NN31085.92-08

92-08

BEHANDELING VAN STEDELIJK AFVALWATER MET HET SCHACHTREACTORSYSTEEM

Flexibiliteit onder RWA-omstandigheden

V&P

WASTE WATER MANAGEMENT

V&P Waste Water Management b.v.

Bruistensingel 114, 5232 AC 's-Hertogenbosch

**Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**

Directoraat-Generaal Milieubeheer
Postbus 30945, 2500 GX Den Haag

**Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en
Visserij**

Postbus 20401, 2500 EK Den Haag

RIZA

**Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer
en Afvalwaterbehandeling**

Postbus 17, 8200 AA Lelystad

stowa

**Stichting Toegepast Onderzoek
Waterbeheer**

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

NW 31-05, 92-08

eneratie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

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

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

BEHANDELING VAN STEDELIJK AFVALWATER MET HET SCHACHTREACTORSYSTEEM

Flexibiliteit onder RWA-omstandigheden

auteur(s):

V & P Waste Water Management bv :

ir. P.J. Roeleveld
B.J. Visser
dr. ir. J. Bovendeur

17 SEP. 1997

RWZI 2000 92-08

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

Inhoudsopgave

Voorwoord 3

Samenvatting 5

1 Inleiding 7

1.1 Achtergronden 7
1.2 Doelstellingen 7

2 Beschrijving van het schachtreactorsysteem 9

2.1 Algemeen 9
2.2 Systeembeschrijving van de schachtreactor 9
2.2.1 de ondergrondse schacht 9
2.2.2 het binnenwerk 9
2.2.3 de separator 11
2.2.4 de randapparatuur 11

2.3 Beschrijving van het proces 11
2.3.1 de slib-waterstroom 11
2.3.2 de luchtstroom 11
2.3.3 de slibwaterscheiding 12

3 Onderzoeksopzet 15

3.1 De proefinstallatie 15
3.2.1 algemene beschrijving 15
3.2.2 technische gegevens van de proefinstallatie 15

3.2 Regeling van de sliblaagdikte 17

3.3 Procesparameters van het flotatieproces 19
drogestofbelasting 19
oppervlaktebelasting 20
A/S-verhouding 20

3.4 Hydraulische flexibiliteit van de installatie 21
3.4.1 hydraulische flexibiliteit flotatie-eenheid 21
constant influentdebiet 21
wisselend influentdebiet 21
3.4.2 biologische zuivering 22

3.5 Meetmethoden 22
3.5.1 analysemethoden 22
3.5.2 relatie turbiditeit en zwevend-stofgehalte 23

4 Resultaten 25

4.1 Procesvoering flotatie-eenheid 25
4.1.1 sliblaagdikteregeling 25
4.1.2 procesparameters 26
drogestofbelasting 26
oppervlaktebelasting 27
de A/S-verhouding 28

4.1.3 uitgangspunten voor het onderzoek 28

4.2 Hydraulische flexibiliteit van de installatie 28
4.2.1 het zwevend-stofgehalte 28
constant influentdebiet 28
wisselend influentdebiet 30
4.2.2 biologische zuivering 32

5 Discussie 35

5.1 Dimensionering van de flotatie-eenheid 35
5.2 Licht slib 35
5.3 Vlokbelading 35
5.4 RWA-simulatie door effluentrecirculatie 36
5.5 Slibgradiënt in de schacht 36
5.6 Praktijkinstallatie 36
5.7 N- en P-verwijdering 37

6 Conclusies 39

7 Literatuur 41

Bijlagen

Bijlage 1: Kostenvergelijking schachtreactor en conventioneel actief-slibsysteem 43

Voorwoord

In het kader van het onderzoekprogramma RWZI 2000 wordt een aantal nieuwe technologieën voor de behandeling van stedelijk afvalwater geëvalueerd. Bij deze technologieën die veelal in het buitenland, of voor industrieel afvalwater zijn ontwikkeld, wordt gekeken naar de inpasbaarheid voor stedelijk afvalwater in Nederland.

Het voorliggende rapport geeft de resultaten van een onderzoek naar de mogelijkheid om het schachtreactorsysteem, voorheen het Multireactorsysteem genoemd, voor de behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland te introduceren. 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. De doelstelling was het flotatieproces bedrijfszeker te laten functioneren bij sterk wisselende afvalwaterdebieten, waarbij een goede effluentkwaliteit - vooralsnog in termen van BZV_5, CZV, N_{Kj} en zwevende stof - is nagestreefd.
Het experimentele onderzoek op pilotplantschaal is medio 1989 gestart en heeft door enkele problemen één jaar langer geduurd dan oorspronkelijk gepland. Het concept-rapport van deze experimentele fase is op verzoek van de Stuurgroep RWZI 2000 in 1993 aangevuld met een indicatieve kostenvergelijking tussen het schachtreactorsysteem en een conventionele laagbelaste aktief-slibinstallatie, zowel voor de huidige als de toekomstige situatie met vergaande P- en N-lozingseisen.
In 1993 is Multireactor b.v. failliet gegaan en zijn het bedrijf en de licentierechten overgenomen door "V&P Waste Water Management b.v."

Het experimentele onderzoek is uitgevoerd door V&P Waste Water Management b.v. (ir. P.J. Roeleveld thans LU-Wageningen, B.J. Visser) en dr.ir. J. Bovendeur (Heidemij b.v.), begeleid door een commissie bestaande uit ir. W. van Starkenburg (voorzitter, RIZA thans Haskoning b.v.), ing. G.A.P. van Geest (Hoogheemraadschap van Rijnland), drs. M.E. Ikelaar (NOVEM), ing. J.J. Jonk (Hoogheemraadschap West-Brabant), ir. J.H. Rensink (LU-Wageningen), ing. G.B.J. Rijs (RIZA), ir. P.C. Stamperius (STOWA) en ir. H.A.A.M. Webers (Witteveen & Bos).
De indicatieve kostenvergelijking is uitgevoerd door Witteveen & Bos Raadgevende Ingenieurs b.v. in samenwerking met "V&P Waste Water Management" en begeleid door ing. G.B.J. Rijs (RIZA).

Dit onderzoekproject is mede mogelijk gemaakt door financiering vanuit de Stimuleringsregeling "Milieutechnologie" (projektnr. 15120-2910) van de ministeries van VROM, V&W en LNV.

Lelystad, juli 1994 Voor de Stuurgroep RWZI 2000

prof.dr. J. de Jong

Samenvatting

V&P Waste Water Management b.v., voorheen Multireactor b.v. heeft in het kader van het onderzoekprogramma RWZI 2000, onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid tot het het zuiveren van stedelijk afvalwater met het schachtreactorsysteem. Hierbij werd gebruik gemaakt van de reeds bestaande proefinstallatie op het terrein van de Landbouw Universiteit te Wageningen. Het schachtreactorprincipe kenmerkt zich door een ondergrondse aëratieruimte en slib-waterscheiding middels flotatie. Dit betekent een aanzienlijke ruimtebesparing in vergelijking tot conventionele systemen.

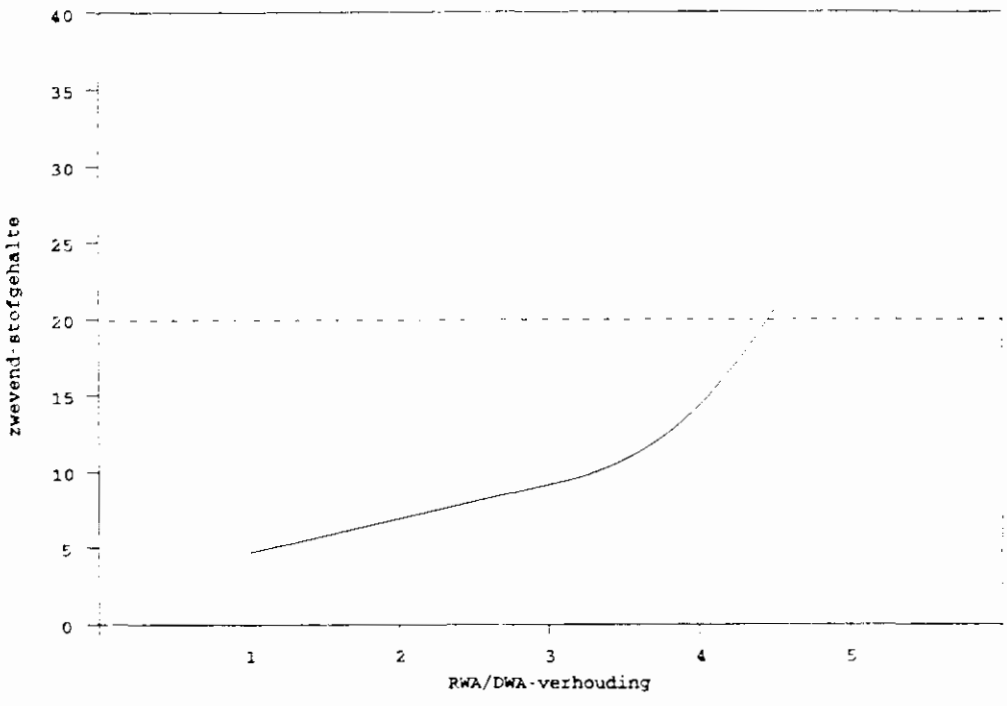
Het onderzoek heeft zich gericht op de processtabiliteit van het schachtreactorsysteem, in het bijzonder het flotatieproces, onder wisselende hydraulische belastingen (RWA). Daarnaast is ook de biologische zuiveringscapaciteit van de schachtreactor met stedelijk afvalwater gevolgd. De schachtreactor is bedreven onder een zeer lage slibbelasting van 0,05 kg BZV_5/kg d.s.d.

Het flotatieproces is ten behoeve van het onderzoek geoptimaliseerd. Er is een besturingsprogramma ontwikkeld voor het debietsafhankelijk regelen van de sliblaagdikte, om beter wisselende hydraulische belastingen te kunnen opvangen.
Voordat het onderzoek is gestart zijn de maximale hydraulische belastingen van de flotatie-eenheid bepaald, met de daarbij behorende optimale A/S-verhouding, voor een zwevend-stofgehalte in het effluent lager dan 20 mg/l.

Maximaal toelaatbare belastingen van de flotatie-eenheid met de daarbij behorende optimale A/S-verhouding.

oppervlaktebelasting	4	$m^3/m^2.h$
drogestofbelasting	14	kg d.s./m^2.h
A/S-verhouding	1,2	%

Met de gevonden maximaal toelaatbare belastingen van de flotatie-eenheid als uitganspunt van het onderzoek, is een aantal experimenten uitgevoerd waarbij het totaal influentdebiet een aantal dagen constant is gehouden op een RWA/DWA van 1 tot 5.
Uit deze experimenten is gebleken dat met de flotatie-eenheid in de huidige configuratie tot een RWA/DWA-verhouding van 4 een zwevend-stofgehalte lager dan 20 mg/l kan worden gewaarborgd. Verwerking van hogere RWA/DWA-verhoudingen is mogelijk door vergroting van de flotatie-eenheid.
Tevens zijn experimenten uitgevoerd waarbij over een tijdsbestek van 24 uur regenweeraanvoer is gesimuleerd, om te kijken hoe het flotatieproces reageert op snelle fluctuaties in de aanvoer. Hieruit is gebleken dat de schachtreactor in staat is om snel wisselende hydraulische belastingen op te vangen.



Verloop van het zwevend-stofgehalte als functie van de RWA/DWA-verhouding.

De biologische zuiveringscapaciteit van de proefinstallatie wordt niet negatief beïnvloed door variaties in de aanvoer.
In onderstaande tabel zijn de gemiddelde verwijderingsrendementen en effluentwaarden gegeven van de ongefiltreerde monsters.

Biologische zuiveringsprestaties van de schachtreactor voor stedelijk afvalwater.

	inf. (mg/l)	eff. (mg/l)	rendement (%)
CZV	503	54	90
BZV_5	263	6	98
N_{K}	74	4	93

1 Inleiding

1.1 Achtergronden

Binnen het onderzoekprogramma RWZI 2000 is gezocht naar nieuwe zuiveringstechnieken voor de behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst. Dit programma heeft zich gericht op de ontwikkeling van zuiveringstechnieken die efficiënter, milieuvriendelijker en goedkoper zijn dan de conventionele zuiveringsinrichtingen (v. Starkenburg et al., 1988).
De komende generatie zuiveringsinrichtingen dient zich te onderscheiden op de volgende punten:

- compactere opzet;
- minder omgevingshinder;
- betere effluentkwaliteit tegen lagere kosten;
- minder problemen bij afzet en verdere verwerking van zuiveringsslib.

Eén der sporen van het onderzoek, "uitgaan van succesvolle toepassingen op andere gebieden, zoals de zuivering van industrieel afvalwater", heeft medio 1989 geleid tot de deelname van Multireactor b.v. (thans V&P Waste Water Management b.v.) aan het RWZI 2000 onderzoekprogramma.
De toepassing die hiertoe aanleiding was, betreft een drietal zuiveringsinstallaties op basis van het schachtreactorprincipe, voor behandeling van afvalwater uit de levensmiddelenindustrie. Daarnaast had Multireactor b.v. een proefinstallatie op het terrein van de Landbouw Universiteit te Wageningen, die geschikt was voor de behandeling van stedelijk afvalwater.

Belangrijke kenmerken van het schachtreactorsysteem zijn:

- compacte opzet, door ondergrondse aëratieruimte en slibwaterscheiding door middel van flotatie;
- weinig omgevingshinder door volledige afdekking van de installatieonderdelen.

In eerder onderzoek (Engwirda, 1985) met stedelijk afvalwater werd de installatie bedreven onder een constant influentdebiet. Een rioolwaterzuiveringsinrichting moet onder praktijkomstandigheden echter fungeren bij wisselende debieten met variaties tot 500%.

1.2 Doelstellingen

De hoofddoelstelling van het onderzoek is het flotatieproces bedrijfszeker te laten functioneren bij sterk wisselende afvalwaterdebieten. Randvoorwaarde hierbij is dat zowel DWA als RWA verwerkt kan worden, waarbij de RWA maximaal kan oplopen tot 5 keer de DWA. Het maximaal toelaatbare zwevendstofgehalte is 20 mg/l.
De nevendoelstelling is het handhaven van een nagenoeg constant hoge effluentkwaliteit (in termen van BZV_5 en N_{Kj}) onder deze wisselende omstandigheden.

De na te streven effluentkwaliteit staat vermeld in tabel 1.

***Tabel** 1 Effluentkwaliteitseisen voor het onderzoek.*

BZV_5	20 mg/l
N_{Kj}	10 mg/l
zwevende stof	20 mg/l

De beschrijving van het schachtreactorsysteem wordt gegeven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt de onderzoeksopzet gegeven, die is onderverdeeld in een voorbereidend onderzoek en het werkelijk toetsend onderzoek. In het voorbereidend onderzoek is de flotatie-eenheid geschikt gemaakt voor het opvangen van sterk wisselende hydraulische belastingen en zijn de procesparameters van de flotatie-eenheid bepaald. In het toetsend onderzoek zijn de doelstellingen nagestreefd.
De resultaten worden besproken in hoofdstuk 4. De hoofdstukken 5 en 6 behandelen respectievelijk de discussie over de resultaten en de conclusies.

2 Beschrijving van het schachtreactorsysteem

2.1 Algemeen

De schachtreactor is een afvalwaterzuiveringsinstallatie die opereert volgens het actief-slibproces. Het actief-slibproces wordt zodanig toegepast, dat een hoger slibgehalte dan conventioneel in de aëratieruimte gehandhaafd kan worden.
Het slibgehalte in de aëratieruimte bedraagt gemiddeld 8 g/l, waarbij sprake is van een slibgradiënt in de lengterichting van de schacht. De gradiënt is meer of minder sterk afhankelijk van de uitvoering van de installatie en de procesomstandigheden. Als gevolg van het hoog gemiddelde slibgehalte is de zuiveringscapaciteit per volume-eenheid verdubbeld ten opzichte van conventionele systemen bij vergelijkbare slibbelasting. Het slib-watermengsel wordt gescheiden met behulp van een specifiek flotatieproces. Het benodigde volume voor scheiding van slib en water is bij dit proces een factor vier kleiner in vergelijking tot nabezinktanks op conventionele zuiveringen. Het slib in de flotatie-eenheid wordt ingedikt tot 3% drogestof en na 24 uur laat het surplusslib zich indikken tot 5% droge stof.

