

NN31085.94-05

g e

g e n e r a l e r i o o l w a t e r -  
z u i v e r i n g s i n r i c h t i n g e n

rwzi  
2000

R94-05

## **EVALUATIE VAN HET ONDERZOEKPROGRAMMA 'RWZI 2000'**



Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer  
en Afvalwaterbehandeling

Postbus 17, 8200 AA Lelystad



Stichting Toegepast Onderzoek  
Waterbeheer

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

(Lasi)

NN 3100794-05

de generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

projectleiding en secretariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70411



BIBLIOTHEEK  
PRINCEGEBOUW

# EVALUATIE VAN HET ONDERZOEKPROGRAMMA "RWZI 2000"



30 JAN. 1996

**RWZI 2000 94-05**

Het onderzoek "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000" is een samenwerkingsverband van de STOWA en Rijkswaterstaat (RIZA).

## INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	3
1	INLEIDING	5
2	HET ONDERZOEKPROGRAMMA RWZI 2000	7
	2.1 Voorgeschiedenis	7
	2.2 Doelstelling	8
	2.3 Opzet en uitvoering	8
	2.4 Evaluatie	12
3	ONDERZOEKSVELDEN EN RESULTATEN	15
3.1	Effluentkwaliteit	15
3.2	Zuiveringslib	20
3.3	Omgevingshinder	24
3.4	Kosten	25
4	EVALUATIE	27
4.1	Inhoudelijke doelstellingen	27
4.2	Toepassingen	27
4.3	Praktijktoepassingen op korte termijn	29
4.4	Niet tot praktijktoepassing gekomen technologieën	29
4.5	Veelbelovende systemen voor de toekomst	30
BIJLAGEN		
Bijlage 1	Publikaties van het onderzoekprogramma RWZI 2000	35
Bijlage 2	Beschrijving van de projecten	43
Bijlage 3	Financiële overzicht van het onderzoekprogramma RWZI 2000	83



## SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Dit rapport geeft een evaluatie van het onderzoekprogramma 'Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen', uitgevoerd in de periode 1988-1994. Dit programma was een uitvloeisel van een raamovereenkomst tussen de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) en het Ministerie van Verkeer & Waterstaat / het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA). De overeenkomst beoogde de inspanningen te bundelen op het gebied van toekomstgericht onderzoek naar de behandeling van stedelijk afvalwater.

'RWZI 2000', zoals het onderzoekprogramma kortweg genoemd werd, had tot doel potentiële zuiveringstechnieken in diverse ontwikkelingsfasen te genereren voor de behandeling van stedelijk afvalwater en de verwerking van zuiveringsslib, met als oogmerk kwaliteitsverbetering en verlaging van de kosten. Deze doelstelling zou gerealiseerd moeten worden mede door de inzet van fundamenteel langetermijnonderzoek naast het meer empirisch georiënteerde onderzoek.

Kansrijke technologieën zijn daartoe beoordeeld aan de hand van de onderzoeksvelden effluentkwaliteit, zuiveringsslib en omgevingshinder. De effluentkwaliteit is getoetst op basis van de parameters organische stof (BZV, CZV en zwevende stof), stikstof en fosfaat. De verwijdering van andere componenten, zoals zware metalen en organische microverontreinigingen, is niet in beschouwing genomen.

Het onderzoekprogramma voorzag in een budget van tien miljoen gulden, te besteden in een periode van vijf jaar. Door participatie van derden (waterkwaliteitsbeheerders, de onderzoekende instellingen zelf of van overheidswege door stimuleringsregelingen voor onderzoek) is het totaal bestede budget verdubbeld.

De meeste onderwerpen uit de raamovereenkomst zijn in RWZI 2000 uitgevoerd. De overige zijn op basis van vernieuwde inzichten of een eerste ruwe inschatting omtrent de haalbaarheid niet verder in het onderzoekprogramma opgenomen; sommige zijn opgepakt in andere kaders.

Tijdens de uitvoering van het onderzoekprogramma heeft er een verdere invulling plaatsgevonden. Hierbij is zoveel mogelijk ingespeeld op de behoefte naar vergaande N- en P-verwijderingstechnieken ten gevolge van het van kracht worden van de AMvB's, waarin verscherpte P- en N-eisen voor rwzi's voor respectievelijk 1995 en 1998 zijn geregeld.

Het onderzoekprogramma omvatte circa 30 projecten met een grote diversiteit in looptijd en kosten, afhankelijk van het type onderzoek: evaluatie-, praktisch en fundamenteel onderzoek. Voor een opsomming van de projecten, met financieel overzicht, wordt verwezen naar bijlage 3 van dit rapport en voor een beschrijving van de projecten naar bijlage 2.

### *Conclusies*

Het onderzoekprogramma RWZI 2000 heeft twee jaar langer geduurd dan oorspronkelijk gepland (1988-1992), maar is afgerond binnen het budget van genoemde tien miljoen gulden. Dat de onderzoeksperiode uitliep, is een gevolg van het feit

dat nadere invulling van het programma heeft plaatsgevonden tijdens de looptijd ervan. Bovendien bleken opzet en uitvoering van fundamenteel onderzoek aan universiteiten in het algemeen meer tijd te kosten.

Het programma heeft veel nieuwe inzichten opgeleverd voor de toepasbaarheid in Nederland van een groot aantal innovatieve zuiveringstechnieken voor de behandeling van stedelijk afvalwater en de verwerking van zuiveringsslib.

Hiermede is voldaan aan de hoofddoelstelling van het onderzoekprogramma, namelijk het genereren van bruikbare nieuwe zuiveringssystemen die een kwaliteitsverbetering (betere effluentkwaliteit, verminderde slibafzet en omgevingshinder) bewerkstelligen en een verlaging van de kosten.

Het fundamenteel onderzoek heeft zich een plaats verworven binnen het onderzoekskader van stedelijk afvalwater. Het onderzoekprogramma heeft hierin stimulerend opgetreden.

Enkele innovatieve zuiveringstechnologieën hebben al geleid - of zullen naar verwachting binnen 3-5 jaar leiden - tot praktijktoepassingen in Nederland. Voorbeelden zijn biologische defosfatering, het Bionitro-Bionitro systeem en slibverwerking door middel van Vertech natte oxydatie. Tevens heeft de behandeling van N-rijke retourstromen, die vrijkomen bij de slibbehandeling, een goede kans op korte termijn in de praktijk te worden geïmplementeerd.

Naar verwachting zijn er goede technisch-financiële perspectieven voor de driefasen-airliftreactor, het schachtreactorsysteem, het drie-slibsoortensysteem en wellicht voor één van de andere compactsystemen. Deze laatstgenoemde projecten zijn echter nog niet afgerond.

Van andere als kansrijke beoordeelde waterzuiverings- en slibverwerkings- technieken, die waren opgenomen in de raamovereenkomst of het onderzoekprogramma, kon op basis van op dat moment beschikbare informatie en heersende maatschappelijke randvoorwaarden worden aangetoond dat toepassing in de Nederlandse praktijksituatie niet of slechts in specifieke omstandigheden technisch-financieel doelmatig zou zijn.

Op basis van resultaten, verkregen uit onder andere fundamenteel onderzoek verdient het aanbeveling de volgende kansrijke ontwikkelingen in een vervolgonderzoek te betrekken:

- \* primair-slibverzuring;
- \* geïntegreerde biologische P- en N-verwijdering bij compacte systemen;
- \* toepassing van geïmmobiliseerde zuiveringssystemen;
- \* anaërobe denitrificerende biologische defosfatering;
- \* vermindering van slibproductie (biologische slibverwerking, innovatieve slibretentietechnieken);
- \* fundamentele aspecten van slibontwatering

## 1 INLEIDING

'Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen' is de titel van het onderzoekprogramma dat tot doel had om potentiële zuiveringstechnieken in diverse ontwikkelingsfasen te genereren voor de behandeling van stedelijk afvalwater en de verwerking van zuiveringsslib, teneinde kwaliteitsverbetering en kostenverlaging te bereiken. Een tweede doelstelling was fundamenteel lange-termijnonderzoek een plaats te geven binnen het onderzoekskader van stedelijk afvalwater. Het programma - al spoedig 'RWZI 2000' genoemd - werd van 1988 tot 1994 uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer; voorheen STORA) en het Ministerie van Verkeer & Waterstaat, RIZA (Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling).

Dit rapport bevat een evaluatie en overzicht van het onderzoekprogramma RWZI 2000. Eerst komen achtergronden, doelstellingen en uitvoering van het programma aan de orde. Vervolgens worden de resultaten van de diverse deelprojecten samengevat en uitgesplitst naar de verschillende onderzoeksvelden: effluentkwaliteit, zuiveringsslib, omgevingshinder en kosten. Aangegeven wordt welke resultaten van het programma directe toepassingsmogelijkheden in de praktijk bieden, welke geen perspectief bieden voor de Nederlandse situatie en welke de veelbelovende technologieën voor de toekomst zijn. Ook wordt ingegaan op de vraag welk vervolgonderzoek gewenst blijft.

Er zijn drie bijlagen bij dit rapport. De eerste bevat een lijst van rapportages die in het kader van RWZI 2000 geschreven zijn en waarnaar in de tekst wordt verwezen. Bijlage 2 bestaat uit een korte beschrijving van de verschillende projecten en de resultaten daarvan. In bijlage 3 ten slotte wordt een financieel overzicht gegeven.





## 2 HET ONDERZOEKPROGRAMMA RWZI 2000

### 2.1 Voorgeschiedenis

In Nederland wordt reeds vele jaren onderzoek gedaan naar verbetering van de processen voor de behandeling van stedelijk afvalwater. Het gaat hierbij ook om slibverwerking en het voorkomen van omgevingsoverlast. Het onderzoekprogramma RWZI 2000 ontstond begin jaren tachtig uit het idee om een rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) te ontwikkelen die zou voldoen aan toekomstige eisen voor effluentkwaliteit, afzet en verdere verwerking van zuiveringsslib, met inachtneming van andere milieu-aspekten, zoals stank en geluid. In de periode 1985-1986 werd dit nader geconcretiseerd in een haalbaarheidsstudie. Deze had als doel nieuwe technologieën voor de behandeling van stedelijk afvalwater te inventariseren om te komen tot kwaliteitsverbetering en verlaging van de kosten. 'Nieuw' betekende in dit verband niet uitsluitend 'recent ontwikkeld': ook technologieën die bij de zuivering van industrieel afvalwater al in gebruik waren, zouden voor de behandeling van stedelijk afvalwater kunnen worden toegepast. Voorts is bij de beoordeling van toepassingsmogelijkheden zowel gekeken naar nieuwbouw van zuiveringsinrichtingen als naar de inpasbaarheid in bestaande rwzi's.

Zo was het mogelijk om, op basis van destijds heersende inzichten, een selectie te maken van veelbelovende technologieën en onderwerpen, die konden worden opgenomen in het onderzoeksplan RWZI 2000. De verwachting was, dat door toepassing van een combinatie van deze technologieën een kostenbesparing van 10-15 % tot de mogelijkheden zou behoren. Bij een jaarlijkse kostenpost van meer dan een miljard gulden voor de zuivering van stedelijk afvalwater zou dat een besparing opleveren van meer dan 100 miljoen gulden. Uitvoering van het onderzoeksplan met een budget van twee miljoen gulden zou een extra onderzoeksinspanning tot gevolg hebben van 0,2 % op de jaarlijkse exploitatiekosten voor de zuivering van stedelijk afvalwater. Verder werd het wenselijk bevonden op diverse gebieden, door het inzetten van fundamenteel wetenschappelijk onderzoek aan universiteiten, tot een verdieping van basiskennis te komen.

De samenwerkingsovereenkomst die op 10 maart 1988 tussen STOWA en het Ministerie van Verkeer & Waterstaat/RIZA werd gesloten, voorzag in uitgaven van tien miljoen gulden over een tijdvak van vijf jaar (1988 t/m 1992), gefinancierd uit het reguliere STOWA-budget voor zuiveringstechnisch onderzoek (f 3.600.000,-), een extra bijdrage van de zuiverende waterkwaliteitsbeheerders (f 2.500.000,-), het onderzoeksbudget van RIZA (f 1.400.000,-) en een bijdrage uit het Fonds Produktontwikkeling van Rijkswaterstaat (f 2.500.000,-).

Opgemerkt dient te worden dat het onderzoeksplan werd geformuleerd vóór 1988, een periode waarin het beleid en de daaruit voortvloeiende strategieën en zuiveringstechnieken voor de behandeling van stedelijk afvalwater primair waren gericht op het voorkomen en terugdringen van zuurstofbindende stoffen. Nu waren de Rijn- en Noordzeestaten in 1987 overeengekomen om de belasting van het oppervlaktewater met een aantal prioritaire stoffen in 1995 te reduceren tot de

helpt van het referentiejaar 1985. In Nederland zijn daarop, als uitvloeisel van deze overeenkomsten, in 1990 en 1992 AMvB's van kracht geworden waarin verscherpte lozingseisen voor rwzi's voor fosfaat en stikstof respectievelijk vanaf de jaren 1995 en 1998 werden opgenomen. Op deze ontwikkelingen heeft het RWZI 2000 onderzoekprogramma zo goed mogelijk trachten in te spelen, met name vóór de start van het STOWA-programma 'PN 1992'; ook kon fundamenteel onderzoek op dit gebied gestimuleerd worden. Een en ander leidde tot enkele wijzigingen in het oorspronkelijke onderzoeksplan.

## 2.2 Doelstelling

Het onderzoekprogramma RWZI 2000 had tot doel potentiële zuiveringstechnieken in diverse ontwikkelingsfasen te genereren voor de behandeling van stedelijk afvalwater en de verwerking van zuiveringsslib, om te komen tot een kwaliteitsverbetering en tot een verlaging van de kosten. De uitgangspunten daarbij waren:

- \* de nieuwe technologie moest een betere zuiveringsprestatie leveren dan met de beschikbare technieken mogelijk was;
- \* bij gelijke prestatie en gelijke invloed op het milieu moest de nieuwe technologie goedkoper zijn.

Een tweede doelstelling was het fundamenteel lange-termijnonderzoek een plaats te geven binnen het onderzoekskader van stedelijk afvalwaterbehandeling naast het meer empirisch georiënteerde onderzoek.

De bruikbaarheid van nieuwe technieken is getoetst aan de resultaten in de onderzoeksvelden effluentkwaliteit, zuiveringsslib, omgevingshinder en kosten.

## 2.3 Opzet en uitvoering

### *Organisatie*

Het onderzoekprogramma RWZI 2000 werd uitgevoerd in opdracht van de Stuurgroep RWZI 2000, onder verantwoordelijkheid van het dagelijks bestuur van de STOWA.

De Stuurgroep RWZI 2000 was samengesteld uit de volgende leden:

- prof.dr. J. de Jong (voorzitter, RIZA);
- ir. J. Boschloo (Zuiveringschap Drenthe);
- dr. J. de Flines;
- ir. B.A. Heide (TNO-ME);
- prof.ir. J.H. Kop;
- drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (STOWA);
- ir. P.C. Stamperius (STOWA);
- ir. T. Stein † (VLM, tot dec. '92);
- dr.ir. A.F.M. van Velsen (VLM, jan. - okt. '93);
- ing. U.M.P. Ubbens (VLM, corresponderend lid vanaf okt. '93).

De voornaamste taken waren de uitwerking en uitvoering van het onderzoekprogramma, bewaking van de voortgang, financiën en rapportage, alsmede, in een later stadium, bevordering van de toepassing van de resultaten van het onderzoek.

De dagelijkse begeleiding van het onderzoekprogramma werd verzorgd door een projectteam bestaande uit:

- ir. W. van Starckenburg (RIZA, projectleider tot juni '91);
- ir. A. H. Dirkzwager (RIZA, projectleider vanaf augustus '91);
- ing. G.B.J. Rijs (RIZA);
- ir. P.C. Stamperius (STOWA).

### *Indeling van de projecten*

Het onderzoekprogramma RWZI 2000 omvatte ongeveer dertig projecten, uiteenvallend in:

- \* het (biologisch) behandelen van **stedelijk afvalwater**;
- \* de verdere verwerking van het hierbij vrijkomende **zuiveringsslib**.

Een verdere onderverdeling is mogelijk naar **type onderzoek** (literatuurstudie of evaluatie-onderzoek; praktisch en fundamenteel onderzoek) en naar **onderzoeksveld** (effluentkwaliteit, zuiveringsslib, omgevingshinder en kosten). In tabel 1 wordt een overzicht gegeven.

In een 'evaluatie-onderzoek' worden bestaande systemen beoordeeld op de mogelijkheden voor Nederland. Watertemperatuur, samenstelling van het stedelijk afvalwater, zoals de BZV/N-verhouding en RWA/DWA-verhouding zijn hierbij van belang. Voorbeelden van uitgevoerde evaluatie-onderzoeken zijn de projecten 'Deep Shaft-systeem', 'AB-systeem', 'compactsystemen', 'Biodenitro-Biodeniflo', en de slibprojecten 'Carver-Greenfield droogtechniek' en 'Vertech natte oxydatie'.

Ook is er onderzoek waarbij systemen, afkomstig uit de industrie of uit het buitenland, onderworpen worden aan een meer praktisch georiënteerd onderzoek. Dit type onderzoek wordt veelal op pilot-plantschaal uitgevoerd. Voorbeelden hiervan zijn het 'Schachtreactorsysteem' en 'driefasen-airliftreactor'. Een andere groep van praktisch-georiënteerde onderzoeken is gericht op de verwijdering van de nutriënten stikstof en fosfaat, zoals biologische en magnetische defosfatering en de N-verwijdering uit interne rwzi-stromen.

Fundamenteel onderzoek richt zich op het ontwikkelen van geheel nieuwe systemen, met name op het gebied van minimalisatie van de slibproductie, de slib/waterscheiding bij het ontwateren van zuiveringsslib, optimalisatie van biologisch defosfateren en innovatieve N-verwijderingstechnieken.

Het onderzoeksplan voorzag in een bestemming van meer dan de helft van het onderzoeksbudget aan innovatief fundamenteel onderzoek. De werkelijke verdeling van de projecten tussen literatuurstudie, praktisch- en fundamenteel onderzoek bedroeg op basis van het bestede RWZI 2000 budget respectievelijk 10 %, 35 %

en 55 %.

Tabel 1 laat zien dat veel projecten niet per se behoren tot één onderzoeksveld, maar relaties onderhouden met andere onderzoeksvelden (effluentkwaliteit, zuiveringslib, omgevingshinder en kosten). Voor de kosten is dit overduidelijk. Terwille van de overzichtelijkheid zal een project echter zo veel mogelijk steeds worden toegeschreven aan één bepaald onderzoeksveld (zie hoofdstuk 3). Hetzelfde geldt voor het type onderzoek van een project.

Tabel 1 Indeling van RWZI 2000 projecten naar type onderzoek en onderzoeksveld (\* betekent relatie).

	onderwerp	effluentkwaliteit			zuiverings-slib			omgevingshinder		kosten	
		C	P	N	productie	kwaliteit	verwerking	ruimtebeslag	geur- en geluidshinder	exploitatiekosten	investeringskosten
W A T E R	<u>literatuurstudie</u>										
	* AB-systeem	*	(*)	(*)				*	*	*	*
	* Deep Shaft	*	(*)	(*)				*	*	●	*
	* Biodenitro-Biodenifio		*	*						●	*
	* knelpunten defosfatering		*							●	*
	* compactsystemen	*	*	*				*	*	*	*
	* alternatieven slibretentie									*	*
	<u>praktisch onderzoek</u>										
	* driefasen-airlift reactor	*		*	*			*	*	*	*
	* Linpor systeem	*		*				*		*	*
	* Schachtreactorsysteem	*						*	*	*	*
	* anaërobe voorzuivering	*				*				*	*
* biologische defosfatering in de deelstroom, gevolgd door chemische precipitatie of korrelreactor		*			*				*	*	
* magnetische fosfaatseparatie		*			*				*	*	
* automatische meting/regeling slibgehalte	*								*	*	
* drie-slibsoortensysteem	*	*	*				*		*	*	
* interne N-stromen			*				*		*	*	
<u>fundamenteel onderzoek</u>											
* biolagen op gesuspendeerde dragers	*		*	*	*		*				
* modelvorming biologische defosfatering	*	*	*				*				
* simultane heterotrofe nitrificatie en aërobe denitrificatie			*		*		*				
* nitrificatie in geïmmobiliseerde systemen			*				*			*	
* anaërobe/denitrificerende biologische defosfatering	*	*	*				*		*	*	
S L I B	<u>literatuurstudie</u>										
	* "Carver-Greenfield" droogtechniek						*			*	*
	* "Vertech" natte oxydatie						*	*	*	*	*
	* hydrolyse met ammoniak gevolgd door anaërobe slibgisting						*			*	*
	* zware metalen verwijdering door electrolyse					*					*
	* zware metalen verwijdering door magnetisme					*					*
	<u>praktisch onderzoek</u>										
	* thermofiele slibgisting					*	*	*		*	*
	* vergisting van aëroob gestabiliseerd slib						*			*	*
	<u>fundamenteel onderzoek</u>										
	* vermindering slibproductie	*		*	*			*			*
	* slib-water scheiding (slibkarakteriserings-technieken, modellering)						*				*

## 2.4 Evaluatie

### *Tijdplanning*

De zeven jaren, waarin het onderzoekprogramma RWZI 2000 plaatsvond (1988-1994), waren er twee meer dan was gepland. De reden daarvoor is, dat invulling van het onderzoekprogramma voor een deel pas heeft plaatsgevonden na de startdatum van 10 maart 1988. Met name het organiseren van het fundamentele onderzoek aan universiteiten kostte meer tijd dan was voorzien. De looptijd van fundamenteel onderzoek is immers meestal gekoppeld aan een AIO-onderzoek van vier jaar; omdat de selectie- en aanstellingsprocedure inclusief de contractvastlegging ook enige tijd vergt, komt zo'n onderzoek op minimaal 5 jaar. Bovendien werd vaak, voorafgaande aan fundamenteel onderzoek, een voorstudie naar de technisch-economische haalbaarheid verricht.

Enkele projecten zijn later opgestart. Sommige waren vervolgvactiteiten op eerder uitgevoerde projecten binnen RWZI 2000, tot andere werd in 1993 besloten om verdere invulling te geven aan de ontstane reserve. Deze projecten worden binnen het reguliere onderzoekprogramma van de STOWA in 1995-1996 afgerond. Het betreft de projecten 'drie-slibsoortensysteem', 'compactsystemen', 'fase III uitontwikkeling en demonstratie van een driefasen-airliftreactor', 'anaërobe denitrificerende biologische defosfatering' en 'nitrificatie door geïmmobiliseerde micro-organismen'.

### *Kosten*

De verdeling van het totaalbudget voor RWZI 2000 (tien miljoen gulden) over de looptijd (vijf jaar) en de verschillende projecten is weergegeven in bijlage 3. Tijdens de uitvoering van het programma hebben zich talrijke verschuivingen voorgedaan, doordat projecten afvielen of aan het programma werden toegevoegd. In 1993 heeft een nadere invulling plaatsgevonden van een reserve (f 900.000,-), die was ontstaan doordat door medefinanciering van derden de projectkosten voor RWZI 2000 lager uitvielen dan oorspronkelijk gepland.

Ondanks de vele verschuivingen verschillen de uiteindelijke bestedingen per onderzoeksthema niet veel ( $\leq 10\%$ ) van de meerjarenraming, zoals door de Stuurgroep RWZI 2000 in oktober 1989 was vastgelegd (de tussen haakjes vermelde bedragen in bijlage 3). Bij het onderzoeksthema N-verwijdering zijn de kosten aanzienlijk lager uitgevallen dan gepland (25%): deze projecten kregen aanzienlijke financiële ondersteuning vanuit de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie' en van de waterkwaliteitsbeheerders zelf.

De kosten voor projectcoördinatie zijn bijna een factor twee hoger geworden, bijna 10% van het totale budget. Het gaat hier zowel om algemene kosten (administratieve ondersteuning, zaalhuur, drukken van rapporten, e.d.), als om enkele bijzondere kosten, zoals het inhuren van specifieke kennis bij ingenieursbureaus en het uitvoeren van enkele haalbaarheids- of deskstudies (circa 55% van de totale projectcoördinatiekosten).

Zoals gezegd werd in een groot aantal projecten financieel geparticipeerd door derden: waterkwaliteitsbeheerders, onderzoekende instellingen zelf of andere instanties (Stichting voor Technische Wetenschappen). Ook werden veelvuldig bijdragen ontvangen van de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie', een gezamenlijk initiatief van de Ministeries van VROM, V&W en LNV. Bij TNO-projecten werd gebruik gemaakt van de stimuleringsregeling 'Collectief bedrijfsgericht technologisch onderzoek'.

Door deze participatie is het totaal bestede onderzoeksbudget bijna verdubbeld tot 20 miljoen gulden. Mededefinanciering vond in het bijzonder plaats bij praktisch georiënteerd onderzoek of wetenschappelijk onderzoek op universiteiten. In tabel 2 wordt op basis van dit verruimde budget een indicatie gegeven van de verdeling over enerzijds literatuurstudie, praktisch en fundamenteel onderzoek, en anderzijds de onderzoeksvelden.

Tabel 2 Percentage van totaal uitbestede budget, incl. participatie door derden, naar type onderzoek en onderzoeksveld.

type onderzoek	onderzoeksveld	effluent- kwaliteit	zuiverings- slib	omgevings- hinder
literatuurstudie		1 %	2 %	1 %
praktisch onderzoek		27 %	4 %	24 %
fundamenteel onderzoek		22 %	17 %	2 %





### 3 ONDERZOEKSVELDEN EN RESULTATEN

De beoogde kwaliteitsverbetering door nieuwe zuiveringstechnologieën in het onderzoekprogramma RWZI 2000 wordt hieronder beschreven volgens de indeling uit het vorige hoofdstuk naar de onderzoeksvelden effluentkwaliteit, zuiverings-slib, omgevingshinder en kosten. Tabel 4 aan het eind van dit hoofdstuk geeft, op basis van de verkregen resultaten uit de respectieve onderzoeken, een indicatie van de invloed die deze innovatieve technologieën naar verwachting zullen hebben op de vier onderzoeksvelden, in vergelijking tot de in de praktijk toegepaste conventionele systemen. Opgemerkt moet worden dat deze inschatting is gemaakt met de destijds beschikbare informatie en inzichten. Door nieuwe ontwikkelingen, zowel in het waterkwaliteitsbeleid als in de zuiveringsprestaties van de technieken, is het mogelijk dat beoordelingen en verwachtingen moeten worden bijgesteld.

