
II A SVI	569	546	528	522	495	518	500
II B SVI/VVI	539	546	528	522	495	518	500

Tabel 5. Kosten in fl. per ton droge stof

1) Esp = 210 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat;

2) Esp = 150 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat;

3) Esp = 210 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat; investeringen in de EAD-persen verlaagd met 35% (kleinere persen, meer energie).

Tabel 5 geeft aanleiding tot de volgende conclusies:

- bij geoptimaliseerde energiebehoefte of investeringen blijkt EAD voor alle varianten zicht te geven op aantrekkelijke besparingen :
  - de besparingen liggen rond f 500.- per ton d.s. ten opzichte van de methode waarbij kalktoevoeging vooraf gaat aan het storten; bij de uitgangscapaciteit van 5000 ton d.s./j komt dit neer op f 2.500.000.- per jaar;
  - f 37.- tot f 42.- per ton d.s. ten opzichte van droging in de open lucht en storten; bij 5.000 ton d.s./j dus circa f 200.000.- per jaar;
  - f 47.- tot f 51.- per ton d.s. bij verbranding in een zelfstandige SVI ; op jaarbasis ongeveer f 250.000.-;
  - f 17.- tot f 21.- per ton d.s. ofwel f 80.000.- à f 100.000.- per jaar bij een aan een VVI gekoppelde SVI; bij drogestofgehalten > 28% zijn de besparingen groter.
- de berekeningsresultaten geven voor de 'worst case' aan dat EAD zeer aantrekkelijk blijft, indien bij storten de toevoeging van kalk het enige alternatief is; ten opzichte van de droging aan de lucht is er een geringe besparing. EAD geeft een interessante besparing bij verbranding in een zelfstandige SVI; wanneer de SVI in samenhang met een VVI wordt bedreven, zijn er geen tot geringe besparingen, tenzij het drogestofgehalte van het slib aanmerkelijk hoger is dan 28%;

## 6 CONCLUSIES

### algemeen

Het onderzoek heeft de technische haalbaarheid van het EAD-proces aangetoond voor het vergaand ontwateren van een aantal Nederlandse slibben en varkensdrijfmest. De van belang zijnde procesparameters voor het ontwerpen van prototype-persen op commerciële schaal, zowel voor varkensdrijfmest als voor zuiverings-slib, konden naar aard en instelbereik aan de laboratoriumexperimenten ont-eend worden. Om het verbruik van energie zoveel mogelijk te beperken, is het daarbij belangrijk EAD toe te passen, nadat zoveel mogelijk water via mechanische ontwatering is verwijderd. Een interes-sante optie is het bouwen van een aparte EAD-ontwateringseenheid, die achter andere vóóron-twateringsapparatuur wordt geschakeld.

### varkensdrijfmest

Door elektro-akoustische ontwatering kunnen voor varkensdrijfmest eind-drogestofgehalten worden verkregen van 35 à 38%. Als gevolg van de hoge geleidbaarheid van de vloeistof bedraagt het specifieke energieverbruik 220 tot 310 kWh/m<sup>3</sup> extra filtraat. Voor varkensdrijfmest zijn thans tech-nieken operationeel waarmee relatief goedkoop hoge drogestofgehalten kunnen worden verkregen. Door de grote energiebehoefte van de varkensdrijfmest vervalt de aantrekkelijkheid van het EAD-proces voor deze toepassing.

### zuiverings-slib

Toepassing van het EAD-proces bij de behandeling van zuiverings-slib voorafgaande aan het storten of verbranden biedt bedrijfseconomische voordelen. Men moet zich bij deze conclusie wel realiseren dat deze gerechtvaardigd is binnen het kader van de gehanteerde aannames. De feitelijke situatie en de werkelijke kosten van de bewerkingen voorafgaande aan storten en verbranden zullen de mogelijke voordelen sterk bepalen. De realiteit van de aannames voor het EAD-proces en de mogelijkheid van een verdere optimalisatie kunnen slechts in experimenten op praktijkschaal worden geverifieerd.