2.2 Systeembeschrijving van de schachtreactor

Een schachtreactor (fig. 1) is in de volgende 4 delen te onderscheiden:

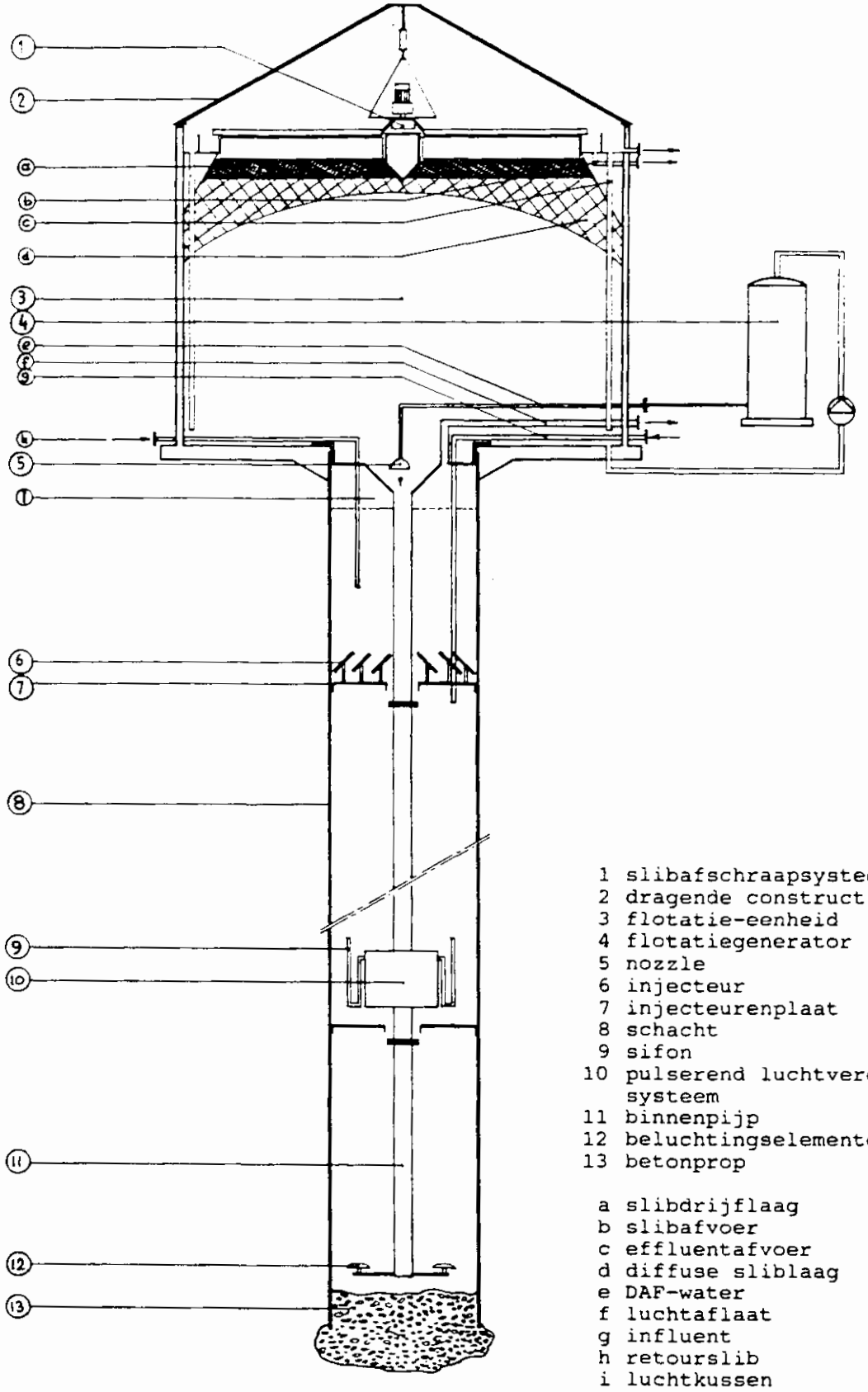
- een ondergrondse schacht;
- een binnenwerk;
- een slib-waterseparator;
- randapparatuur.

2.2.1 de ondergrondse schacht

De ondergrondse vertikale cylindrische schacht kan in diepte variëren van 20 tot 80 meter, de diameter tot 5 meter. Afhankelijk van de diameter zal de uitvoering in staal of beton zijn. De stalen uitvoering bestaat uit een in de grond getrilde buis, de betonnen schacht kan gebouwd worden met de diepwandtechniek. Een andere methode is uitgraven onder bentoniet.

2.2.2 het binnenwerk

Het binnenwerk, dat zowel van kunststof als van staal vervaardigd kan worden, bestaat uit horizontale scheidingsplaten en een binnenpijp. Tevens bestaat het binnenwerk uit een luchtherverdeelsysteem dat de opstijgende luchtbellen in kleinere bellen herverdeelt. Het luchtherverdeelsysteem kent twee uitvoeringsvormen, een pulserend luchtherverdeelsysteem en een injecteurenplaat. Het pulserend luchtherverdeelsysteeem dat aan de binnenpijp is bevestigd, is in segmenten verdeeld, waarbij elk segment van een sifon is voorzien. Figuur 1 toont tevens een injecteurenplaat waarbij de injecteuren op de horizontale scheidingsplaat zijn bevestigd.



1 slibafschraapsysteem
2 dragende constructie
3 flotatie-eenheid
4 flotatiegenerator
5 nozzle
6 injecteur
7 injecteurenplaat
8 schacht
9 sifon
10 pulserend luchtverdeel-systeem
11 binnenpijp
12 beluchtingselementen
13 betonprop

a slibdrijflaag
b slibafvoer
c effluentafvoer
d diffuse sliblaag
e DAF-water
f luchtaflaat
g influent
h retourslib
i luchtkussen

Figuur 1 *Schematische weergave van de schachtreactor.*

De beluchtingselementen die aan de binnenpijp zijn bevestigd, zijn fijne bellenbeluchters (domes).
De binnenpijp dient als stijgbuis voor het slib-watermengsel naar de slib-waterscheidingseenheid en is aan de bovenzijde van deze eenheid opgehangen. Aan slijtage onderhevige onderdelen bevinden zich niet in de schacht. Het binnenwerk bestaat uit geprefabriceerde elementen van vijf en tien meter die ter plaatse in de schacht aan elkaar worden gemonteerd.

2.2.3 de separator

In de separator vindt de scheiding tussen het slib en het effluent volledig plaats door flotatie. Een slibafschraap- en verzamelsysteem zorgt voor het verzamelen en afvoeren van het slib.

2.2.4 de randapparatuur

Afhankelijk van de soort en samenstelling van het afvalwater, dient in het algemeen een voorzuivering plaats te vinden om de grove delen af te scheiden. Bij stedelijk afvalwater zal de voorzuivering bestaan uit een grofvuilrooster en een zandvang.

De luchtcompressor wordt tezamen met de schakel-, meet- en regelapparatuur in een container geïnstalleerd. De installatie wordt gecompleteerd door influent-, slibretour- en flotatiegeneratorpompen. De schachtreactor kan door de compacte bouwwijze eenvoudig worden afgedekt, waardoor in principe geen stank- en geluidoverlast op hoeft te treden.

2.3 Beschrijving van het proces

2.3.1 de slib-waterstroom

In het bovenste compartiment bevindt zich de herbeluchtingsruimte, waar het retourslib wordt ingebracht. Het van grove delen ontdane afvalwater wordt in het daar onderliggende compartiment gepompt en gemengd met het slib uit de herbeluchtingsruimte. Door deze bedrijfsvoering wordt een slibgradiënt gecreëerd in de lengterichting van de schacht.

Het slib-watermengsel doorloopt de reactor van boven naar beneden, in tegenstroom met de opstijgende lucht. Hierdoor wordt een menggedrag verkregen van het slib-watermengsel dat beschreven wordt door een aantal in serie geschakelde ideale mengers (voor de proefinstallatie is dit aantal 2,2).
De zuivering vindt plaats tijdens het neerwaartse transport naar de bodem van de schacht. Het gezuiverde slib-watermengsel stroomt van onderuit de reactor via de stijgbuis naar de flotatie-eenheid. Het effluent verlaat via een duikschot de reactor.

2.3.2 de luchtstroom

De lucht wordt via een compressor onderin de reactor gebracht door fijne-bellenbeluchters (domes). In elke aëratieruimte

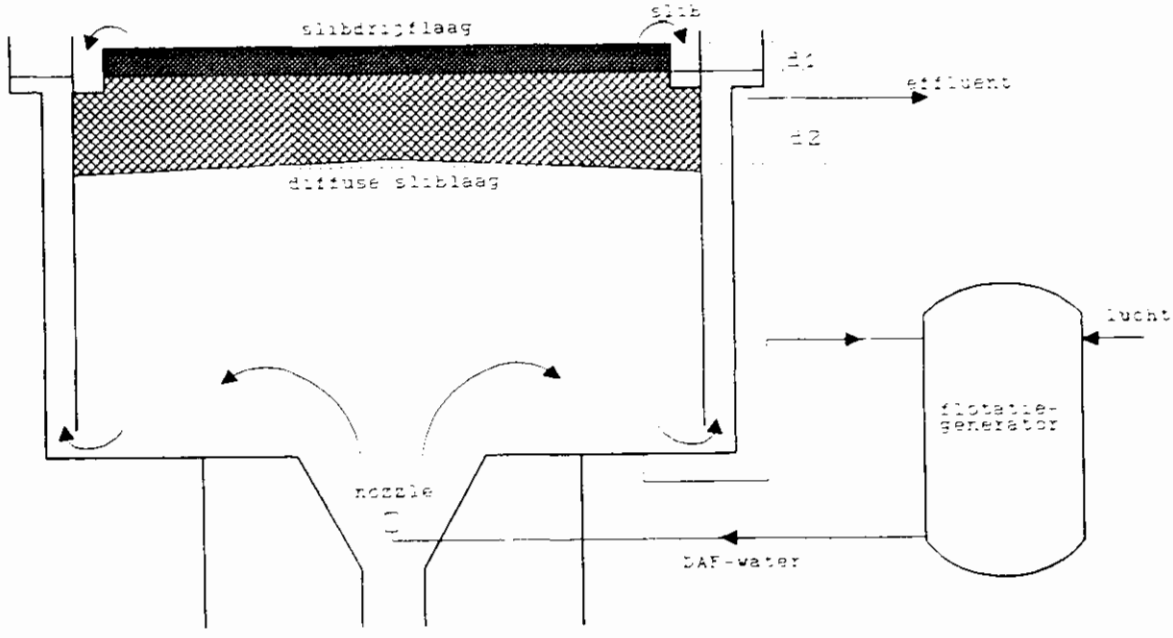
verdeelt het luchtherverdeelsysteem de opstijgende lucht in kleinere bellen. Aan de bovenzijde van elke aëratieruimte wordt de lucht onder de horizontale scheidingsplaat opgevangen in een luchtkussen. Dit wordt continu ververst en voedt het luchtherverdeelsysteem van de bovengelegen aëratieruimte. Vanuit het luchtkussen onder de flotatie-eenheid verlaat de lucht de reactor.

Het beluchtingsrendement in de schachtreactor is hoog en wordt gerealiseerd door:

- lange contacttijd tussen lucht en slib-watermengsel door de diepe schacht;
- de hoge hydrostatische druk waardoor meer zuurstof kan oplossen in de waterfase;
- herverdeling van lucht in kleine bellen door het lucht-herverdeelsysteem.

2.3.3 de slib-waterscheiding

De slib-waterscheiding vindt volledig plaats door middel van flotatie. Wanneer het slib-watermengsel in de stijgbuis naar boven stroomt, neemt daarbij de hydrostatische druk af. Daarmee wordt een oververzadigingstoestand bereikt en treedt de opgeloste lucht spontaan uit in de vorm van microbellen. Deze hechten zich aan de slibdeeltjes, waardoor de verkregen drijfkracht het slib naar de oppervlakte van de flotatie-eenheid stuwt.
In een DAF-ruimte (DAF = Dissolved Air Flotation) juist onder de flotatie-eenheid wordt door een flotatiegenerator via een nozzle het DAF-water aan het slib-watermengsel toegevoegd (fig. 2), dit ter versterking van het flotatieproces.



Figuur 2 Schematische weergave van de flotatie-eenheid.

Bij flotatie vormt zich een drijflaag van de afgescheiden deeltjes op het wateroppervlak. Behalve deze drijflaag (d1) op het water ontstaat tevens een diffuse laag onder water (d2). Deze beide lagen lopen geleidelijk in elkaar over.
De gefloteerde sliblaag wordt continu afgeschraapt en als retourslib in de reactor teruggevoerd. Al naar gelang de slibproductie wordt een gedeelte als spuislib afgevoerd.

3 Onderzoeksopzet

3.1 De proefinstallatie

3.1.1 algemene beschrijving

In figuur 3 is een schematische weergave van de proefinstallatie gepresenteerd. De schacht van de proefinstallatie is onderverdeeld in vier compartimenten en heeft een diepte van 18,5 m en de diameter is 1,5 m. De flotatie-eenheid bovenop de schacht heeft een hoogte van 2,1 m en de diameter is 2,85 m.

Voordat het afvalwater naar de schachtreactor wordt gevoerd, moeten de grove delen worden afgescheiden.
Omdat bij de proefhal van de vakgroep Milieutechnologie van de Landbouw Universiteit te Wageningen reeds een Dordtmundtank aanwezig is, met een grofvuilrooster, kon hiervan gebruik gemaakt worden om de grove delen uit het afvalwater te verwijderen.

Naar aanleiding van resultaten uit onderhavig onderzoek bleek het nodig te zijn om het optreden van licht slib te voorkomen, daar licht slib het functioneren van het flotatieproces negatief beïnvloedt. Met een extern voorgeschakelde anaërobe selector (met propstroomcondities), kon vorming van licht slib worden voorkomen. Bij een afvalwaterdebiet hoger dan 8 m^3/h was het wegens technische redenen niet mogelijk om gebruik te maken van de selector. Om dit probleem te ontwijken werd tijdens de experimenten geen gebruik gemaakt van de selector. Tussen de experimenten door werd de selector voorgeschakeld.

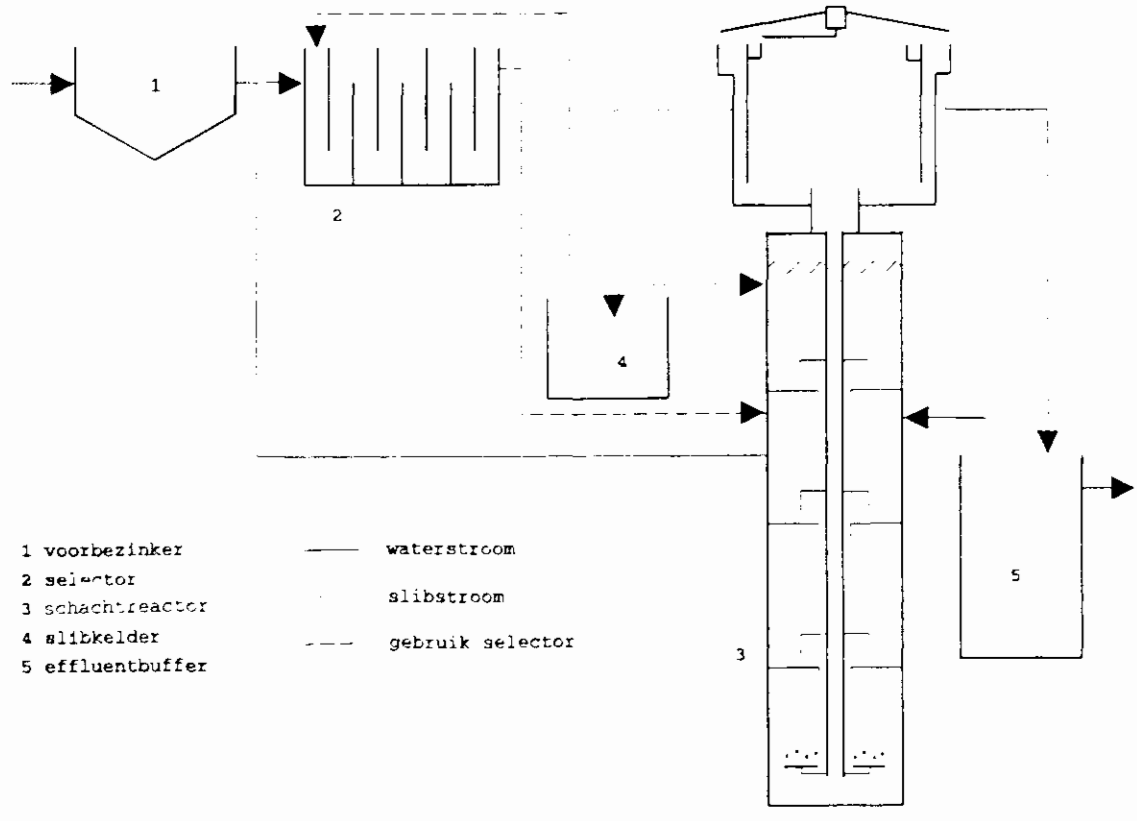
De gefloteerde drijflaag wordt afgeschraapt met een roterende ruimer en het retourslib stroomt onder vrij verval naar de slibkelder en wordt vanuit de slibkelder weer terug naar het bovenste compartiment gepompt.

De hydraulische belasting van de proefinstallatie werd gevarieerd door het recirculeren van effluent. Het effluent werd hiertoe uit de effluentbuffer gepompt en toegevoegd aan het influent. Met leidingwater kon geen regenweeraanvoer worden gesimuleerd omdat dit niet het benodigde afvalwaterdebiet kon leveren.