#### 3.1 Effluentkwaliteit

Zoals reeds eerder is opgemerkt, werd het onderzoeksplan geformuleerd op een tijdstip dat de sanering van zuurstofbindende stoffen nog centraal stond bij de zuivering van stedelijk afvalwater. In de tijd dat het onderzoekprogramma werd uitgevoerd, is zoveel mogelijk ingespeeld op de strenger wordende eisen inzake fosfaat en stikstof. Tabel 3 geeft schematisch deze verandering in lozingseisen voor rwzi's in de tijd weer.

Tabel 3 Veranderde lozingseisen voor rwzi's in de tijd.

parameter	huidige lozingseisen (mg/l)	toekomstige lozingseisen (mg/l)
BZV	20	20
CZV		(125)
N <sub>KJ</sub>	20	
N <sub>tot</sub>		10-15
P <sub>tot</sub>		1-2
zwevende stof	30	30

Vooruitlopend op het PN 1992 programma van de STOWA, had RWZI 2000 door middel van een oriënterende literatuurstudie de stand van zaken, de randvoorwaarden en mogelijke knelpunten bij invoering van defosfateringstechnieken (chemische precipitatie, korrelreactor, magnetische separatie, biologische defosfatering en vlokfiltratie) gezien. Daarnaast gaf het programma een aanzet voor potentiële combinaties van defosfateringstechnieken en voor de mogelijkheden om een goede defosfatering te combineren met een biologische stikstofverwijdering. Ook de invloed van de diverse interne stromen van een rwzi op de N-belasting werd in kaart gebracht.

Doorgaans werd een kansrijke (nieuwe) zuiveringstechnologie getoetst aan de verbetering van de effluentkwaliteit op basis van de parameters organische stof (BZV, CZV en zwevende stof), stikstof en fosfaat. Opgemerkt moet worden dat in

veel gevallen bij toetsing geen (experimentele) gegevens over de N- en P-verwijdering beschikbaar waren. De verwijdering van andere componenten, zoals zware metalen en organische microverontreinigingen, zijn in het onderzoekprogramma RWZI 2000 buiten beschouwing gelaten. Dit had tot gevolg dat het onderzoek naar vergaande 'effluentpolishing' bij rwzi's niet in het programma is betrokken.

### *Organische-stofverwijdering*

In Nederland is verwijdering van organische stof voor geen van de onderzochte zuiveringstechnologieën een probleem. Bij vergaande biologische N- en P-verwijdering is zelfs veelal sprake van een tekort aan gemakkelijk afbreekbare organische stof. Daarom is anaërobe voorzuivering, waar de organische stof in de vorm van vetzuren wordt omgezet in biogas zonder vergaande verwijdering van stikstof en fosfaat, niet meer aantrekkelijk. De energieproductie in de vorm van methaangas weegt niet op tegen een beschikbare en gemakkelijk afbreekbare C-bron. Bovendien is anaërobe voorzuivering onder Nederlandse omstandigheden niet aantrekkelijk wegens de lage omzettingcapaciteit bij lage watertemperaturen gedurende de winter, zoals uit technologisch onderzoek en een economische haalbaarheidsstudie is gebleken.

Een idee dat o.a. voortgekomen is uit het onderzoek naar anaërobe voorzuivering is primair-slibverzuring te laten plaatsvinden tijdens de voorbezinking van het influent. In een dergelijke verzuringsstap is het mogelijk de in sommige gevallen ongunstige BZV/N-verhouding van voorbezonden rioolwater voor denitrificatie en/of biologische defosfatering te verbeteren door omzetting van organische verbindingen tot laagmoleculaire verbindingen. Kostentechnisch zou bekeken moeten worden welke uitvoeringsvorm van deze primair-slibverzuring, in de hoofdstroom of deelstroom, de beste perspectieven biedt.

Om de beschikbare organische stof in stedelijk afvalwater optimaal te kunnen benutten, is in een fundamenteel onderzoek de mogelijkheid onderzocht om biologische fosfaatverwijdering te laten plaatsvinden door denitrificerende organismen. Dit onderzoek toonde aan dat fosfaat-accumulatie in actief slib onder denitrificerende omstandigheden inderdaad plaats kan vinden. Ook bleek actief slib uit een biologische defosfateringsinrichting onder bepaalde procesomstandigheden een zekere denitrificerende/defosfaterende activiteit te kunnen bezitten, hoewel het bestaan van denitrificerende/defosfaterende micro-organismen nog nimmer is aangetoond.

Op basis van deze resultaten is het Anaëroob-Anoxisch-Nitrificatie Proces ( $A_2/N$ -proces) ontwikkeld, waardoor naar verwachting geen grote recirculatiestromen of dosering van een externe C-bron meer nodig zullen zijn. Het  $A_2/N$ -proces wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een tussenbezinktank en de separate nitrificatie van de aflopende bovenste vloeistof. In een anoxische reactor wordt deze nitrificerende stroom gemengd met het slib uit de afgetapte stroom om denitrificatie en fosfaatopname mogelijk te maken. Het retourslib wordt gemengd met het aangevoerde rioolwater en komt terecht in een eerste anaërobe reactor. Daarin wordt de organische stof opgenomen door de polyfosfaatophopende biomassa of ingevangen in de slibvlok, waarbij fosfaatafgifte naar de waterfase

optreedt. Tevens vindt ammonificatie van stikstofverbindingen plaats.

### *Fosfaatverwijdering*

In een groot aantal projecten binnen het RWZI 2000 programma stond verlaging van het fosfaatgehalte in het effluent centraal, met name de biologische defosfatering (volgens het deelstroomprincipe). Biologische defosfatering volgens het hoofdstroomprincipe en fosfaatverwijdering door middel van chemische precipitatie hadden meer de aandacht in het STOWA programma PN 1992.

Uit projecten op pilotplant-schaal bij de LU-Wageningen, en op de rwzi's Bergambacht en Eindhoven in de praktijk, bleken fosfaatconcentraties in het effluent beneden 1 mg P<sub>tot</sub>/l met behulp van biologische defosfatering volgens het deelstroomprincipe gerealiseerd te kunnen worden. Hierbij vindt afgifte van de extra opgeslagen hoeveelheid P gecontroleerd plaats in een 'P-afgifte'- of 'stripper'-tank, die in de sliblijn is geplaatst. De vrijgekomen geconcentreerde fosfaatstroom kan in principe met elke fysisch-chemische defosfateringstechniek (chemische precipitatie, korrelreaktor of magnetische separatie) verder worden behandeld. Door sturing van de acetaatdosering (10-20 mg CZV/g ds), de verblijftijd (4 uur) en de processtromen kan de P-verwijdering goed worden beheerst. Tevens is het zowel proces technisch als uit kosten oogpunt mogelijk gebleken door verzuring van primair slib te voldoen aan de acetaat-behoefte. Aangezien de kosten van biologische defosfatering volgens het deelstroomprincipe doorgaans hoger uitvallen dan die van het hoofdstroomprincipe, zijn het met name financiële en lokatiespecifieke overwegingen die de toepassing van deze defosfateringstechniek in Nederland zullen bepalen.

Het Biotenitro-Biotenipho proces, een van de biologische defosfateringsprocessen volgens het hoofdstroomprincipe, is geëvalueerd op mogelijke toepasbaarheid in Nederland. Binnen het PN 1992 programma leidde dit tot een semi-technisch onderzoek op de rwzi Ede en tenslotte tot een ombouw van deze rwzi volgens dit defosfateringsproces.

Naast de informatie, die uit semi-technisch en praktijkonderzoek is verkregen, werd via fundamenteel onderzoek getracht de nog bestaande leemtes in de microbiële kennis op te heffen en deze wetenschappelijke kennis te combineren met ervaring uit de praktijk en vast te leggen in een ontwerpmodel voor biologische defosfatering. Uit het onderzoek is gebleken dat de micro-organismen die verantwoordelijk zijn voor de biologische defosfatering, de reservestoffen polyhydroxybutyraat (PHB), polyfosfaat en glycogeen bevatten; de laatste speelt door limitatie een essentiële rol bij de biologische P-eliminatieprocessen. Daarnaast blijkt de pH een belangrijke invloed te hebben op de opname en afgifte van P. Dit werd tot voor kort nog onvoldoende onderkend. Het uiteindelijk resultaat is een model voor de biologische P-eliminatie, dat gevalideerd is voor een groot aantal slibleeftijden. Iterationaal zijn de gehanteerde modelleringsaanpak en het verkregen model goed ontvangen, zodat naar verwachting een groot aantal elementen hiervan zullen worden geïncorporeerd in het IAWQ-model voor de beschrijving

van de zuiveringsprocessen in een rwzi.

Op basis van de resultaten van twee demonstratie-installaties op de rwzi's Huizen en Geldermalsen is de verwachting, dat magnetische separatie als zuiveringstechnologie om fosfaat uit het effluent van een rwzi te verwijderen, in Nederland onder de gegeven omstandigheden niet toegepast zal gaan worden. Redenen hiervoor zijn (vooral nog) de storingsgevoeligheid van het proces, de problemen bij een nuttige afzet van het restprodukt en de hogere kosten in vergelijking met biologisch defosfateren en/of simultane chemische precipitatie.

### *Stikstofverwijdering*

Vergaande stikstofverwijdering is veelal als randvoorwaarde bij de biologische defosfateringsprojecten meegenomen. Als voorbeeld kunnen genoemd worden de fundamentele onderzoeken naar optimalisatie van biologische defosfatering en de 'anaërobe denitrificerende biologische defosfatering', het praktijkonderzoek bij de rwzi Bergambacht, de literatuurstudies naar Bionitro-Bionitro en compactsystemen, en het semi-technisch onderzoek naar het drie-slibsoortensysteem.

Uit de (voorlopige) resultaten van het semi-technisch onderzoek naar het drie-slibsoortensysteem is gebleken dat voldaan kan worden aan de effluentgehalten  $N_{tot} < 10$  mg/l en  $P_{tot} < 1$  mg/l bij een hydraulische verblijftijd die slechts 2/3 is van die van een ultra laag belaste actief-slibinstallatie met dezelfde effluentkwaliteit. Het drie-slibsoortensysteem wordt gekenmerkt door het opsplitsen van het zuiveringsproces in drie in serie geschakelde bioreactoren, waarin optimale procescondities kunnen worden aangehouden. De eerste reactor is een hoogbelaste actief-slibpropstroomreactor, waarin biologische defosfatering en organische-stofverwijdering plaatsvinden. In een tussenbezinktank wordt het slib/watermengsel gescheiden. Stikstofcomponenten worden verwijderd in twee nageschakelde fixed-film reactoren door middel van nitrificatie en denitrificatie. Aan de denitrificerende bioreactor is het doseren van een externe C-bron vooral nog noodzakelijk. Een stabiele biologische fosfaatverwijdering is verkregen bij een hydraulische verblijftijd van 4 uur bij een gemiddelde slibbelasting van 0,6 kg CZV/kg ds.d. De slibvolume-index was circa 60 ml/g. De nitrificatie- en denitrificatiecapaciteit is vergelijkbaar met bestaande bestaande nageschakelde biofilmsystemen op basis van slib-op-drager techniek. Het zwevende stofgehalte in het effluent was laag (< 10 mg/l) door toepassing van de tussenbezinktank en door de filtrerende werking van de biofilmreactoren.

Binnen het RWZI 2000 programma is een aanzet gegeven voor de behandeling van interne stikstofstromen van een rwzi, als mogelijk alternatief voor bestaande N-verwijderingssystemen. Bestaande systemen om vergaande N-verwijdering te bewerkstelligen zijn het schakelen van compacte nitrificatie- en denitrificatiesystemen op basis van slib-op-drager techniek achter een conventioneel actief-slibstelsel, of door de introductie van anoxische zones en recirculatievoorzieningen, met als mogelijk gevolg uitbreiding van het aëratievolume. Interne stikstofstromen die vrijkomen bij de slibbehandeling, hebben in verhouding tot het influent een gering

debiet, maar voeren een relatief grote hoeveelheid stikstof (circa 15 % van de influent N-vracht) naar de rwzi terug. Genoemd kunnen worden het overloopwater van de voor- en na-indikker en het slibperswater bij de slibontwatering. Met behulp van simulatieberekeningen is het effect van buffering en behandeling van deze stikstofstromen op de effluentkwaliteit van een rwzi nagegaan.

Het bufferen, met als doel de piekbelasting gedurende de dag te verlagen, had slechts onder specifieke omstandigheden een verbetering van de effluentkwaliteit tot gevolg. De behandeling van de interne stromen blijkt het  $N_{\text{tot}}$ -gehalte in het effluent met gemiddeld 4 mg/l te verlagen, als de rwzi wordt gestuurd op een minimaal  $N_{\text{tot}}$ -gehalte. Wanneer op minimalisering van het  $\text{NH}_4^+$ -gehalte wordt gestuurd, is het effect nog groter. Bij uitsluitend nitrificatie van de interne stromen blijft de effluentkwaliteit ongeveer 2 mg  $N_{\text{tot}}$ /l slechter dan bij volledige stikstofverwijdering uit de interne stromen.

Op basis van bovenstaande resultaten werd een kostentechnische evaluatie uitgevoerd van potentiële technieken voor de behandeling van deze interne stikstofstromen in het RWZI 2000 onderzoekprogramma. Vervolgens zijn, mede vanwege de bestaande belangstelling en de hieruit voortkomende initiatieven bij enkele waterkwaliteitsbeheerders, vijf technieken geselecteerd om te worden uitgetest onder semi-praktijkomstandigheden: de driefasen-airliftreactor, ammoniakstrippen met (katalytische) naverbranding en met behulp van stoomstrippen, compacte biologische N-verwijdering met membraanscheiding en ten slotte het CAFR-proces (Chemische Ammonium-Fällung und Rezyklierung). Omdat de experimentele fase in 1994 werd doorlopen, waren de resultaten bij het opstellen van deze nota nog niet beschikbaar. In 1995 zullen ze gerapporteerd worden aan STOWA en de participerende waterkwaliteitsbeheerders, Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Provincie Utrecht (Dienst Water en Milieu), Riolering en Waterhuishouding Amsterdam en Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen.

Naast gebruikmaking van de slib-op-drager techniek kan men de concentratie van de langzaam groeiende nitrificerende micro-organismen in een zuiveringssysteem ook verhogen door het toepassen van gelbolletjes met daarin ingesloten geïmmobiliseerde nitrificerende micro-organismen. Uit een haalbaarheidsstudie is naar voren gekomen, dat er toepassingsmogelijkheden voor een dergelijk systeem bestaan bij een goede stabiliteit van het dragermateriaal en het uitblijven van overgroeiing van het gelbolletje door andere (heterotrofe) micro-organismen.

Het bleek mogelijk gelbolletjes te maken die meer dan 2 maanden stabiel zijn in stedelijk afvalwater. Eén van de materialen, polyethyleen glycol (PEG) wordt in Japan in reactoren op semi-technische schaal toegepast. De hechting van heterotrofe micro-organismen aan het dragermateriaal was gering.

Het bleek mogelijk om met een ander dragermateriaal, polycarbamoyl sulfonfaat (PCS), geïmmobiliseerde nitrificerende voorbehandeld stedelijk afvalwater te nitrificeren. Dit systeem zal echter nog verder geoptimaliseerd moeten worden.

Een ander fundamenteel onderzoek richtte zich op de mogelijkheid te komen tot een één-traps proces voor biologische stikstofverwijdering via simultane heterotrofe nitrificatie en aërobe denitrificatie, in plaats van de doorgaans opeenvolgende autotrofe aërobe nitrificatie en anaërobe denitrificatie. Het onderzoek is uitgevoerd met het modelorganisme *Thiosphaera pantatropa*, dat onder andere de eigenschap

bezat onder aërobe omstandigheden simultaan organisch koolstof en ammoniak te oxyderen, en nitraat en nitriet te reduceren. In de loop van het onderzoek werd echter geconstateerd dat dit modelorganisme genetisch instabiel was en daarbij zijn eigenschap tot simultane heterotrofe nitrificatie en aërobe denitrificatie had verloren. Aangezien er ook geen andere organismen of mengpopulaties met deze eigenschap beschikbaar waren, werd deze onderzoeksrichting verlaten. Buiten RWZI 2000 is het onderzoek voortgezet door aan één van de oorspronkelijke doelstellingen, het verminderen van het energieverbruik voor nitrificatie en het doseren van een externe C-bron voor denitrificatie, een andere invulling te geven. Een mogelijkheid is het uitvoeren van nitrificatie en denitrificatie via nitriet in plaats van nitraat.

### 3.2 Zuiveringsslib

De problematiek rond de nuttige afzet van slib dat vrijkomt bij het biologisch zuiveren van stedelijk afvalwater, heeft in het RWZI 2000 programma ruim aandacht gekregen. Tot enkele jaren geleden werd het slib met name door de aanwezigheid van P en N als meststof voor landbouwgronden gebruikt. Een toenemend milieubesef in Nederland, waarbij de aanwezigheid van andere stoffen (zware metalen, organische microverontreinigen) in het slib werd gewogen, heeft er mede toe geleid dat stringente kwaliteitsnormen zijn opgesteld waaraan het slib voor nuttige afzet in de landbouw of voor de verwerking tot zwarte grond moet voldoen. Omdat zuiveringsslib als meststof verder praktisch kansloos is geworden door overschotten aan dierlijke meststoffen, is de verwachting dat de nuttige afzet van zuiveringsslib in de nabije toekomst zal stagneren.

In het RWZI 2000 programma is de aandacht gericht op een viertal oplossingen. Allereerst de ontwikkeling van zuiveringssystemen waarbij minder zuiveringsslib ontstaat. Een tweede mogelijkheid is de ontwikkeling van technieken waarbij het slib zodanig wordt behandeld, dat wel aan de kwaliteitsnormen voor nuttige afzet kan worden voldaan. Door verbeterde ontwateringstechnieken en verdergaande verwerkingstechnieken kan ten slotte de omvang van de hoeveelheid slib gereduceerd worden.

#### *Vermindering van slibproductie*

In het RWZI 2000 programma zijn vanuit twee invalshoeken (de ecologische en fysiologische) de mogelijkheden onderzocht van innovatieve aërobe zuiveringssystemen, waarbij met behoud van zuiveringscapaciteit en -rendement minder slib wordt geproduceerd.

De **ecologische aanpak** maakt gebruik van het energieverlies dat optreedt bij de overgang van verschillende stappen in de voedselketen. Het slib wordt biologisch verder verwerkt door het introduceren van slibetende organismen, die door deze consumptie energie in de vorm van kooldioxyde kwijt raken. Naarmate de voedselketen langer is, wordt het energieverlies groter en dus de biomassavorming kleiner. De **fysiologische aanpak** streeft ernaar door veranderingen in de procesvoering

(biomassaretentie) bacteriën te selecteren, die een hogere onderhoudsenergie nodig hebben. Daardoor blijft minder organische stof over voor de celgroei, wat resulteert in een lagere slibproductie. Dit wordt ook wel het 'maintenance-concept' genoemd en kan worden gerealiseerd in een hooggesupendeerd waterzuiveringssysteem of een systeem op basis van een slib-op-drager techniek.

Uit chemostaatexperimenten, uitgevoerd bij de ecologische benadering, is gebleken dat biologische slibreductie door begrazing van hogere organismen mogelijk is. In een tweetraps chemostaatexperiment met ciliaten in de tweede chemostaat is een 10-40 % reductie van biomassa aangetoond. De grootte van de reductie is afhankelijk van de groeisnelheid van de ciliaten. Ook in de dagelijkse praktijk op rwzi's is geconstateerd dat men tijdens het optreden van een wormenbloei geen spuislib hoeft af te laten. Een te grote groei van deze hogere organismen kan het zuiveringsproces verstoren. Om dit proces in de toekomst stabiel te laten verlopen is meer inzicht gewenst in de verschillende procesvariabelen die de begrazingsactiviteit bepalen. Er zijn uitvoeringsvormen denkbaar: simultaan tijdens de fase van aëroob zuiveren, dan wel als toegevoegde begrazingsstap.

Bij de fysiologische aanpak is op basis van laboratorium-experimenten en semi-technisch onderzoek onder praktijkomstandigheden aangetoond dat - vanuit biologisch gezichtspunt - aërobe zuivering van voorbezonden stedelijk afvalwater bij hoge belasting zeer goed mogelijk is in een reactor met 100 % biomassaretentie. Hierbij werd een zeer geringe hoeveelheid biomassa gevormd, terwijl het zuiveringsrendement vergelijkbaar was met dat van een conventioneel laagbelast actief-slibstelsel. Voorwaarde daarvoor is dat het stedelijk afvalwater een voorbezinking ondergaat. Geen slibproductie werd waargenomen bij een slibbelasting van 0,03 kg CZV/(kg d.s. d). Bij deze lage belasting werd 90 % van het koolstof in het influent gemineraliseerd tot kooldioxyde; 30-40 % van het Kjeldahl-stikstof werd verwijderd door denitrificatie. Deze denitrificatie werd mogelijk bevorderd door de afname in zuurstofoverdracht tengevolge van de hoge biomassa-concentratie. Er werd geen ophoping geconstateerd van inert of zeer moeilijk afbreekbaar materiaal. Gedurende een jaar bleek het niet nodig slib te spuien.

De biomassaretentie, resulterend in een biomassa-concentratie van 40 kg d.s./m<sup>3</sup> in de aërietank, is verkregen door de slib/waterscheiding uit te voeren met membranen (micro-ultrafiltratie). De beperkte flux en de hiermee samenhangende hoge exploitatiekosten staan een praktische toepassing van slibretentie met behulp van membranen in de weg. Daarom is in een aanvullende studie de technische en economische haalbaarheid van alternatieve slib/waterscheidingssystemen vastgesteld. Hierbij is gekeken naar bestaande technieken of combinaties van technieken, die een slib/watermengsel met 40 kg d.s./m<sup>3</sup> zodanig scheiden dat een effluent met een droge-stofconcentratie < 20 g/m<sup>3</sup> wordt verkregen. Daarbij is rekening gehouden met de eventueel gewijzigde structuur van het slib ten gevolge van de inwerking door deze technieken. Gebleken is dat er momenteel geen alternatieve slib/waterscheidingssystemen voor micro-ultrafiltratie voorhanden zijn. De exploitatiekosten van de onderzochte slibretentie-systemen (onder andere combinaties van decanter en bezinktank met een bandfilter) zijn vergelijkbaar met of zelfs hoger dan van micro-ultrafiltratie. Deze hoge exploitatiekosten worden in belang-



rijke mate bepaald door het begrote hoge polyelectrolyet(PE)-verbruik om de slib/waterscheiding te bevorderen. Het hoge PE-verbruik levert verder bezwaren op voor het biologisch zuiveringsproces, het oppervlaktewater en het bedienend personeel.

Samengevat: biologisch gezien is het mogelijk door middel van biomassa-retentie een verminderde slibproductie bij het zuiveren van voorbezonden afvalwater te bewerkstelligen. De stand van de techniek en in het bijzonder de kosten om deze biomassa-retentie te verwezenlijken staan echter een mogelijke implementatie van dit zuiveringsproces op korte termijn in de weg. De conclusie is dat de verhouding tussen prestaties en kosten van micro-ultrafiltratie of van andere bestaande slibretentiesystemen aanzienlijk zal moeten verbeteren ofwel er zullen innovatieve slibretentietechnieken moeten worden ontwikkeld, bijvoorbeeld op basis van slib-op-drager techniek.

Bij het onderzoek naar de mogelijkheden om stedelijk afvalwater te zuiveren met een slib-op-drager techniek is tevens een verminderde slibproductie waargenomen. In het semi-technisch onderzoek met de driefasen-airliftreactor was bij hoge belastingen de slibproductie vergelijkbaar met die van conventionele laagbelaste actief-slibsystemen. De slibproductie - zijnde de som van de hoeveelheid primair slib en de slibgroei of biomassa-yield - bedroeg 0,3-0,4 kg o.s./kg CZV<sub>verwijderd</sub> bij een slibbelasting van 0,4-0,6 kg CZV/kg o.s.d. in een driefasen-airliftreactor met een voldoende hoog biomassagehalte ( $\geq 20$  g o.s./l) en gevoed met ruw rioolwater.

#### *Verbetering van slibkwaliteit*

In het RWZI 2000 programma zijn de mogelijkheden een betere slibkwaliteit te bereiken beperkt gebleven tot enkele potentiële behandelingstechnieken, zoals de verwijdering van zware metalen door middel van electrolyse en magnetische separatie. Hoewel de resultaten van laboratorium-experimenten niet tegenvielen, mag verwacht worden dat deze technieken in de toekomst voor het verbeteren van de kwaliteit van zuiveringsslib niet verder ontwikkeld of in de praktijk toegepast zullen worden. Achterliggende gedachte hierbij is dat men in de toekomst naast kwaliteitseisen aan zware metalen, ook eisen zal gaan stellen aan organische microverontreinigingen; voor de nabije toekomst zijn inmiddels reeds keuzen gemaakt voor de verdere verwerking van zuiveringsslib, zoals verbranding of natte oxydatie, waarbij het voorkómen van verontreinigingen van ondergeschikt belang is.

#### *Verbetering van slib/waterscheiding*

De omvang van het slibprobleem zou kunnen worden gereduceerd door met verbeterde ontwatering een hoger droge-stofgehalte te verkrijgen. In het kader van RWZI 2000 is een fundamenteel onderzoek geformuleerd naar aspecten van slib/waterscheiding, aangezien een substantiële verhoging van het droge-stofgehalte het doel was en bij de opstelling van het programma in hoofdzaak empirisch

verkregen kennis beschikbaar was.

In dit onderzoek zijn kennis, methodieken en inzichten ontwikkeld met betrekking tot het gedrag van zuiveringsslib tijdens het mechanisch ontwateren in goed gedefinieerde kleinschalige laboratoriumopstellingen. Een groot aantal slibkarakteriseringstechnieken werd ontwikkeld en getoetst op praktische bruikbaarheid bij representatief geachte slibsoorten, zoals mengsels van primair en secundair slib, uitgegist slib en oxydatieslootslib.

Conditionering heeft bij deze karakterisering plaatsgevonden met enkele standaard-polyelectrolieten en  $\text{FeCl}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ , maar ook voor de koppeling in de praktijk met de op de rwzi toegepaste flocculant. In een aantal gevallen is aangetoond dat hogere droge-stofgehalten verkregen kunnen worden door het type conditioneringsmiddel en de juiste dosering hiervan te optimaliseren. Tevens is gebleken dat voor het bevorderen van het ontwateringsproces hogere polyelectroliet-doseringen nodig zijn; men kan echter volstaan met aanzienlijk lagere kalkdoseringen dan momenteel in de praktijk worden toegepast. Van de onderzochte karakteriseringstechnieken blijken de filtratie-expressiecel, de MFT-methode (Modified Filtration Test) en de compressie-permeabiliteitscel goed bruikbaar voor het voorspellen van het slibontwateringsproces in zeefband- en kamerfilterpersen. Een eerste toetsing met een filtratie-expressiecel van de resultaten, verkregen in de dagelijkse praktijk van een slibverwerkingsinstallatie, kon deze conclusie bevestigen. Daarbij is ook aangetoond dat de voorbehandeling, zoals de aanwezigheid van een na-indikker of de wijze van transport van het geconditioneerde slib (type pomp, aanvoerleidingen), van invloed kan zijn op het slibontwateringsproces. Daarom is het plan om in het STOWA onderzoekprogramma 1995-1999, als vertaalslag naar de praktijk, een grootschaliger monitoring te laten plaatsvinden aan de hand van enkele geselecteerde slibkarakteriseringstechnieken.