### aanbeveling

De resultaten van dit haalbaarheids-/laboratoriumonderzoek rechtvaardigen voortzetting van onderzoek ten behoeve van de invoering van dit ontwateringsprincipe in de praktijk. Een experiment met een prototype op praktijkschaal kan hiertoe een opstap zijn.

ontwateringsmachine		zeefbandpers	EAD - pers	EAD - pers
drogestofgehalte slibkoek in %		18	28	35
<b><u>slibkoek</u></b>				
- droge stof	ton d.s. / j	5000	5000	5000
- massa	ton slibkoek / j	27778	17857	14286
<b><u>rente en afschrijving</u></b>				
- rente	%	7	7	7
- afschrijftermijn bouwkundig	j	40	40	40
- afschrijftermijn mechanisch/elektrisch	j	15	15	15
- annuïteit bouwkundig		0,08	0,08	0,08
- annuïteit mechanisch/elektrisch		0,11	0,11	0,11
<b><u>polyelektrolytverbruik</u></b>				
- dosering	kg / ton d.s.	5	5	5
- kosten	f / kg P.E	15	15	15
- specifieke kosten	f / ton d.s.	75	75	75
<b><u>energie</u></b>				
- extra filtraat	m <sup>3</sup> / ton d.s.	0	1,98	2,70
- specifiek energieverbr.	kWh / m <sup>3</sup> filtraat	0	210	210
- specifiek energieverbr.	kWh / ton d.s.	0	417	567
- vermogen van de persen	kW	60	60	60
- draaiuren	h / j	4000	4000	4000
- kosten	f / kWh	0,20	0,20	0,20
<b><u>onderhoud en bediening</u></b>				
- bouwkundig	% v.d. investering	0,5	0,5	0,5
- mechanisch/elektr.	% v.d. investering	3,0	3,0	3,0
- bediening	10 <sup>3</sup> f / j	45	45	45

Tabel 6. Uitgangspunten voor de vergelijking van de slibontwateringskosten

ontwateringsmachine	zeefbandpers	EAD - pers	EAD - pers	
drogestofgehalte slibkoek in %	18	28	35	
<b>KALKDOSERING OP DE RWZI EN STORTEN ( I A)</b>				
<u>rente en afschrijving</u>				
- afschrijftermijn	j	15		
- annuïteit bouwkundig		0,11		
- annuïteit mechanisch/elektrisch		0,11		
<u>kalk</u>				
- einddrogestofgehalte	% d.s.	35		
- dosering	kg / ton slibkoek	185		
- kosten	f /ton kalk	200		
- specifieke kosten	f / ton slibkoek	37		
<u>energie</u>				
- specifiek energieverbr.	kWh / ton d.s.	10		
- energieprijis	f / kWh	0,20		
- specifieke energiekosten	f / ton d.s.	2,00		
<u>onderhoud en bediening</u>				
- bouwkundig	% v.d. investering	0,5		
- mechanisch/elektr.	% v.d. investering	4,0		
- bediening	10 <sup>3</sup> f / j	15		
<u>transport en storten</u>				
- massa	ton mengproduct / j	32911	14286	
- stortgewicht	ton / m3	0,8	0,8	
- transportvolume	m3 / j	41138	17857	
- transportkosten	f / m3	9,00	9,00	
- storttarief	f / ton	75,00	75,00	
<b>DROGEN IN DE OPEN LUCHT EN STORTEN ( I B)</b>				
<u>transport, drogen en storten</u>				
- massa	ton slibkoek / jaar	27778	14286	
- stortgewicht	ton / m3	0,8	0,8	
- transportvolume	m3 / j	34722	17857	
- transportkosten	f / m3	9,00	9,00	
- kosten van droging	f / m3	23		
- storttarief	f / ton slibkoek	75	75	
<b>VERBRANDEN IN AARDGASGESTOOKTE SVI (II A)</b>				
<u>transport en verbranden</u>				
- massa	ton slibkoek / j	27778	17857	14286
- stortgewicht	ton / m3	0,8	0,8	0,8
- transportvolume	m3 / j	34722	22321	17857
- transportkosten	f / m3	9,00	9,00	9,00
- verbrandingskosten	f / ton d.s.	370	250	210
<b>VERBRANDEN IN SVI, GEKOPPELD AAN VVI (II B)</b>				
<u>transport en verbranden</u>				
- transport als onder II A				
- verbrandingskosten	f / ton d.s.	340	250	210