3.1.2 technische gegevens van de proefinstallatie

De proefinstallatie behandelt voorbezonken afvalwater van Bennekom dat hoofdzakelijk van huishoudelijke oorsprong is. De afvalwaterkarakteristieken, bij DWA omstandigheden, van het voorbezonken afvalwater gemeten tijdens de onderzoeksperiode (1989-1992) zijn samengevat in tabel 2.

In tabel 3 staan enkele bedrijfsgegevens, dimensionerings- en ontwerpgrondslagen van de proefinstallatie zoals ze zijn toegepast tijdens het onderzoek. Enkele hiervan worden kort toegelicht.



Figuur 3 *Schematische weergave van de proefinstallatie.*

Tabel 2 *Gemiddelde samenstelling van het voorbezonken afvalwater uit Bennekom (dwa), gefiltreerd en ongefiltreerd.*

		ongefiltreerd	gefiltreerd
CZV	(mg/l)	503	398
BZV_5	(mg/l)	263	207
N_{Kj}	(mg/l)	74	68

Slibgehalte

Flotatie maakt het mogelijk met een hoger slibgehalte in de aëratieruimte de installatie te bedrijven. Het slibgehalte in de schacht bedroeg gemiddeld 8 g/l.

Slibbelasting

De slibbelasting die is toegepast tijdens het onderzoek bedroeg 0,05 kg BZV_5/kg d.s.d. Voor deze lage slibbelasting is gekozen omdat dan een goede biologische zuivering kan worden verkregen met een vergaande nitrificatie en tevens een geringe slibproductie.

Zuiveringscapaciteit

Met de gekozen slibbelasting van 0,05 kg BZV_5/kg d.s.d en met de DWA-definitie van 120 l/i.e.d (aangevoerd in 12 uur) bedroeg bij een gemiddelde DWA-aanvoer van 48 m^3/d de zuiveringscapaciteit 400 i.e.
Voor het afscheiden van grove delen uit het afvalwater op de proefinstallatie werd gebruik gemaakt van de reeds aanwezige Dordtmundtank. De zuiveringscapaciteit is gebaseerd op voorbezonken influent met een BZV van 35 g/i.e.d. Bij de toepassing van een schachtreactor voor de behandeling van stedelijk afvalwater bij een zeer lage slibbelasting is voorbezinking echter niet nodig als voorbehandeling van het afvalwater.

Tabel 3 *Bedrijfsgegevens, dimensionerings- en ontwerpgrondslagen van de proefinstallatie.*

zuiveringscapaciteit:	400	i.e. (à 35 g BZV/i.e.d)
waterhoeveelheden (dwa):	4	m^3/h
(gem):	48	m^3/d
anaërobe selector		
volume:	2,4	m^3
verblijftijd:	30	min.
vlokbelading:	100	mg CZV/g.d.s.
beluchtingsruimte		
slibgehalte:	8	kg/m^3
slibbelasting:	0,05	kg BZV/kg d.s.d
inhoud aëratieruimte:	31	m^3
aantal compartimenten:	4	
flotatie-eenheid		
oppervlakte	6,4	m^2
DAF-water	7	m^3/h
retourslib	25	% van influentdebiet
slibgehalte retourstroom	25-30	g/l

In het voorbereidend onderzoek is een sliblaagdikteregeling ontwikkeld om sterk wisselende hydraulische belastingen te kunnen opvangen. Tevens zijn de maximale belastingen van de flotatie-eenheid bepaald die als uitgangspunt hebben gegolden voor het latere onderzoek naar de hydraulische flexibiliteit van de proefinstallatie.

3.2 Regeling van de sliblaagdikte

Bij flotatie vormt zich een drijflaag (d1) op het wateroppervlak. Behalve deze drijflaag op het water ontstaat tevens een diffuse sliblaag (d2) onder water. Deze beide lagen lopen geleidelijk in elkaar over (fig. 2).
De sliblaagdikte d1 bepaalt de verblijftijd van het slib in de drijflaag. De verblijftijd van het slib in de drijflaag bepaalt het retourslibgehalte. Theoretisch kan de verblijftijd in de drijflaag met de volgende formule worden benaderd:

$$t_d = 0,6 \frac{d1 * DS_{rs}}{DSB} \qquad (1)$$

waarin,

t_d	=	verblijftijd slib in sliblaag (min)
d1	=	dikte sliblaag op wateropp. (cm)
DS_{rs}	=	retourslibgehalte (g/l)
DSB	=	drogestofbelasting (kg/m².h)

Het is van belang dat het retourslibgehalte zo hoog mogelijk is (25 à 30 g/l), daar het retourslibdebiet (Qrs) hiervan afhankelijk is volgens (2). Hierdoor bepaalt het retourslibgehalte mede de drogestofbelasting van de flotatie-eenheid (zie formule (3) in 3.3).

$$Q_{rs} = \frac{Q_i * DS_{oc}}{DS_{rs} - DS_{oc}} \qquad (2)$$

waarin,

Q_{rs}	=	retourslibdebiet (m³/h)
Q_i	=	influentdebiet (m³/h)
DS_{oc}	=	slibgehalte onderste compartiment (g/l)

Omdat bij het flotatieproces in de schachtreactor de afgeschraapte sliblaag onder vrij verval naar de slibkelder, stroomt kunnen te hoge waarden van het retourslibgehalte (> 35 g/l) problemen opleveren met deze stroming onder vrij verval.
Wanneer de drijflaagdikte wordt ingesteld op een bepaalde dikte zal bij sterke verhoging van het afvalwaterdebiet de sliblaag opgetild worden en als zeer dun retourslib gerecirculeerd worden. Dit resulteert in een verhoogd retourslibdebiet en daarmee in een verhoogde drogestofbelasting; energetisch gezien is dit ongunstig.
Bij sterke verlaging van het afvalwaterdebiet zal de sliblaag sterk verminderd doorstromen en plaatselijk uitdrogen. Normale bedrijfsvoering is dan niet meer mogelijk.
Om deze problematiek te kunnen ondervangen en voor het zo bedrijfszeker mogelijk laten functioneren van het flotatieproces, onder wisselende afvalwaterdebieten, is een besturingsprogramma voor de instelling van de drijflaagdikte, afhankelijk van het afvalwaterdebiet, ontwikkeld.

In de flotatie-eenheid van de proefinstallatie kan het waterniveau worden geregeld door middel van een computergestuurde afsluiter op de effluentafvoer. Het verschil tussen het waterniveau in de flotatie-eenheid en de overstortgoot van het slib bepaalt de dikte van de sliblaag (d1). Bij verhoging van het influentdebiet zal het waterniveau worden verlaagd (d1 verhoogd) en bij verlaging van het influentdebiet zal het waterniveau worden verhoogd. De computer stuurt de afsluiter op de effluentafvoer aan de hand van een van te voren ingevoerde ijklijn van het influentdebiet tegen de sliblaagdikte.
Om de ijklijn te kunnen vaststellen is de relatie gezocht tussen de verblijftijd in de sliblaag en het retourslibgehalte. Met behulp van formule 1 is het dan mogelijk om bij een

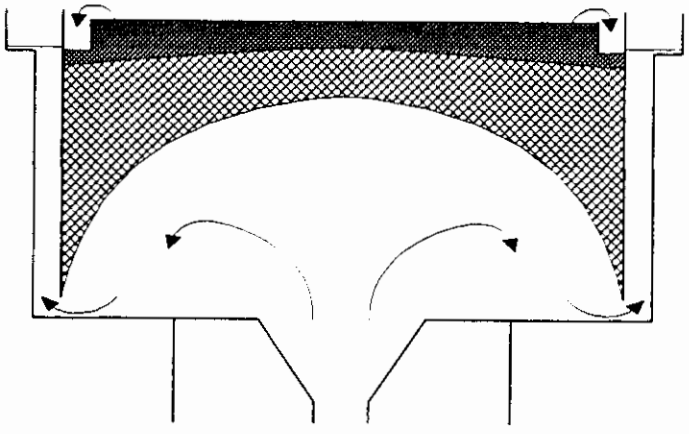
gewenst retourslibgehalte en afhankelijk van de drogestofbelasting de benodigde dikte van de sliblaag te bepalen bij een gelijkblijvende verblijftijd. Omdat de drogestofbelasting afhankelijk is van het influentdebiet kan de ijklijn worden vastgesteld voor de sliblaagdikte als functie van het influentdebiet.

3.3 Procesparameters van het flotatieproces

De slib-waterscheidingscapaciteit van de flotatie-eenheid wordt voornamelijk bepaald door de volgende procesparameters:

- drogestofbelasting (kg d.s./m^2.h)
- oppervlaktebelasting (m^3/m^2.h)
- A/S-verhouding (%) ("air to solids")

De maximale belasting van de flotatie-eenheid wordt bereikt als de diffuse sliblaag onder water ten gevolge van sterke stroming een concave vorm krijgt (fig. 4). Het slib zal nu via het duikschot uitspoelen.



Figuur 4 *Overbelasting van de flotatie-eenheid, schematisch weergegeven.*

drogestofbelasting

De drogestofbelasting van de flotatie-eenheid wordt bepaald door het influentdebiet, retourslibdebiet, slibgehalte in het onderste compartiment en het oppervlak van de flotatie-eenheid volgens:

$$DSB = \frac{DS_{oc}}{O_{fg}} * (Q_i + Q_{rs}) \qquad (3)$$

waarin,
DSB = drogestofbelasting (kg d.s./m².h)
DS_{os} = slibgehalte onderste compartiment (g/l)
Q_{rs} = retourslibdebiet (m³/h)
Q_i = influentdebiet (m³/h)
O_{fg} = oppervlakte flotatie-eenheid (m²)

De maximaal toelaatbare drogestofbelasting is bepaald door het totaaldebiet naar de installatie constant te houden en het slibgehalte in de schacht te laten variëren.

oppervlaktebelasting

De oppervlaktebelasting wordt bepaald door het influent- en flotatiegeneratordebiet en het oppervlak van de flotatie-eenheid volgens:

$$OB = \frac{Q_i + Q_{fg}}{O_{fg}} \qquad (4)$$

waarin,
OB = oppervlaktebelasting (m³/m².h)
Q_{fg} = flotatiegeneratordebiet (m³/h)

De maximaal toelaatbare oppervlaktebelasting is bepaald bij een laag slibgehalte in de schacht (gem. 4 g/l), zodat de maximale drogestofbelasting niet eerder zou zijn bereikt dan de maximale oppervlaktebelasting. Het totaaldebiet naar de installatie werd gevariëerd terwijl het flotatiegeneratordebiet constant werd gehouden.
Omdat de drogestofbelasting en de oppervlaktebelasting niet los van elkaar gezien kunnen worden, is bij een slibgehalte in de schacht van gemiddeld 8 g/l de interactie tussen beide parameters bekeken.

A/S-verhouding

De A/S-verhouding geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid luchtbelletjes en de hoeveelheid slib (uitgedrukt als mg lucht/mg slib • 100%). Voor het ontwikkelde flotatieproces geldt dat de voor flotatie benodigde hoeveelheid luchtbelletjes zowel afkomstig is uit de reactor (A/S_r) als uit de flotatiegenerator (A/S_{fg}). Voor de A/S-verhouding geldt:

$$A/S = (A/S)_r + (A/S)_{fg} \qquad (5)$$

waarin,
$(A/S)_r$ = A/S-verhouding reactor (%)
$(A/S)_{fg}$ = A/S-verhouding flotatiegenerator (%)

Op basis van de wet van Henry wordt $(A/S)_r$ met de volgende formule berekend:

$$(A/S)_r = \frac{Z * 1,41 * [(Yr/10.000) * (Pr - 100) - 1)]}{(38 + T) * DS_r} \qquad (6)$$

waarin,

Z	=	uittreedrendement (%)
Yr	=	verzadigingsrendement (%)
Pr	=	hydrostatische druk (kPa)
T	=	temperatuur (°C)
DS_r	=	slibgehalte (g/l)

De hoeveelheid lucht wordt voornamelijk bepaald door de diepte van de reactor (uitgedrukt in de hydrostatische druk: Pr) terwijl de hoeveelheid slib bepaald wordt door het slibgehalte in de reactor (DS_r). Uit eerder onderzoek (Engwirda, 1985) is gebleken dat voor het verzadigingspercentage van lucht in de reactor (Yr) een waarde van 70% geldt. Het uittreedrendement (Z) is een moeilijk meetbare grootheid en wordt op basis van literatuurgegevens gesteld op 90%.
$(A/S)_{fg}$ wordt berekend met de volgende formule:

$$(A/S)_{fg} = \frac{Q_{fg}}{Q_i + Q_{rs}} \; \frac{Z * 1,41 * [(Yr/10.000) * Pd - 1]}{(38 + T) * DS_r} \qquad (7)$$

waarin,

Z	=	uittreedrendement (%)
Yd	=	verzadigingsrendement (%)
Pd	=	druk in flotatiegeneratorvat (kPa)
T	=	temperatuur (°C)
DS_r	=	slibgehalte (g/l)
Q_{fg}	=	flotatiegeneratordebiet (m^3/h)
Q_i	=	influentdebiet (m^3/h)
Q_{rs}	=	retourslibdebiet (m^3/h)

Het uittreedrendement (Z) is vastgesteld op 90%. Voor het verzadigingspercentage van lucht in het flotatiegeneratorvat (Yd) is een waarde van 95% aangehouden.
De A/S-verhouding van de reactor heeft bij een gelijkblijvend slibgehalte een redelijk constante waarde en kan zodanig niet gevarieerd worden. De A/S-verhouding van de flotatiegenerator kan door middel van het regelen van het flotatiegeneratordebiet op de gewenste waarde worden ingesteld.

3.4 Hydraulische flexibiliteit van de installatie

Bij een gemiddeld slibgehalte in de schacht van 8 g/l is onderzoek uitgevoerd, waarin de hydraulische flexibiliteit van de installatie is getest.

3.4.1 de hydraulische flexibiliteit van de flotatie-eenheid

De RWA/DWA-verhouding is gedurende het onderzoek gebaseerd geweest op een maximale DWA van 4 m^3/h; voor een RWA/DWA van 5 betekent dit een totaaldebiet van 20 m^3/h.

De DWA is gevormd door 2 m^3 influent en 2 m^3 recirculatiewater. Op deze manier bleef de slibbelasting van 0,05 kg BZV_5/kg d.s.d gehandhaafd terwijl hydraulisch een DWA van 4 m^3/h is toegepast.

constant influentdebiet

Indien er sprake is van regenval zal door de bergingscapaciteit van het riool een afvlakking optreden in het afvalwaterdebiet naar de installatie. In de experimenten is daarom gekozen over een langere periode het influentdebiet constant te houden op een RWA/DWA-verhouding variërend van 1 tot 5.

Ieder experiment nam twee dagen in beslag, per week is één experiment uitgevoerd. Op de tussenliggende dagen is het influentdebiet op de gemiddelde DWA van 4 m^3/h ingesteld. Op deze manier zijn de experimenten minimaal beïnvloed geweest door de voorafgaande experimenten. Voor elke RWA/DWA-verhouding zijn twee experimenten uitgevoerd.

wisselend influentdebiet

Om de bedrijfszekerheid en de flexibiliteit van de proefinstallatie te testen onder sterk wisselende hydraulische belastingen is 24 uur lang de RWA/DWA-verhouding ad random gevariëerd tussen 1 en 5.

3.4.2 biologische zuivering

De capaciteit van de biologische zuivering is gevolgd om na te gaan of deze gereduceerd zou worden bij een toenemend totaaldebiet. Gemeten zijn de CZV-, BZV- en N_{Kj}-waarden van influent en effluent. Van deze parameters zijn zowel de gefiltreerde monsters als de ongefiltreerde monsters geanalyseerd om na te gaan of een eventuele vermindering van het rendement bij toenemend totaaldebiet te wijten zou kunnen zijn aan het zwevend-stofgehalte in het effluent.
De effluentkwaliteitseisen waaraan voldaan dienden te worden staan weergegeven in tabel 1.

3.5 Meetmethoden

3.5.1 analysemethoden

Gedurende de experimenten zijn de volgende parameters dagelijks gemeten:

- CZV, BZV_5, N_{Kj}, NH_4-N (inf. + eff.);
- drogestofgehalte (slib);
- zwevend-stofgehalte (eff.);
- FVI (Flotatie Volume Index).

CZV, N_{Kj}, drogestofgehalte en zwevend-stofgehalte zijn bepaald volgens NEN-voorschrift. De BZV_5 is bepaald volgens een gemodificeerd NEN-voorschrift van de verdunningsmethode. Ammonium is fotometrisch bepaald met behulp van een auto-analyser.

Voor CZV, BZV_5 en N_{Kj} zijn zowel de gefiltreerde als de ongefiltreerde monsters geanalyseerd. De geanalyseerde monsters waren 24-uurs monsters.

Omdat voor het slib uit de schachtreactor geen SVI bepaald kan worden, omdat het slib floteert in plaats van bezinkt, is de FVI geïntroduceerd. De werkwijze is afgeleid van de werkwijze voor de bepaling van de SVI.