In het fundamenteel onderzoek is tevens een fysisch-mathematisch model ontwikkeld voor de beschrijving van het ontwateringsgedrag van zuiveringsslib. Het ligt in de bedoeling om het model in de toekomst te verwerken tot apparaatmodellen waarmee het ontwateringsgedrag van zeefband- en kamerfilterpersen kan worden beschreven en gesimuleerd.

#### *Verdere slibverwerkingstechnieken*

Van de slibverwerkingstechnieken, die RWZI 2000 in beschouwing heeft genomen, is tot nu toe alleen het Vertech natte-oxydatieproces in de praktijk gerealiseerd. Bij de overige slibverwerkingstechnieken is dat niet gebeurd; de verwachting bestaat dat daar ook in de toekomst geen sprake van zal zijn.

Uit een vergelijking tussen mesofiele en thermofiele slibgisting is gebleken dat ondanks een hogere produktie van biogas en een betere afdoding van pathogene micro-organismen, de economische haalbaarheid voor thermofiele slibgisting slechter is dan voor mesofiele slibgisting. Dit is voornamelijk te wijten aan de slechtere ontwaterbaarheid van het thermofiele slib.

Ook hydrolyse van zuiveringsslib met natronloog of ammoniak, gevolgd door anaërobie vergisting bleek voor de Nederlandse situatie economisch niet haalbaar.

Uit een literatuurstudie naar de Carver-Greenfield droogtechniek is geconcludeerd dat bij grote verwerkingscapaciteiten deze techniek mogelijk een alternatief kan vormen voor slibverbranding of andere droogprocessen voor zuiveringsslib in Nederland. Verwacht mag worden dat introductie van de Carver-Greenfield droogtechniek voor zuiveringsslib niet eerder zal plaatsvinden, alvorens de tegenvallende resultaten met een semi-praktijkinstallatie in de Verenigde Staten zijn opgelost.

### 3.3 Omgevingshinder

De laatste decennia is door vergaande verstedelijking de bebouwing steeds meer opgerukt in de richting van de ooit in het buitengebied gelegen rwzi's. Uitbreidingsmogelijkheden staan daardoor onder druk, terwijl de omgeving ook eisen stelt op het gebied van stank en geluid. Afhankelijk van de lokatie heeft een en ander verstrekende gevolgen voor de toe te passen technologieën en kosten.

In het RWZI 2000 programma is de aandacht gevestigd geweest op het toepassen van nieuwe, meer gesloten, vertikaal gebouwde of compactere zuiveringssystemen, zoals het AB-proces, de schachtreactorsystemen zoals de Deep Shaft en de vroegere Multireactor, de driefasen-airliftreactor, het Linpor-proces en compact-systemen zoals Biocarbone, Biostyr en Biofor. Hierbij bestaat doorgaans geen duidelijk onderscheid tussen het verminderen van het ruimtebeslag en de bestrijding van de omgevingsoverlast.

Uit de verschillende literatuurstudies en semi-technische onderzoeken kan in het kort worden geconcludeerd: bij uitsluitend organische-stofverwijdering nemen deze systemen alle, met behoud van een goed zuiveringresultaat, minder ruimte in dan conventionele actief-slibsystemen. De grootte van het ruimtevoordeel verschilt per zuiveringssysteem, maar kan oplopen tot meer dan 50 % reductie. Overigens bleek ook een conventionele actief-slibinstallatie op een kleiner oppervlak te kunnen worden aangelegd dan doorgaans gebeurt. Ten gevolge van de strengere nutriënten-lozingseisen, met name voor N, kan een groot gedeelte van deze ruimtewinst van de compactere systemen weer verloren gaan. Alleen indien deze compactere systemen ook daadwerkelijk als totaalsystemen inzetbaar zijn - dus met een geïntegreerde (biologische) P- en N-verwijdering - zal het voordeel van compactheid en ruimtebesparing in voldoende mate aanwezig blijven.

Naast genoemde systemen heeft een groot aantal andere zuiveringstechnieken in het RWZI 2000 programma als neveneffect het voordeel van een geringer ruimtebeslag. Genoemd kunnen worden de niet-conventionele N-verwijderingssystemen en het drie-slibsoortensysteem.

### 3.4 Kosten

Het hangt van lokatiespecifieke omstandigheden af hoe hoog de kosten (onder te verdelen naar investering en exploitatie) zullen zijn. De uitgevoerde kostencalculaties zijn veelal indicatief geweest voor de mogelijke toepasbaarheid in Nederland. Afhankelijk van de stand van ontwikkeling van een technologie moet bij de kostenramingen doorgaans rekening worden gehouden met een nauwkeurigheidsmarge van 30 %.

De informatie bij de kostenramingen overziend en met een bepaald zuiveringsrendement rekening houdend, geldt voor Nederland dat de meerkosten van een groot aantal nieuwe zuiveringssystemen de mogelijke implementatie voor het zuiveren van stedelijk afvalwater of de verwerking van zuiveringsslib duidelijk negatief beïnvloeden. Voorbeelden van dergelijke systemen zijn het AB-proces, de Deep Shaft, het Linpor systeem, de anaërobe voorzuivering, thermofiele slibgisting, hydrolyse en kwaliteitsverbetering van zuiveringsslib en de magnetische fosfaatseparatie.

Geringere kosten of kosten, vergelijkbaar met conventionele uitvoeringsvormen van actief-slibsystemen, zijn te verwachten bij de overige kansrijke technologieën zoals het Bionitro-Bionitroproce, de driefasen-airliftreactor, het drie-slibsoortensysteem, het schachtreactorsysteem en de niet-conventionele N-verwijderingssystemen, inclusief de N-verwijdering door middel van immobilisatietechnieken en de separate behandeling van de interne stikstofstromen in een rwzi.

Tabel 4 Resultaten van projecten in relatie tot de onderzoeksvelden (positief (+), geen ( $\pm$ ) en negatieve (-) invloed).

onderwerp	effluentkwaliteit			zuiverings-slib			omgevingshinder			kosten	
	C	P	N	productie	kwaliteit	verwerking	ruimte- beslag	geur- en geluid- hinder	exploita- tie- kosten	inverte- rings- kosten	
<b>W</b> <b>A</b> <b>T</b> <b>E</b> <b>R</b> literatuurstudie * AB-systeem * Deep Shaft * Biodenitro-Biodenifio * knelpunten defosfatering * compactsystemen * alternatieven slibretentie praktisch onderzoek * driefasen-airlift reactor * Linpor systeem * Schachtreactorsysteem * anaerobe voorzuivering * biologische defosfatering in de deelstroom, gevolgd door chemische precipitatie of korrelreactor * magnetische fosfaatseparatie * automatische meting/regeling slibgehalte * drie-slibsoortensysteem * interne N-stromen fundamenteel onderzoek * biolagen op gesuspendeerde dragers * modelvorming biologische defosfatering * simultane heterotrofe nitrificatie en aerobe denitrificatie * nitrificatie in geïmmobiliseerde systemen * anaerobe/denitrificerende biologische defosfatering	$\pm$		-	-			+	$\pm$	$\pm$	$\pm$	
	$\pm$		-	+			+	+	-	+	
	$\pm$	+	+	$\pm$			+	+	-	-	
	$\pm$	+	$\pm$	$\pm$			+	+	$\pm$	$\pm$	
	$\pm$	+	-	+			+	+	$\pm$	-	
	$\pm$		+	+			+	+	-	-	
	$\pm$	$\pm$	+	$\pm$			+	+	-	-	
	$\pm$	+	+	+			+	+	-	-	
	$\pm$		+	+			+	+	-	-	
	$\pm$		+	+			+	+	-	-	
<b>S</b> <b>L</b> <b>I</b> <b>B</b> literatuurstudie * "Carver-Greenfield" droogtechniek * "Vertech" natte oxydatie * hydrolyse met ammoniak gevolgd door anaerobe slibgisting * zware metalen verwijdering door electrolyse * zware metalen verwijdering door magnetisme praktisch onderzoek * thermofiele slibgisting * vergisting van aerob gestabiliseerd slib fundamenteel onderzoek * vermindering slibproductie * slib-water scheiding (slibkarakteriserings- technieken, modellering)											

## 4 EVALUATIE

### 4.1 Inhoudelijke doelstellingen

Het onderzoekprogramma RWZI 2000 heeft een duidelijke stimulans gegeven aan de beide hoofddoelstellingen: het genereren van bruikbare innovatieve zuiveringssystemen en het plaats geven van het fundamentele lange-termijnonderzoek in het algemene onderzoekskader van stedelijk afvalwater.

Veel onderwerpen uit het onderzoeksplan zijn daadwerkelijk in het programma uitgevoerd. Van de overgebleven onderwerpen zijn sommige opgepakt in andere kaders, zoals 'chemische defosfatering', 'fosfaatverwijdering met behulp van de korrelreactor', 'optimalisatie van nabezinktanks' en 'desinfectie'. Andere zijn op basis van vernieuwde inzichten of een eerste inschatting omtrent haalbaarheid niet verder in het onderzoekprogramma opgenomen, zoals 'gisting in serie', 'gisting bij hoger droge-stofgehalte', 'cryogene technieken' en 'Osaka gasproces'.

Fundamenteel onderzoek heeft zich met RWZI 2000 een plaats verworven binnen het onderzoek naar de behandeling van stedelijk afvalwater. Dat blijkt uit de onderzoeksvoorstellen van wetenschappelijke instellingen, ingenieursbureaus en leveranciers van zuiveringssystemen, die zijn ingediend voor het onderzoekprogramma 1995-1999 van de STOWA en de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

Door een combinatie van evaluatie-, praktisch en fundamenteel onderzoek heeft RWZI 2000 nieuwe inzichten opgeleverd voor de toepasbaarheid in Nederland van een groot aantal bruikbare innovatieve zuiveringstechnologieën. De fase van ontwikkeling van deze kansrijke technieken verschilt onderling sterk; dat geldt ook voor het verkregen resultaat. Sommige technologieën konden - dankzij initiatieven van waterkwaliteitsbeheerders en financiële ondersteuning door STOWA en andere overheidsinstellingen - nog binnen de looptijd van het onderzoekprogramma worden geïmplementeerd. Voor andere zuiveringssystemen is gebruik in de praktijk te verwachten over enkele jaren. In weer andere gevallen kon op basis van verkregen onderzoeksgegevens worden aangetoond dat toepassing onder Nederlandse omstandigheden niet zinvol was. Uit het fundamenteel onderzoek zijn enkele veelbelovende ontwikkelingen verkregen.

### 4.2 Toepassingen

Voorbeelden van innovatieve zuiveringssystemen die nog tijdens de looptijd van RWZI 2000 hebben geleid tot daadwerkelijke toepassing, zijn biologische defosfatering (zowel in de hoofd- als in de deelstroom), het Bionitro-Bionitrofosfaat systeem en slibverwerking door middel van Vertech natte oxydatie.

Bij de implementatie van nieuwe technieken voor de verwijdering van P - en in een later stadium ook voor N - zijn de AMvB's, waarin verscherpte effluenteisen voor rwzi's zijn geregeld, van doorslaggevende invloed geweest. Een en ander kreeg zijn beslag in het STOWA programma PN 1992, dat veel nieuwe technolo-

gische en praktische inzichten heeft opgeleverd voor de toepassing van P- en N-verwijdering op rwzi's. Bovendien was door genoemde AMvB's de belangstelling bij ingenieursbureaus en waterkwaliteitsbeheerders voor de P- en N-onderwerpen binnen RWZI 2000 aanzienlijk groter dan voor de waterzuiveringstechnieken, oorspronkelijk in het onderzoeksplan geselecteerd voor organische-stofverwijdering.

Het is denkbaar dat het onderzoekprogramma RWZI 2000 in de praktijk tot meer toepassingen zou hebben geleid die op organische-stofverwijdering gericht zijn, wanneer er geen strengere effluenteisen voor P en (in sterkere mate) N van kracht waren geworden. Bovendien zou de nutriëntenverwijdering dan minder aandacht hebben geëist.

Biologische defosfatering, zowel volgens het hoofdstroom- als het deelstroomprincipe, is tijdens de looptijd van RWZI 2000 en het STOWA PN 1992-programma veranderd van een innovatieve technologie (in 1988) tot een bij waterkwaliteitsbeheerders geaccepteerde standaardtechniek voor P-verwijdering. Het voordeel van een lager verbruik van defosfateringschemicaliën, resulterend in een kleinere toename van de zoutconcentraties in het effluent, is significant gebleken.

Bij biologische defosfatering in de hoofdstroom is veelal een beperkte aanvullende simultane chemische precipitatie van metaalzouten nodig om consistent lage P-concentraties in het effluent te realiseren. Doorgaans zijn Me/P-verhoudingen 0,3-0,5 aangehouden, afhankelijk van de afvalwatersamenstelling en de gestelde lozings-eisen. Dit is aanzienlijk minder dan de verhouding van 1,5-3, die in de regel wordt gehanteerd, indien uitsluitend simultane chemische defosfatering wordt toegepast. Voor ijzerchloridedosering betekent dit, dat door het toepassen van biologische defosfatering, de zoutbelasting afneemt van 50-75 mg Cl/l tot 10-15 mg Cl/l. Bij biologische defosfatering in de sliblijn ligt de reductie van Me/P-verhouding en Cl-belasting in dezelfde orde van grootte. Bij fosfaatbinding door kalk (zowel in hoofd- als deelstroom) is het resultaat sterk afhankelijk van de afvalwatersamenstelling. De hierbij toegevoegde vracht anionen kan variëren van nul tot enkele malen groter dan bij chemische simultane precipitatie met ijzerchloride.

De evaluatiestudie naar de stand van ontwikkeling van het Biedenitro-Biedenipho systeem en de mogelijke toepasbaarheid in Nederland heeft geresulteerd in een semi-technisch onderzoek op de rwzi Ede, dat met financiële ondersteuning van de STOWA in opdracht van het zuiveringsschap Veluwe is uitgevoerd. Onder andere door de gunstige resultaten, voortkomend uit dit pilotplant onderzoek is besloten de rwzi Ede met een ontwerpcapaciteit van 300.000 i.e. om te bouwen volgens het Biedenitro-Biedenipho systeem.

De evaluatiestudie in het RWZI 2000 programma naar de Vertech natte oxydatie van zuiveringsslib en de besluitvorming voor een praktijkinstallatie op de rwzi Apeldoorn door het zuiveringsschap Veluwe hebben vrijwel parallel gelopen. Het zou daarom onjuist zijn te stellen dat deze praktijkinstallatie een gevolg is van het RWZI 2000 programma. Feit blijft evenwel dat een in het programma als kansrijk beoordeelde verwerkingstechniek voor zuiveringsslib, via een andere weg en onafhankelijk van deze evaluatiestudie heeft geleid tot een praktijkinstallatie met

een verwerkingscapaciteit van circa 30.000 ton droge stof per jaar.

#### 4.3 Praktijktoepassingen op korte termijn

Naar verwachting heeft de behandeling van N-rijke retourstromen, die vrijkomen bij de slibbehandeling goede kansen om op redelijk korte termijn (binnen 3-5 jaar) in de praktijk te worden toegepast. Met name op lokaties waar geen of weinig mogelijkheden zijn voor uitbreiding van het aëratievolume, zal deze aanpak van N-verwijdering een alternatief kunnen zijn. Naast het ruimtebeslag zullen ook de mate van ombouw en de kosten van deze behandeling een belangrijke rol spelen. De retourwaterbehandeling wordt goedkoper naarmate de ontwerpcapaciteit van een rwzi groter is. Van invloed is hier ook de noodzaak van het bijbouwen van een tussengemaal voor influent en retourslib, als blijkt dat door het tussenschakelen van een voordennitrificatieruimte bij een bestaande rwzi te weinig verval overblijft. Aangezien het semi-technisch onderzoek naar de verschillende behandelingstechnieken nog niet is afgerond, kunnen nog geen uitspraken worden gedaan over de technisch-financiële perspectieven van de vijf afzonderlijke technieken: de driefasen-airliftreactor, ammoniakstrippen met (katalytische) naverbranding en met behulp van stoomstrippen, compacte biologische N-verwijdering met membraanscheiding en het CAFR-proces (Chemische Ammonium-Fällung und Rezyklisierung). Wat het zuiveringsrendement betreft voldeden de onderzochte technieken aan de verwachtingen. Begin 1995 zullen de resultaten van dit semi-technisch onderzoek beschikbaar komen en gerapporteerd worden.

Er zijn ook goede kostentechnische perspectieven voor implementatie van de driefasen-airliftreactor, het schachtreactorsysteem en het drie-slibsoortensysteem. Het onderzoek bij geen van de genoemde systemen is echter al zover afgerond dat hieruit definitieve conclusies over de potentiële toepasbaarheid in Nederland kunnen worden gegeven. Dit geldt vooral voor de evaluatiestudie naar de compact-systemen Biofor, Biostyr en Biocarbone, waar de informatie uit de literatuur en de praktische gegevens elkaar tegenspreken.

#### 4.4 Niet tot praktijktoepassing gekomen technologieën

Enkele in het onderzoeksplan als kansrijk beoordeelde waterzuiverings- of slibverwerkingstechnieken zijn in de Nederlandse praktijksituatie voornamelijk kosten-technisch niet doelmatig: dat kon op basis van literatuurstudies, in sommige gevallen aangevuld met semi-technisch onderzoek, met gegevens onderbouwd worden aangetoond. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het een inschatting blijft, gemaakt op basis van op dat moment beschikbare informatie, rekening houdend met de heersende maatschappelijke en kostentechnische randvoorwaarden. Voorbeelden van technologieën die zelfs op een termijn van 5-10 jaar geen perspectief meer bieden voor de behandeling van stedelijk afvalwater zijn anaërobe voorzuivering, Deep Shaft, het Linpor-proces, magnetische defosfatering, thermofiele slibgisting en technieken die de kwaliteit van slib verbeteren door zware metalen te verwijderen.



#### 4.5 Veelbelovende systemen voor de toekomst

Het moge duidelijk zijn dat de resultaten van een toekomstgericht onderzoekprogramma als RWZI 2000 meestal niet rechtstreeks zullen leiden tot direct toepasbare oplossingen voor de alledaagse praktijkproblemen van een rwzi. Door het inzetten van fundamenteel onderzoek kon veelal wel de richting van vervolgonderzoek worden aangegeven.

RWZI 2000 heeft een goed inzicht gegeven in de mogelijkheden van nieuwe (fundamentele) ontwikkelingen op het gebied van biologische N- en P-verwijdering, vermindering van de slibproductie en de ontwatering van zuiveringsslib. Hieronder volgt ten slotte een overzicht van kansrijke technieken die na afronding van het RWZI 2000 programma verder onderzocht zouden dienen te worden met als doel ze te implementeren in de toekomstige generatie rwzi's.

##### *Primair-slibverzuring*

Deze bestaat uit voorverzuring van het influent door op de plaats van de voorbezinktank een anaërobie rector in te zetten. Hierdoor is het wellicht mogelijk de in sommige gevallen ongunstige BZV/N-verhouding van voorbezonden rioolwater voor denitrificatie en/of biologische defosfatering te verbeteren. Door hydrolyse van primair slib komen laagmoleculaire verbindingen ter beschikking. Kostentechnisch onderzoek zou moeten uitwijzen welke uitvoeringsvorm van deze primair-slibverzuring, in de hoofdstroom of deelstroom, de beste perspectieven biedt.

##### *Geïntegreerde biologische P- en N-verwijdering bij compacte systemen*

Door de strengere N- en P-lozingseisen is een groot gedeelte van de ruimtewinst van de compactere systemen weer opgeëist. Door geïntegreerde defosfatering en (vooral) biologische N-verwijdering in bijvoorbeeld de schachtreactorsystemen Deep Shaft, de vroegere Multireactor en de driefasen-airliftreactor, kunnen deze compacte installaties als totaalsystemen functioneren. Hierdoor zal het voordeel van compactheid en ruimtebesparing in voldoende mate aanwezig kunnen blijven. In de reeds opgestarte fase III 'uitontwikkeling en demonstratie' van het onderzoek naar de driefasen-airliftreactor is deze geïntegreerde P-en N-verwijdering een van de onderzoeksaspecten.

##### *Toepassing van geïmmobiliseerde zuiveringssystemen*

Binnen RWZI 2000 is onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid N-verwijdering te laten plaatsvinden door gebruik te maken van geïmmobiliseerde nitrificerende micro-organismen, ingesloten in gelbolletjes. Als voor de nitrificerende micro-organismen kan worden aangetoond, dat deze immobilisatietechnologie toegepast kan worden voor de zuivering van stedelijk afvalwater, biedt dit tevens toepassingsmogelijkheden voor de verwijdering van andere componenten, zoals organische micro-verontreinigingen.

##### *Anaërobie denitrificerende biologische defosfatering*

In fundamenteel onderzoek is aangetoond dat het principe van biologische defosfatering onder denitrificerende omstandigheden goed mogelijk is. Een logische stap daarop is het maken van een vertaalslag van de verkregen resultaten

naar procestechnologische kenmerken van een nieuw zuiveringsproces, het Anaëroob-Anoxisch-Nitrificatie Proces ( $A_2/N$ -proces).

#### *Vermindering van de slibproductie*

In semi-technisch onderzoek onder praktijkomstandigheden bleek dat vermindering van slibproductie mogelijk was door biomassaretentie toe te passen. Biomassaretentie zou in de toekomst te realiseren zijn wanneer de verhouding tussen prestaties en kosten bij micro-ultrafiltratie aanzienlijk zouden verbeteren. Ook zouden innovatieve slibretentietechnieken op basis van slib-op-drager techniek ontwikkeld kunnen worden.

Door gebruik te maken van slibetende hogere organismen processtap is biologische slibverwerking mogelijk. Onderzoek zou geïnitieerd moeten worden welke uitvoeringsvorm met bijbehorende ontwerpparameters financieel-technisch perspectieven biedt; hetzij simultaan in de aëratietank, hetzij als toegevoegde begrazingsstap.

#### *Fundamentele aspecten van slibontwatering*

In het fundamentele onderzoek naar de slib/waterscheiding zijn kennis, methodieken en inzichten ontwikkeld met betrekking tot het gedrag van zuiveringsslib tijdens het mechanisch ontwateren via goed gedefinieerde (kleinschalige) slibkarakteriseringstechnieken. Het koppelen van deze resultaten aan de dagelijkse praktijk van slibontwateringsinstallaties is een logische vervolgstap. Met de ontwatering en de verdere verwerking van zuiveringsslib in Nederland zijn hoge bedragen gemoeid ( $f$  300-350 miljoen). Optimalisatie van het ontwateringsproces en verhoging van het droge-stofgehalte in het mechanisch ontwaterde slib, kunnen dan ook resulteren in aanzienlijke kostenbesparingen (tot meer dan  $f$  10 miljoen per jaar). Ook zou vastgesteld moeten worden in hoeverre de ontwikkelde inzichten en slibkarakteriseringsmethoden, verkregen bij zuiveringsslib, toepassingsmogelijkheden hebben voor het ontwateren van andere slibstromen, zoals baggerspecie.