Tabel 7. Uitgangspunten voor de kostenvergelijking van de varianten I A, I B, II A en II B

	jaarlijkse kosten in f10 <sup>3</sup>			kosten in f per ton d.s.		
	zbp	EAD -p	EAD - p	zbp	EAD-p	EAD-p
ontwateringsmachine						
drogestofgehalte slibkoek in %	1 8	2 8	3 5	1 8	2 8	3 5
<b>SLIBONTWATERING</b>						
<u>mechanisch/elektrisch</u>						
- investeringen	1550	2805	2805	310	561	561
- rente en afschrijving	171	309	309	34	62	62
<u>polyelektrolyt</u>	375	375	375	75	75	75
<u>energie</u>						
- basis	48	48	48	10	10	10
- extra voor EAD	0	417	567	0	83	113
<u>onderhoud en bediening</u>						
- mechanisch/elektr.	47	84	84	9	17	17
- bediening	45	45	45	9	9	9
<b>Totaal</b>	<b>686</b>	<b>1278</b>	<b>1428</b>	<b>137</b>	<b>256</b>	<b>286</b>
<b>KALKDOSERING OP DE RWZI EN STORTEN (I A)</b>						
<u>mechanisch/elektrisch</u>						
- investeringen	250		0	50		0
- rente en afschrijving	28		0	6		0
- onderhoud	10		0	2		0
<u>bouwkundig</u>						
- investeringen	125		0	25		0
- rente en afschrijving	14		0	3		0
- onderhoud	1		0			
<u>overig</u>						
- ontwatering	686		1428	137		286
- kalk	1027		0	205		0
- energie	10		0	2		0
- bediening	15		0	3		0
- transport	370		161	74		32
- storten	2468		1071	494		214
<b>Totaal</b>	<b>5004</b>		<b>2660</b>	<b>1001</b>		<b>532</b>
<b>DROGEN IN DE OPEN LUCHT EN STORTEN (I B)</b>						
- ontwatering	686		1428	137		286
- transport	321		161	62		32
- drogen in de open lucht	639		0	128		0
- storten	1071		1071	214		214
<b>Totaal</b>	<b>2708</b>		<b>2660</b>	<b>541</b>		<b>532</b>
<b>VERBRANDEN IN AARDGASGESTOOKTE SVI (II A)</b>						
- ontwatering	686	1278	1428	137	256	286
- transport	312	201	161	62	40	32
- verbranden	1850	1250	1050	370	250	210
<b>Totaal</b>	<b>2848</b>	<b>2729</b>	<b>2639</b>	<b>569</b>	<b>546</b>	<b>528</b>
<b>VERBRANDEN IN SVI, GEKOPPELD AAN VVI (II B)</b>						
- ontwatering	686	1278	1428	137	256	286
- transport	312	201	161	62	40	32
- verbranden	1700	1250	1050	340	250	210
<b>Totaal</b>	<b>2698</b>	<b>2729</b>	<b>2639</b>	<b>539</b>	<b>546</b>	<b>528</b>

Tabel 8. Jaarlijkse kosten van de slibverwerking in f 10<sup>3</sup> - per jaar en in f per ton d.s.  
( incl. BTW en excl. bouwkundige kosten)