De temperatuur, pH en turbiditeit van het effluent zijn on-line gemeten.

3.5.2 relatie turbiditeit en zwevend-stofgehalte

Voor de on-line bepaling van het zwevend-stofgehalte, gedurende het bedrijven van de proefinstallatie, is gebruik gemaakt van een turbiditeitsmeter. De sonde van de turbiditeitsmeter bevond zich gedurende het onderzoek bovenin de effluentgoot van de flotatie-eenheid. De turbiditeit wordt gemeten in NTU-eenheden.

De relatie tussen de turbiditeit en het zwevend-stofgehalte is bepaald aan de hand van de zwevend-stofgehalten die elke dag werden gemeten en aan de hand van steekmonsters. Voor de steekmonsters is bij een bepaalde turbiditeit het zwevendstofgehalte bepaald van het actuele monster.
Tot een turbiditeit van 40 NTU wordt het zwevend-stofgehalte benaderd met de volgende relatie.

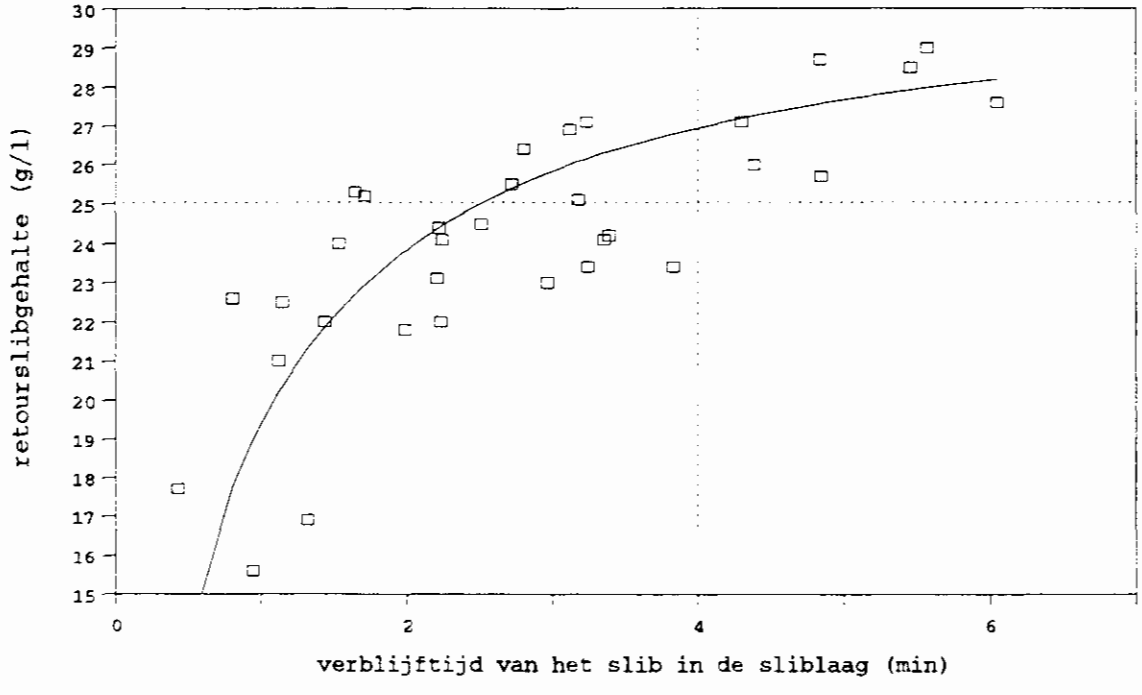
$$\log(\text{zwevend-stofgehalte}) = 0{,}057 * (\text{turbiditeit}) + 0{,}543$$

4 Resultaten

4.1 Procesvoering flotatie-eenheid

4.1.1 sliblaagdikteregeling

Voor het verkrijgen van de relatie om de sliblaagdikte debietsafhankelijk te kunnen sturen is de relatie tussen de verblijftijd van het slib in de sliblaag (d1) en het retourslibgehalte bepaald. In figuur 5 is deze relatie weergegeven. De retourslibgehalten zijn niet opgesplitst naar drogestofbelasting, waardoor enige spreiding van de punten optreedt. In figuur 5 is waar te nemen dat met een verblijftijd van het slib in de sliblaag van 4 minuten een retourslibgehalte hoger dan 25 g/l vrijwel zeker is.
Voor het gewenste retourslibgehalte en een bepaalde verblijftijd kunnen de vereiste sliblaagdikten berekend worden met formule (1) bij verschillende influentdebieten en slibgehalten in het onderste compartiment. In tabel 4 zijn de vereiste sliblaagdikten weergegeven voor een retourslibgehalte van 25 g/l en een verblijftijd van het slib in de sliblaag van 5 min. Gebruikmakend van deze berekeningswijze kan de relatie voor het continu regelen van de sliblaagdikte worden ingevoerd.
De waarden voor de relatie uit tabel 4 voor een retourslibgehalte van 25 g/l en een verblijftijd van 5 minuten leverde goede resultaten op. Het retourslibgehalte bedroeg over de gehele onderzoeksperiode tussen 25 en 30 g/l.



Figuur 5 *Het retourslibgehalte afhankelijk van de verblijftijd van het slib in de sliblaag (d1).*

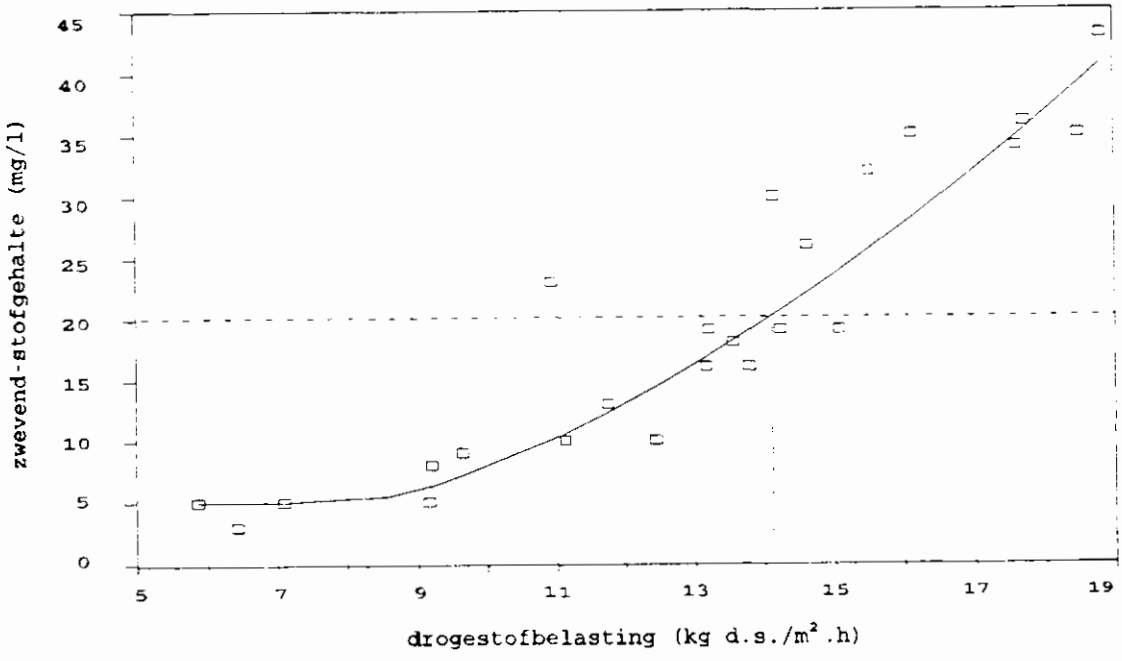
Tabel 4 *Benodigde sliblaagdikte (cm) bij verschillende influentdebieten en slibgehalten in het onderste compartiment, bij een retourslibgehalte van 25 g/l en een verblijftijd in de sliblaag van 5 min.*

slibgehalte onderste comp. (g/l)	influentdebiet (m³/h)				
	4	8	12	16	20
4	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
5	1,3	2,6	4,0	5,3	6,5
6	1,6	3,3	5,0	6,6	8,3

4.1.2 procesparameters

drogestofbelasting

De maximale drogestofbelasting is bepaald bij een constant totaal-influentdebiet van 15 m^3/h (5 m^3 influent + 10 m^3 recirculatiewater) en bij een variërend slibgehalte in de schacht. Het flotatiegeneratordebiet bedroeg 7 m^3/h. Uit het totaal-influentdebiet en het flotatiegeneratordebiet volgt dan een waarde voor de oppervlaktebelasting van 3,5 m/h.
De maximale drogestofbelasting van de flotatie-eenheid is die belasting waarbij nog een zwevend-stofgehalte van 20 mg/l verwezenlijkt kan worden. In figuur 6 staat de relatie weergegeven tussen de drogestofbelasting en het zwevend-stofgehalte in het effluent. De grens van 20 mg/l wordt overschreden bij een drogestofbelasting hoger dan 14 $kg/m^2.h$.



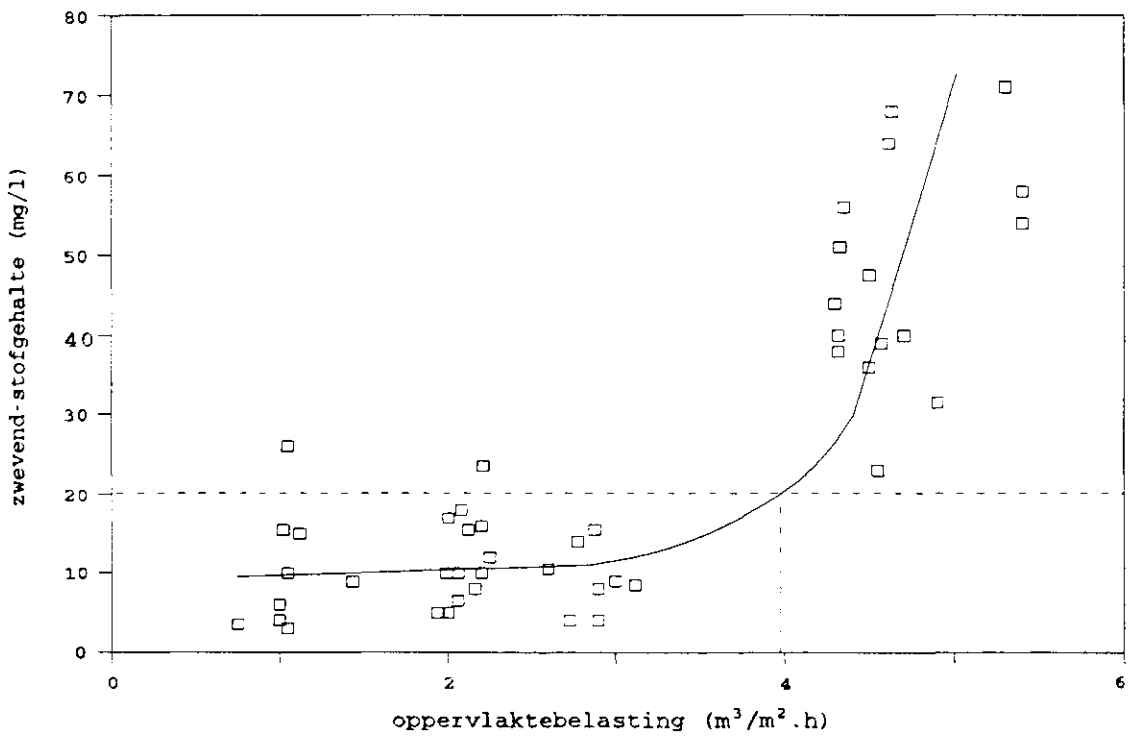
Figuur 6 *Verloop van het zwevend-stofgehalte in het effluent als functie van de drogestofbelasting van de flotatie-eenheid.*

Omdat de drogestofbelasting niet los gezien kan worden van de oppervlaktebelasting, doordat ze beide afhankelijk zijn van het totaaldebiet, is bij een drogestofbelasting van circa 14 kg d.s./m^2.h gekeken tot hoever de oppervlaktebelasting verhoogd kan worden eer een zwevend-stofgehalte van 20 mg/l wordt bereikt. Dit blijkt mogelijk te zijn tot een oppervlaktebelasting van 4 m/h.

oppervlaktebelasting

De experimenten voor het bepalen van de maximale drogestofbelasting zijn uitgevoerd bij een hoog slibgehalte in de schacht. De limiterende drogestofbelasting zal bij een hoog slibgehalte waarschijnlijk eerder bereikt zijn dan de maximaal toelaatbare oppervlaktebelasting. Om de maximale oppervlaktebelasting te kunnen bepalen is de installatie bedreven bij een lager slibgehalte in de schacht (4 g/l).

Het influentdebiet is gevarieerd tussen 3 en 30 m^3/h en het flotatiegeneratordebiet bedroeg constant 7 m^3/h.
De resultaten hiervan zijn uitgezet in figuur 7 waarin te zien is dat tot een oppervlaktebelasting van 4 m/h een zwevendstofgehalte van 20 mg/l of lager te realiseren is. Dit is overeenkomstig het resultaat gevonden bij de maximale drogestofbelasting van 14 kg d.s./m^2.h. Met een flotatiegeneratordebiet van 7 m^3/h betekent dat, dat met een oppervlaktebelasting van 4 m/h het maximale influentdebiet naar de proefinstallatie 18,5 m^3/h kan bedragen.



Figuur 7 *Verloop van het zwevend-stofgehalte in het effluent als functie van de oppervlaktebelasting van de flotatie-eenheid.*

de A/S-verhouding

In vorig onderzoek (Engwirda, 1986) is reeds gevonden dat bij een A/S-verhouding lager dan 0,8% geen zwevend-stofgehalte onder de 20 mg/l meer kan worden verkregen. Een A/S-verhouding van 1,2% is in dat onderzoek gesteld als een veilige ondergrens.
Ook in het onderhavige onderzoek is gevonden, dat tot een A/S-verhouding van circa 0,8% nog een zwevend-stofgehalte van 20 mg/l kan worden verkregen. Dit bleek echter een zeer kritische waarde, want reeds bij een kleine verstoring verslechterde de effluentkwaliteit. Bij een oppervlaktebelasting van 4 m/h en een drogestofbelasting van 14 kg/m².h blijkt een A/S-verhouding van 1,2% nodig te zijn voor een goede effluentkwaliteit.

4.1.3 uitgangspunten voor het onderzoek

Volledigheidshalve staan de bepaalde maximaal toelaatbare belastingen van de flotatie-eenheid en de daarbij benodigde A/S-verhouding weergegeven in tabel 5. Deze hebben gefungeerd als uitgangspunten voor het verdere onderzoek.

Tabel 5 *Maximaal toelaatbare oppervlakte- en drogestofbelasting van de flotatie-eenheid met de daarbij behorende optimale A/S-verhouding voor een zwevend-stofgehalte lager dan 20 mg/l.*

flotatie-eenheid		
oppervlaktebelasting	4	m³/m².h
drogestofbelasting	14	kg d.s./m².h
A/S-verhouding	1,2	%

4.2 Hydraulische flexibliteit van de installatie

4.2.1 het zwevend-stofgehalte

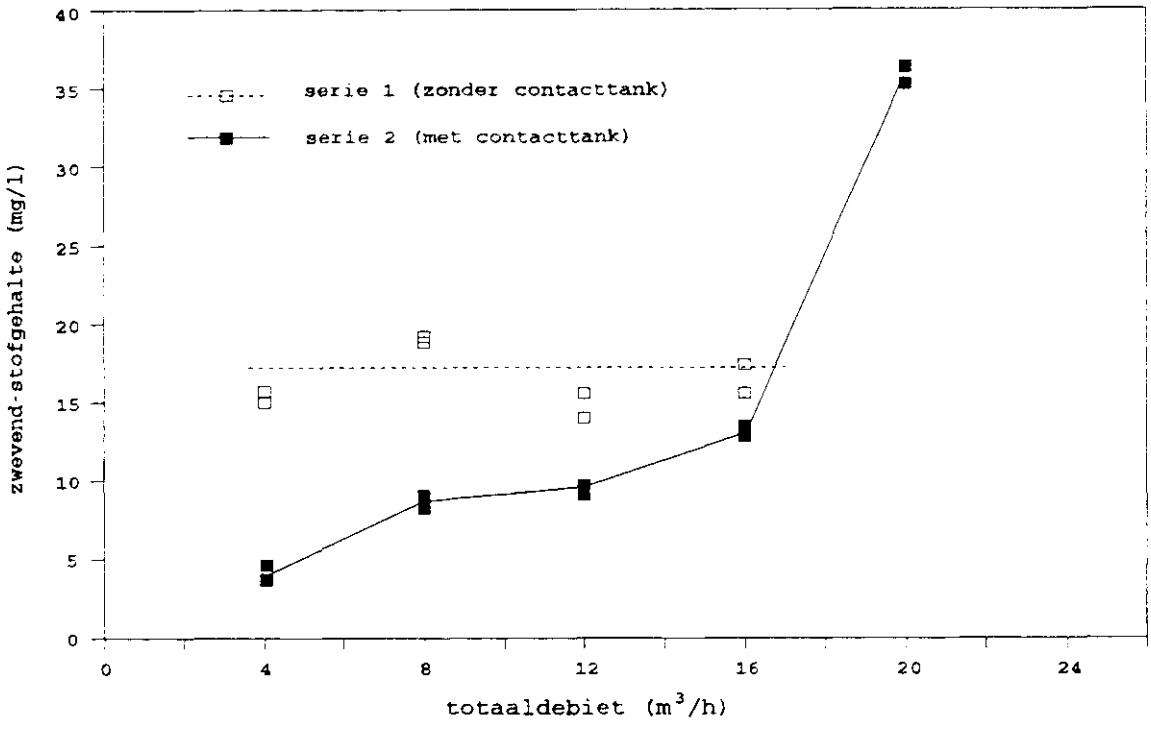
constant influentdebiet

Van de experimenten waarbij het totaaldebiet twee dagen lang constant is gehouden op een RWA/DWA-verhouding van 1 tot 5 zijn twee series uitgevoerd.