## **BIJLAGEN**

<b>Bijlage 1</b>	<b>Publikaties van het onderzoekprogramma RWZI 2000</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Beschrijving van de projecten</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Financiële overzicht van het onderzoekprogramma RWZI 2000</b>



## BIJLAGE 1 PUBLIKATIES VAN HET ONDERZOEKPROGRAMMA RWZI 2000<sup>1</sup>

### Rapporten

- 'Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst'  
Een haalbaarheidsonderzoek. I Eindrapport. II Werkrapport  
RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs  
Juli 1986
- 'Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000'  
Onderzoeksplan  
RIZA, STORA  
Januari 1988
- 'Jaarverslag 1988'  
RIZA, STORA  
Maart 1989
- 'Slibontwatering; een voorstudie'  
TU-Delft, TU-Eindhoven  
RWZI 2000 89-01  
Januari 1989
- 'Knelpunten bij de invoering van defosfatering'  
Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs  
RWZI 2000 89-02  
April 1989
- 'Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van een magneetsysteem'  
Smit-Nijmegen, TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 89-03  
Oktober 1989
- 'Verwijdering van zware metalen uit zuiveringsslib door electrolyse'  
TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 89-04  
Oktober 1989

---

<sup>1</sup> Te bestellen bij:  
Hageman Verpakkers B.V., Postbus 281, 2700 AC Zoetermeer  
tel. 079-611188 / fax 079-613927

- 'Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting'  
TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 89-05  
Oktober 1989
- 'Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfieldproces'  
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs  
RWZI 2000 89-06  
December 1989
- 'Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Vertech-systeem'  
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs  
RWZI 2000 89-07  
December 1989
- 'Symposium 'RWZI 2000' d.d. 5 oktober 1989'  
RIZA, STORA  
RWZI 2000 89-08  
December 1989
- 'Jaarverslag 1989'  
RIZA, STORA  
RWZI 2000 90-01  
Maart 1990
- 'AB-systemen; een inventarisatie'  
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
RWZI 2000 90-02  
September 1990
- 'Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib'  
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
RWZI 2000 90-03  
Augustus 1990
- 'Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's'  
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
RWZI 2000 90-04  
December 1990
- 'Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks'  
Adviesbureau BKH  
RWZI 2000 90-05  
September 1990

- 'Verkenning Biodenitro-Biodeniphos'  
Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs B.V.  
RWZI 2000 90-06  
Juni 1990
- 'Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater'  
TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 90-07  
Oktober 1990
- 'Jaarverslag 1990'  
RIZA, STORA  
RWZI 2000 91-01  
Maart 1991
- 'Deep Shaft-systemen; een inventarisatie'  
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
RWZI 2000 91-02  
Maart 1991
- 'Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in municipal waste water treatment plants'  
A feasibility study  
RU-Groningen  
RWZI 2000 91-03  
Juni 1991
- 'Jaarverslag 1991'  
RIZA, STOWA  
RWZI 2000 92-01  
Maart 1992
- 'Vergisten van zuiveringsslib; een vergelijking tussen thermofiele en mesofiele slibgisting'  
Haskoning B.V., RIZA, LU-Wageningen, DHV Water B.V.  
RWZI 2000 92-02  
Maart 1992
- 'First Dutch-Japanese workshop on the treatment of municipal waste water'  
8-11 april 1991, Heelsum, The Netherlands. Part I and part II.  
RIZA, STORA, TU-Delft  
RWZI 2000 92-03  
Maart 1992
- 'Biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een korrelreactor'  
LU-Wageningen, DHV Water B.V.  
RWZI 2000 92-04  
Augustus 1992



- 'Anaërobe behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland'  
Covernota van het uitgevoerde onderzoek 1976 - 1991  
LU-Wageningen, Haskoning B.V.  
RWZI 2000 92-05  
Mei 1992
  
- 'Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste actief-slibinstallatie'  
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Grontmij N.V.  
RWZI 2000 92-06  
Oktober 1992
  
- 'Ontwikkeling van een slib-op-drager systeem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater'  
Fase II: Onderzoek naar de processtabiliteit en optimalisatie van het zuiveringsrendement.  
TNO-IMW  
RWZI 2000 92-07  
Oktober 1992
  
- 'Behandeling van stedelijk afvalwater met het schachtreactorsysteem'  
V & P Waste Water Management B.V.  
RWZI 2000 92-08  
Juli 1994
  
- 'Stikstofverwijdering uit interne stromen op rwzi's'  
DHV Water B.V.  
RWZI 2000 92-09  
December 1992
  
- 'Jaarverslag 1992'  
RIZA, STOWA  
RWZI 2000 93-01  
April 1993
  
- 'Onderzoek demonstratie-installaties magnetische defosfatering'  
Envimag B.V.  
RWZI 2000 93-02  
April 1993
  
- 'Modelvorming en optimalisatie van biologische defosfatering van afvalwater. Microbiële aspecten'  
LU-Wageningen, vakgroep Microbiologie  
RWZI 2000 93-03  
November 1993

- 'Jaarverslag 1993'  
RIZA, STOWA  
RWZI 2000 94-01  
Juli 1994
  
- 'Fundamentele aspecten van slibontwatering'  
Deel 1: Samenvattend verslag  
Deel 2: Flocculatiemechanismen  
Deel 3: Filtratie-expressie modellering  
Deel 4: Filtratie expressie experimenten  
Deel 5: Slib-water binding  
Deel 6: Karakterisering van slibben  
Deel 7: Ontwikkeling nieuw CST-apparaat  
Deel 8: Congresbijdragen  
TU-Eindhoven, Laboratorium voor Scheidingstechnologie  
RWZI 2000 94-02  
Juli 1994
  
- 'Fundamenteel onderzoek vermindering slibproductie'  
VU, werkgroepen Theoretische Biologie en Microbiologie  
RWZI 2000 94-03  
September 1994
  
- 'Alternatieven voor de slibretentie bij hooggesuspendeerde waterzuiverings-systemen'  
DHV Water BV  
RWZI 2000 94-04  
September 1994
  
- 'Evaluatie en overzicht van het onderzoekprogramma RWZI 2000'  
RIZA, STOWA  
RWZI 2000 94-05  
December 1994
  
- 'Aërobe biofilm op gesuspendeerde drager ten behoeve van waterzuivering'  
TU-Delft, vakgroep Bioprocestechnologie  
RWZI 2000 94-06  
December 1994
  
- 'Het uittesten van de filtratie-expressiecel in de praktijk'  
TU-Eindhoven, Laboratorium voor Scheidingstechnologie  
RWZI 2000 94-07  
December 1994

- 'Modelvorming en optimalisatie van biologische defosfatering van afvalwater; modellering'  
TU-Delft, vakgroep Bioprocestechnologie  
RWZI 2000 94-08  
Januari 1995
- 'Mogelijkheden tot optimalisatie van de stikstofeliminatie'  
TU-Delft, vakgroep Bioprocestechnologie  
RWZI 2000 94-09  
Januari 1995
- 'Compactsystemen voor zuivering van stedelijk afvalwater'  
Haskoning B.V.  
RWZI 2000 94-10  
Maart 1995
- 'Behandeling van stedelijk afvalwater met het drie-slibsoortensysteem'  
LUW, TAUW Milieu B.V.  
RWZI 2000 94-10  
Mei 1995
- 'Biological phosphate removal under nitrifying conditions'  
TU-Delft, vakgroep Bioprocestechnologie  
RWZI 2000 94-11  
Juli 1995

#### Werkdocumenten

- 'Toepasbaarheid van een gasvenstersensor voor het meten van het slibgehalte'  
TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 90-01 W  
Mei 1990
- 'Thermofiele vergisting van rioolwaterslib; een literatuurstudie'  
LU-Wageningen  
RWZI 2000 90-02 W  
Juni 1990
- 'Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste actief-slibinstallatie (rwzi Bergambacht); oriënterend onderzoek (fase 1)'  
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Grontmij NV  
RWZI 2000 90-03 W  
December 1990

- 'Pilot-plant onderzoek naar biologische N- en P-verwijdering op de rwzi Eindhoven'  
GTD - Oost Brabant  
RWZI 2000 91-01 W  
Maart 1991
- 'IAWPRC Sludge Management Conference' te Los Angeles (USA)  
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, RIZA  
RWZI 2000 91-02 W  
Februari 1991
- 'Vergelijkend onderzoek naar thermofiel en mesofiele vergisting van zuiveringsslib op semi-technische schaal op RWZI Dronten'  
RIZA  
RWZI 2000 91-03 W  
Maart 1991
- 'Inventarisatie slibgehaltemeters voor rwzi's'  
Waterloopkundig Laboratorium  
RWZI 2000 91-04 W  
Maart 1991
- 'De invloed van interne stromen op de stikstofhuishouding bij rwzi's'  
Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs B.V.  
RWZI 2000 91-05 W  
Maart 1991
- 'Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laag belaste actief-slibinstallatie (rwzi Bergambacht), meetresultaten fase 1, 2 en 3.  
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Grontmij N.V.  
RWZI 2000 92-01 W  
Augustus 1992
- 'Effecten van protozoën op koolstofmineralisatie in actief slib'  
VU, werkgroep Theoretische Biologie,  
RWZI 2000 92-02 W  
December 1992

## BIJLAGE 2      **BESCHRIJVING VAN DE PROJECTEN**

### project 3213      **Anaërobe voorzuivering**

#### *inhoud en opzet*

Anaërobe voorzuivering wordt gekenmerkt door geringe energiebehoefte, lage surplusslibproductie en technische eenvoud van anaërobe installaties. Daarom is verschillende jaren naar toepassingsmogelijkheden van het UASB-systeem (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), het FB-systeem (Fluid Bed) en het EGSB-systeem (Expanded Granular Sludge Bed) op de voorzuivering van rioolwater, al dan niet voorbezonken, gekeken.

Doel van dit semi-praktijkonderzoek was na te gaan of anaërobe (voor)zuivering onder Nederlandse omstandigheden perspectieven bood. Bij een gunstig resultaat zouden dimensioneringsgrondslagen en een juiste bedrijfsvoering voor een dergelijke anaërobe reactor vastgesteld moeten worden.

#### *uitvoering*

LU-Wageningen, vakgroep Milieutechnologie en RIZA, begeleid door:

- |                                |                          |                            |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| - ir. W. van Starckenburg (vz) | - dr. A.M. Breure        | - ir. A.E. van Giffen      |
| - ir. P. Hack                  | - ir. A. Mulder          | - ing. G.B.J. Rijs         |
| - ir. P.C. Stamperius          | - ir. A.J. van de Vlucht | - ir. W.G. Werumeus Buning |

#### *kosten*

Het onderzoek is grotendeels gefinancierd uit de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'. RWZI 2000 heeft in 1988 en 1989 een beperkte bijdrage van in totaal f 52.000,- geleverd.

#### *resultaten*

Uit technologisch en kostentechnisch oogpunt is gebleken, dat toepassing van anaërobe voorzuivering voor stedelijk afvalwater onder Nederlandse omstandigheden niet aantrekkelijk is. Er wordt uitsluitend organische stof verwijderd, zonder vergaande verwijdering van stikstof en fosfaat. Ook de omzettingcapaciteit van organische stof tot biogas verloopt niet rendabel door de lage watertemperatuur gedurende de winter.

Als afgeleid resultaat bij dit onderzoek kan worden genoemd het idee om primair-slibverzuuring te laten tijdens de voorbezinking het influent. In een dergelijke verzuringsreactor zouden organische verbindingen kunnen worden omgezet tot vetzuren, die de biologische stikstof- en fosfaatverwijdering kunnen stimuleren.

#### *rapportage*

'Anaërobe behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland'. Covernota van het uitgevoerde onderzoek 1976 - 1991.

RWZI 2000 92-05, mei 1992.

### project 3214      **AB-proces**

#### *inhoud en opzet*

Het AB-proces is een tweetraps actief-slibstelsysteem met een hoogbelaste eerste trap, de

A(adsorption)-trap, en een laagbelaste tweede trap, de B(elebung)-trap. In de A-trap treedt voornamelijk adsorptie op. In de B-trap treedt substraatafbraak en verdere mineralisatie op. Kenmerkend voor het AB-proces zijn de hoge slibbelasting ( $\geq 2$  kg BZV/kg ds.d) en de strikte scheiding tussen de actief-slibstromen van de A- en de B-trap.

De voordelen van dit systeem ten opzichte van conventionele actief-slibsystemen zouden liggen in een geringer ruimtebeslag, goede nitrificatie en een laag energieverbruik.

In een literatuurstudie is nagegaan in hoeverre de vermeende voordelen van het AB-systeem interessant zijn voor het waterkwaliteitsbeheer in Nederland. Hiervoor is de werking van de Duitse AB-systemen geëvalueerd en zijn de bedrijfsgegevens van de Nederlandse rwzi's Dokhaven, Veendam en Nieuwveer geïnventariseerd.

#### *uitvoering*

DHV Water B.V., begeleid door:

- ir. W. van Starckenburg (vz)

- ing. J.J. Jonk

- ing. W.A. Oorthuizen

- ir. P.C. Stamperius.

#### *kosten*

f 62.500,-

#### *resultaten*

De onderzochte Nederlandse rwzi's zijn volgens de definitie van de A-trap niet als AB-systemen aan te merken, maar als tweetraps zuiveringssystemen zonder voorbezinking, met een hoogbelaste eerste trap en een laagbelaste tweede trap. Een goede vergelijking met de Duitse AB-systemen was derhalve niet goed mogelijk.

De evaluatie geeft verder aan dat bij de Nederlandse RWA/DWA-verhoudingen en de ongunstige organische-stof/stikstof-verhouding het AB-systeem in de beschouwde configuratie voor Nederland weinig voordelen biedt. Door de grotere RWA/DWA-verhouding en de lagere slibbelasting in de A-trap in Nederland dan in Duitsland komt het specifieke voordeel van geringere energieverbruik van het AB systeem te vervallen. Een vergaande nitrificatie blijkt goed mogelijk door de vergaande verwijdering van zwevende en bezinkbare stoffen in de A-trap en de daaraan gekoppelde sibleeftijd in de B-trap. Desondanks blijft de  $N_{\text{tot}}$ -verwijdering beperkt door de geringe hoeveelheid beschikbare organische stof in de B-trap. Door recirculatie van effluent en organische-stofdosing, bijvoorbeeld vetzuren verkregen uit verzuring van de in de A-trap geadsorbeerde organische stof, kan een redelijke  $N_{\text{tot}}$ -verwijdering worden gerealiseerd. P-verwijdering door chemische precipitatie laat zich goed inpassen in een AB-zuiveringstelsel. Met een  $\text{FeCl}_3$ -dosing in de eerste trap, bij relatief lage Me/P-verhouding waren effluentgehalten haalbaar van  $P_{\text{tot}} \leq 1$  mg/l.

#### *rapportage*

'AB-systemen; een inventarisatie'.

RWZI 2000 90-02, september 1990.

*inhoud en opzet*

Het Schachtreactorsysteem, voorheen Multireactorsysteem genoemd, is gebaseerd op het aërobe actief-slibproces. Het systeem bestaat uit een ondergrondse diepe schacht, waarin de aërobe afbraak van organische stof plaatsvindt, en een bovengrondse flotatie-eenheid voor de slib/waterscheiding. Het grote voordeel ten opzichte van conventionele actief-slibsystemen zou vooral liggen in een verbeterde zuurstofoverdracht en het geringe ruimtebeslag, waardoor overlast door stank en geluid beter beheersbaar zijn.

In een semi-technisch onderzoek is de werking van het Schachtreactorsysteem - in het bijzonder het flotatieproces - nagegaan, onder andere aan de hand van de bedrijfszekerheid bij sterk wisselende afvalwaterdebieten en vuilvrachten. Hierbij is in eerste instantie alleen de verwijdering van zuurstofbindende stoffen, aangeduid met de parameters CZV, BZV en  $N_{Kj}$  en een laag zwevend-stofgehalte in het effluent nagestreefd.

*uitvoering*

Het onderzoek is uitgevoerd door V&P Waste Water Management B.V., begeleid door:

- |                                |                         |                     |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------|
| - ir. W. van Starckenburg (vz) | - ing. G.A.P. van Geest | - drs. M.E. Ikelaar |
| - ing. J.J. Jonk               | - ir. J.H. Rensink      | - ing. G.B.J. Rijs  |
| - ir. P.C. Stamperius          | - ir. H.A.A.M. Webers.  |                     |

*kosten*

f 668.400,-. Vanuit RWZI 2000 is f 257.600,- bijgedragen. De overige participanten waren V & P Waste Water Management B.V. en de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

*resultaten*

Uit experimenten waarbij het totaal influentdebiet een aantal dagen constant is gehouden op een RWA/DWA-verhouding van 1 tot 5, bleek dat met de huidige flotatie-eenheid tot een RWA/DWA-verhouding van 4 een zwevend-stofgehalte lager dan 20 mg/l kan worden gewaarborgd. De maximale droge-stof- en oppervlaktebelasting van de uitgeteste flotatie-eenheid voor een zwevend-stofgehalte < 20 mg/l in het effluent bedraagt respectievelijk 14 kg d.s./m<sup>2</sup>.h en 4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h. De A/S-verhouding dient bij deze maximale belastingen tenminste 1,2 % te bedragen. Verwerking van hogere RWA/DWA-verhoudingen is mogelijk door capaciteitsaanpassing van de flotatie-eenheid. Tevens is uit experimenten, waarbij over een tijdsbestek van 24 uur RWA is gesimuleerd, gebleken dat de flotatie-eenheid in staat is om snelwisselende hydraulische belastingen op te vangen. Ook de biologische zuiveringscapaciteit wordt niet noemenswaardig beïnvloed door variatie in de aanvoer. Bij een slibbelasting van 0,05 kg BZV<sub>5</sub>/kg ds.d. bedragen de effluentconcentraties van CZV, BZV en  $N_{Kj}$  respectievelijk 54 mg/l (90 %), 6 mg/l (98 %) en 4 mg/l (93 %).

Ofschoon N- en P-verwijdering geen onderdeel uitmaakte van het semi-technisch onderzoek, is ter completering een indicatieve kostenvergelijking gemaakt tussen een conventionele laagbelaste actief-slibinstallatie en het Schachtreactorsysteem, zowel voor de huidige als voor toekomstige situatie met vergaande P- en N-lozingseisen. Uit de kostenvergelijking kan worden afgeleid dat de bouwkosten voor beide scenario's in dezelfde orde van grootte liggen, rekening houdend met de nauwkeurigheidsmarge voor een dergelijke kostenindicatie. De geschatte ruimtebehoefte is voor een installatie, die gedimensioneerd is op de huidige effluenteisen, aanzienlijk minder dan een conventioneel actief-slibstelsysteem. In hoeverre dit voordeel van ruimtebehoefte ook blijft bestaan bij de strengere P- en N-eisen

is voornamelijk onduidelijk, aangezien met geïntegreerde P- en N-verwijdering in het schachtreactorsysteem nog slechts beperkte ervaring met stedelijk afvalwater is opgedaan.

*rapportage*

'Behandeling van stedelijk afvalwater met het schachtreactorsysteem'.  
RWZI 2000 92-08, juli 1994.

project 3223      **Deep Shaft systeem**

*inhoud en opzet*

Het Deep Shaft proces is een actief-slibstelsel dat bestaat uit een ondergrondse schacht voor de aërobe omzetting van de organische stof en een bovengrondse eenheid voor de slib/waterscheiding. Op enige diepte in de schacht wordt tijdens het neerwaartse transport lucht ingebracht. Door de druk van de bovenstaande vloeistofkolom kan onderin de schacht meer zuurstof in het afvalwater oplossen dan bij conventionele actief-slibsystemen. Naast een grotere zuurstofoverdracht worden als voordelen van het Deep Shaft systeem boven conventionele actief-slibsystemen aangevoerd: het geringere ruimtebeslag, de afwezigheid van een afzonderlijke slibstabilisatie en een goede ontwaterbaarheid van het slib. Voor de scheiding van lucht, water en slib zijn verschillende uitvoeringsvormen ontwikkeld, zoals flotatie en vacuümontgassing gevolgd door bezinking.

De literatuurstudie had ten doel de buitenlandse ervaringen met het Deep Shaft systeem te evalueren en te toetsen aan de gestelde voordelen in de Nederlandse situatie, gekoppeld met een vergaande P- en N-verwijdering.

*uitvoering*

DHV Water B.V., begeleid door:

- ir. W. van Starckenburg (vz)      - ir. A.H. Dirkzwager      - ing. G.B.J. Rijs  
- ir. P.C. Stamperius.

*kosten*

f 65.890,-

*resultaten*

Het is niet mogelijk gebleken met de summier informatie die beschikbaar was, een volledige evaluatie van het Deep Shaft systeem te bewerkstelligen. Uit de evaluatie is wel te concluderen dat er voornamelijk geen redenen zijn om nog langer te veronderstellen dat het Deep Shaft systeem voordelen zou hebben boven een conventioneel laagbelast actief-slibstelsel voor de behandeling van stedelijk afvalwater. Een mogelijk geringer ruimtebeslag wordt met name ten gevolge van de scherpere N-eis gedeeltelijk teniet gedaan, aangezien met een geïntegreerde P- en N verwijdering nog weinig ervaring is opgedaan. Een betere slibstabilisatie en ontwaterbaarheid van het slib konden niet worden geverifieerd. De investeringskosten hoger. Derhalve blijft de toepassing van het Deep Shaft systeem voor de behandeling van stedelijk afvalwater slechts mogelijk in zeer specifieke gevallen.



*rapportage*

'Deep Shaft-systemen; een inventarisatie'.  
RWZI 2000 91-02, maart 1991.

project 3224

**Compactsystemen**

*inhoud en opzet*

Compactsystemen zijn in het onderzoekprogramma PN 1992 van de STOWA onderzocht als systemen voor nageschakelde nitrificatie en denitrificatie van stedelijk afvalwater. In het buitenland worden compactsystemen ook toegepast als systemen voor een totale en vergaande zuivering van stedelijk afvalwater, waarbij organische stof, N en P worden verwijderd. Daarbij valt te denken aan complete vervanging van het actief-slibstelsel of een combinatie van het actief-slibstelsel en het compactstelsel, zowel in serie als parallel. Voorbeelden van compactsystemen zijn het anoxische en aërobie Oxitronstelsel, het Bioforsstelsel en het aërobie Biocarbonstelsel.

In een haalbaarheidsstudie zijn de potentiële toepassingsgebieden voor de Nederlandse situatie in beeld gebracht.

*uitvoering*

Haskoning B.V., begeleid door:

- ing. J. Helmer (vz)

- ing. R. Kampf

- ing. G.B.J. Rijs

- ir. P.C. Stamperius

- ir.dr.s. E. van der Vorm-Gouman.

*kosten*

f 68.000,-.

*resultaten*

Dit onderzoek is in het laatste jaar van het onderzoekprogramma RWZI 2000 opgestart. Begonnen is met een goede afbakening van compactsystemen: als totaaloplossing of als nageschakelde techniek. De  $N_{\text{tot}}$ -concentratie ( $> 20-25$  mg/l) is de bepalende factor. Bij het behandelen van afvalwater met een  $N_{\text{tot}}$ -concentratie,  $< 20-25$  mg/l wordt gesproken over een nageschakelde techniek. Dit betekent dat ook een naschakeling van een compactstelsel achter een hoogbelast actief-slibstelsel kan worden beschouwd als een totaaloplossing. Op basis van onder andere dit selectie criterium is een aantal bestaande praktijktoepassingen van de compactsystemen Biofor, Biostyr en Biocarbon in het buitenland geëvalueerd. Aangezien de informatie verkregen uit de literatuur en door bezoeken aan praktijkinstallaties niet eenduidig zijn, kan vooralsnog geen uitspraak over de mogelijke toepasbaarheid van deze systemen voor de Nederlandse situatie worden gegeven.

*rapportage*

'Compactsystemen voor zuivering van stedelijk afvalwater'  
RWZI 2000 94-10, maart 1995 (in voorbereiding).

*inhoud en opzet*

Door de waterkwaliteitsbeheerders worden grote hoeveelheden bedrijfsgegevens van rwzi's verzameld aan de hand van het Nationaal Standaard Programma (NSP). Deze gegevens karakteriseren de belasting, de samenstelling van in- en effluent, energieverbruik, slibproductie en bedrijfsvoering. Behalve door het CBS wordt slechts incidenteel van deze databank gebruik gemaakt.

Doel van deze studie was na te gaan, welke mogelijkheden deze bedrijfsgegevens bieden bij het afleiden van procestechnische relaties tussen procesparameters, en welke knelpunten (betrouwbaarheid, volledigheid en aard van de gegevens) daarbij optraden. Mogelijke afgeleiden zouden een verdere optimalisatie van ontwerp en bedrijfsvoering van rwzi's kunnen zijn en eventuele onderzoeksrichtingen voor de toekomst.

*uitvoering*

DHV Water B.V., begeleid door:

- ir. P.J.M. Knaapen (vz)	- ir. A.H. Dirkzwager	- ir. P. de Jong
- ir. P. Schlösser	- ir. P.C. Stamperius.	

*kosten*

f 133.000,-

*resultaten*

Voor het omgaan met de beschikbare gegevensbestanden bestond geen vastgelegd pad; primair moest worden gewerkt vanuit de vraagstelling. Er is een algemene route ontwikkeld, die als leidraad kan dienen bij het afleiden van relaties en het omgaan met bedrijfsgegevens.

Gezien de actualiteit van de N-verwijdering en de gecompliceerdheid van de daarbij optredende relaties is in deze studie uitsluitend uitwerking gegeven aan de toepassing van de gegevensbestanden bij het afleiden van procestechnische relaties voor de N-verwijdering.

De verwachting is dat met een relatief geringe inspanning, bijvoorbeeld door enkele relevante procesparameters toe te voegen of te wijzigen, aanzienlijk meer informatie uit de gegevensbestanden kan worden gegenereerd.

*rapportage*

'Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's'.  
RWZI 2000 90-04, december 1990.

*inhoud en opzet*

Het driefasen-airliftsysteem is een uitvoeringsvorm van een slib-op-drager techniek, waarbij de biomassa is gehecht aan basalt. De reactor wordt opwaarts doorstroomd en bestaat uit twee concentrische buizen en een nabezinkruimte. Met de toepassing van het dragermateriaal wordt beoogd het gehalte aan biomassa in het zuiveringssysteem aanmerkelijk te

verhogen, waardoor hogere volumebelastingen kunnen worden toegepast bij gelijkblijvende zuiveringsprestaties. Naast ruimtebesparing wordt een geringere slibproductie dan bij conventionele actief-slibstelsystemen als een potentieel voordeel van het driefasen-airliftstelsysteem genoemd. Vanaf 1985 is onderzoek op laboratoriumschaal uitgevoerd naar de toepasbaarheid van het driefasen-airliftstelsysteem bij de zuivering van stedelijk afvalwater.

#### *uitvoering*

Fase I en II: TNO-MW (Delft), begeleid door:

- |                          |                       |                            |
|--------------------------|-----------------------|----------------------------|
| - ir. A. van Giffen (vz) | - dr. J. van Andel    | - ir. C. van Beersum       |
| - ir. A.J.M.L. Borghans  | - ir. W.A. Enger †    | - prof.dr.ir. J.J. Heijnen |
| - ir. A. Mulder          | - dr. R. Mulder       | - ing. G.B.J. Rijs         |
| - dr. ir. G. Schraa      | - ir. P.C. Stamperius | - ir. A.J. van der Vlugt   |
| - ir. T.W.M. Wouda.      |                       |                            |

Fase III: TNO-MW (Delft) in samenwerking met Paques B.V., begeleid door:

- |                          |                            |                     |
|--------------------------|----------------------------|---------------------|
| - ir. A. van Giffen (vz) | - prof.dr.ir. J.J. Heijnen | - ing. R. Kampf     |
| - ing. G.B.J. Rijs       | - ir. P.C. Stamperius      | - ir. T.W.M. Wouda. |

#### *kosten*

De totale projectkosten voor het laboratorium- en het 'pilot plant'-onderzoek (fase I en II) bedroegen f 2.040.000,-. Van dit bedrag kwam f 510.000,- ten laste van RWZI 2000. Voor een aanvullende fase zijn de bedragen voor totale projectkosten en RWZI 2000 bijdrage respectievelijk f 400.000,- en f 170.000,-. De overige participanten waren TNO, Gist-brocades en de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

De totale projectkosten voor het opschalings- en flankerend onderzoek naar vergaande biologische N- en P-verwijdering (fase III) bedragen f 1.676.000,-. Van dit bedrag komt f 200.000,- ten laste van RWZI 2000. De andere bijdragen komen van STOWA en de stimuleringsregeling 'Collectief bedrijfsgericht technologisch onderzoek' van TNO.

#### *resultaten*

De eerste fase van het onderzoek heeft aangetoond dat een aantal van de gestelde perspectieven, zoals een hogere volumebelasting en een geringere ruimtebehoefte, in principe kan worden gerealiseerd. Bij zuivering van stedelijk afvalwater in een driefasen-airliftreactor was het mogelijk de hydraulische verblijftijd met een factor 5-8 te reduceren door een aanzienlijke verhoging van de biomassa-concentratie tot 15-30 kg o.s./m<sup>3</sup>. Het zuiveringsproces verliep in deze fase I niet altijd stabiel, wat werd veroorzaakt door schommelingen in de biomassa-concentratie.

In fase II (1987-1989) is met 25 l reactoren met name aandacht besteed aan de processtabiliteit, het gedrag van zwevend stof in de reactor en het vaststellen van de slibproductie. Bij een hydraulische verblijftijd van 1,5 uur werd een stabiel proces verkregen. Tevens trad bij een belasting tot ca. 10 kg CZV/m<sup>3</sup>.dag en een biomassa-concentratie van 10 à 30 kg o.s./m<sup>3</sup> een goede verwijdering van opgelost en colloïdaal CZV op (75%). Bij voeding met ruw rioolwater bedraagt het zuiveringsrendement betrokken op het CZV<sub>totaal</sub> circa 50 %, wat wordt veroorzaakt door de geringe omzetting van het zwevend stof die aanwezig is in het influent. De bezinkingseigenschappen van het zwevend stof in het effluent zijn matig tot slecht.

Het nitrificatieproces verliep in de driefasen-reactor stabiel, met een zeer hoog rendement (74-78 %); het N<sub>Kj</sub>-gehalte in het effluent was doorgaans lager dan 4 mg/l. Deze nitrifica-

tierendementen werden bereikt bij CZV-volumebelastingen van maximaal 6-8 kg CZV/m<sup>3</sup>.d. De nitrificatiecapaciteit bedroeg in de reactoren gevoed met ruw rioolwater 1 kg N/m<sup>3</sup>.d.

De slibproductie in de drie-fasen-airliftreactor - zijnde de som van de hoeveelheid primair slib en de slibgroei of biomassa-yield - met een voldoende hoog biomassagehalte ( $\geq 20$  g o.s./l) en gevoed met ruw rioolwater bedroeg 0,3-0,4 kg o.s./kg CZV<sub>verwijderd</sub> bij een slibbelasting van 0,4-0,6 kg CZV/kg o.s.d. Deze slibproductie is vergelijkbaar met die van laagbelaste actief-slibsystemen. De biomassa-yield in de driefasen-airliftreactor bedroeg 0,1-0,3 kg CZV/kg CZV<sub>omgezet</sub>.

In een technisch-economische evaluatie is nagegaan hoe de drie-fasen-airliftreactor ingezet zou kunnen worden bij de toekomstige zuivering van stedelijk afvalwater. Bij de berekeningen hebben de toekomstige stikstof- en fosfaateisen een belangrijke rol gespeeld. De zuiveringsfunctie van het driefasen-airliftsysteem is hierdoor vooralsnog veranderd van algehele zuiveringstechnologie naar deelzuivering.

In fase III, 'Uitontwikkeling en demonstratie', wordt aandacht besteed aan een verdere opschaling naar een semi-technische schaal en de ontwikkeling van een driefasen-airliftreactor met geïntegreerde biologische N- en P-verwijdering.

Het opschalingsonderzoek wordt uitgevoerd in twee demonstratie-reactoren, die parallel worden bedreven. In de ene reactor wordt gekeken naar CZV-omzetting en simultane nitrificatie. De andere reactor bevat ook een anoxisch compartiment, waarover het slib/watermengsel wordt gerecirculeerd. Door toepassing van deze denitrificatiestap zal nagegaan worden welke N-reductie bij zuivering van stedelijk afvalwater met behulp van een airliftreactor mogelijk is. Behalve aan deze zuiveringsprestaties (wellicht ook van P) zal in beide demonstratie-installaties ook aandacht worden gegeven aan de biofilm- en processtabiliteit, de slibproductie, hydraulische aspecten (RWA/DWA) en de zuurstofoverdrachtseconomie, uitmondend in operationele kosten. Daarnaast zullen opnieuw de technisch-economische perspectieven van het driefasen-airliftsysteem voor de zuivering van stedelijk afvalwater worden geëvalueerd.

In een flankerend onderzoek vindt een verdere ontwikkeling plaats van de integratie van het denitrificatieproces en worden de mogelijkheden bekeken van biologische P-verwijdering in de driefasen-airliftreactor. Ook wordt aandacht besteed aan de processtabiliteit door de oorzaken van het cyclisch patroon van de gehechte biomassa verder te onderzoeken, alsmede de invloed van dragerconcentratie op de processtabiliteit.

#### *rapportage*

'Ontwikkeling van een slib-op-drager systeem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater'. Fase II: Onderzoek naar de processtabiliteit en optimalisatie van het zuiveringsrendement. RWZI 2000 92-07, oktober 1992.

Rapport over fase III wordt verwacht in januari 1996.

project 3228            **Linpor systeem**

#### *inhoud en opzet*

Het Linpor-zuiveringssysteem is een slib-op-drager techniek waarbij de biomassa gehecht is aan een poreuze drager, veelal kubusvormige sponsjes (grootte ca. 2,5 cm, porositeit 94

%). Door het gebruik van deze dragers kan het slibgehalte in de aëratietanks worden verhoogd, waardoor bij gelijkblijvende zuiveringsprestaties hogere volumebelastingen kunnen worden toegepast. Tevens zou het zuiveringsproces aanmerkelijk stabielere kunnen verlopen. Dit deelonderzoek werd opgezet om de toepassingsmogelijkheden van het Linpor proces bij de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater te bestuderen, bijvoorbeeld ter bevordering van de processtabiliteit bij overbelaste rwzi's.

#### *uitvoering*

TNO-MW (Delft), begeleid door:

- |                            |                          |                       |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| - ir. C. van Beersum (vz)  | - ir. C. van Haastrecht  | - ir. P.C. Stamperius |
| - prof.dr. A.H. Stouthamer | - ir. A.J. van der Vlugt | - ir. T.W.M. Wouda.   |

#### *kosten*

De kosten voor fase I en II bedroegen respectievelijk f 480.000,- en f 400.000,-. De bijdrage van RWZI 2000 voor fase II was f 82.000,-. De overige participanten waren TNO en de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

#### *resultaten*

Toepassing van poreuze dragers in de aëratietanks kan de processtabiliteit van het systeem aanzienlijk verhogen. Tevens kunnen als voordelen worden genoemd een geringe verbetering van de CZV-verwijdering, een lagere slibvolume-index en een duidelijk betere nitrificatie met name bij lagere temperaturen. In dit Linpor systeem waren de aëratietanks voor maximaal 20 vol. % gevuld met sponsjes, waarop 12,5-25 kg biomassa/m<sup>3</sup> sponsjes kon worden geïmmobiliseerd. Dit betekent 2,5-5,0 kg gehechte biomassa/m<sup>3</sup> reactor. De hoeveelheid actieve biomassa is aanmerkelijk kleiner, aangezien diffusielimitatie optreedt. In een Linpor-N installatie, waarbij het dragermateriaal zich in een aparte tank voor nitrificatie van het effluent (30 vol. % sponsjes, 5-6 mg O<sub>2</sub>/l) bevindt, kan 0,3-0,5 kg N/m<sup>3</sup>.reactor.dag genitrificeerd worden.

De kosten van het systeem zijn hoog. Dit geldt zowel voor de investerings- als voor de exploitatiekosten, onder andere door slijtage van de sponsjes en een hoger energieverbruik.

#### *rapportage*

'Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater'.  
RWZI 2000 90-07, oktober 1990.

## project 3229      **Drie-slibsoortensysteem**

#### *inhoud en opzet*

Het drie-slibsoortensysteem wordt gekenmerkt door drie in serie geschakelde bioreactoren. De eerste reactor is een hoogbelaste actief-slibpropstroomreactor, waarin biologische defosfatering en organische-stofverwijdering plaatsvinden. In een tussenbezinktank wordt het slibwatermengsel gescheiden. Stikstofcomponenten worden verwijderd in twee nageschakelde fixed-film reactoren door middel van nitrificatie en denitrificatie. Tijdens het onderzoek is methanol als externe koolstofbron aan de denitrificerende bioreactor gedoseerd. Het opsplitsen van het zuiveringsproces in drie deelprocessen heeft als voordeel dat optimale procescondities kunnen worden aangehouden. Het gevolg is dat de afzonderlijke

biomassa's een hogere activiteit bezitten, wat kan leiden tot een verbeterde effluentkwaliteit en een compactere rwzi.

In een semi-technisch onderzoek is de werking van het drie-slibsoortensysteem onderzocht aan de hand van de verwijderingsrendementen van CZV, N en P per trap. Het onderzoek bevat de volgende onderdelen:

- bepalen van de maximale hydraulische belasting;
- bepalen van het effect van RWA/DWA en de dag/nacht-ritme op de stabiliteit van het proces.

#### *uitvoering*

Tauw Milieu B.V. in samenwerking met LU-Wageningen, vakgroep Milieutechnologie, begeleid door:

- |                       |                      |                       |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| - ing. J. Helmer (vz) | - ir. S.S.J. Houtman | - drs. M.E. Ikelaar   |
| - ing. R. Kampf       | - ing. G.B.J. Rijs   | - ir. P.C. Stamperius |
| - ir. T.W.M. Wouda.   |                      |                       |

#### *kosten*

De totale projectkosten bedroegen f 462.060,-. Van dit bedrag kwam f 184.824,- ten laste van RWZI 2000; het resterende bedrag komt voor rekening van de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

#### *resultaten*

In het semi-technisch onderzoek staan naast het zuiveringsrendement ten aanzien van zwevend stof, CZV, P en N, de processtabiliteit en met name de fosfaatopname bij biologisch defosfateren in een hoogbelast systeem centraal, alsmede de invloed van deze hoogbelaste biologische defosfatering op de nageschakelde N-verwijdering. De minimale hydraulische verblijftijd voor de hele proefinstallatie exclusief tussenbezinktank waarbij de gestelde eisen ( $N_{\text{tot}} < 10 \text{ mg/l}$ ,  $P_{\text{tot}} < 1 \text{ mg/l}$ ) konden worden gerealiseerd, bedroeg 8 uur.

In de eerste bioreactor zijn een stabiele procesvoering en een vergaande fosfaatverwijdering gerealiseerd bij een hydraulische verblijftijd van 4 uur en bij een gemiddelde slibbelasting van 0,6 kg CZV/kg ds.d. De SVI was ca. 60 ml/g. Bij het bepalen van de maximale belasting kon de hydraulische verblijftijd worden teruggebracht tot 3 uur zonder dat er een overschrijding plaatsvond van de fosfaateis van 1 mg/l. Een verlaging van de hydraulische verblijftijd tot 2,7 uur resulteerde in een verhoging van het fosfaatgehalte in het effluent. De maximale nitrificatiecapaciteit bedroeg 0,8 kg  $\text{NH}_4 \text{ N/m}^3 \cdot \text{d}$ , wat vergelijkbaar is met bestaande nitrificerende biofilmsystemen. De maximale denitrificatiecapaciteit zal, evenals de processtabiliteit voor RWA/DWA-verhoudingen, in de loop van het onderzoek bepaald worden.

Op basis van de onderzoeksgegevens, die tot dusver beschikbaar zijn, is berekend dat het totaal benodigde volume van een drie-slibsoortensysteem aanzienlijk minder (slechts 2/3) hoeft te zijn in vergelijking met een ultralaag belaste actief-slibinstallatie met dezelfde effluentkwaliteit.

Uit een globale kostenvergelijking blijkt dat de jaarlijkse kosten van het drieslibsoortensysteem in dezelfde orde van grootte liggen of zelfs iets lager zijn dan die van AA/O-proces of een zeer laag belast omloopsysteem. Het zwevend-stofgehalte in het effluent was laag ( $< 10 \text{ mg/l}$ ) door toepassing van een tussenbezinktank en door de filtrerende werking van de biofilmreactoren. Om deze reden is bij de kostenberekening bij het drie-slibsoortensysteem geen nabezinking opgenomen.

*rapportage*

'Behandeling van stedelijk afvalwater met het drie-slibsoortensysteem'  
RWZI 2000 94-10, mei 1995 (in voorbereiding).

project 3225/1      **Knelpunten bij de invoering van defosfateringstechnieken**

*inhoud en opzet*

In 1988 waren voor de korte termijn scherpere lozingseisen voor P te verwachten, met als gevolg dat op grote schaal gedefosfateerd zou moeten worden. Om deze reden is voor een aantal verschillende defosfateringstechnieken de 'state of the art' van elke techniek nagegaan en werd vastgesteld met welke randvoorwaarden en knelpunten bij de invoering rekening moest worden gehouden. Tevens zijn de belangrijkste consequenties voor chemicaliënverbruik, verzouting van het effluent, slibproductie en kosten nagegaan.

De beschouwde defosfateringstechnieken zijn chemische precipitatie, korrelreactor, magnetische separatie, biologische defosfatering en vlokfiltratie.

*uitvoering*

Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs B.V., begeleid door:

- ir. W van Starckenburg (vz)      - ing. G.B.J. Rijs      - ir. P.C. Stamperius.

*kosten*

f 64.000,-

*resultaten*

De studie, die de situatie in 1988 beschrijft, geeft aan dat met name de biologische defosfateringstechnieken perspectief hebben voor Nederland. De chemische defosfatering is weliswaar eenvoudig en betrouwbaar, maar er zijn nadelen aan verbonden. Er ontstaan reststoffen die niet kunnen worden hergebruikt en het effluent wordt belast met een zoutvracht. De nieuwe technieken zijn minder ver ontwikkeld. Bovendien heeft het lagere fosfaatgehalte in het influent als gevolg van de introductie van fosfaatvrije wasmiddelen geen positieve invloed op de kosten van de korrelreactor en magnetische separatie, zoals dit wel het geval is bij chemische precipitatie.

Met de resultaten van deze studie als uitgangspunt is een aantal defosfateringsonderzoeken uitgevoerd. Deze onderzoeken zijn voor een deel in het kader van RWZI 2000 en voor een deel in het kader van het STOWA programma PN 1992 uitgevoerd.

*rapportage*

'Knelpunten bij de invoering van defosfatering'.  
RWZI 2000 89-02, april 1989.

*inhoud en opzet*

Biologische P-verwijdering is gebaseerd op het feit dat bepaalde micro-organismen (*Acinetobacter*) meer fosfaat uit het afvalwater kunnen opnemen dan voor de celgroei noodzakelijk is. Onder anaërobe condities wordt het opgeslagen fosfaat weer afgegeven aan de waterfase.

Bij het biologisch defosfateren volgens het deelstroomprincipe vindt deze P-afgifte onder anaërobe omstandigheden gecontroleerd plaats in een zogenaamde P-afgiftetank, die in de sliblijn is geplaatst. De vrijgekomen fosfaatrijke supernatant kan door een fysisch-chemische defosfateringsmethode verder worden behandeld. Het voordeel van biologisch defosfateren volgens het deelstroomprincipe boven andere defosfateringstechnieken is de aanzienlijk gereduceerde stroom water waaruit fosfaat verwijderd wordt in vergelijking tot de oorspronkelijke influentstroom. Afgeleide voordelen zijn de lagere chemicaliëndosering en zoutbelasting van het effluent.

In een semi-technisch onderzoek zijn de mogelijkheden nagegaan voor vergaande P- en N-verwijdering op de rwzi Eindhoven volgens biologische defosfatering in de deelstroom, gevolgd door chemische precipitatie van de fosfaatrijke supernatant. Een tweede hoofddoel van dit onderzoek was het beheersen van de slibbezinkingseigenschappen.

*uitvoering*

Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant, begeleid door:

- |                               |                     |                      |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| - ir. W van Starckenburg (vz) | - ir. P. de Jong    | - ing. P.J.C. Kuiper |
| - ir. J. Ebbenhorst           | - drs. M.E. Ikelaar | - ir. P.J.M. Knaapen |
| - ir. P.C. Stamperius         | - ir. P. Tessel.    |                      |

Aan de begeleidingscommissie namen tevens de projectleiders deel van andere biologische defosfateringsonderzoeken, die in het kader van PN 1992 of door de waterkwaliteitsbeheerders zelf waren geïnitieerd.

*kosten*

f 150.000,- Hiervan is f 50.000,- bijgedragen vanuit RWZI 2000 en f 100.000,- door GTD Oost-Brabant.

*resultaten*

Centraal in het onderzoek op de rwzi Eindhoven stond een vergaande biologische defosfatering volgens het deelstroom-principe gevolgd door chemische precipitatie van de geconcentreerde P-stroom, gekoppeld aan een vergaande biologische N-verwijdering en het voorkomen van licht-slib met behulp van een selector en compartimentering van de aëratieruimte.

Gebleken is dat  $N_{\text{tot}}$ -gehalten  $< 10$  mg/l en  $P_{\text{tot}}$ -gehalten  $< 1$  mg/l in het effluent gerealiseerd kunnen worden, wat overeen komt met een verwijderingsrendement van respectievelijk 75 % en 90 %. Deze resultaten zijn verkregen bij een slibbelasting van 0,25 - 0,30 kg CZV kg ds.d, een anaërobe ruimte van 25-30 %, een slibrecirculatie-factor van 2 en door behandeling van 12,5 % van het retourslib. De verblijftijd in de P-afgiftetank is in dit onderzoek vastgesteld op minimaal 5 uur bij een acetaatdosering van 30 mg acetaat/g ds. De totale slibproductie stijgt door de verdere behandeling van de geconcentreerde P-stroom met 12,5 % bij kalkprecipitatie en 7,5 % bij gebruik van  $\text{FeCl}_3$ .



Door het toepassen van een aërobe propstroomselector en compartimentering van de aëratieruimte was het onder de gegeven procesomstandigheden mogelijk een stabiele slibvolume-index van 110-150 ml/g te handhaven.

#### *rapportage*

'Pilot-plant onderzoek naar biologische N- en P-verwijdering op de rwzi Eindhoven'.  
RWZI 2000 91-01 W, maart 1991.

### project 3225/3      **Biologische P-verwijdering in de deelstroom gevolgd door korrelreactor**

#### *inhoud en opzet*

Biologische P-verwijdering is gebaseerd op het feit dat bepaalde micro-organismen (*Acinetobacter*) meer fosfaat uit het afvalwater kunnen opnemen dan voor de celgroei noodzakelijk is. Onder anaërobe condities wordt het opgeslagen fosfaat weer afgegeven aan de waterfase.

Bij het biologisch defosfateren volgens het deelstroomprincipe vindt deze P-afgifte onder anaërobe omstandigheden gecontroleerd plaats in een zogenaamde P-afgiftetank, die in de sliblijn is geplaatst. De vrijgekomen fosfaatrijke supernatant kan door een fysisch-chemische defosfateringsmethode verder worden behandeld. Het voordeel van biologisch defosfateren volgens het deelstroomprincipe boven andere defosfateringstechnieken is de aanzienlijke gereduceerde stroom water waaruit fosfaat verwijderd wordt. Afgeleide voordelen zijn de lagere chemicaliëndosering en zoutbelasting van het effluent.

Een semi-technisch onderzoek heeft zich gericht op de optimalisatie van biologische P-verwijdering volgens het deelstroomprincipe en de toepassing van de korrelreactor voor de behandeling van het fosfaatrijke supernatant. Daarnaast zijn de mogelijkheden van primair-slibverzuring onderzocht.

#### *uitvoering*

LU-Wageningen, vakgroep Milieutechnologie en DHV Water B.V., begeleid door:

- |                               |                     |                      |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| - ir. W van Starckenburg (vz) | - ir. P. de Jong    | - ing. P.J.C. Kuiper |
| - ir. J. Ebbenhorst           | - drs. M.E. Ikelaar | - ir. P.J.M. Knaapen |
| - ir. P.C. Stamperius         | - ir. P. Tessel.    |                      |

Aan de begeleidingscommissie namen tevens de projectleiders deel van andere biologische defosfateringsonderzoeken, die in het kader van PN 1992 of door de waterkwaliteitsbeheerders zelf waren geïnitieerd.

#### *kosten*

f 517.400,-; RWZI 2000 droeg f 207.000,- bij. De overige participanten waren LU-Wageningen, DHV en de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

#### *resultaten*

Het semi-technisch onderzoek heeft aangetoond dat onder wisselende hydraulische belastingen en temperatuurschommelingen biologische defosfatering in de deelstroom, gevolgd door een fysisch-chemische P-verwijdering met behulp van een korrelreactor, leidt tot continu lage fosfaatconcentraties (P-ortho 0,2 mg/l; P-totaal 0,9 mg/l) in het effluent,

mits de uitspoeling van zwevend stof gering is.

De fosfaatafgifte in de deelstroom onder de vorming van het fosfaatrijke supernatant wordt bevorderd door acetaat-doseringen van 10-20 mg CZV/g d.s. Een minimale verblijftijd in de strippertank van 4 uur is hierbij voldoende.

Het bleek zowel procestechnisch als uit kosten oogpunt mogelijk om primair-slibdosering toe te passen als alternatief voor deze acetaat-dosering. Op grond van een kostenanalyse is vastgesteld dat bij een benodigde dosering van 3-4 g CZV/i.e. aan acetaat de verzuring van primair slib hiervoor een alternatief kan zijn, indien de productie aan lagere vetzuren meer bedraagt dan 4 g CZV/i.e. Bij verzuring van primair slib is gebleken dat bij een temperatuur van 33 °C C<sub>2</sub> respectievelijk C<sub>2</sub> t/m C<sub>5</sub>-producties haalbaar zijn van gemiddeld 2 en 5 g CZV/i.e.

De korrelreactor, exclusief een nageschakeld snelfilter, is in staat 70-80 % van het fosfaat (20 tot 50 mg ortho-P/l) in het fosfaatrijke supernatant te verwijderen. Hierbij waren de procesomstandigheden: C<sub>totaal</sub> (CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) supernatant < 1 mmol/l; pH supernatant < 4-5; pH reactor 8-8,6; Ca/P verhouding 2-3 mol/mol; recirculatiefactor van 2-3.

#### *rapportage*

'Biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een korrelreactor'.

RWZI 2000 92-04, augustus 1992.

### project 3225/4      **Modelvorming en optimalisatie van biologische P-verwijdering**

#### *inhoud en opzet*

Het doel van dit fundamentele onderzoek was de nog bestaande leemtes in de microbiële kennis op te heffen, ter aanvulling op de informatie verkregen uit semitechnisch onderzoek en uit de praktijk. Verder beoogde dit project de fundamentele kennis op dit terrein te combineren met de ervaring uit de praktijk om te komen tot een onderbouwd ontwerpmodel voor biologische defosfatering. Randvoorwaarden bij dit onderzoek waren de mogelijkheid van simultane stikstofeliminatie en de verdere verwerking van het fosfaatrijke slib in de sliblijn.

#### *uitvoering*

Vakgroep Bioprocestechnologie van TU-Delft en vakgroep Microbiologie van LU-Wageningen, begeleid door een gebruikerscommissie bestaande uit:

- |                         |                            |                           |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| - drs. J.M.P. Beckers   | - drs. N. Boots            | - ir. E. Eggers           |
| - dr. M.M.A. Ferdinandy | - prof.dr.ir. J.J. Heijnen | - prof.dr. W.M. Konings   |
| - prof.dr. J.G. Kuenen  | - ir. J.H. Rensink         | - ir. W. van Starckenburg |
| - dr. M.A. Verschoor    | - prof.dr. A.J.B. Zehnder. |                           |

Terugkoppeling met de meer praktische biologische defosfateringsprojecten heeft plaats gevonden op enkele 'Fosfaatdagen'.

#### *kosten*

f 2.406.000,-. RWZI 2000 droeg f 852.000,- bij. Het resterende bedrag is bijgedragen door LU-Wageningen, TU-Delft en de 'Stichting Technische Wetenschappen'.

### *resultaten*

Uitvoering van het fundamentele onderzoek naar biologische defosfatering heeft plaats gevonden in twee deelprojecten: modelvorming bij de TU-Delft (modelvorming) en microbiële aspecten bij de LU-Wageningen.

Bij de TU Delft is de biologische P-eliminatie onderzocht in actief-slibcultures die vrijwel geheel uit biologische defosfateerders bestonden. Deze werden gekweekt in 'Sequencing Batch Reactoren', die goed te vergelijken zijn met continu bedreven actief-slibsystemen.

Uit het onderzoek is gebleken dat deze biologische defosfateerders de beschikking hebben over de reservestoffen polyhydroxybutyraat (PHB), polyfosfaat en glycogeen, waarbij deze laatste door limitatie veelal een essentiële rol speelt bij de biologische P-eliminatieprocessen.

De pH blijkt een belangrijke invloed te hebben op de opname en afgifte van P. Dit was tot voor kort onvoldoende onderkend. Dit kan grote gevolgen hebben voor de interpretatie van de P-activiteitsmetingen en het ontwerp van de P-afgiftetank.

In het aërobe deel van het biologisch P-eliminatieproces is waargenomen dat de P-opname zeer veel energie, en dus zuurstof kost. Hierdoor is het in principe mogelijk de P-activiteit te volgen aan de hand van respirometrie.

Het resultaat is een wiskundig model voor de biologische P-eliminatie (met één set van 10 parameters), dat gevalideerd is voor steady state en dynamische toestanden. Een breed gebied van slibleeftijden (5-20 dagen) en de opstart van het biologische P-eliminatieproces worden met dit model goed beschreven. Dankzij dit model kunnen goede schattingen worden gegeven van de hoeveelheid biologische defosfateerders in rwzi's en kunnen ontwerpregels en opstartprocedures worden vastgesteld voor zowel biologische defosfatering in de hoofd- als deelstroom. De modelleringsaanpak en verkregen resultaten zijn internationaal goed ontvangen, zodat naar verwachting een groot aantal elementen van dit model zullen worden geïncorporeerd in het IAWQ-model voor de beschrijving van de zuiveringsprocessen in een rwzi.

Bij het deelproject van de LU-Wageningen is het metabolisme van Renpho-slib en 'Fill & Draw'-slib vergeleken. Het Renpho-slib is afkomstig van een biologische defosfateringsinstallatie. Het 'Fill & Draw'(F&D) is een eenvoudig systeem waarmee op laboratoriumschaal, onder gecontroleerde condities biologische defosfatering kan worden bestudeerd.

De effecten van lagere vetzuren en stikstofoxyden op beide typen slib werden bestudeerd. Toevoeging van acetaat en glucose leidde tot een grotere oxydatiesnelheid in het 'F&D'-slib dan in het Renpho-slib. Ook de P-afgifte werd in het 'F&D'-slib groter (2 maal) door toevoeging van lagere vetzuren (acetaat en propionaat). De rol van acetaat in het metabolisme is nader bestudeerd met behulp van een gelabelde koolstofbron.

### *rapportage*

TU-Delft: 'Modelvorming en optimalisatie van biologische defosfatering van afvalwater; modellering'.

RWZI 2000 94-08, januari 1995 (in voorbereiding).

LU-Wageningen: 'Modelvorming en optimalisatie van biologische defosfatering van afvalwater; microbiële aspecten'.

RWZI 2000 93-03, november 1993.