Van de eerste serie is het zwevend-stofgehalte uitgezet tegen het totaaldebiet in figuur 8. Het totaaldebiet bij een RWA/DWA verhouding van 5 is hierbij weggevallen omdat er een technisch mankement optrad aan de installatie.
Over het bereik van 1 tot 4 voor de RWA/DWA-verhouding bleef het zwevend-stofgehalte van het effluent onder de 20 mg/l en bedroeg gemiddeld 17 mg/l.

Na deze serie experimenten werd een serie uitgevoerd die gekenmerkt werd door een slechte kwaliteit van het slib. Tijdens de experimenten was reeds enige malen geconstateerd dat er sprake was van licht slib (type 021N). Gezond slib uit

de schachtreactor floteert volledig. In deze periode bezonk echter het grootste gedeelte met een SVI > 150. Omdat het met de slechte kwaliteit van het slib niet mogelijk was een tweede representatieve serie af te werken werd besloten tot het voorschakelen van een externe anaërobe selector ter verbetering van de slibkwaliteit. Na de ingebruikname van de selector werd een slibkwaliteit verkregen met goede flotatie-eigenschappen. De Flotatie-Volume-Index (FVI) was lager dan 100 ml/g.



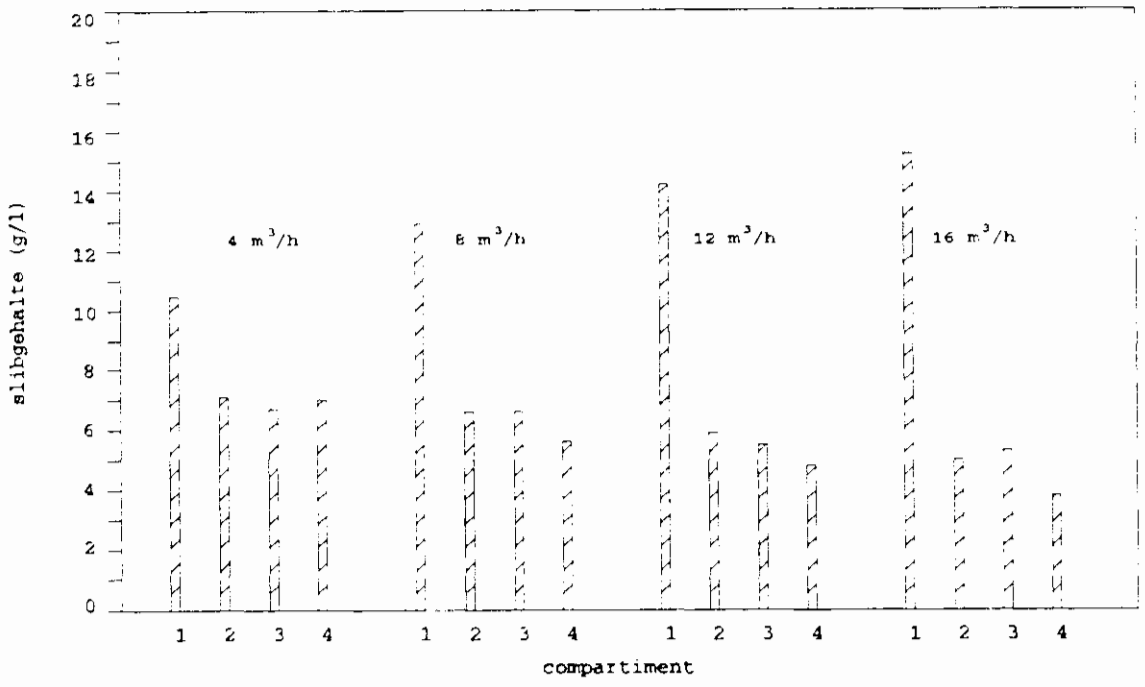
Figuur 8 *Verloop van het zwevend-stofgehalte in het effluent als functie van het totaaldebiet.*

Met de verkregen slibkwaliteit is de tweede serie experimenten uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn te vinden in figuur 8. Het zwevend-stofgehalte nam over het debietbereik van 4 tot 16 m^3/h toe van 4 tot 13 mg/l waarbij het gehalte dus ver onder de vereiste waarde van 20 mg/l bleef. Bij 20 m^3/h en RWA/DWA 5 slaat de flotatie-eenheid door en stijgt het gehalte tot 36 mg/l. De maximale drogestofbelasting van 14 kg d.s./m^2.h en de maximaal toelaatbare oppervlaktebelasting van 4 m/h worden dan ook overschreden bij een totaaldebiet van 20 m^3/h. Bij de bepaling van de maximale oppervlaktebelasting was reeds gevonden dat tot een totaaldebiet van 17,5 à 18,5 m^3/h kan worden gegaan, afhankelijk van het flotatiegeneratordebiet.

Als de eerste serie wordt vergeleken met de tweede, valt duidelijk het effect van de selector waar te nemen. Tot een RWA/DWA-verhouding van 4 blijft het zwevend-stofgehalte onder de 20 mg/l, maar in de eerste serie is het gehalte constant over het hele RWA/DWA-bereik, terwijl in de tweede serie het zwevend-stofgehalte in het effluent langzaam toeneemt met het

toenemend totaaldebiet. De slibkarakteristieken zijn in beide series niet gelijk geweest, waardoor het niet mogelijk is beide met elkaar te vergelijken.
Met een goede slibkwaliteit kan zelfs tot RWA/DWA = 3 een zwevend-stofgehalte gerealiseerd worden lager dan 10 mg/l.

Een belangrijk gegeven is dat bij het stijgen van het totaaldebiet een steilere slibgradiënt ontstaat in de schacht. Een slibgradiënt kan ontstaan omdat het retourslib in het bovenste compartiment wordt gevoerd en het influent + recirculatiewater in het daar onderliggende compartiment. Figuur 9 illustreert dit effect zoals gevonden in de tweede serie experimenten.
Op deze manier wordt de drogestofbelasting van de flotatie-eenheid verlaagd.

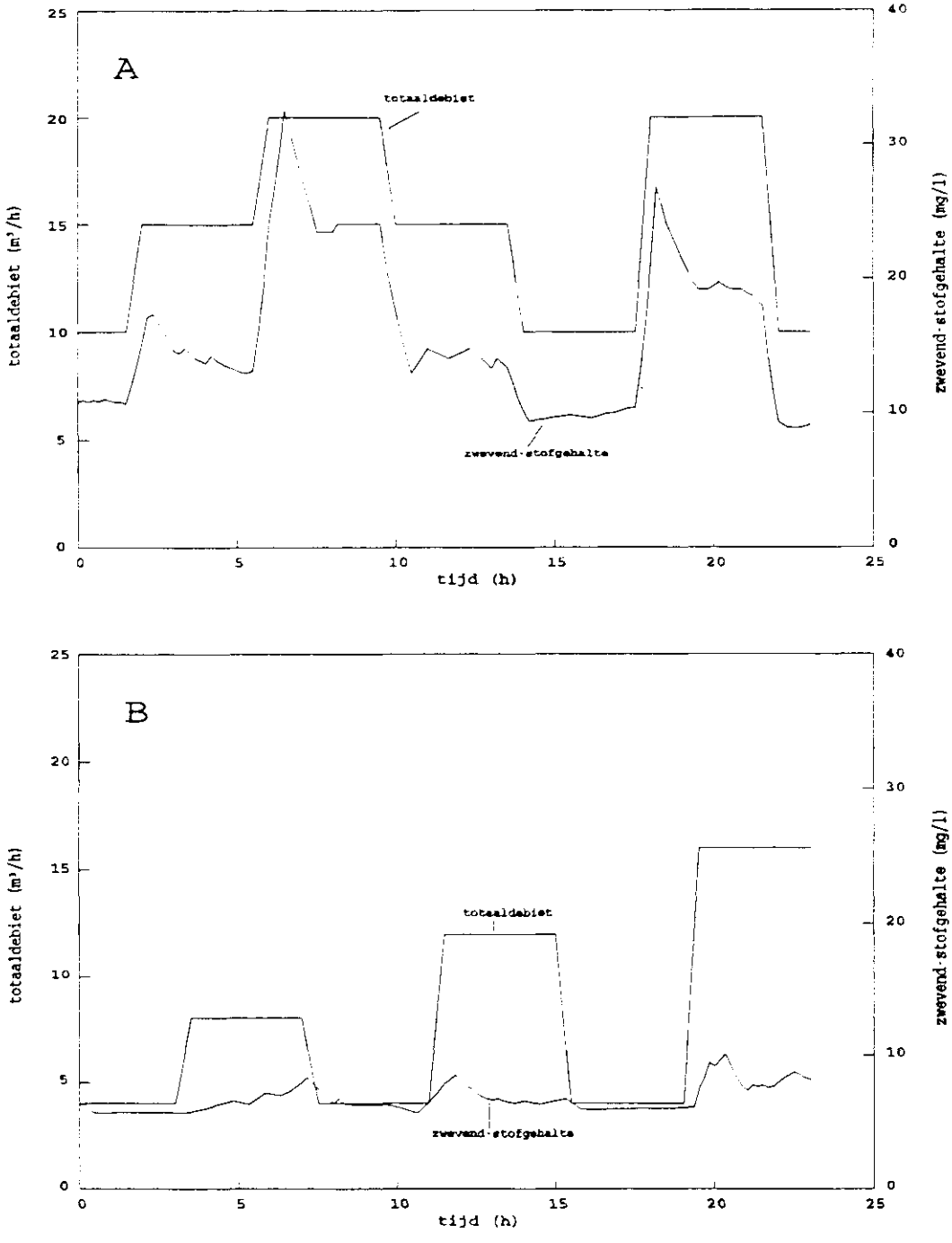


Figuur 9 *Het optreden van een slibgradiënt in de schacht bij verschillende totaaldebieten.*

wisselend influentdebiet

In figuur 10 worden twee voorbeelden gepresenteerd van een RWA-simulatie. Het zwevend-stofgehalte dat op de rechter Y-as is uitgezet, is bepaald met behulp van de gevonden relatie tussen de turbiditeit en het zwevend-stofgehalte.
Het belangrijkste verschil tussen beide simulaties was de slibkwaliteit, de procescondities waren voor beiden identiek. In simulatie A had de FVI een waarde van 140 ml/g en in simulatie B bedroeg de FVI 80 ml/g.
In het geval van simulatie A stijgt het zwevend-stofgehalte boven de 20 mg/l bij een totaaldebiet van 20 m^3/h. In RWA-simulatie B blijft het zwevend-stofgehalte tot een totaaldebiet van 16 m^3/h onder de 10 mg/l.
Uit deze RWA-simulaties blijkt weer dat het gebruik van een selector voor het verkrijgen van een goede slibkwaliteit

essentieel is voor het functioneren van het flotatieproces. Als het influentdebiet wordt verhoogd onstaat er een piek in het zwevend-stofgehalte, doordat het systeem in de flotatie-eenheid wordt verstoord, omdat de sliblaagdikte opnieuw wordt ingeregeld bij verandering van het influentdebiet. Na een korte periode onstaat er weer een stabiele situatie en het zwevend-stofgehalte in het effluent neemt af.



Figuur 10 Een voorbeeld van een RWA-simulatie zonder selector (A) en met selector (B).

4.2.2 biologische zuivering

Van de serie experimenten met een constant debiet, waarbij gebruik is gemaakt van een selector, staan de rendementen voor BZV_5, CZV en N_{Kj} uitgezet tegen het totaaldebiet in figuur 11. Zowel het rendement berekend met ongefiltreerd als met gefiltreerd effluent is weergegeven.

BZV_5

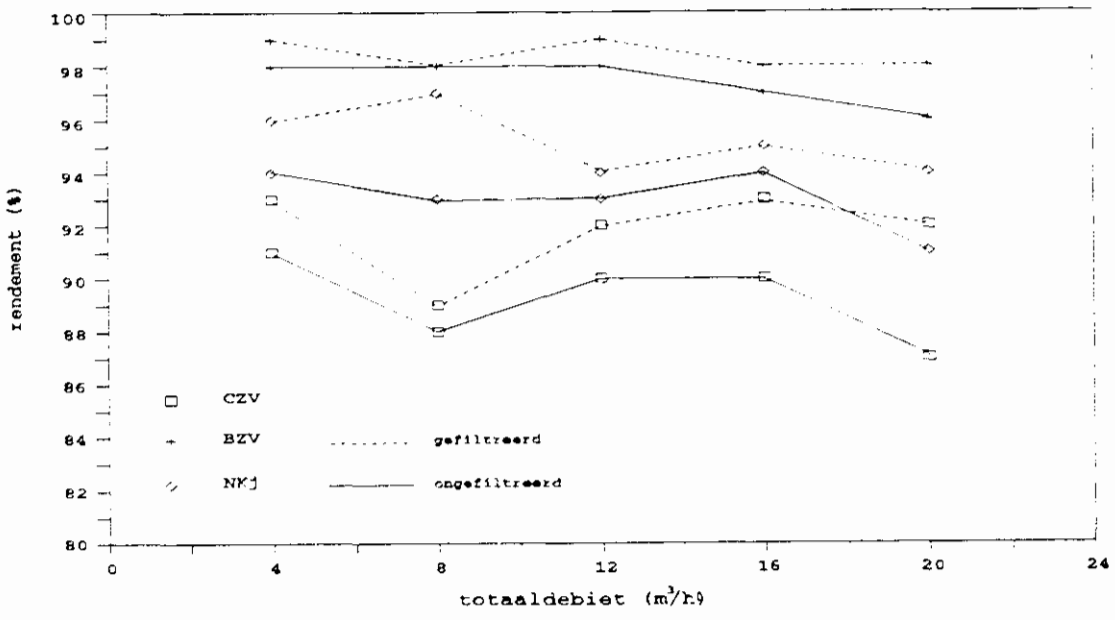
De BZV_5-rendementen vertonen slechts een geringe afname bij een toenemend totaaldebiet voor de ongefiltreerde monsters terwijl voor de gefiltreerde monsters het rendement gelijk blijft.
Het BZV_5-verwijderingsrendement lag gemiddeld op 98%.

CZV

Aan de ongefiltreerde monsters is te zien dat de afname in het rendement wordt veroorzaakt door een hoger zwevend-stofgehalte in het effluent bij een toenemend totaaldebiet (fig 8). Het rendement blijft voor de ongefiltreerde monsters gelijk.
Het CZV-verwijderingsrendement bedroeg gemiddeld 90%.

stikstof

Voor N_{Kj} neemt het rendement af bij 20 m^3/h, hetgeen ook hier terug te voeren valt op het hogere zwevend-stofgehalte in het effluent. Het N_{Kj}-omzettingsrendement bedroeg gemiddeld 93%.
Het zuurstofgehalte in de schacht bedroeg gemiddeld 2 mg O_2/l.
De installatie was niet ingericht op denitrificatie, daar nutriëntenverwijdering niet tot de doelstellingen van het onderzoek behoorde.



Figuur 11 *Biologische zuiveringsrendementen als functie van het totaaldebiet.*

In tabel 6 zijn de gemiddelde influent- en effluentwaarden gepresenteerd zoals ze werden gemeten tijdens de onderzoeksperiode. De waarden zijn onder de gestelde eisen gebleven zoals vastgesteld voor het onderzoek.

Tabel 6 *Gemiddelde influent en effluentwaarden voor CZV, BZV_5 en N_{Kj}, gefiltreerd en ongefiltreerd.*

	influent ongef.	influent gef.	effluent ongef.	effluent gef.	effluent eisen
CZV (mg/l)	503	398	54	41	-
BZV_5 (mg/l)	263	207	6	4	20
N_{Kj} (mg/l)	74	68	4	3	10

5 Discussie

5.1 Dimensionering van de flotatie-eenheid

Binnen de gekozen onderzoeksopzet en uitgaande van de maximale belasting van de flotatie-eenheid kan tot een RWA/DWA-verhouding van ongeveer 4,5 een zwevend-stofgehalte lager dan 20 mg/l worden gewaarborgd. Het niet halen van de RWA/DWA-verhouding van 5 kan worden toegeschreven aan de dimensionering van de flotatie-eenheid. Om te kunnen voldoen aan de eis voor het zwevend-stofgehalte bij een RWA/DWA-verhouding van 5 zal de flotatie-eenheid vergroot moeten worden zodat hogere belastingen kunnen worden toegepast.

De hoogte/diameter-verhouding van de flotatie-eenheid van de proefinstallatie bedraagt 0,7 terwijl uit praktijkervaring op de industriële installaties is gebleken dat de optimale verhouding eerder 1 is. Door het verhogen van de flotatie-eenheid kan een betere slib-waterscheiding worden verkregen.

5.2 Licht slib

Het optreden van licht slib in de proefinstallatie heeft een negatief effect op het functioneren van het flotatieproces. In eerste instantie werd verwacht dat licht slib geen problemen op zou kunnen leveren voor de flotatie, daar met dissolved air flotation eenvoudig een hogere A/S-verhouding kan worden gerealiseerd. Echter, met de configuratie van de proefinstallatie was dit niet mogelijk. De aanwezigheid van licht slib resulteerde in zeer hoge gehalten zwevende stof in het effluent.

Het bepalen van de SVI van slib afkomstig uit de schachtreactor is moeilijk, omdat het slib door de aangehechte lucht niet wil bezinken. In plaats daarvan is de Flotatie Volume Index (FVI) geïntroduceerd. De werkwijze is hetzelfde als bij het bepalen van de SVI. Wanneer sprake is van gezond slib zal al het slib spontaan floteren en is de FVI een geschikte parameter voor het controleren van de slibkwaliteit in de schachtreactor. Wanneer er sprake is van licht slib bezinkt een gedeelte van het slib, in plaats van spontaan te floteren; door het hydrofiele karakter van licht slib is de aanhechting van luchtbelletjes geringer.

5.3 Vlokbelading

De installatie is tijdens het onderzoek bedreven bij een slibbelasting van 0,05 kg BZV/kg d.s.d.
In de installatie wordt een propstroom benaderd door een aantal volledig gemengde aëratieruimten in serie. Retourslib en influent komen samen in één van deze gemengde ruimten.
De vlokbelading is in deze aëratieruimte minder dan 30 mg CZV/g d.s. Dit geeft de draadvormers een concurentievoordeel ten opzichte van de vlokvormers.

Het voorschakelen van een externe contacttank met een voldoende hoge vlokbelading (circa 100 mg CZV/g d.s.) kan het ontstaan van licht slib voorkomen. De contactruimte kan ook in de schacht worden gecreëerd door middel van een duidelijke propstroom in één van de aëratieruimten.

5.4 RWA-simulatie door effluentrecirculatie

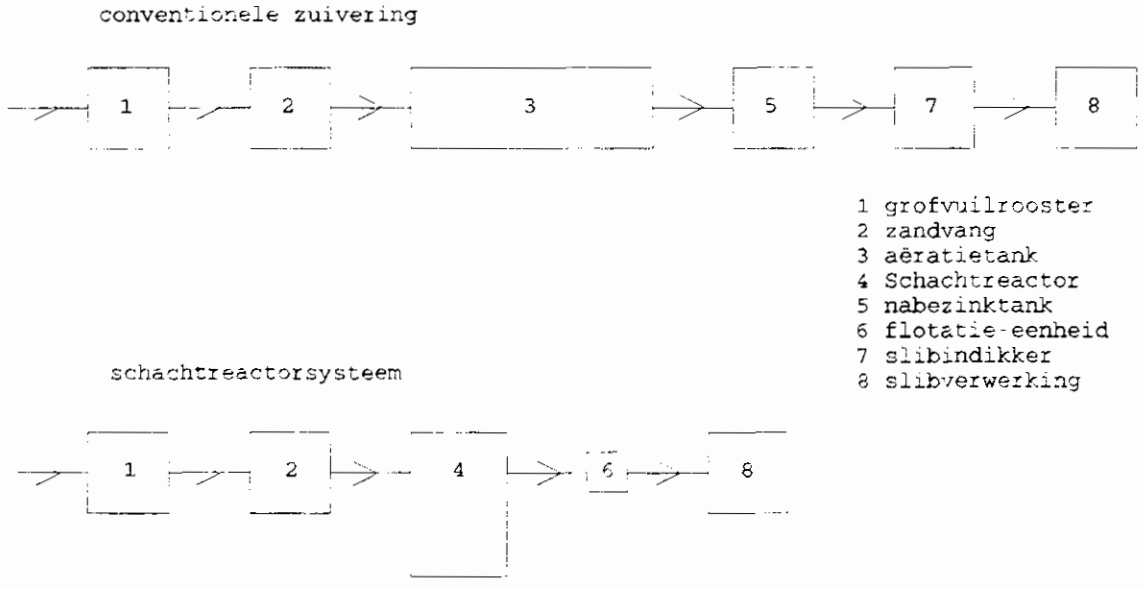
Om RWA te kunnen simuleren is effluent vanuit de effluentbuffer gerecirculeerd. Deze bedrijfsvoering kan een negatief effect op het zwevend-stofgehalte hebben uitgeoefend.
Als effluent wordt gerecirculeerd, wordt tevens die fractie zwevende stof gerecirculeerd die niet met flotatie kan worden afgescheiden van het effluent. Bij een hoge recirculatiefactor is er slechts een geringe afvoer van effluent en wordt slechts een klein gedeelte van het niet floteerbare materiaal afgevoerd. De rest van het niet floteerbare materiaal wordt teruggevoerd naar de proefinstallatie met het recirculatiewater.

5.5 Slibgradiënt in de schacht

Het creëren van een slibgradiënt in de schacht is van groot belang voor het dimensioneren van de flotatie-eenheid. De slibgradiënt kan gerealiseerd worden door het retourslib in het bovenste compartiment te pompen en het influent in het daar onder liggende compartiment. Een sterke slibgradiënt zorgt voor een lagere drogestofbelasting naar de flotatie-eenheid. Gedurende het onderzoek bedroeg het gemiddelde slibgehalte in de schacht 8 g/l. Bij regenweeraanvoer kan het slibgehalte in het onderste compartiment zakken tot 4 g/l.

5.6 Praktijkinstallatie

In figuur 12 is een schematische weergave gegeven van het schachtreactorsysteem en van een conventioneel zuiveringssysteem voor de behandeling van stedelijk afvalwater met een zeer laagbelast actiefslibsysteem (0,05-0,1 kg BZV_5/kg d.s.d).
Indien een zeer laagbelast actief-slibproces wordt toegepast wordt het afvalwater gewoonlijk niet aan een voorafgaand bezinkproces onderworpen. Wel zal er een voorbehandeling plaatsvinden. De voorbehandeling van het afvalwater bestaat voor beide systemen uit een grofvuilrooster en een zandvang.
De zuiveringstrap bestaat voor het schachtreactorsysteem uit een verticale schacht en een flotatie-eenheid voor de slibafscheiding. Voor het conventionele systeem uit een aëratietank en een nabezinktank. Het schachtreactorsysteem levert een aanzienlijke ruimtebesparing op ten opzichte van het conventionele systeem. Enerzijds door toepassing van een hoger slibgehalte in de aëratieruimte (8 g/l) dan conventioneel gebruikelijk is en anderzijds door toepassing van flotatie waarbij het benodigde volume een factor 4 kleiner is dan bij nabezinktanks.



Figuur 12 *Schematische weergave van de toepassing van het schachtreactorsysteem voor de behandeling van stedelijk afvalwater met een zeer laagbelast actief-slibproces, vergeleken met een conventionele zuivering.*

5.7 N- en P-verwijdering

In de looptijd van het onderzoek zijn strengere eisen geformuleerd voor nutriënten. Vanaf 1998 moeten zuiveringen tot 100.000 i.e. voor hun effluent voldoen aan een totaal-stikstofeis < 10 mg N/l. Vanaf 1995 moeten de zuiveringen ook voldoen aan een fosfaateis < 2 mg P/l.

De N- en P-verwijdering had in onderhavig onderzoek geen prioriteit. Het combineren van biologische defosfatering en denitrificatie in de schacht lijkt echter eenvoudig te verwezenlijken omdat in de schacht anaërobe en anoxische zones kunnen worden gecreëerd doordat de schacht reeds gecompartimenteerd is. Recirculatie van nitraatrijk slib-watermengsel kan plaatsvinden vanuit de binnenpijp, zodat de flotatie-eenheid niet extra wordt belast.

6 Conclusies

- Voor een zwevend-stofgehalte lager dan 20 mg/l gelden de volgende maximale belastingen van de flotatie-eenheid:

  drogestofbelasting: 14 kg d.s./m^2.h
  oppervlaktebelasting: 4 m^3/m^2.h

  De A/S-verhouding dient bij deze maximale belastingen tenminste 1,2% te bedragen.

- Uitgaande van de maximaal toelaatbare belasting van de flotatie-eenheid kan tot een RWA/DWA-verhouding van 4 een zwevend-stofgehalte lager dan 20 mg/l worden verkregen. Bij een RWA/DWA-verhouding van 5 vertoont de flotatie-eenheid doorslag en is het niet meer mogelijk een zwevend-stofgehalte lager dan 20 mg/l te waarborgen.

  Vergroting van de flotatie-eenheid kan tot volledige beantwoording van de gestelde eisen leiden, d.w.z. zwevende stof ≤ 20 mg/l bij RWA/DWA = 5.

- Tot een RWA/DWA-verhouding van 3 blijft het zwevend-stofgehalte onder 10 mg/l. Een goede slibkwaliteit is hiervoor vereist.

- De drogestofbelasting van de flotatie-eenheid wordt verlaagd door de aanwezigheid van een slibgradiënt in de vertikale schacht.

- Het optreden van licht slib leidde bij de proefinstallatie in de huidige configuratie tot een verslechtering van het functioneren van het flotatieproces en daarmee tot een verhoogd zwevend-stofgehalte in het effluent.
  Het voorschakelen van een anaërobe contacttank kan het optreden van licht slib voorkomen.

- Bij een slibbelasting van 0,05 kg BZV/kg d.s.d bedroegen de gemiddelde zuiveringsrendementen en de gemiddelde effluentwaarden:

	ongefiltreerd			gefiltreerd		
	inf. (mg/l)	eff. (mg/l)	rendement (%)	inf. (mg/l)	eff. (mg/l)	rendement (%)
CZV	503	54	90	398	41	92
BZV_5	263	6	98	207	4	99
N_{Kj}	74	4	93	68	3	95
zw. stof	-	8	-	-	-	-

7 Literatuur

Engwirda, S. (1984), Multireactor, een nieuwe en geavanceerde afvalwaterzuiveringstechnologie, Voedingsmiddelentechnologie, 17, 18, 54-57.

Engwirda, S. (1985), Flotatieclarificatie na beluchting onder verhoogde druk (I), H_2O (18), 20, 418-421.

Engwirda, S. (1986), Flotatieclarificatie na beluchting onder verhoogde druk (slot), H_2O (19), 18, 410-415.

Ettelt, G.A. (1975), Activated sludge thickening by dissolved air flotation. In: Proc. 19th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., ext. ser. 117, 210-244.

Starkenburg, W., Rijs, G.B.J. & Stamperius, P.C. (1988), Treatment of municipal wastewater in the future, RWZI 2000, RIZA, STORA.

Wood, R.F. & Dick, R.J. (1974), Some effects of sludge characteristics on dissolved air flotation, In: Proc. of the 7th IAWPR Conf., 173-182.

Bijlagen

Bijlage 1: Kostenvergelijking schachtreactor en conventioneel actief-slibsysteem

INHOUDSOPGAVE Blz.

1 UITGANGSPUNTEN **45**
1.1 Aanvoergegevens en effluenteisen 45
1.2 Systeemkeuzen 45

2 BESCHRIJVING CONFIGURATIES **47**
2.1 Conventioneel systeem met circuit (CONV en CONVnp) 47
2.1.1 Voorbehandeling 48
2.1.2 Beluchte selector 48
2.1.3 Beluchtingscircuit 48
2.1.4 Simultane defosfatering 48
2.1.5 Nabezinking 48
2.1.6 Slibverwerking 49
2.2 Systeem met schachtreactor (SR en SRnp) 49
2.2.1 Schachtreactor en pompput 50
2.2.2 Flotatie-eenheid 50
2.2.3 Slibretourgemaal en slibbuffer 51
2.2.4 Defosfatering 51
2.2.5 Pomp- en bedieningsruimte en leidingwerk 51

3 DIMENSIONERING **52**
3.1 Voorbehandeling 52
3.2 Actief slibgedeelte 52
3.3 Slib/waterscheiding 55
3.4 Sliblijn 55

4 BOUWKOSTEN VARIANTEN **57**

5 EVALUATIE **62**

1 UITGANGSPUNTEN

Het conventionele systeem en het schachtreactorsysteem zijn verschillende uitvoeringen van het actief slibsysteem. Voor beide systemen zal dezelfde slibbelasting worden gehanteerd en wordt er van uitgegaan dat gelijke bijbehorende effluentkwaliteit wordt bereikt.

De belangrijkste verschillen tussen het conventionele en het schachtreactor systeem zijn:
- beluchtingstank: circuit versus schachtreactor
- slib/waterscheiding: nabezinking versus flotatie

De vergelijking wordt uitgevoerd voor twee effluentkwaliteiten, nl. volgens de huidige normen en volgens de aangescherpte normen voor fosfaat- en stikstofverwijdering zoals die resp. per 1995 en 1998 gaan gelden.

1.1 Aanvoergegevens en effluenteisen

In tabel 1 staan de gegevens voor het ontwerp van de systemen weergegeven.

Tabel 1 Aanvoergegevens en effluenteisen

capaciteit	50.000	i.e. (à 54 g BZV)
gemiddelde dagaanvoer (150 l/i.e.d)	7.500	m^3/d
DWA (10 l/i.e.h)	500	m^3/h
RWA (3 x DWA)	1.500	m^3/h
influentvrachten:		
. BZV (54 g BZV/i.e.d)	2.700	kg/d
. N (10 g N/i.e.d)	500	kg N/d
. P (2 g P/i.e.d)	100	kg P/d
effluenteisen:		
. huidig	20 mg N-Kj/l, 20 mg BZV/l, 30 mg ds/l	
. toekomstig	10 mg N-tot/l, 2 mg P-tot/l	

1.2 Systeemkeuzen

Voorbezinking, gisting en slibbelasting

Vanaf een capaciteit van ca. 50.000 i.e. wordt het, naarmate de capaciteit groter wordt, uit kostenoverwegingen gunstiger om voorbezinking/gisting toe te passen. Echter bij een ontwerpcapaciteit van 50.000 i.e. zijn de kosten met of zonder voorbezinking/gisting vergelijkbaar en heeft een systeem met voorbezinking en gisting een complexere bedrijfsvoering.
Bij de toekomstige aangescherpte effluenteisen is toepassing van voorbezinking niet altijd gewenst omdat door de BZV-verwijdering in de voorbezinking de denitrificatie en de biologische defosfatering kan worden geremd.
Voor een voldoende slibstabilisatie dient de slibbelasting in de beluchting niet hoger dan 0,05 kg BZV/kg d.s.d.te zijn.
Om deze redenen is gekozen voor een ultralaag-belast actief-slibsysteem, zonder gisting en zonder voorbezinking voor zowel het conventionele systeem als het schachtreactorsysteem.

Stikstof- en fosfaatverwijdering

Ten aanzien van de stikstofverwijdering kan gezien de relatief gunstige BZV/N-verhouding worden gekozen voor een oxydatiesloot of circuit (conventioneel) met beluchte en onbeluchte

zones. Door de interne circulatie in het circuit wordt het gevormde nitraat naar de onbeluchte zones gebracht voor denitrificatie.
Het schachtreactorsysteem is gebaseerd op het voordenitrificatieconcept. Het systeem wordt opgebouwd uit meerdere schachten in serie. De eerste schachten worden ingericht op denitrificatie en de laatste schachten worden ingericht op nitrificatie. Er wordt gerecirculeerd van de laatste naar de eerste schacht.
Voor de fosfaatverwijdering in het conventionele systeem is gekozen voor simultane chemische defosfatering. De slibbelasting dient te worden verlaagd tot 0,04 kg BZV/kg d.s.d om een voldoende nitrificatie (slibleeftijd) te kunnen waarborgen, ter compensatie van de extra slibproduktie als gevolg van het chemische slib.
Tot dusver is bij de schachtreactor alleen post-precipitatie toegepast. Simultane defosfatering in een schachtreactor lijkt technisch niet bezwaarlijk, maar er is nog geen praktijkervaring met dit systeem opgedaan. Bij de kostenvergelijking worden derhalve voor de schachtreactor zowel simultane als post-precipitatie in beschouwing genomen.