*inhoud en opzet*

Magnetische fosfaatseparatie is gebaseerd op de verwijdering van fosfaat uit het water met behulp van magnetische krachten. Het fosfaat wordt evenals bij chemische precipitatie gebonden als onoplosbaar calciumfosfaat of als ijzerfosfaat. Vervolgens worden de precipitaten magnetisch gemaakt door ze te hechten aan magnetiet, zodat deze met magnetische krachten verwijderd kunnen worden. De afgevangen deeltjes worden in een opwerkingstrap weer gescheiden in magnetiet en het fosfaatprecipitaat. Eén van de toepassingsmogelijkheden van magnetische fosfaatseparatie is de P-verwijdering uit het effluent van een rwzi. Ter afronding van de ontwikkelingsfase van magnetische defosfatering voor toepassing bij effluenten van rwzi's, is de werking van een tweetal demonstratie-installaties op de rwzi's Huizen en Geldermalsen nagegaan. Streefwaarden van beide demo-projecten waren een  $P_{\text{tot}}$ -gehalte  $\leq 0,5$  mg/l en een magnetietverlies  $< 1$  % van de gedoseerde hoeveelheid. Tevens is in flankerend onderzoek de aandacht gevestigd geweest op het verkrijgen van ervaring met en het verder optimaliseren van de bedrijfsvoering en de processtabiliteit, het mogelijke hergebruik van het restprodukt en de exploitatiekosten.

*uitvoering*

Envimag B.V. in samenwerking met Haskoning B.V., Zuiveringschap Amstel- en Gooiland en Zuiveringschap Rivierenland, begeleid door:

- |                            |                           |                           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| - ir. A.J. v.d. Vlugt (vz) | - ing R. van Dalen        | - ir. C.J. van Haastrecht |
| - ing. P.J.C. Kuiper       | - ir. W. v.d. Panne       | - ing. J.C. Segers        |
| - ir. P.C. Stamperius      | - ir. W. van Starckenburg | - ing. H.J. van Veen.     |

*kosten*

f 942.300,-. De RWZI 2000-bijdrage was f 314.000,-. Het resterende bedrag voor het flankerend onderzoek kwam van de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie' en van Envimag B.V.

De kosten voor de bouw van de demonstratie-installaties zijn gefinancierd door de ministeries van EZ, VROM en V&W, Envimag B.V. en de zuiveringschappen Amstel- en Gooiland en Rivierenland.

*resultaten*

Binnen de tijdsduur van het project bleek het door storingen in de procesvoering niet mogelijk continu de streefwaarde van 0,5 mg  $P_{\text{tot}}$ /l in duurtesten te realiseren. Met kalk als precipitatiemiddel bedroeg het  $P_{\text{tot}}$ -gehalte in het effluent gemiddeld 0,8 mg/l voor de rwzi Huizen en 1,2 mg/l voor de rwzi Geldermalsen.

De magnetische defosfateringsinstallaties bleken gevoelig voor kalkafzetting. Wijziging van de flocculatie-eenheid en spoelen met zuur kunnen dit probleem ondervangen. Vanwege deze kalkafzetting is bij Huizen een duurtest uitgevoerd met  $\text{FeCl}_3$ -dosering in plaats van de gebruikelijke kalkdosering. Het  $P_{\text{tot}}$ -gehalte in het effluent bedroeg toen gemiddeld 0,7 mg/l.

Aan de streefwaarde voor het magnetietverlies  $< 1$  % kon ruimschoots worden voldaan. Het magnetietverlies bedroeg bij rwzi Geldermalsen 0,65 % van de gedoseerde magnetiet. In flankerend onderzoek is aandacht besteed aan het in kaart brengen van de nuttige afzetmogelijkheden van het restprodukt. De afzet van het kalkrestprodukt naar de landbouw voor onderhoudsbekalking biedt weinig perspectief, alhoewel de zuurstofbindende waarde

van het produkt goed is. Economisch kan het kalkrestprodukt niet concurreren met andere reststoffen, terwijl het P-gehalte een belemmering vormt voor de afzet in mestoverschotgebieden. Voor de afzet van het kalkrestprodukt als grondstof voor de fosfaatproduktie heeft slechts één van de vier benaderde kunstmestproducenten belangstelling getoond.

De kosten van magnetisch defosfateren in vergelijking met simultaan chemisch defosfateren en biologisch defosfateren zijn relatief hoog, maar vergelijkbaar met die voor de korrelreactor.

#### *rapportage*

'Onderzoek demonstratie-installaties magnetische defosfatering'.

RWZI 2000 93-02, april 1993.

### project 3225/6      **Biodenitro-Biodenipho systeem**

#### *inhoud en opzet*

Het Biodenitro-Biodenipho systeem is een actief-slibstelsysteem dat zodanig is ontworpen dat zowel fosfaat als stikstof op biologische wijze vergaand uit het afvalwater kan worden verwijderd. Het principe berust op alternerende nitrificatie en denitrificatie in twee paarsgewijs geschakelde beluchtingsbassins. Door alternerend te beluchten en te belasten worden in het te reinigen afvalwater aërobe en anoxische condities gecreëerd. Een voorgeschakelde anaërobe fase zorgt voor biologische defosfatering in de hoofdstroom.

Het Biodenitro-Biodenipho systeem heeft voor de N-verwijdering in vergelijking met voordennitrificatie en simultane denitrificatie het voordeel van een variabele en nauwkeurig in te stellen nitrificatie/denitrificatie zonder grote recirculatiestromen. Bij vergaande P-verwijdering is er sprake van een lager chemicaliënverbruik en fosfaatslibproduktie dan bij simultane defosfatering, en een eenvoudiger bedrijfsvoering dan de zogenaamde biologische defosfatering in de deelstroom.

Doelstelling van dit project was de stand van ontwikkeling van het systeem in Denemarken vast te stellen en de toepasbaarheid van het Biodenitro-Biodenipho proces voor de Nederlandse situatie na te gaan.

#### *uitvoering*

Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs B.V., begeleid door:

- ir. A.H. Dirkzwager (vz)

- ir. E. van 't Oever

- ir. P.C. Stamperius.

#### *kosten*

f 35.000,-

#### *resultaten*

In Denemarken wordt met het Biodenitro-Biodenipho systeem bij slibbelastingen van < 0,1 kg BZV/kg ds een effluentconcentratie van 3-8 mg  $N_{\text{tot}}$ /l bereikt met influentgehalten van gemiddeld 31 mg  $N_{\text{tot}}$ /l. In Nederland is de  $N_{\text{tot}}$ -gehalte in het influent hoger (49 mg  $N_{\text{tot}}$ /l). Ondanks deze hogere concentratie, een minder gunstige RWA/DWA-verhouding (2,5-4 i.p.v. 2) en een lagere BZV/N-verhouding (4,3 i.p.v. 6,2) ten opzichte van de Deense situatie was de conclusie dat het Biodenitro-Biodenipho proces ook in Nederland goed toepasbaar zou zijn. De stikstof- en fosfaatverwijdering met dit proces zouden voldoen aan

de Nederlandse lozingseisen. Dit werd bevestigd door semi-technisch onderzoek op de rwzi Ede in het kader van het programma PN 1992. Dit heeft in 1994 geresulteerd in een ombouw van de rwzi Ede (ontwerpcapaciteit van 300.000 i.e.) volgens het Biedenitro-Biedenipho systeem. Ook voor andere rwzi's zou het een mogelijk alternatief kunnen zijn voor andere stikstof- en fosfaatverwijderende systemen.

#### *rapportage*

'Verkenning Biedenitro-Biedenipho systeem'.

RWZI 2000 90-06, juni 1990.

### project 3234/1      **Nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste rwzi**

#### *inhoud en opzet*

Het praktijkonderzoek richtte zich op de haalbaarheid van vergaande biologische N- en P-verwijdering door aanpassing van de bedrijfsvoering in een zeer laagbelaste, volledig gemengde actief-slibinstallatie (rwzi Bergambacht). In de hoofdstroom is intermitterende beluchting toegepast. Daarnaast is de rwzi uitgebreid met een deelstroombehandeling van het retourslib, waarbij de nabehandeling van het fosfaatrijke supernatant in dit onderzoek buiten beschouwing is gelaten.

#### *uitvoering*

Grontmij Advies & Techniek B.V. in samenwerking met Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, begeleid door:

- |                               |                     |                      |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| - ir. W van Starckenburg (vz) | - ir. P. de Jong    | - ing. P.J.C. Kuiper |
| - ir. J. Ebbenhorst           | - drs. M.E. Ikelaar | - ir. P.J.M. Knaapen |
| - ir. P.C. Stamperius         | - ir. P. Tessel.    |                      |

Aan de begeleidingscommissie namen tevens de projectleiders deel van andere biologische defosfateringsonderzoeken, die in het kader van PN 1992 of door de waterkwaliteitsbeheerders zelf waren geïnitieerd.

#### *kosten*

f 598.500,-. De RWZI 2000 bijdrage was f 217.000,-. De overige participanten waren Flygt Pompen B.V., Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden en Grontmij Advies & Techniek B.V.

#### *resultaten*

Bij het praktijkonderzoek op de zeer laagbelaste rwzi Bergambacht (slibbelasting van 0,05 kg BZV/(kg d.s. d) was een jaargemiddelde van 8,0 mg/l  $N_{tot}$  en 0,4 mg/l  $P_{tot}$  mg/l mogelijk. Echter, in perioden met een watertemperatuur < 12 °C was de nitrificatiesnelheid onvoldoende om, met behoud van de anaërobie fasen in de hoofdstroom, een  $N_{tot}$ -gehalte van het effluent te bereiken  $\leq$  10 mg/l. De fosfaatverwijdering wordt niet door de temperatuur beïnvloed. De processtabiliteit is groot, maar bij een slibarbeidsfactor < 0,1  $d_1$  (d.w.z. minder dan 10 % van de actief-slibmassa doorloopt per dag de P-afgiftetank) is aanvullende selectie in de hoofdstroom noodzakelijk. De hoeveelheid fosfaat die in de P-afgiftetank in oplossing gaat, is maximaal bij een verblijftijd van 3 uur en een acetaatdosering van 15 mg acetaat/g ds. Het achterwege laten van de acetaatdosering kon niet worden gecompens-

seerd door langere verblijftijden in de P-afgiftetank. Daarnaast heeft verhoging van de acetaatdosering niet geleid tot een verhoogde of versnelde afgifte van fosfaat. Door onvoldoende neutralisering van het toegevoegde azijnzuur treedt bij  $\text{pH} < 7$  remming van de P-afgifte op.

Uit een kostenvergelijking tussen biologische defosfatering in de deelstroom met simultane chemische precipitatie en biologische defosfatering uitsluitend in de hoofdstroom is gebleken dat de kosten bij een slibarbeidsfactor van  $0,1 \text{ d}^{-1}$  in dezelfde orde van grootte liggen. De kosten zijn zeer gevoelig voor de gehanteerde uitgangspunten. Bij een grotere slibarbeidsfactor nemen de jaarlijkse kosten van biologische defosfatering volgens het deelstroomprincipe aanzienlijk toe.

#### *rapportage*

'Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste actief-slibinstallatie'.  
RWZI 2000 92-06, oktober 1992.

#### project 3234/2      **N-verwijdering uit interne stromen**

##### *inhoud en opzet*

Om vergaande N-verwijdering te kunnen bewerkstelligen in een conventionele actief-slibinstallatie staat een groot aantal zuiveringssystemen ter beschikking, hetzij door het naschakelen van compacte nitrificatie- en denitrificatiesystemen op basis van slib-op-drager techniek, hetzij door het aanbrengen van anoxische zones en recirculatievoorzieningen met als mogelijk gevolg een noodzakelijke uitbreiding van het aëratievolume; deze laatste uitbreiding van zuiveringscapaciteit gaat meestal gepaard met hoge kosten en een groot ruimtebeslag.

In dit project is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid van het behandelen van interne stikstofstromen die vrijkomen bij de slibbehandeling. Het betreft meestal afvalwaterstromen die qua debiet gering zijn, maar waarmee een relatief grote hoeveelheid stikstof naar de rwzi wordt teruggevoerd.

Fase I betrof een haalbaarheidsstudie naar mogelijke behandelingstechnieken van N-rijke retourstromen. In fase II zijn enkele geselecteerde technieken in een semi-technisch onderzoek onder praktijkomstandigheden uitgetest.

##### *uitvoering*

Fase I: DHV Water B.V., begeleid door: - ing. G.B.J. Rijs      - ir. P.C. Stamperius.

Fase II: DHV Water B.V. en Grontmij Advies & Techniek B.V., begeleid door:

- ir. J.J. Ebbenhorst (vz)                      - ir. S.G. van der Kooij                      - ir. A. Mulder  
- ing. G.B.J. Rijs                                  - ing. A.A.J.C. Schellen                      - ir. P.C. Stamperius  
- ir. M.J.L. van de Vondervoort.

##### *kosten*

Fase I: f 74.000,-.

Fase II: f 3.300.000,-, waarvan f 290.000,- door RWZI 2000 en f 1.070.000,- door de STOWA. De overige participanten zijn Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen,

Provinciale Waterstaat Utrecht, Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden en RWA Amsterdam.

#### *resultaten*

Bij actief-slibinstallaties hebben de interne stromen een  $N_{\text{tot}}$ -vracht van ca. 15 % van de influentvracht. Deze hoeveelheid is afkomstig van het overloopwater van de voorindikker (6 %), het overloopwater van de na-indikker (5 %) en het slibperswater bij de slibontwatering (5 %).

Met behulp van simulatieberekeningen is het effect nagegaan van buffering en behandeling van deze stikstofstromen op de effluentkwaliteit van een rwzi. Bij deze berekeningen is uitgegaan van een model-actief-slibinstallatie van 100.000 i.e. met een slibbelasting van 0,07 (omloopreactor) en 0,15 kg BZV/kg ds.d (propstroomreactor). Uit deze simulatieberekeningen blijkt dat de resultaten afhankelijk zijn van de manier waarop de rwzi gestuurd wordt: op een minimaal  $N_{\text{tot}}$ -gehalte of een minimaal  $\text{NH}_4^-$ -N-gehalte.

Het bufferen van deze interne stromen, met als doel het verlagen van de piekbelasting gedurende de dag, blijkt alleen in een verbeterde effluentkwaliteit te resulteren bij ammoniumsturing in de laagbelaste omloopreactor. Hierbij maakt het geen verschil of terugvoer naar de rwzi plaatsvindt gedurende de nacht of verspreid over de gehele dag.

De behandeling van de interne stromen blijkt het  $N_{\text{tot}}$ -gehalte in het effluent met gemiddeld 4 mg/l te verlagen, wanneer de rwzi wordt gestuurd op een minimaal  $N_{\text{tot}}$ -gehalte. Wanneer op minimalisering van het  $\text{NH}_4^-$ -gehalte wordt gestuurd, is het effect nog groter. Bij uitsluitend nitrificatie van de interne stromen is de reductie met ongeveer 2 mg  $N_{\text{tot}}$ /l minder dan bij volledige stikstofverwijdering uit de interne stromen.

Op basis van de uitkomsten van de simulatieberekeningen en een kostentechnische evaluatie van potentiële technologieën voor de behandeling van deze interne N-stromen in het RWZI 2000 programma, alsmede de bestaande belangstelling en de hieruit voortkomende initiatieven bij enkele waterkwaliteitsbeheerders, zijn vijf technieken geselecteerd om te worden uitgetest onder semi-praktijk omstandigheden: de driefasen-airliftreactor, ammoniakstrippen met (katalytische) naverbranding en met behulp van stoomstrippen, compacte biologische N-verwijdering met membraanscheiding en het CAFR-proces (Chemische Ammonium-Fällung und Rezyklierung). Het biomembraansysteem is uitgetest op het slibverwerkingsbedrijf Sluisjesdijk; de andere behandelingstechnieken op de rwzi Utrecht. Op de rwzi Amsterdam-Oost is een stoomstripinstallatie onderzocht. De experimentele fase vond plaats in 1994, zodat de definitieve resultaten nog niet beschikbaar waren bij het opstellen van deze nota. De onderzochte systemen voldeden in het algemeen wat het zuiveringsrendement betreft aan de verwachtingen. Een vergelijking van de kosten tussen de verschillende technieken moest nog worden uitgevoerd. In een bureaustudie is inzicht verkregen in de afzetmogelijkheden van de reststoffen en het chemicaliën- en energieverbruik van de betrokken technieken.

#### *rapportage*

Fase I: 'Stikstofverwijdering uit interne stromen op rwzi's'.

RWZI 2000 92-09, december 1992.

Fase II: Wordt in ander kader dan RWZI 2000 gepubliceerd (in voorbereiding, februari 1995)



*inhoud en opzet*

Nitrificatie van afvalwater stuit met name in de winter op problemen vanwege de lange generatietijden van nitrificerende micro-organismen en hun slechte concurrentiepositie. Vergroten van de nitrificatiecapaciteit leidt doorgaans tot uitbreiding van het aëratievolume, wat vergezeld kan gaan met hoge kosten en een groter benodigd oppervlak.

Door gebruik te maken van geïmmobiliseerde nitrificerende micro-organismen, die ingesloten zijn in gelbolletjes, kan volstaan worden met een geringer ruimtebeslag. Andere potentiële voordelen zijn een kortere opstarttijd, de mogelijkheid om zowel nitrificatie en denitrificatie in één bolletje te laten plaatsvinden en het mogelijk beter kunnen opvangen van piekbelastingen door diffusie van stoffen naar het centrum van het bolletje.

Het fundamenteel onderzoek had als doel meer inzicht te verkrijgen in de stabiliteit van het dragermateriaal in stedelijk afvalwater, de mate van overgroeiing van het systeem met heterotrofe micro-organismen en de mogelijke toepassingen met bijbehorende exploitatiekosten van geïmmobiliseerde nitrificerende micro-organismen bij actief-slibsystemen.

*uitvoering*

LU-Wageningen, vakgroep Levensmiddelen-technologie, begeleid door:

- |                               |                     |                             |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| - ir. A.W. van der Vlies (vz) | - ir. B.A. Heide    | - dr. M.M.A. Ferdinandy     |
| - ir. S.S.J. Houtman          | - drs. M.E. Ikelaar | - dr. ir. M. van Loosdrecht |
| - ir. P.C. Stamperius.        |                     |                             |

*kosten*

f 496.000,-. RWZI 2000-bijdrage bedroeg f 299.575,-. Het restant is bijgedragen vanuit de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

*resultaten*

Uit een kostenraming bleek dat de toepassing van een nageschakelde geïmmobiliseerde nitrificerende reactor (INR) lagere kosten tot gevolg had dan het uitbreiden van het aëratievolume van een conventionele actief-slibinstallatie. De kosten worden voornamelijk bepaald door de levensduur van de gelbolletjes. Bij voorschakeling zou een INR een goed alternatief zijn voor totale N-verwijdering. Een voorgeschakelde INR zou geen verhoging van de kosten (t.o.v. een conventioneel systeem) met zich mee brengen wanneer de levensduur van de gelbolletjes minimaal twee maanden bedraagt.

Het bleek mogelijk gelbolletjes te maken die meer dan 2 maanden stabiel zijn in stedelijk afvalwater. Enkele interessante materialen zijn polyethyleen glycol (PEG), polycarbamoyl sulfonaat (PCS) en polyvinyl alcohol (PVA). PEG wordt momenteel in Japan toegepast in verschillende pilot plant reactoren.

De hechting van heterotrofe micro-organismen aan het dragermateriaal is gering.

Het bleek mogelijk om met in PCS geïmmobiliseerde nitrificeerders voorbehandeld stedelijk afvalwater te nitrificeren. Verdere optimalisatie van het systeem is nog nodig.

Uit experimenten en modelvoorspellingen bleek dat geïmmobiliseerde nitrificerende micro-organismen minder gevoelig zijn voor temperatuurwisselingen dan gesuspenderde micro-organismen.

*rapportage*

Wordt in ander kader dan RWZI 2000 gepubliceerd (in voorbereiding, februari 1996).

*inhoud en opzet*

In een fundamenteel onderzoek is aan de hand van het modelorganisme *Thiosphaera pantatropa* de mogelijkheid onderzocht van een één-traps proces voor biologische stikstofverwijdering via simultane heterotrofe nitrificatie en aërobe denitrificatie in plaats van de doorgaans opeenvolgende autotrofe aërobe nitrificatie en anaërobe denitrificatie. Bij aanvang van het onderzoek bezat het modelorganisme de eigenschap om onder aërobe omstandigheden simultaan organisch koolstof en ammoniak te oxyderen, en nitraat en nitriet te reduceren. Op basis van deze eigenschap zou het in principe mogelijk moeten zijn gereduceerde stikstofverbindingen in één processtap tot N<sub>2</sub> om te zetten. Bij onderzoek naar N-verwijdering wordt steeds vaker rekening gehouden met het optreden van aërobe denitrificatie.

*uitvoering*

TU-Delft, vakgroep Bioprocestechnologie en begeleid door:

- |                               |                    |                    |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| - ir. A.W. van der Vlies (vz) | - ing. J.J. Jonk   | - dr. A. Klapwijk  |
| - prof.dr. J.G. Kuenen        | - dr. ir. W. Pronk | - ing. G.B.J. Rijs |
| - ir. A.M.G.A. van Boxtel.    |                    |                    |

*kosten*

f 1.743.400,-. De RWZI 2000-bijdrage bedroeg f 446.000,-. De overige participanten waren TU-Delft en de 'Stichting Technische Wetenschappen'.

*resultaten*

Het onderzoek is uitgevoerd met het modelorganisme *Thiosphaera pantatropa*, dat de eigenschap bezat onder aërobe omstandigheden simultaan organisch koolstof en ammoniak te oxyderen, en nitraat en nitriet te reduceren. Gedurende het onderzoek kwam vast te staan dat dit modelorganisme genetisch instabiel bleek te zijn en zijn eigenschap tot simultane heterotrofe nitrificatie en aërobe denitrificatie had verloren. Aangezien er geen andere vervangende organismen of mengpopulaties met deze eigenschap beschikbaar waren, is dit onderzoek voortijdig beëindigd.

Er zijn enkele omgevingsfactoren in kaart gebracht die van invloed zijn op het proces van simultane heterotrofe nitrificatie en aërobe denitrificatie, en er zijn enkele dynamische experimenten met *Thiosphaera panthatropa* en competitie-experimenten tussen dit modelorganisme en andere (heterotrofe) modelorganismen uitgevoerd. Van dit modelorganisme is een metabool gestructureerd en een kinetisch model opgesteld.

In bestaande rwzi's (slibbelasting >0,15 kg BZV/(kg d.s.dag), waarvan de Nkj-balans grote afwijkingen vertonen, zijn bekeken op het mogelijk optreden van aërobe denitrificatie. Het was niet mogelijk deze vorm van denitrificatie aan te tonen.

Na beëindiging binnen het kader van RWZI 2000 is het onderzoek voortgezet; op een andere wijze wordt nu invulling gegeven aan één van de oorspronkelijke doelstellingen: het energieverbruik voor beluchting en het doseren van een externe C-bron voor denitrificatie te verminderen. Een mogelijkheid is het uitvoeren van nitrificatie en denitrificatie via nitriet in plaats van nitraat. Dit wordt onderzocht bij de behandeling van het N-rijke slibperswater, zodat een directe relatie met de praktijk aanwezig is. Het CZV-verbruik wordt geoptimaliseerd door te voorkomen dat de gedoseerde organische koolstof wordt

opgeslagen als reservestof.

#### *rapportage*

'Mogelijkheden tot optimalisatie van de stikstofeliminatie'

RWZI 2000 94-09, januari 1995 (in voorbereiding)

### project 3234/5      **Anaërobe / denitrificerende biologische defosfatering**

#### *inhoud en opzet*

Biologische P-verwijdering berust op de eigenschap dat bepaalde micro-organismen (*Acinetobacter*) onder aërobe condities meer fosfaat uit het afvalwater kunnen opnemen dan voor de celgroei noodzakelijk is. Voor dit proces is zowel ten behoeve van de groei als voor de energielevering voor de vorming van polyfosfaat een hoeveel organische stof nodig. Ook bij de N-verwijdering is, indien gebruik wordt gemaakt van de biologische processen nitrificatie-denitrificatie, organische stof vereist.

Bij vergaande P- en N-verwijdering kan de hoeveelheid beschikbare organische stof limiterend worden, aangezien gewoonlijk verlies optreedt ten gevolge van oxydatie van organische stof door heterotrofe organismen.

In een fundamenteel onderzoek is de mogelijkheid nagegaan van een zuiveringssysteem waarin biologische defosfatering kan plaats vinden onder denitrificerende omstandigheden. Voordeel van dit Anaëroob-Anoxisch-Nitrificatie Proces ( $A_2/N$ -proces) is dat naar verwachting geen grote recirculatiestromen en het doseren van een externe C-bron niet meer nodig zijn.

#### *uitvoering*

TU-Delft, vakgroep Bioprocestechnologie en begeleid door:

- ir. S.S.J. Houtman (vz)

- ing. F.A. Brandse

- dr. M.M.A. Ferdinandy

- ing. G.A.P. van Geest

- drs. G.J. Kortstee

- ir. P.C. Stamperius.

#### *kosten*

f 556.600,-. De RWZI 2000-bijdrage was f 111.320,-. De overige participanten waren TU-Delft en de stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

#### *resultaten*

In het kader van de Stimuleringsregeling 'Milieutechnologie' is in een oriënterend onderzoek - waarin een actief-slibstelsysteem met een conventioneel anaëroob-aëroob regime voor biologische defosfatering is vergeleken met een te beproeven systeem volgens een anaëroob-denitrificerend regime - aangetoond, dat fosfaat-accumulatie in actief slib onder denitrificerende condities goed mogelijk is.

Uit dit vooronderzoek bleek tevens, dat slib uit een biologische defosfateringsinrichting reeds een denitrificerende/defosfaterende activiteit bezat, ofschoon het bestaan van deze denitrificerende/defosfaterende micro-organismen nog nimmer was aangetoond. In de rwzi's Holten en Genemuiden is vastgesteld dat circa 40 % van de totale bio-P-populatie bestond uit denitrificeerders die een bijdrage leveren aan de biologische P-eliminatie.

Het vervolgonderzoek binnen het RWZI 2000 programma naar het  $A_2/N$ -proces richtte zich met name op de kinetiek van de biologische defosfatering onder denitrificerende condities.

Het A<sub>2</sub>/N-proces wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een tussenbezinktank en de separate nitrificatie van de aflopende bovenste vloeistof. In een anoxische reactor wordt deze nitrificerende stroom gemengd met het slib uit de afgetapte stroom om denitrificatie en fosfaatopname mogelijk te maken. Het retourslib wordt gemengd met het aangevoerde rioolwater en komt terecht in een anaërobe reactor. In deze reactor wordt de organische stof opgenomen door de polyfosfaatophopende biomassa of ingevangen in de slibvlok. Hierbij treedt fosfaatafgifte naar de waterfase op. Tevens vindt ammonificatie van stikstofverbindingen plaats.

Omdat er geen verlies optreedt ten gevolge van aërobe oxydatie van organische stof, is het mogelijk alle CZV te gebruiken voor biologische defosfatering en denitrificatie. Grote recirculatiestromen en het doseren van een externe C-bron zijn naar verwachting niet meer nodig.