Slib/waterscheiding
In een conventioneel systeem wordt het gezuiverde water van het actief slib gescheiden in de nabezinking. Bij de schachtreactor wordt flotatie toegepast. Bij flotatie kan een hoger drogestofgehalte in de beluchting worden toegepast. Bij het ontwerp wordt uitgegaan van een drogestofgehalte van 8 g/l in de schachtreactor en 4 g/l in het circuit.

Licht-slibbestrijding
Toepassing van een beluchte selector wordt tegenwoordig vaak geadviseerd bij ultra-laagbelaste actief slibsystemen. De verblijftijd dient 15 minuten op basis van DWA en 40 % van het retourslib te bedragen.
Bij de schachtreactor wordt de selector net als bij het conventionele systeem los bijgebouwd en wordt dus niet geïntegreerd in de schachtreactor.

Tabel 2 Samenvatting systeemkeuzen

	Conventioneel	Schachtreactor
Huidige effluenteisen:		
beluchting	circuit (CONV)	schachtreactor (SR)
slibbelasting	0,05	0,05 kg BZV/kg d.s.d
slibgehalte beluchting	4	8 g/l
slib/waterscheiding	nabezinking	flotatie
Toekomstige effluenteisen:		
beluchting	circuit (CONVnp)	schachtreactor (SRnp)
slibbelasting	0,04	0,04 kg BZV/kg d.s.d
slibgehalte beluchting	4	8 g/l
stikstofverwijdering	simultane denitrificatie	voordenitrificatie
fosfaatverwijdering	simultane defosfatering	simultane of post-precipitatie
slib/waterscheiding	nabezinking	flotatie

2 BESCHRIJVING CONFIGURATIES

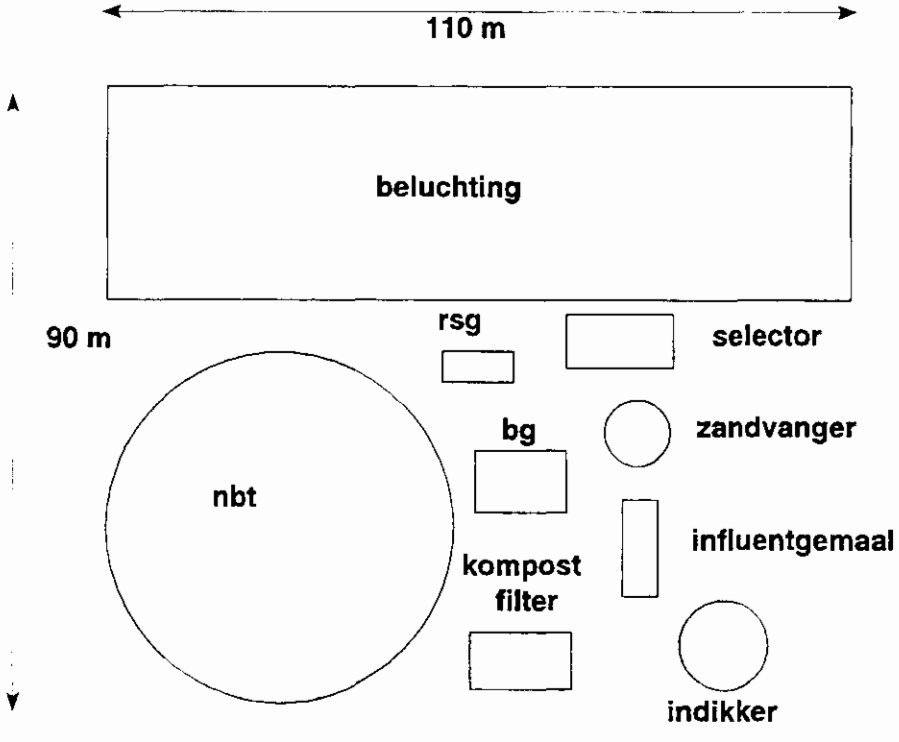
In dit hoofdstuk worden de configuraties uit tabel 2 beschreven. In hoofdstuk 3 staat de exacte dimensionering van de onderdelen nader uitgewerkt.

2.1 Conventioneel systeem met circuit (CONV en CONVnp)

De configuratie is opgebouwd uit de volgende onderdelen:

- voorbehandeling bestaande uit ontvangwerk, roosters en zandvanger
- actief slibgedeelte bestaande uit:
  . beluchte selector
  . circuit (volume afhankelijk van de effluenteisen)
- slib/waterscheiding door middel van nabezinking; slibretourgemaal
- doseerinstallatie chemicaliën voor simultane defosfatering (toekomstige effluenteisen)
- slibindikker

De voor deze configuratie benodigde onderdelen worden in het navolgende behandeld. De voorbehandeling en de beluchte selector zijn gelijk voor alle configuraties.



Figuur 1 Lay-out conventioneel systeem (huidige effluenteisen)

2.1.1 Voorbehandeling

De voorbehandeling bestaat uit de onderdelen ontvangwerk, roosters en zandvanger en is identiek voor alle configuraties. Het ontvangwerk bestaat uit twee vijzels met twee toerenregeling. Het influent wordt bij het ontvangwerk voldoende omhoog gebracht zodat het de totale installatie onder vrij verval kan doorlopen. De fijnvuilroosters hebben een spleetbreedte van 6 mm. Het roostergoed wordt in een roostergoedpers verwerkt.
De zandvanger is van het type vlakzandvanger. De zandvanger wordt voorzien van een zandwasser.
Deze onderdelen worden afgedekt en afgezogen. De afgezogen lucht wordt door een compostfilter geleid.

2.1.2 Beluchte selector

De selector wordt belucht met fijne bellenbeluchting (keramische buizen). De verblijftijd in de selector bedraagt 15 minuten op basis van DWA en 40 % van het retourslib. De selector wordt opgebouwd uit drie compartimenten om voldoende propstroomkarakter te creëren.

2.1.3 Beluchtingscircuit

Beluchting vindt plaats met fijne bellenbeluchting (rootsblowers en keramische buizen). De rootsblowers worden in het bedrijfsgebouw geplaatst. Om het actief slib in suspensie te houden en voor de interne circulatie wordt voorzien in voortstuwingspropellers die het slibwatermengsel in het circuit circuleren.
Het circuit heeft vier benen/kanalen. De beluchtingselementen worden zodanig geplaatst dat circa 40 % van het circuit anoxisch (zuurstofloos) en de overige 60 % aeroob is. Door de interne circulatie in het circuit wordt het nitraat naar de anoxische zones gevoerd.
De slibbelasting is bij de variant met de huidige effluenteisen 0,05 kg BZV/kg d.s.d. De variant met simultane defosfatering (toekomstige effluenteisen) heeft een slibbelasting van 0,04 kg BZV/kg d.s.d.
Bij de huidige effluenteisen behoeft minder vergaande stikstofverwijdering plaats te vinden. Hierdoor kan de processturing eventueel iets eenvoudiger worden uitgevoerd. De kostenconsequenties zijn echter beperkt en worden niet in de beschouwing meegenomen.

2.1.4 Simultane defosfatering

Bij de variant met de aangescherpte toekomstige effluenteisen dient het fosfaat simultaan/chemisch te worden verwijderd. Er is gekozen voor defosfatering met $FeSO_4$ en de doseerinstallatie is van het type Tunetanken.
De slibproduktie neemt als gevolg van de extra chemisch slibproduktie met 13 g/i.e.d toe.

2.1.5 Nabezinking

De nabezinking is gedimensioneerd volgens de STOWA-richtlijnen bij een SVI van 150 ml/g.
Het slib wordt geruimd met ruimers, gemonteerd aan een ronddraaiende brug, die over de gehele diameter wordt aangebracht. De kantdiepte is 2 m en er wordt geen deflectieschot aangebracht.

Voor de variant met simultane defosfatering is uitgegaan van een SVI van 125 ml/g. Door het vergrote actief slibvolume leidt deze lagere SVI echter niet tot een kleinere diameter van de nabezinkingstank bij deze variant.

De retourslibvijzel wordt twee-toerig uitgevoerd. Het retourslib wordt verdeeld over de selector (40 %) en het circuit (60 %) met een handverstelbaar en eenvoudig verdeelwerk. Het retourslib wordt voor het verdeelwerk door een rooster (6 mm) geleid.

2.1.6 Slibverwerking

Het surplusslib wordt vanuit de retourslibleiding met behulp van een 2 surplusslibpompen naar de gravitatie-indikker gepompt. De indikker wordt voorzien van een ruimer en een roerwerk en wordt afgedekt en afgezogen. Het ingedikte slib (ca. 3,5 % ds) wordt in een tankauto gepompt en elders verder verwerkt.

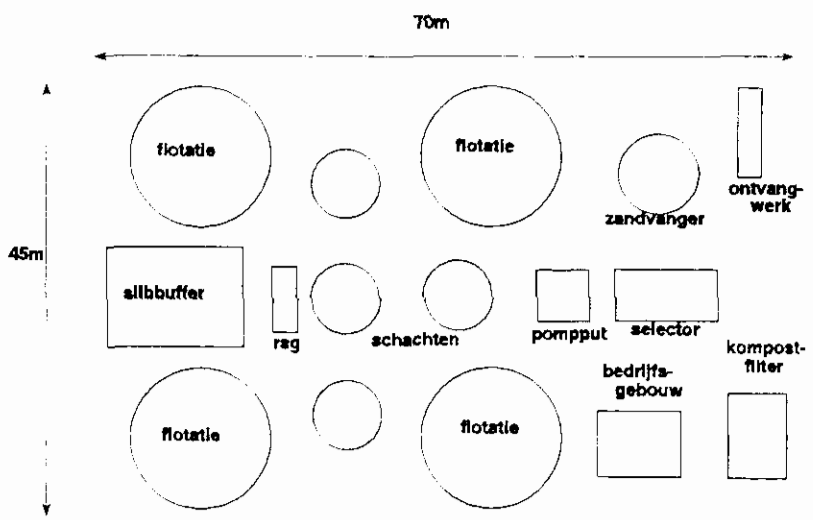
2.2 Systeem met schachtreactor (SR en SRnp)

De configuratie is opgebouwd uit de volgende onderdelen:

- voorbehandeling bestaande uit ontvangwerk, roosters en zandvanger
- actief slibgedeelte bestaande uit:
  - beluchte selector
  - pompput
  - schachtreactoren
- slib/waterscheiding door middel van flotatie
- defosfatering (bij toekomstige effluenteisen): post-precipitatieenheid of simultane defosfatering
- slibretourgemaal en slibbuffer

De onderdelen ontvangwerk, roosters, zandvanger, bedrijfsgebouw, kompostfilter en beluchte selector zijn hetzelfde als bij de conventionele varianten.

De voor deze configuratie specifieke onderdelen worden in het navolgende behandeld.



Figuur 2 Lay-out schachtreactor systeem (SR, huidige effluenteisen).

2.2.1 Schachtreactor en pompput

De schachtreactor bestaat uit een aantal ondergrondse betonnen schachten, welke in serie zijn geschakeld. De schachten hebben elk een diepte van 87 meter en een diameter van 5 m en het binnenwerk is van (beschermd) staal. In de schachten bevinden zich geen bewegende delen. De schachten zijn middels drie ronde horizontale scheidingsplaten verdeeld in vier compartimenten. Hierdoor wordt een propstroomreactor gecreëerd en worden kortsluitstromen tegengegaan.

Bij de schachtreactorvariant dient het slib-watermengsel uit de selector in de schacht (compartiment 2) te worden gepompt, zodat een extra pompput benodigd is. De influentvijzels behoeven bij deze configuratie het water minder ver op te voeren als bij de conventionele configuratie.
De schachten worden van boven naar onder doorstroomd. Onderin de schachten wordt met behulp van 2 compressoren lucht ingebracht. De verdeling van de luchtbellen vindt plaats door plaatbeluchters en de luchtbeldiameter is ca. 3 mm. De bellen stijgen door de schacht omhoog. Onder de scheidingsplaten worden de bellen opgevangen en met injecteuren wederom als kleine bellen in het volgende compartiment gebracht.

Bovenin de schacht wordt de lucht opgevangen in een luchtkussen van circa 1 meter dikte. Vanuit het luchtkussen wordt de lucht gecontroleerd afgelaten. Het zuurstofgehalte wordt geregeld en gecontroleerd met een zuurstofmeting in combinatie met een PID-regeling welke is gekoppeld aan een regelafsluiter in de luchttoevoer. Door de lange verblijftijd van de luchtbellen in de reactor, kan veel zuurstof worden overgedragen, waardoor het beluchtingsrendement hoog is (ca. 70 %).

Het actief slibgehalte in de schachten bedraagt gemiddeld 8 g/l. Uit onderzoek en de praktijk is gebleken dat een slibgradiënt optreedt over de compartimenten 1 t/m 4 met resp. 20, 10, 6 en 4 g/l.

N-verwijdering

De stikstofverwijdering (bij de variant met toekomstige effluenteisen; SRnp) wordt gerealiseerd volgens het voordenitrificatie-concept. Hiertoe wordt 40 % van het actief-slibvolume ingezet als denitrificatievolume. Dit betekent dat de eerste twee van de 4/5 schachten anoxisch zullen worden bedreven. Om het slib in de anoxische reactoren in suspensie te kunnen houden wordt de aflaatlucht van de aerobe reactoren gebruikt. Deze aflaatlucht heeft een laag zuurstofgehalte.
Vanaf de binnenpijp van de laatste schacht zal met behulp van transportschroeven het slib/water worden gerecirculeerd naar de eerste schacht met een debiet van 6 x DWA_{max}.

2.2.2 Flotatie-eenheid

Het actief slib wordt van het gezuiverde afvalwater gescheiden door middel van flotatie. Er zullen vier flotatie-eenheden worden geplaatst. Een flotatie-eenheid bestaat uit een flotatietank en een flotatiegenerator.

Flotatietank

In de binnenpijp van de (laatste) schacht ontstaan door de dalende hydrostatische druk spontaan microbelletjes, die zich aan de slibvlok hechten. De slib/waterstroom wordt gesplitst in vier stromen en wordt centraal in de vier flotatietanks ingevoerd. Het actiefslib floteert spontaan en er ontstaat een slibkoek bovenin de flotatietank. De slibkoek wordt met vier schrapers in een slibgoot aan de omtrek van de flotatietank geschraapt. Het (retour)slib stroomt onder vrij verval in de kelder van het slibretourgemaal.
Het effluent verlaat onder vrij verval de flotatietank via een omloopgoot.

Flotatiegenerator

De microbelletjes die spontaan ontstaan door de dalende hydrostatische druk zijn niet voldoende om al het slib te floteren. Daarom wordt extra lucht gesuppleerd volgens het DAF-principe (Dissolved Air Flotation). Hiertoe wordt een deel van het effluent afgetapt, door een hogedrukpomp in een drukvat (flotatiegeneratorvat) gepompt en daar onder 5,5 bar verzadigd met lucht. De benodigde lucht wordt als deelstroom van de compressoren afgetapt.

Doordat het DAF-debiet vrij kan worden ingesteld, kan flexibel worden ingespeeld op de slibaanvoer uit de binnenpijp en dus op de hydraulische belasting.

2.2.3 Slibretourgemaal en slibbuffer

De slibkoek uit de flotatietank stroomt onder vrij verval naar de kelder bij het retourslibgemaal. Deze heeft een volume van 100 m^3. Draaizuigerpomp 1 verpompt 50 % van het aangevoerde slib naar de selector en pomp 2 verpompt het slib naar het eerste compartiment van de eerste schacht. Er wordt periodiek, door het omschakelen van afsluiters, slib gespuid vanuit de retourslibkelder naar de slibbuffer. Met behulp van niveau elektrodes worden de retourslib-pompen aangestuurd.

De slibkoek heeft een drogestofgehalte van ca. 2,5 % en behoeft dus niet meer te worden ingedikt. In de slibbuffer kan het drogestofgehalte doordat het flotatieproces doorgaat verder toenemen tot 3-5 % droge stof.
Er zijn aanwijzingen dat de slibproduktie bij reactoren van 60-80 m diep door de hoge druk lager is dan bij conventionele systemen. Hier is geen rekening mee gehouden; de slibproduktie wordt voor beide systemen gelijk verondersteld.

2.2.4 Defosfatering

De kostenberekeningen voor de defosfatering worden voor twee systemen uitgevoerd: simultane defosfatering en post-precipitatie. Bij de simultane defosfatering ($SRnp_{simultaan}$) wordt de slibbelasting verlaagd tot 0,04 kg BZV/kg d.s.d.. De doseerinstallatie is van het type Tunetanken. De post-precipitatie-eenheid ($SRnp_{postprec}$) bestaat uit een flocculatie-ruimte en een bezinkingstank voor afscheiding het geprecipiteerde fosfaatslib. Het slib wordt naar de slibbuffer gepompt en met het surplusslib afgevoerd.

De dimensioneringsgrondslagen voor de post-precipitatieeenheid zijn gebaseerd op de gegevens in het DBw/RIZA-rapport 'Knelpunten bij de invoering van defosfatering' uit 1989.

2.2.5 Pomp- en bedieningsruimte en leidingwerk

De influentpompen, flotatiegeneratorpompen, flotatiegeneratorvaten en slibretourpompen zijn in of naast het desbetreffende installatieonderdeel geïnstalleerd. De compressoren zijn in het centrale bedieningsgebouw geplaatst.