#### *rapportage*

'Biological phosphate removal under nitrifying conditions'  
RWZI 2000 94-11, juli 1995 (in voorbereiding).

### project 3244/1 en 3244/4      **Vermindering van de slibproductie**

#### *inhoud en opzet*

Het fundamentele onderzoek naar de vermindering van de slibproductie richtte zich op een vergaande reductie van de hoeveelheid zuiveringsslib, die vrijkomt bij de behandeling van rioolwater in conventionele zuiveringssystemen, door het toepassen van andere innovatieve aërobe zuiveringssystemen.

Vanuit twee invalshoeken (de ecologische en fysiologische) zijn de mogelijkheden onderzocht van een verminderde slibproductie met behoud van zuiveringscapaciteit en -rendement.

De ecologische aanpak tracht door het introduceren van slibetende organismen energie (en dus biomassa) in de vorm van CO<sub>2</sub> kwijt te raken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het energieverlies dat optreedt bij de overgang van de verschillende stappen in de voedselketen. De fysiologische aanpak streeft ernaar door veranderingen in de procesvoering (biomassa-retentie) een biomassa te verkrijgen met bacteriën, die veel energie nodig hebben om hun biomassa te vermeerderen, dan wel veel onderhoudsenergie nodig hebben. Toepassing van dit 'maintenance-concept' bij de zuivering van rioolwater in een actief-slibinstallatie, zonder aflat van biomassa en met een constante volumebelasting, zou kunnen leiden tot een dynamisch evenwicht tussen de grote hoeveelheid aanwezige biomassa en de hoeveelheid aangevoerd substraat. Ook indien geen echt evenwicht wordt, is de surplusslibproductie aanzienlijk kleiner dan in conventionele rwzi's.

Fase I betrof laboratorium-experimenten met kunstmatig afvalwater en in een later stadium met voorbezonden rioolwater. In fase II zijn de verkregen resultaten uit fase I geverifieerd in een semi-technisch onderzoek op een grotere schaal en onder praktijkomstandigheden.

#### *uitvoering*

Vakgroepen Microbiële Fysiologie en Theoretische Biologie van de VU-Amsterdam, begeleid door een commissie, die een sterk wisselend karakter had en bestond uit:

- |                            |                      |                       |
|----------------------------|----------------------|-----------------------|
| - ir. C. Kerstens (vz)     | - ir. C. van Beersum | - drs. N. Boots       |
| - ir. A.J.M.L. Borghans    | - ir. D.H. Eikelboom | - ir. E. Eggers       |
| - ir. B.A. Heide           | - ir. S.S.J. Houtman | - drs. M.E. Ikelaar   |
| - dr. R. Mulder            | - ing. G.B.J. Rijs   | - ir. P.C. Stamperius |
| - ir. W. van Starckenburg, |                      |                       |
- alsmede de uitvoerders van de projecten 3244/2 en 3244/3:
- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| - prof.dr. B. Witholt | - prof.dr.ir. J.J. Heijnen |
|-----------------------|----------------------------|

#### *kosten*

Fase I: f 950.000,-. De RWZI 2000 bijdrage was f 660.000,-. De overige participanten waren TNO, VU Amsterdam en de Stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

Fase II: f 706.337,-. De RWZI 2000 bijdrage bedroeg f 282.535,-. Het resterende bedrag werd verstrekt door de Stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

#### *resultaten*

Bij de ecologische aanpak is getracht de gevormde biomassa te laten consumeren door organismen als ciliaten, rotiferen en oligochaeten op een manier die de substraatafbraak niet beïnvloedt. Bij deze omvorming van bacterie-biomassa naar andere biomassa gaat energie verloren. Naarmate de voedselketen langer is, wordt het energieverlies groter. Uiteindelijk wordt nagenoeg alle energie gebruikt voor onderhoudsprocessen en blijft er weinig energie over voor biomassa-vorming. Deze hypothese is voor de worm *Nais elinguis* onder andere beschreven in het 'dynamic energy-budget'-model. Naast literatuurstudie zijn ook chemostaat-experimenten (zowel één- als tweetraps) uitgevoerd. Uit de experimenten is gebleken dat biologische slibreductie door begrazing door hogere organismen mogelijk is. In een tweetraps chemostaatexperiment was 12-43% reductie van biomassa mogelijk in de tweede chemostaat met ciliaten. De grootte van de reductie was afhankelijk van de groeisnelheid van de ciliaten.

Op de rwzi Deventer heeft monitoring plaatsgevonden van aantallen *Nais elinguis*, waarbij tevens de procesomstandigheden zijn geregistreerd. Gebleken is dat tijdens een wormenbloei geen spuislib behoeft te worden afgelaten. Een te grote groei van deze hogere organismen kan het zuiveringsproces verstoren. Om dit proces stabiel te laten verlopen is meer inzicht gewenst in de verschillende procesvariabelen die de begrazingsactiviteit bepalen. Uitvoeringsvormen zijn denkbaar, hetzij simultaan in de aëratievolume, hetzij als toegevoegde begrazingsstap.

Bij de fysiologische aanpak is op basis van laboratorium-experimenten (fase I) en semi-technisch onderzoek (fase II) onder praktijkomstandigheden aangetoond dat - vanuit een biologisch standpunt gezien - aërobe zuivering van voorbezonken stedelijk afvalwater bij hoge belasting zeer goed mogelijk is in een reactor met 100 % biomassa-retentie. Hierbij werd een zeer geringe hoeveelheid biomassa gevormd, terwijl het zuiveringsrendement vergelijkbaar was met dat van een conventioneel laagbelast actief-slibstelsel. Voorwaarde is dat het stedelijk afvalwater een voorbezinking ondergaat. Geen slibproductie werd waargenomen bij een slibbelasting van 0,03 kg CZV/(kg d.s. d). Bij deze lage belasting werd 90 % van de koolstofverbindingen in het influent gemineraliseerd tot kooldioxyde, 30-40 % van de Kjeldahl-stikstof werd verwijderd door denitrificatie. Deze denitrificatie werd mogelijk bevorderd door de afname in zuurstofoverdracht tengevolge van de hoge biomassa-concentratie. Er werd geen ophoping geconstateerd van inert of zeer moeilijk afbreekbaar materiaal. Gedurende één jaar bleek het niet nodig slib te spuien.

De biomassa-retentie, resulterend in een biomassa-concentratie van 40 kg d.s./m<sup>3</sup> in de

aëratietank, is verkregen door de slib/waterscheiding uit te voeren met membranen (micro-ultrafiltratie). De beperkte flux en de hiermee samenhangende hoge exploitatiekosten staan een praktische toepassing van slibretentie met behulp van membranen in de weg. Om deze reden zijn in een aanvullende studie (project 3244/5) de technische en economische haalbaarheid van bestaande alternatieve slib/waterscheidingssystemen vastgesteld.

*rapportage*

'Fundamenteel onderzoek vermindering slibproductie'.

RWZI 2000 94-03, september 1994.

project 3244/2      **High-performance bioreactor**

*inhoud en opzet*

Hooggesuspendeerde systemen of de zogenaamde 'high-performance' bioreactoren hebben door een hogere biomassa een aantal voordelen ten opzichte van conventionele actief-slibsystemen. Te noemen zijn een verhoogde afbraaksnelheid per reactorvolume; een geringere slibproductie door een hogere substraatverbranding versus celgroei en een mogelijke verbreding van de substraatrange, zodat ook andere verbindingen kunnen worden afgebroken. De hoge biomassa-concentratie in dergelijke bioreactorsystemen wordt verkregen door de slib/waterscheiding uit te voeren met membranen (micro-ultrafiltratie).

*uitvoering*

RU-Groningen, vakgroep Biochemie en begeleid door dezelfde commissie als die voor project 3244/1, uitgebreid met de uitvoerders van de projecten 3244/1 en 3244/3:

- prof.dr.ir. S.A.L.M. Kooijman      - prof.dr. A.H. Stouthamer      - prof.dr.ir. J.J. Heijnen

*kosten*

f 354.000,-

*resultaten*

In een uitgebreide haalbaarheidsstudie zijn de technisch-economische mogelijkheden van de scheiding van biomassa en water door middel van membranen geëvalueerd. De beperkte flux van circa 0,04 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h, die met de beschikbare membraantechnologie gerealiseerd kon worden en de hoge exploitatiekosten staan een toepassing van dergelijke bioreactorsystemen voor het zuiveren van het sterk verdunde stedelijk afvalwater in de weg. Toepassing wordt alleen dan mogelijk, indien de verhouding tussen prestaties en kosten van membranen aanzienlijk verbeteren. Specifieke toepassingen, zoals bij behandeling van afvalwaterstromen met kleine volumina (interne stromen van rwzi's), zijn eveneens mogelijk.

*rapportage*

'Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in municipal waste water treatment plants. A feasibility study'.

RWZI 2000 91-03, juni 1991.

*inhoud en opzet*

Doel van dit fundamentele onderzoek was het beschrijven van het gedrag van micro-organismen in biofilms op gesuspendeerde dragers in aërobe airlift-reactoren en het geven van een kwantitatieve modelmatige beschrijving van dit soort systemen. De aandachtspunten waren:

- \* snelheid van aangroei, dikte en geometrie van de biofilm;
- \* de microbiële samenstelling van de film;
- \* surplusslibproductie op sedimenthoudend afvalwater;
- \* de interactie van gesuspendeerde micro-organismen met de biofilmmicro-organismen.

In de toekomst zou dit model gebruikt kunnen worden bij de beheersing van de biolaagdikte, biolaagsamenstelling en de slibproductie in biofilm airlift(BAS)-reactoren.

*uitvoering*

Vakgroep Bioprocestechnologie van de TU-Delft, begeleid door dezelfde commissie als die voor project 3244/1, uitgebreid met de uitvoerders van de projecten 3244/1 en 3244/2:

- prof.dr.ir. S.A.L.M. Kooijman      - prof.dr. A.H. Stouthamer      - prof.dr. B. Witholt

*kosten*

f 560.000,-. De RWZI 2000 bijdrage was f 295.000,-. De overige participanten waren TU-Delft, Gist-brocades, Stichting Technische Wetenschappen en de Stimuleringsregeling 'Milieutechnologie'.

*resultaten*

Het fundamentele onderzoek bestond uit twee deelprojecten, waarbij de aandacht was gevestigd op de microbiologische en proceskinetische aspecten.

Het microbiologisch onderzoek richtte zich met name op de fysiologische overeenkomsten en verschillen tussen organismen, groeiende in suspensiecultures en organismen die in biolagen geïmmobiliseerd zijn. De achterliggende gedachte hierbij was de mogelijkheid om de beter beschikbare gegevens van gesuspendeerde cultures te gebruiken in biofilmmodellen. Aandachtspunten waren de specifieke activiteiten op diverse substraten, de groeisnelheid, de onderhoudsenergie en de surplusslibproductie.

Het bleek mogelijk de slibproductie in een biofilm airlift(BAS)-reactor te reduceren bij een hoge volumebelasting (2-5 kg CZV/m<sup>3</sup>.dag) door het opleggen van een lage slibbelasting. Biomassa-concentraties waren haalbaar tot 30-40 g/l. Behalve oxydatie van organisch materiaal trad doorgaans volledige nitrificatie op. Als nitrificatiereactor was een omzettingcapaciteit realiseerbaar van 6 kg N/m<sup>3</sup>.dag met een rendement van 95 %.

Gebleken is dat hechting en biofilmvorming van reïncultures veel moeizamer verloopt dan oorspronkelijk bij aanvang van het project werd verwacht. De Roto-torque reactor was hiervoor niet geschikt. De BAS-reactor op laboratoriumschaal blijkt voor de bestudering van biofilms een goed hulpmiddel omdat de begroeiing-dynamiek van deze laboratoriumreactoren goed vertaalbaar is gebleken naar de praktijkomstandigheden.

Het onderzoek naar de proceskinetische aspecten heeft zich met name geconcentreerd op een drietal nauw verbonden thema's: biofilmvorming, biofilmafslag en biofilmhetero-

geniteit.

In de thema's biofilmvorming en biofilmafslag zijn de aspecten van surplusslibproductie, de rol van gesuspendeerde micro-organismen op de biofilm en de snelheid van aangroei, dikte en geometrie bestudeerd. Dit heeft plaatsgevonden zowel bij heterotrofe als bij nitrificerende biofilms. Biofilmvorming eist een korte verblijftijd vanwege concurrentie met micro-organismen in suspensie. Biofilmafslag wordt sterk beïnvloed door de concentratie en de aard van de kale drager.

In het thema heterogeniteit is ingegaan op de microbiële samenstelling, waarbij de interactie van heterotrofe en nitrificerende micro-organismen in de biofilm is bestudeerd. Een opmerkelijk resultaat is dat als nitrificerende biofilms worden blootgesteld aan organisch substraat, een heterotrofe biofilm ontstaat op de aanwezige nitrificerende biofilm. De heterotrofe organismen groeien dus niet in de biofilm. Dit kan gunstig zijn, omdat bij afwezigheid van organische stof de heterotrofe biolaag verdwijnt, maar de oorspronkelijk aanwezige langzaamgroeiende nitrificerende biofilm behouden blijft.

Bij het onderzoek naar de heterogeniteit van biofilms is ook het transport van vaste stof naar en uit de biofilm bestudeerd. Uit tracermetingen met fluorescerende deeltjes is gebleken dat vaste stof in zeer korte tijd in de biofilm kan binnendringen. Dit is geheel anders dan tot nu toe doorgaans werd aangenomen.

Elk van de drie thema's hebben ingrediënten aangedragen voor modelmatige beschrijving van biofilms. Door de complexiteit van het biofilmproces was het niet mogelijk een algehele beschrijving van biofilms op te stellen. Wel zijn de nieuw verworven inzichten over biofilmvorming en de interactie tussen heterotrofe en nitrificerende micro-organismen toegepast in de opstart van de praktijkinstallatie van Gist-brocades en bij de opstart van een nitrificerende pilotreactor voor nitrificatie van slibperswater (project 3234/2).

#### *rapportage*

'Aërobe biofilm op gesuspendeerde drager ten behoeve van waterzuivering'  
RWZI 2000 94-06, december 1994 (in voorbereiding).

#### project 3244/5      **Alternatieven voor slibretentie**

##### *inhoud en opzet*

Uit het fundamenteel onderzoek naar een verminderde slibproductie bij de zuivering van stedelijk afvalwater (project 3244/1 en 3244/4) bleek het mogelijk in hooggesuspendeerde systemen een vergaande mineralisatie van organische stof en volledige nitrificatie te realiseren onder vorming van een zeer geringe hoeveelheid biomassa. Hierbij werd een stabiele biomassa-concentratie van 40 kg d.s./m<sup>3</sup> in de aërietank verkregen door de slib/waterscheiding uit te voeren met membranen (micro-ultrafiltratie). De beperkte flux en de hiermee samenhangende hoge exploitatiekosten staan een praktische toepassing van slibretentie met behulp van membranen in de weg.

De onderhavige studie had tot doel het vaststellen van de technische en economische haalbaarheid van alternatieve slib/waterscheidingssystemen. Hierbij is gekeken naar bestaande technieken of combinaties van technieken die een slib/watermengsel met 40 kg d.s./m<sup>3</sup> zodanig scheiden, dat een effluent met een droge-stofconcentratie  $\leq 20$  g/m<sup>3</sup> wordt verkregen.



### *uitvoering*

DHV Water BV in samenwerking met TNO-IMET, begeleid door:

- ir. C. Kerstens (vz)
- ir. D.H. Eikelboom
- dr.ing. M.H.V. Mulder
- ir. J. Rienks
- ir. P.C. Stamperius.

### Kosten

f 74.500,-

### *resultaten*

Bij de selectie van mogelijke slibretentiesystemen als alternatief voor micro-ultrafiltratie is rekening gehouden met de invloed die deze technieken kunnen hebben op de structuur van het slib. Zo komen gravitatietechnieken niet in aanmerking, als door een veranderde structuur van het slib sedimentatie of flotatie niet meer mogelijk is. Ook zijn technieken die niet toepasbaar zijn voor actief slib (hydrocycloon), die te sterk ontwateren (zeefbandpers, filterpers) of die alleen voor polishing van het effluent kunnen worden toegepast (zandfiltratie, HGMS), niet in beschouwing genomen. Op basis van een sterkte-zwakte-analyse komen de volgende drie slibretentiesystemen als technologisch alternatief voor micro-ultrafiltratie naar voren:

- decanters als eerste trap met bandfilters (fijn doek, polyelectroliet (PE)) als tweede trap;
- tweetrapsbezinking (principe van indikker gevolgd door nabezinktank);
- bezinktank (PE) als eerste trap met bandfilters (fijn doek, PE) als tweede trap.

Bij de dimensionering en kostenraming van de verschillende slibretentiesystemen is uitgegaan van een hooggesuspendeerd waterzuiveringssysteem (40 kg d.s./m<sup>3</sup>, RWA/DWA 3) voor 100.000 i.e., met een effluentkwaliteit van 20 g d.s./m<sup>3</sup>.

Geconcludeerd kan worden dat de exploitatiekosten van de in beschouwing genomen slibretentiesystemen enkele malen hoger zijn dan de totale kosten van conventionele biologische zuivering inclusief de slib/waterscheiding en de slibverwerking. Bij het verwachte polyelectroliet-verbruik zijn deze kosten zelfs hoger dan bij micro-ultrafiltratie. Bij de alternatieve slibretentiesystemen bepaalt het (hoge) PE-verbruik in belangrijke mate de exploitatiekosten. Eventueel nadelige gevolgen voor het oppervlaktewater, de risico's voor het bedienend personeel en het biologische zuiveringsproces zijn in deze technisch-economische evaluatie niet aan de orde geweest.

### *rapportage*

'Alternatieven voor de slibretentie bij hooggesuspendeerde waterzuiveringssystemen'.  
RWZI 2000 94-04, september 1994.

## project 3245/1      **Automatische meting/regeling van het slibgehalte**

### *inhoud en opzet*

Een goede beheersing van het droge-stofgehalte in beluchtingssystemen is noodzakelijk - voor een goede procesvoering. Bij een te hoog droge-stofgehalte stijgt de kans op slibuitspoeling, verslechtert de effluentkwaliteit en neemt het energieverbruik toe; een te laag droge-stofgehalte leidt tot onvoldoende zuiveringsresultaat (met name bij de nitrificatie) en onvoldoende gestabiliseerd slib (bij oxydatiesloten). Automatische meting en regeling van het droge-stofgehalte, gekoppeld aan slibspui, leidt tot een stabielere procesgang, groter

bedieningsgemak en besparing op energie, bedienings- en analysekosten.

Deze studie had tot doel de praktische mogelijkheden voor automatische sturing van het droge-stofgehalte in beluchtingssystemen te inventariseren en bij goede perspectieven de meest veelbelovende mogelijkheid uit te testen onder praktijkomstandigheden.

#### *uitvoering*

Adviesbureau BKH en begeleid door:

- ir. W.G. Werumeus Buning (vz)    - ing. H. Geurkink                            - ing. P.P. Weesendorp  
- ing. J.J. Jonk                            - ir. P.C. Stamperius                            - dhr. M.M.B. van Uden.

#### *kosten*

f 190.000,-

#### *resultaten*

Het onderzoek concludeerde dat in principe een reproduceerbare en betrouwbare continue slibconcentratie meting met een op de markt aanwezige optische slibconcentratie meting mogelijk was. Dit maakte een automatische regeling van het actief-slibproces mogelijk, waarbij van de diverse varianten een regeling van de slibspui op basis van een constant slibgehalte in de beluchtingstank de beste perspectieven bood. Reden hiervoor was dat deze vorm van regeling het beste aansloot op de huidige praktijk van regeling en de meest eenvoudige uitvoering had.

De praktijkervaring met automatische regeling van het slibgehalte was ten tijde van deze studie in Nederland nog beperkt. In een praktijkonderzoek op een laagbelaste actief-slibinstallatie (rwzi Nijmegen) zijn de randvoorwaarden en gevoeligheden van een automatische slibgehalteregeling op basis van een constant slibgehalte in de beluchtingstank onderzocht. Hierbij werd in twee parallelle, volledig gescheiden doch verder identieke straten de automatische regeling op basis van continue slibconcentratie meting vergeleken met handmatige regeling op basis van droge-stofbepalingen. Bij relatief grote afwijkingen van de slibconcentratie werd door automatische regeling sneller en nauwkeuriger gecorrigeerd. Toepassing van automatische regeling van de slibspui bood de beste perspectieven in kleine, discontinu bemande, actief-slibinstallaties met korte slibverblijftijd, indien dit plaats vond op basis van een constant slibgehalte in de aëriet tank. Voordeel was een groter bedieningsgemak en mogelijk een kostenbesparing, doch geen betere effluentkwaliteit of lager energieverbruik ten opzichte van een handgerregelde situatie.

#### *rapportage*

'Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks'.

RWZI 2000 90-05, september 1990.

project 3245/2 en 3245/3

### **Inventarisatie naar slibgehaltemeters**

#### *inhoud en opzet*

Een goede beheersing van het droge-stofgehalte in beluchtingssystemen is noodzakelijk voor een goede procesvoering. Automatische meting en regeling van het slibgehalte kan leiden tot een stabiel proces, een groter bedieningsgemak en tot mogelijke besparing op energie, bedienings- en analysekosten.

In project 3245/2 wordt door middel van een inventarisatie een overzicht gegeven van meetmethoden voor het on-line meten van slibgehalten op rwzi's, zowel van momenteel op de markt zijnde meetinstrumenten als van potentieel toepasbare apparatuur.

In project 3245/3 is de toepasbaarheid onderzocht van een optische sensor voor het meten slibgehalten in beluchtingsystemen van een rwzi die aanvankelijk was ontwikkeld voor het meten van hoge gistconcentraties in fermentoren. Deze sensor was door zijn ontwerp - namelijk het gebruik van een luchtlaag als optisch venster - in staat om onder de meest vervuilende omstandigheden te meten zonder zelf te vervuilen.

#### *uitvoering*

Waterloopkundig Laboratorium (project 3245/2) en TNO-MW (Delft) (project 3245/3) begeleid door een commissie bestaande uit:

- ir. C. van Beersum (vz)
- ir. H.L. Dorussen
- ir. P.C. Stamperius
- ir. W. van Starckenburg
- ir. W.G. Werumeus Buning

#### *kosten*

f 64.000,- (project 3245/2)

f 68.000,- (project 3245/3)

#### *resultaten*

De inventarisatie naar (nieuwe) meetmethoden voor het on-line meten van slibgehalten in rwzi's heeft niet geleid tot andere onderzoeksvelden. Ook hebben de resultaten niet geleid tot het initiëren van vervolgonderzoek, vooral omdat de behoefte bij waterkwaliteitsbeheerders naar dergelijk onderzoek onduidelijk was. In het verkregen overzicht is van elke meetmethode de belangrijkste kenmerken vermeld; ook zijn tekortkomingen aangegeven en suggesties ter verbetering gedaan.

Uit het onderzoek naar de toepasbaarheid van de optische gasvenstersensor is geconcludeerd dat het meetbereik (maximaal tot 2,5 g/l) te beperkt is voor de spreiding in slibgehalten in de beluchtingsruimte van een rwzi. Een groter meetbereik is alleen te bewerkstelligen door het toepassen van een kleinere effectieve weglengte door middel van een sensor zonder luchtlaag. Het grote voordeel van geringe vervuiling gaat hiermee echter ook verloren.

#### *rapportage*

- project 3245/2 'Inventarisatie slibghaltemeters voor rwzi's'  
RWZI 2000 91-04 W, maart 1991
- project 3245/3 'Toepasbaarheid van een gasvenstersensor voor het meten van het slibgehalte'  
RWZI 2000 90-01 W, mei 1990.

#### project 3312 **Thermofiele slibgisting**

#### *inhoud en opzet*

De anaërobie slibgisting beoogt de hygiënische kwaliteit te verbeteren, de voor stank verantwoordelijke stoffen af te breken, de hoeveelheid organische stoffen te verminderen

en de ontwaterbaarheid te verbeteren.

In dit project zijn door middel van een literatuurstudie en een vergelijkend semi-technisch onderzoek de voor- en nadelen van mesofiele en thermofiele slibgisting bestudeerd. Aandachtspunten in het onderzoek waren:

- vergistingssnelheid;
- produktie van methaangas en afbraakpercentage organische stof;
- reductie van pathogene micro-organismen;
- stabiliteit, ontwaterbaarheid en verwerkbaarheid van uitgegist slib.

#### *uitvoering*

LU-Wageningen en RIZA.

#### *kosten*

f 95.000,-

#### *resultaten*

De literatuurstudie gaf aan dat de verschillen in organische-drogestofafbraak en gasproduktie tussen mesofiele en thermofiele slibgisting over het algemeen gering waren en nauw verbonden waren met de samenstelling van het uitgangsmateriaal.

Uit het semi-technisch onderzoek zijn de vooraf vermeende voordelen van thermofiele slibgisting ten opzichte van mesofiele slibgisting, zoals kostenbesparing en een beter te ontwateren zuiveringsslib niet bevestigd. De gasproduktie kwam weliswaar 10 tot 25 % hoger uit en de afdoding van pathogene micro-organismen was bij thermofiele slibgisting doorgaans beter, maar de slechtere ontwaterbaarheid van het zuiveringsslib bepaalde voor het overgrote deel de economische haalbaarheid van thermofiele slibgisting.

De algehele conclusie was derhalve dan ook dat de keuze voor een thermofiele in plaats van een mesofiele slibgisting in Nederland niet voor de hand ligt.

#### *rapportage*

'Vergisten van zuiveringsslib; een vergelijking tussen thermofiele en mesofiele slibgisting'.  
RWZI 2000 92-02, maart 1992

project 3313

### **Vergisten van aëroob gestabiliseerd slib**

#### *inhoud en opzet*

Aanleiding voor dit project was de uitbreiding van de rwzi Beemster (type Carrousel) door het verhogen van de slibbelasting. Het gevolg hiervan was dat het slib in de aëratietank niet vergaand gemineraliseerd werd en derhalve anaëroob gestabiliseerd diende te worden.

Aangezien slechts een zeer beperkte ervaring met het vergisten van secundair spuislib bekend was, zijn een literatuurstudie en semi-praktijkonderzoek uitgevoerd. Met dit onderzoek werd beoogd de mogelijkheden na te gaan aëroob gestabiliseerd slib te vergisten, de processtabiliteit na te gaan, richtlijnen voor dimensionering op te stellen en inzicht te verkrijgen in de ontwateringseigenschappen.

#### *uitvoering*

Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen en DHV Water B.V., begeleid door:

- ir. P.C. Stamperius (vz)  
- ir. W. van Starckenburg.

- ir. S.B. Gaastra

- ing. P.J.C. Kuiper

#### *kosten*

f 60.000,-

#### *resultaten*

Uit het semi-praktijkonderzoek is gebleken dat vergisting van aëroob gestabiliseerd slib technisch mogelijk was. Het gistingsproces verliep stabiel en herstelde zich in korte tijd van temperatuurwisselingen en schokbelastingen. De maximale hydraulische en (organische-) droge-stofbelasting zijn niet vastgesteld, maar het vergistingsproces van aëroob gestabiliseerd slib verliep stabiel bij een organische droge-stofbelasting van ruim 5 kg/(m<sup>3</sup>.d) in combinatie met een hydraulische verblijftijd van 10 dagen. De gasproductie per kg verwijderd CZV bedroeg 300 tot 330 liter bij een CZV-afbraakpercentage van ruim 30 %.

De ontwateringsexperimenten hadden slechts een oriënterend karakter. Vastgesteld is slechts dat bij ontwatering in een lagune met het uitgegiste slib vergelijkbare droge-stofgehalten waren te bereiken als doorgaans in de praktijk werden verkregen met ingedikt aëroob gestabiliseerd slib.

#### *rapportage*

'Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib'.

RWZI 2000 90-03, augustus 1990.

### project 3314/1      **Carver-Greenfield droogtechniek**

#### *inhoud en opzet*

De Carver-Greenfield droogtechniek bestaat uit een meertrapsdroogproces. Kenmerkend is het gebruik van een hoogkokende, niet in water oplosbare dragervloeistof (meestal olie) voor het warmtetransport en om de slibmassa tijdens het indampen vloeibaar te houden. De Carver-Greenfield droogtechniek kent zowel een lichte- als een zware-olie-variant. Bij de lichte-olie-variant bevat het gedroogde slib een gering percentage (< 1%) van een goed biologisch afbreekbare olie, terwijl vet- en oliehoudende bestanddelen uit het te drogen slib als 'slibolie' worden afgescheiden. Deze slibolie kan als energiebron worden gebruikt. Bij de zware-olie-variant bevat het gedroogde slib een hoog percentage olie (tot circa 35 %) en wordt geen slibolie geproduceerd. Het gedroogde slib kan als afvalbrandstof worden gebruikt. De keuze tussen de lichte- of zware-olie-variant wordt primair bepaald door de afzetmogelijkheden.

In een technisch-economische evaluatie van met name de lichte-olie-variant is aandacht besteed aan de 'state of the art' van het proces voor het drogen van zuiveringsslib, de inpasbaarheid op een bestaande rwzi, milieuaspecten en de jaarlijkse kosten voor de Nederlandse situatie.

#### *uitvoering*

TNO-IMET in samenwerking met Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs B.V. en begeleid door een commissie, bestaande uit:

- ir. K.F. de Korte (vz)  
- ing. G.B.J. Rijs  
- ir. P.J. Tessel

- ing. R. van Dalen  
- ir. P.C. Stamperius  
- ir. W.G. Werumeus Buning

- ir. H.L. Dorussen  
- ir. W. van Starckenburg  
- ir. T.W.M. Wouda.

#### *kosten*

f 78.570,-

#### *resultaten*

De evaluatie heeft aangetoond dat de Carver-Greenfield droogtechniek goed inpasbaar is in een bestaande rwzi met een zuiveringscapaciteit van voldoende grootte; er is uitgegaan van een rwzi van 200.000 i.e. Daarbij werd verondersteld dat in de desbetreffende Carver-Greenfield installatie 8200 ton d.s. voorontwaterd slib per jaar met een droge-stofgehalte van 20 % werd verwerkt gedurende 5 dagen (24 uur/dag). Voordeel ten opzichte van conventionele droogsystemen was het lagere energieverbruik; daar tegenover stonden de ingewikkeldheid van het proces en de hogere investeringskosten.

Zo kon de vrijkomende slibolie bij de lichte-olie-variant een belangrijke bijdrage leveren aan de energievoorziening. Als het gehalte aan olie- en vetbestanddelen in het slib hoog was (10 % of meer op d.s.-basis) was het mogelijk de drooginstallatie autotherm te laten werken.

De jaarkosten voor het drogen van voorontwaterd slib met de lichte-olie-variant bedroegen f 690,- per ton droge stof (prijspeil 1988). Aangezien de kapitaallasten een groot deel (> 60 %) van de jaarkosten uitmaakten, had vergroting van de verwerkingscapaciteit een aanzienlijke verlaging van de jaarkosten tot gevolg (f 435,- per ton d.s. bij verwerkingscapaciteit van 30.000 ton d.s./jaar). De exploitatiekosten bedroegen circa 30 % van de jaarkosten. Het resterende percentage was nodig als storkosten en voor de zuivering van het vrijkomende condensaat. Dit condensaat was niet sterk verontreinigd en zou zonder een voorzuivering rechtstreeks op de rwzi kunnen worden geloosd. In de beschouwde situatie werden een CZV- en  $N_{Kj}$ -vracht op de rwzi berekend van respectievelijk 1 % en 6 %.

De Carver-Greenfield droogtechniek komt bij grote verwerkingscapaciteiten in aanmerking als alternatief voor slibverbranding of andere slibdroogprocessen in Nederland. Er bestaat enige terughoudendheid met betrekking tot de introductie vanwege tegenvallende resultaten van een semi-praktijkinstallatie in de USA.

#### *rapportage*

'Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfield proces'.

RWZI 2000 89-06, december 1989.

### project 3314/2      **Vertech natte-oxydatietechniek**

#### *inhoud en opzet*

De Vertech natte-oxydatietechniek berust op het principe van oxydatie van organische componenten - tot hoofdzakelijk kooldioxyde en water - in de waterfase met behulp van zuurstof. Voor natte-oxydatie is een temperatuur > 175 °C vereist en een hoge druk om te veel verdamping te voorkomen. Bij het Vertech systeem vindt dit proces plaats in een lange (1200 m) ondergrondse pijpreactor. Door de toevoer en de afvoer van de pijpreactor

uit te voeren als een systeem met twee concentrische buizen, is een efficiënt gebruik van de reactiewarmte mogelijk. De benodigde druk onderin de pijpreactor wordt bereikt door het gewicht van het bovenstaande gas/vloeistofmengsel.

In een vergelijkbare studie als die naar de Carver-Greenfield droogtechniek is het Vertech systeem zowel procestechnisch als economisch getoetst voor de toepasbaarheid op Nederlandse rwzi's.

#### *uitvoering*

TNO-IMET in samenwerking met Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs B.V. en begeleid door dezelfde commissie als die bij project 3314/1.

#### *kosten*

f 78.570,-

#### *resultaten*

Uit de evaluatie blijkt dat een Vertech natte-oxydatie-installatie goed inpasbaar is op een bestaande rwzi met voldoende zuiveringscapaciteit. In de beschouwde situatie betrof het een rwzi met een capaciteit van 200.000 i.e., waarop 8200 ton d.s. vergist slib (5 % d.s.) in een Vertech-installatie werd verwerkt. De CZV-reductie is circa 70-75 % en de afbraak van organisch gesuspendeerd materiaal bedroeg circa 90 %. Vergeleken met conventioneel mechanisch ontwaterd zuiveringsslib was het stortvolume een factor 3 - 4 kleiner. Het was niet mogelijk het decantaat, dat verkregen werd na de water/as-scheiding zonder voorzuivering op de rwzi te lozen. Indien geen voorzuivering plaatsvond zou dit resulteren in een verhoging van de CZV- en  $N_{Kj}$ -vracht met respectievelijk 20 en 45 %.

De jaarlijkse kosten voor het verwerken van zuiveringsslib met het Vertech natte-oxydatietechniek bedroegen in 1988 f 930,- per ton d.s. Deze jaarlijkse kosten konden worden onderverdeeld in investeringskosten (57 %), exploitatiekosten (38 %) en stortkosten (5 %). Vergroting van de verwerkingscapaciteit van 8200 naar 30.000 ton d.s./jaar resulteerde in een verlaging van de jaarlijkse kosten tot f 520,- ton d.s.

De Vertech natte-oxydatietechniek komt bij grote verwerkingscapaciteiten in aanmerking als alternatief voor slibverbranding in Nederland. Het grote voordeel ten opzichte van verbrandingstechnieken is de afwezigheid van een rookgasreiniging.

#### *rapportage*

'Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Vertech-systeem'.

RWZI 2000 89-07, december 1989.

### project 3314/3      **Hydrolyse met ammoniak gevolgd door anaërobe vergisting**

#### *inhoud en opzet*

Met mesofiele en thermofiele vergisting van zuiveringsslib is geen volledige afbraak van de organische stof mogelijk; 20-50 % van het organisch materiaal wordt niet afgebroken. Door verbetering van het rendement van de vergisting zal minder restmateriaal resulteren. Deze verbetering kan worden bereikt door het slib van te voren te hydrolyseren door middel van verhitting in combinatie met toevoeging van natronloog. Nadelen van dit proces zijn de

hoge zoutconcentraties in het effluent en hoge kosten voor de benodigde hoeveelheden chemicaliën.

In een verkennend onderzoek is getracht dit probleem te ondervangen door hydrolyse van zuiveringsslib met ammoniak te laten plaatsvinden, gevolgd door terugwinning van ammoniak en anaërobe vergisting van het hydrolysaat.

*uitvoering*

TNO-IMET, begeleid door dezelfde commissie als die bij project 3314/1

*kosten*

f 60.000,-

*resultaten*

Uit een theoretische evaluatie van de technische haalbaarheid van de hydrolyse met ammoniak was gebleken dat dit principe, inclusief terugwinning en hergebruik van ammoniak mogelijk was. Bij voorkeur zou dit proces moeten worden uitgevoerd met een mengsel van 20 % ammoniak en 80 % slib, bij een temperatuur van 100 °C en een druk van 6-7 bar.

Uit een globale kosten-batenanalyse bleek, dat de verblijftijd (maximaal 4 uren) in de hydrolyse reactor de voornaamste kostenbepalende factor was.

Uit oriënterende laboratoriumexperimenten met hydrolyse van gemengd primair en secundair zuiveringsslib en ammoniak bleek dat de methaanproductie bij anaërobe vergisting niet noemenswaardig toenam. Dit, ondanks het feit dat de concentratie van opgelost en fijn-colloïdaal materiaal (< 1,2 µm) na 3-4 uur tot 55-65 % van het totale CZV was toegenomen.

Geconcludeerd kan worden dat hydrolyse van zuiveringsslib zowel met ammoniak als met natronloog financieel niet haalbaar is. Derhalve bieden hydrolyse-methoden met als doel het gistingrendement te verhogen en zo het reststoffenvolume te verminderen, geen perspectief voor Nederland.

*rapportage*

'Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting'.

RWZI 2000 89-05, oktober 1989.

project 3314/4      **Zware-metalenverwijdering door magnetisme**

*inhoud en opzet*

De afzetmogelijkheden van zuiveringsslib naar de landbouw en zwarte-grondbereiding worden beperkt door de aanwezigheid van zware metalen in het slib. Door het selectief verwijderen van de metalen uit het ruwe influent en vervolgens concentreren in een beperkt volume kan mogelijk een kwaliteitsverbetering van het merendeel van het zuiveringsslib optreden.

Doel van dit project was vast te stellen of selectieve afscheiding van zware metalen met behulp van een magneetsysteem mogelijk zou zijn.



*uitvoering*

TNO-IMET en Smit-Nijmegen, begeleid door dezelfde commissie als die bij project 3314/1.

*kosten*

f 50.000,-

*resultaten*

Aangezien in het rioolwater geen direct afscheidbare deeltjes aanwezig waren, zijn deze deeltjes ten behoeve van magnetische separatie geënt met een magnetisch materiaal, zoals magnetiet in combinatie met flocculatie/coagulatie-chemicaliën.

Uit oriënterende experimenten is gebleken dat door toevoeging van magnetiet in combinatie met dosering van polyelectrolyet, ijzerchloride en/of kalk een beperkte selectieve verwijdering kon worden gerealiseerd.

Vanwege deze geringe selectiviteit in afscheiding van zware metalen en de grote gevoeligheid van de voorbehandeling voor de samenstelling van het rioolwater was het duidelijk dat deze behandelingsmethode geen perspectief zou kunnen bieden voor het bereiken van het gestelde doel, namelijk het continueren van de slibafzet naar de landbouw.

Een bijkomend aspect was dat door de aanwezigheid van nog andere micro-verontreinigingen in relatie tot de scherper wordende milieu-eisen voor hergebruik in de landbouw - bijvoorbeeld de organische microverontreinigingen, waarvoor nog geen grenswaarden van kracht zijn - de afzetmogelijkheden van het slib alsnog belemmerd zouden worden.

*rapportage*

'Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van een magneetsysteem'.

RWZI 2000 89-03, oktober 1989.

project 3314/5      **Zware-metalenverwijdering door electrolyse**

*inhoud en opzet*

In dit project is nagegaan in hoeverre het mogelijk zou zijn het metaalgehalte in zuiveringsslib te verlagen met behulp van slurry-electrolyse. Hierbij wordt door een water/slibmengsel een gelijkstroom gevoerd, waardoor de metaalionen in de waterfase worden gereduceerd en als metaal neerslaan. De metaalionenconcentratie in de waterfase zal lager worden met als gevolg een verschuiving van het evenwicht en het optreden van een nalevering van metaalionen uit de vaste slibdeeltjes naar de waterfase. De mate van deze nalevering bepaalt voor het overgrote deel de snelheid van dit afscheidingsproces.

*uitvoering*

TNO-IMET en begeleid door dezelfde commissie als die bij project 3314/1.

*kosten*

f 35.000,-

### *resultaten*

Uit oriënterend onderzoek was gebleken dat het in principe mogelijk was om zware metalen in redelijke mate (verwijderingsrendement circa 50 %) uit zuiveringsslib te verwijderen langs electrolytische weg. Als voorbehandeling ter mobilisering van de metalen werden beluchting en Ph-verlaging toegepast. Door beluchten werden de onoplosbare metaalsulfiden door middel van oxydatie in oplossing gebracht tot oplosbare sulfaten. Bij verlaging tot een Ph = 4 werden de aan het slib gebonden metaal-ionen verdrongen door waterstof-ionen, waarbij de metaalionen in oplossing gingen. Voor de electrode was de voorkeur uitgegaan naar een roterende cilinderelectrode, omdat door het roteren een goede stofoverdracht vanuit de vloeistof naar de electrode kon worden verkregen.

Op basis van de uitgevoerde electrolyse-experimenten (schaal: 10 m<sup>3</sup>/uur) is een schatting gemaakt van de totale kosten voor electrolytische verwijdering. Deze bedroeg circa f 500,- per ton slib droge stof.

Overigens was voor de gewenste praktijkschaal nog geen electrolyse-apparatuur beschikbaar, zodat - voordat een mogelijke implementatie in de praktijk zou kunnen plaatsvinden - rekening zou moeten worden gehouden met een langdurige ontwikkelingsfase.

Ondanks de redelijke resultaten mag niet verwacht worden dat deze techniek zal worden toegepast om tot een verbetering van de slibkwaliteit te komen. Naast het feit dat deze techniek zich nog in de ontwikkelingsfase bevindt, heeft dit te maken met de strengere kwaliteitseisen voor de afzet van zuiveringsslib naar de landbouw, de aanwezigheid van onder andere organische microverontreinigingen in het slib en de inmiddels gemaakte keuzen voor verdere slibverwerking: verbranden, drogen, composteren en natte oxydatie.

### *rapportage*

'Verwijdering van zware metalen uit zuiveringsslib door electrolyse'.

RWZI 2000 89-04, oktober 1989.

project 3321

## **Slib-waterscheiding (slibkarakteriseringstechnieken, modellering)**

### *inhoud en opzet*

De oorzaak van problemen bij de afzet van zuiveringsslib in Nederland zijn zowel kwantitatief als kwalitatief van aard. Naast de mogelijkheid om de kwaliteit van het zuiveringsslib te verbeteren, kan de omvang van het probleem worden verkleind door de hoeveelheid slib, die vrijkomt te beperken. Enerzijds door vermindering van de slibproductie bij het zuiveren van rioolwater (project 3244/1), anderzijds door het droge-stofgehalte van slib te verhogen, waardoor het volume van het geproduceerde slib wordt gereduceerd. Een hoger droge-stofgehalte vergt een betere ontwatering.

Ook gaan de ontwatering en verdere verwerking van zuiveringsslib gepaard met hoge kosten, die naar verwachting in de toekomst verder zullen toenemen.

Met de toenmalige, veelal op empirisch onderzoek gebaseerde inzichten en kennis was geen substantiële verhoging van het droge-stofgehalte door een verbeterde slibontwatering te verwachten.

Uitvoering van fundamenteel onderzoek naar de slib/waterbinding zou kunnen leiden tot zoveel meer kennis en inzicht van het ontwateringsproces van diverse slibsoorten, dat technieken kunnen worden ontwikkeld of geoptimaliseerd, die een aanzienlijke verhoging

van droge-stofgehalten in slib en reductie van het volume of de massa kunnen bewerkstelligen. Indirect zou dit kunnen leiden tot kostenbesparingen in de slibontwatering en de verdere slibverwerking.

#### *uitvoering*

Fase I: TU-Delft (vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing) en TU-Eindhoven (Laboratorium voor Scheidingstechnologie), begeleid door:

- |                           |                            |                        |
|---------------------------|----------------------------|------------------------|
| - ir. H.A. Meijer (vz)    | - ir. R.E.M. van Oers      | - ir. F.W.A.M. Rijnart |
| - ing. G.B.J. Rijs        | - prof.dr.ir. W.H. Rulkens | - ir. P.C. Stamperius  |
| - ir. W. van Starckenburg |                            |                        |

Fase II en III: TU-Eindhoven (Laboratorium voor Scheidingstechnologie), begeleid door:

- |                        |                                   |                            |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| - ir. H.A. Meijer (vz) | - prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf | - ing. R. Kampf            |
| - ir. R.E.M. van Oers  | - ing. G.B.J. Rijs                | - prof.dr.ir. W.H. Rulkens |
| - ir. P.C. Stamperius  | - ir. W. van Starckenburg         |                            |

#### *kosten*

Fase I: : f 100.000,-

Fase II: : f 1.481.000,-

Fase III : f 235.000,-

#### *resultaten*

Fase I heeft een overzicht opgeleverd van reeds uitgevoerd onderzoek naar slibontwatering en slib/waterscheiding. Daarin worden aanbevelingen gedaan voor mogelijke onderzoeksvelden voor fundamenteel onderzoek. Het onderzoeksvoorstel voor fase II is hieruit voortgekomen.

Fase II is ingegaan op een zeer uitgebreide karakterisering van zuiveringsslib en op de modellering van het ontwateringsgedrag van zuiveringsslib.

Bij de slibkarakterisering gaat het om het vaststellen van slibeigenschappen, die wezenlijk geacht worden voor een goed begrip van het ontwateringsproces, zoals samenstelling van slib, colloïd-chemische grootheden, kenmerken van vaste stofdeeltjes, slib/waterbinding en de tijdsafhankelijkheid van voornoemde eigenschappen. Een groot aantal slibkarakteriseringstechnieken is ontwikkeld en getoetst op hun bruikbaarheid voor de praktijk op een aantal representatief geachte slibsoorten. Als voorbeeld hiervan kunnen worden genoemd colloïdchemische grootheden (zêta-potentiaal, Ph en totale ionensterkte), thermische analysetechnieken (Thermogravimetric Analysis, Differential Thermal Analysis en Differential Scanning Calorimetry), deeltjesgrootteverdelingen (Laserdiffractie en Image processing techniek), ontwateringseigenschappen (filtratie-expressiecel, Modified Filtration Test en Capillary Suction Time, rheologische bepalingen, drukfiltratie en compressie-permeabiliteitscel. Als representatieve slibsoorten zijn genomen een mengsel van primair en secundair slib, uitgegist slib en oxydatieslootslib. Conditionering heeft bij deze karakterisering plaatsgevonden met enkele standaard-polyelectrolieten en  $\text{FeCl}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$  en, voor de koppeling met de praktijk, met de ter plaatse op de rwzi in de praktijk toegepaste flocculant. In een aantal gevallen is aangetoond dat hogere droge-stofgehalten verkregen kunnen worden door de conditioneringsomstandigheden te optimaliseren (type conditioneringsmiddel en dosering). Voor het bevorderen van het ontwateringsproces zijn hogere poly-electrolietdoseringen nodig, volstaan kan worden met aanzienlijk lagere kalkdoseringen dan momenteel in de praktijk worden toegepast. Van de bekeken karakteriseringstechnieken

blijken de MFT- en CST-methode, alsmede de filtratie-expressiecel (FE-cel) en de compressie-permeabiliteitscel (CP-cel) goed bruikbaar voor het voorspellen van het slibontwateringsproces in zeefband- en kamerfilterpersen. Met de MFT-methode en de FE-cel is het mogelijk op een snelle en eenvoudige wijze de specifieke filtratieweerstand, de benodigde perstijd en het eind-droge-stofgehalte te bepalen. Met de meer arbeidsintensieve CP-cel is het mogelijk naast de specifieke filtratieweerstand en het eind-droge-stofgehalte ook de porositeit en de permeabiliteit van het slib als functie van de persdruk te bepalen.

Fase III is een overbruggingsfase, waarin de verkregen resultaten met alleen de filtratie-expressiecel uit de voorafgaande fase zijn getoetst aan de dagelijkse praktijk van een slibverwerkingsinstallatie. Behalve dat de resultaten uit fase II werden bevestigd, kon ook worden aangetoond dat de voorbehandeling, zoals de aanwezigheid van een na-indikker of de wijze van transport van het geconditioneerde slib (type pomp, aanvoerleidingen) van invloed kunnen zijn op het slibontwateringsproces. Derhalve ligt het in de bedoeling als vertaalslag naar de praktijk een grootschaliger monitoring te laten plaatsvinden aan de hand van enkele geselecteerde slibkarakteriseringstechnieken. Door (empirische) relaties op te stellen tussen de met de slibkarakteriseringstechnieken gemeten parameters en de ontwateringsresultaten op de praktijkinstallatie zal het in de toekomst mogelijk worden om op basis van slibontwateringseigenschappen voorspellingen te doen over de resultaten van slibontwateringsapparatuur.

In het fundamenteel onderzoek is tevens een fysisch-mathematisch model ontwikkeld voor de beschrijving van het ontwateringsgedrag van zuiveringsslib. De bedoeling is dat dit model in de toekomst zal worden verwerkt tot apparaatmodellen, waarmee het ontwateringsgedrag van zeefband- en kamerfilterpersen kan worden beschreven en gesimuleerd.

#### *rapportage*

##### Fase I

'Slibontwatering; een voorstudie'

RWZI 2000 89-01, januari 1989.

##### Fase II

'Fundamentele aspecten van slibontwatering'

Deel 1: Samenvattend verslag

Deel 2: Flocculatiemechanismen

Deel 3: Filtratie-expressie modellering

Deel 4: Filtratie expressie experimenten

Deel 5: Slib-water binding

Deel 6: Karakterisering van slibben

Deel 7: Ontwikkeling nieuw CST-apparaat

Deel 8: Congresbijdragen

RWZI 2000 94-02, juli 1994.

##### Fase III

'Het uittesten van de filtratie-expressiecel in de praktijk'

RWZI 2000 94-07, december 1994 (in voorbereiding).

**BIJLAGE 3**
**FINANCIËEL OVERZICHT VAN HET ONDERZOEK-  
PROGRAMMA RWZI 2000, PERIODE 1988-1994 (in kfl.)**

		JAAR							
Project		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Totaal
<b>Waterzuivering</b>									
3213	- anaërobe voorzuivering	46	6						52
3214	- AB proces	25	32	6					63
3222	- Schachtreactorsysteem		200	11	23	24			258
3223	- Deep Shaft		27	16	23				66
3224	- compactsystemen						57	68	125
3242	- bedrijfsgegevens	60	73						133
3227	- driefasen-airliftreactor	340	305	56				200	901
3228	- Linpor systeem		71	11					82
3229	- Drie-slibsoortensysteem						21	164	185
	<i>Totaal (1925)</i>								<b>1865</b>
<b>P-verwijdering</b>									
3225/1	- knelpunten defosfatering	53	11						64
3225/2	- biol.defosf.+ chem.preci.	35	0	15					50
3225/3	- biol.defosf.+ korrelreactor		131	76					207
3225/4	- modelvorming biologische defosfatering			107	210	210	210	115	852
3225/5	- magnetische P-separatie			209	105				314
3225/6	- Biodenitro-Biodenipho		35						35
	<i>Totaal (1600)</i>								<b>1522</b>
<b>N-verwijdering</b>									
3234/1	- nutriëntenverw. op rwzi		60	45	103	9			217
3234/2	- interne N-stromen					65		290	355
3234/3	- immobilisatie N				69	83	37	110	299
3234/4	- nitrif./aërobe denitrificatie			75	105	105	105		390
3234/5	- anaërobe/denitrificerende biologische defosf.						40	71	111
	<i>Totaal (1948)</i>								<b>1372</b>
<b>Minimale slibproductie</b>									
3244/1	- vermindering slibprod. I		175	135	200	135	15		660
3244/2	- high-perf. bioreactor		148	177	29				354
3244/3	- aërobe biofilmvorming			52	86	70	53	34	295
3244/4	- vermindering slibprod. II					230	53		283
3244/5	- alternatieven slibretentie						23	52	75
	<i>Totaal (1569)</i>								<b>1667</b>
<b>Meetinstrumenten</b>									
3245/1	- autom. meting slibgehalte	80	110						190
3245/2	- slibmeter inventarisatie			64					64
3245/3	- slibmeter gasvenstersensor			68					68
	<i>Totaal (398)</i>								<b>322</b>
<b>Slibverwerking</b>									
3312	- thermofiele slibgisting	45	25	25					95
3313	- gisting aëroob gestab.slib		45	15					60
3314	- slibverwerkingstechnieken	160	142						302
3321/1	- slib-waterscheiding I	57	43						100
3321/2	- slib-waterscheiding II			291	444	408	290	286	1719
	<i>Totaal (2011)</i>								<b>2276</b>
	<b>SUBTOTAAL</b>	901	1639	1245	1501	1444	904	1390	<b>9024</b>
0000	- projectcoördinatie (549)	61	90	120	225	225	125	130	<b>976</b>
	<b>TOTAAL</b>	<b>962</b>	<b>1729</b>	<b>1365</b>	<b>1726</b>	<b>1669</b>	<b>1029</b>	<b>1520</b>	<b>10000</b>
	STOWA	726	1144	445	881	664	533	1365	5758
	Rijkswaterstaat	236	585	920	845	1005	496	155	4242