Samenvattend kunnen de volgende mechanische componenten kunnen in het schachtreactor-systeem worden onderscheiden:

4 influentpompen
2 slibretourpompen
4 flotatiegeneratorpompen + drukvaten
2 compressoren
4 luchtaflaten voor het luchtkussen
2 transportschroeven voor recirculatie ten bate van denitrificatie
2 perslucht drukvaten
1 PLC besturing inclusief aanpassingen op controle paneel

Het verbindend leidingwerk tussen de installatieonderdelen wordt grotendeels uitgevoerd in PVC PN10. Om het verbindend leidingwerk tegen vorst te beschermen wordt het van minimaal 80 cm dekking voorzien.

3 DIMENSIONERING

3.1 Voorbehandeling

Het voorbehandelingstraject is gelijk voor de vier varianten. De onderdelen zijn als volgt gedimensioneerd:

	Alle varianten	
ontvangwerk/roosters		
- identiek voor alle varianten		
- opstelling afgedekt en afgezogen		
- behandeling afgezogen lucht in compostfilters		
hydraulische max. belasting	1.500	m^3/h
aanvoerput	50	m^3
2 influentvijzels met capaciteit	750	m^3/h
2 fijnvuilroosters met spleetbreedte	6	mm
roostergoedpers	1	stuks
zandvanger		
- identiek voor alle varianten		
- vlakzandvanger met zandwasser type Dorr		
- opstelling afgedekt en afgezogen		
- behandeling afgezogen lucht in compostfilters		
oppervlaktebelasting bij maximale aanvoer	30	$m^3/m^2.h$
afmetingen (lxb)	7x7	m
diepte	1,5	m
spoelwaterdebiet	20	m^3/h

3.2 Actief slibgedeelte

beluchte selector

- identiek voor alle varianten
- beluchting met fijne bellen, Brandol buizen
- verblijftijd 15 minuten gebaseerd op DWA en 40 % van het retourslib
- 3 compartimenten

volume selector	180	m^3
lengte x breedte per compartiment	5x3	m
diepte	4	m

beluchtingstank (conventioneel)

- beluchtingstank in de vorm van een circuit met 40 % onbeluchte zone en 60 % beluchte zone
- toepassing van bellenbeluchting; Brandolbuizen
- voortstuwing met propellers
- dimensionering voor twee varianten: CONV (huidige effluenteisen) en CONVnp (toekomstige effluenteisen).

	CONV	CONVnp	
aanvoer			
. BZV	2.700	2.700	kg/d
. N-Kj	500	500	kg N/d
. P	100	100	kg P/d
slibbelasting	0,05	0,04	BZV/d.s.d
slibgehalte	4	4	kg d.s./m^3
aantal circuits	1	1	stuks
volume circuit	13.750	17.190	m^3
aantal kanalen	4	4	stuks
breedte kanalen	8	8	m
lengte uitwendig	113,2	140,6	m
breedte uitwendig	33,5	33,5	m

	CONV	CONVnp	
zuurstofhuishouding; methode v.d. Emde			
. BZV-verwijdering	1.322	1.322	kg O_2/d
. endogene zuurstofvraag	3.527	3.760	kg O_2/d
. nitrificatie	1.638	1.638	kg O_2/d
. denitrificatie	-918	-918	kg O_2/d
. totaal	5.569	5.803	kg O_2/d
. piekfactor	1,2	1,2	-
. zuurstofdeficiet	1,2	1,2	-
. α	0,7	0,7	-
. αOC	476	495	kg O_2/h
zuurstofoverdracht	15	15	g O_2/Nm^3.h
stijghoogte	3,8	3,8	m
benodigde luchthoeveelheid	8.350	8.685	Nm^3/h
toepassing Brandolbuizen			
. specifieke doorzet	10	10	m^3/m_b.h
. lengte per element	0,75	0,75	m
. aantal elementen	1.110	1.160	stuks
blowers			
. aantal	4	4	stuks
. capaciteit per blower	2.300	2.300	m^3/h
aantal voortstuwers	4	4	stuks
biologisch slibproduktie (46 g d.s./i.e.d)	2.300	2.300	kg d.s/d

beluchting (schachtreactor)

- dimensionering voor twee varianten: SR en $SRnp_{postprec}$ (huidige effluenteisen en toekomstige effluenteisen met post-precipitatie) en $SRnp_{simultaan}$ (toekomstige effluenteisen met simultane defosfatering);
- het slib-watermengsel uit de selector wordt vanuit de pompput in de eerste schacht gepompt;
- voor de berekening van de benodigde beluchtingscapaciteit is gebruik gemaakt van de methode zoals die door V&P wordt gehanteerd;
- de compressoren worden gebruikt voor de beluchting en voor de produktie van het DAF water;
- de niet beluchte schachten worden met behulp van kleine compressoren in suspensie gehouden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de aflaatlucht van de andere schachten.

	$SR/SRnp_{postprec}$	$SRnp_{simultaan}$	
pompput			
. volume	100	100	m^3
. aantal dompelpompen	4	4	stuks
. capaciteit per pomp	425	425	m^3/h
slibbelasting	0,05	0,04	BZV/kg d.s.d
gemiddeld slibgehalte	8	8	kg d.s./m^3
totaal actief slibvolume	6.750	8.500	m^3
aantal schachten	4	5	stuks
volume per schacht	1.700	1.700	m^3
diameter schacht	5	5	m
lengte schacht	87	87	m
zuurstofhuishouding (berekend met methode V&P)			
. totaal benodigd (zie conventionele varianten)	5.570	5.800	kg O_2/d
. piekfactor	1,2	1,2	-
. temperatuurscorrectiefactor	0,88	0,88	-
. beluchtingsrendement	70	70	%
. factor	0,28	0,28	
. OC	1.615	1.680	Nm^3/h

compressoren			
. aantal	2	2	Nm^3
. capaciteit per compressor	810	840	Nm^3/h
. werkdruk	10	10	baro
biologisch slibproduktie (46 g d.s./i.e.d)	2.300	2.300	kg d.s./d
totaal surplusslibproduktie (incl. chemisch slib)	2.300	2.950	kg d.s./d
recirculatie van schacht 4/5 naar schacht 1			
. aantal transportschroefpompen	2	2	stuks
. capaciteit per pomp	1.500	1.500	m^3/h
retourslib (2,5 g d.s./l)	290	290	m^3/h
. inhoud retourslibkelder	100	100	m^3
. aantal draaizuigerpompen	2	2	stuks
. capaciteit per pomp	150	150	m^3/h

simultane defosfatering (conventioneel en $SRnp_{simultaan}$)

- simultane defosfatering bij de variant CONVnp en $SRnp_{simultaan}$ door dosering van Fe-zouten. Hiervoor wordt het Tunetanken systeem gebruikt.

	CONVnp/$SRnp_{simultaan}$	
influentvracht P (100 kg P/dag)	3.2	kmol P/d
dosering $FeSO_4$	1,5	molFe/molP
chemicaliënverbuik (in ton produkt)	1.4	ton/d
doseerinstallatie Tunetanken voor $FeSO_4$	1	stuks
specifieke chemisch slibproduktie	13	g/i.e.d
totale slibproduktie	2.950	kg d.s.d

postprecipitatie (schachtreactor $SRnp_{postprec}$)

- post-precipitatie wordt toegepast voor de variant schachtreactor met toekomstige effluent-eisen; het effluent wordt in een flocculatieeenheid gevolg door een bezinkingstank gedefosfateerd;
- bij dit systeem kan geen $FeSO_4$ worden gebruikt als precipitatiemiddel; Fe(III)-zouten of Al-zouten zijn wel geschikt. Hier is ook gekozen voor het Tunetanken systeem dat in dit geval iets eenvoudiger kan worden uitgevoerd, omdat geen oplostank nodig is.
- de chemisch slibproduktie wordt gelijk gesteld aan de produktie bij simultane defosfatering; het slib wordt naar de slibbuffer gepompt.

	$SRnp_{postprec}$	
doseerinstallatie Tunetanken	1	stuks
flocculatietank		
. minimale verblijftijd bij RWA-condities	20	min
. benodigd volume	500	m^3
. aantal compartimenten	2	stuks
. lxbxh per compartiment	8x8x4	m
. aantal mengers per compartiment	1	stuks
bezinkingstank		
. max. oppervlaktebelasting	1.5	$m^3/m^2.h$
. aantal bezinkingstanks	1	stuks
. diameter	36	m

3.3 Slib/waterscheiding

nabezinking (conventioneel)

- gedimensioneerd volgens STORA richtlijnen bij een SVI van 150 ml/g voor CONV en een SVI van 125 ml/g voor CONVnp (vanwege de defosfateringschemicaliën);
- brug over de gehele diameter.

	CONV	CONVnp	
SVI	150	125	ml/g
aantal	1	1	stuks
diameter	49	49	m
oppervlak	1892	1892	m^2
oppervlaktebelasting	0,79	0,79	$m^3/m^2.h$
kantdiepte	2	2	m
retourslibvijzel tweetoerig; max debiet	1.200	1.200	m^3/h

flotatie-eenheid (schachtreactor)

- gedimensioneerd op basis van grondslagen die zijn voortgekomen uit onderzoek en praktijk van de schachtreactor;
- dimensionering gelijk voor alle schachtreactorvarianten;
- flotatie-eenheid wordt afgedekt en afgezogen;
- 1 flotatiegenerator per flotatie-tank.

	SR/SRnp	
aanvoer		
. influent max.	1.500	m^3/h
. retourslibdebiet max.	290	m^3/h
. drogestofgehalte (stijgbuis)	4	kg/m^3
dimensionering		
. max. drogestofbelasting	14	$kg\ d.s./m^2.h$
. benodigd oppervlak op basis van drogestofbelasting	510	m^2
. max. hydraulische belasting	4	$m^3/m^2.h$
. benodigd oppervlak op basis van hydraulische belasting	447	m^2
. keuze benodigd oppervlak	510	m^2
. aantal flotatietanks	4	stuks
. diameter	13	m
. hoogte	10	m
flotatiegeneratoren		
. benodigd totaal debiet	210	m^3/h
. aantal pompen	4	stuks
. capaciteit per pomp	60	m^3/h

3.4 Sliblijn

slibaanvoer

	CONV/SR	CONVnp/SRnp	
biologisch slibproduktie	2.300	2.300	kg d.s./d
chemisch slibproduktie	0	650	kg d.s./d
totale surplusslibproduktie	2.300	2.950	kg d.s./d

slibindikker (conventioneel)
- gravitatie-indikker, afgedekt en afgezogen;
- indikken surplusslib (biologisch en chemisch);
- wanneer ook chemisch slib aanwezig is kan een hogere drogestofbelasting worden gehanteerd;
- de indikker wordt voorzien van ruimer en roerwerk.

	CONV	CONVnp	
d.s. gehalte secundair slib	8	8	kg/m^3
2 surplusslibpompen met capaciteit elk	50	50	m^3/h
kantdiepte	3	3	m
drogestofoppervlaktebelasting	23	29.5	$kg/m^2.d$
oppervlak	100	100	m^2
diameter	11,3	11,3	m
inhoud	300	300	m^3
indikgraad	35	35	kg/m^3
capaciteit ingedikt slibpomp	30	30	m^3/h

slibbuffer (schachtreactor)
- opslag gefloteerd surplusslib; bij defosfatering inclusief chemisch slib;
- aanvoer vanaf retourslibkelder met behulp van twee surplusslibpompen;
- opslag voor 3 dagen;
- het slib kan in de slibbuffer nog verder indikken tot 3-5 %.

	SR	SRnp	
d.s. gehalte gefloteerd slib	25	25	kg/m^3
2 surplusslibpompen met capaciteit elk	30	30	m^3/h
inhoud	270	350	m^3

compostfilters
- behandeling afgezogen lucht voorbehandeling en slibkelder/buffer/indikker voor alle varianten;
- de aflaatlucht van de schachten en de flotatie-eenheden wordt evenals bij de beluchtingstank en de nabezinking van het conventionele systeem niet behandeld. Dit zou bij het schachtreactorsysteem wel gemakkelijker dan bij het conventionele systeem kunnen worden gerealiseerd.

	CONV/CONVnp	SR/SRnp	
te behandelen debiet	3.000	3.000	m^3
max oppervlaktebelasting	100	100	m^3/h
compostfilters			
. aantal	1	1	stuks
. oppervlak per filter	30	30	m^2
. lxbxh per filter	8,5x3,5x1,3	8.5x3.5x1,3	m

4 BOUWKOSTEN VARIANTEN

De bouwkosten worden per variant gegeven, verdeeld in civiele, mechanische en elektrische bouwkosten. Witteveen + Bos heeft de bouwkosten voor de onderdelen voor de conventionele systemen geraamd en de onderdelen voor de schachtreactorsystemen voor zover deze gelijk zijn aan onderdelen van de conventionele systemen. V&P heeft het ontwerp van de schachtreactorsystemen gemaakt en heeft de bouwkosten voor de specifieke onderdelen van deze systemen geraamd.

Variant: Conventioneel met huidige effluenteisen (CONV)
(Bouwkosten, bedragen x *f* 1.000,-)

Onderdeel	Civiel[1]	Mechanisch[1]	Totaal
Ontvangwerk/fijnroosters	580	350	930
Zandvanger	305	290	595
Beluchte selector	150	530	680
Beluchtingscircuit	3.350	1.550	4.900
Defosfatering	-	-	-
Nabezinking	1.200	330	1.530
Slibindikker	220	260	480
Retourslibgemaal	130	55	185
Bedrijfs/blowergebouw	1.000	-	1.000
Luchtbehandeling	50	20	70
SUBTOTAAL	6.985	3.385	10.370
Elektrisch (40 % van mech. kosten)			1.355
Grondwerk 4 % van civiele kosten			280
Bemaling 5 % ,,			350
Fundering 13 % ,,			910
Verbindend leidingwerk 8 % ,,			560
Verhardingen 3 % ,,			210
TOTAAL BOUWKOSTEN[2]			14.035

[1] alle bedragen incl. staartkosten
[2] exclusief bijkomende kosten zoals OB, advieskosten, vergunningen en onvoorzien.

Variant: Conventioneel met toekomstige effluenteisen (CONVnp)
(Bouwkosten, bedragen x *f* 1.000,-)

Onderdeel	Civiel[1]	Mechanisch[1]	Totaal
Ontvangwerk/fijnroosters	580	350	930
Zandvanger	305	290	595
Beluchte selector	150	530	680
Beluchtingscircuit	4.050	1.550	5.600
Defosfatering	10	300	310
Nabezinking	1.200	330	1.530
Slibindikker	220	260	480
Retourslibgemaal	130	55	185
Bedrijfs/blowergebouw	1.000	-	1.000
Luchtbehandeling	50	20	70
SUBTOTAAL	7.695	3.685	11.380
Elektrisch (40 % van mech. kosten)			1.475
Grondwerk	4 % van civiele kosten		310
Bemaling	5 % ,,		385
Fundering	13 % ,,		1.000
Verbindend leidingwerk	8 % ,,		620
Verhardingen	3 % ,,		230
TOTAAL BOUWKOSTEN[2]			15.400

[1] alle bedragen incl. staartkosten
[2] exclusief bijkomende kosten zoals OB, advieskosten, vergunningen en onvoorzien.

Variant: Schachtreactor met huidige effluenteisen (SR)
(Bouwkosten, bedragen x *f* 1.000,-)

Onderdeel		Civiel[3]	Mechanisch[3]	Totaal
Ontvangwerk/fijnroosters		580	350	930
Zandvanger		305	290	595
Beluchte selector		150	530	680
Influentpompput [1]		55	60	115
Schachtreactoren [1]		4.500	850	5.350
Flotatie-eenheid [1]		210	800	1.010
Afdekking flotatie (aluminium)		225	-	225
Retourslibgemaal [1]		55	35	90
Defosfatering		-	-	-
Slibbuffer		210	75	285
Bedrijfs/blowergebouw		1.000	-	1.000
Luchtbehandeling		50	20	70
SUBTOTAAL		7.340	3.010	10.350
Elektrisch (40 % van mech. kosten)				1.210
Grondwerk	4 % van civiele kosten [2]			120
Bemaling	5 % ,, [2]			150
Fundering	13 % ,, [2]			370
Verbindend leidingwerk	8 % ,,			590
Verhardingen	3 % ,,			220
TOTAAL BOUWKOSTEN [4]				13.010

[1] kosten door V&P geraamd
[2] exclusief schachtreactoren
[3] alle bedragen incl. staartkosten
[4] exclusief bijkomende kosten zoals OB, advieskosten, vergunningen en onvoorzien.

Variant: Schachtreactor met toekomstige effluenteisen (SRnp met post-precipitatie)
(Bouwkosten, bedragen x *f* 1.000,-)

Onderdeel	Civiel[3]	Mechanisch[3]	Totaal
Ontvangwerk/fijnroosters	580	350	930
Zandvanger	305	290	595
Beluchte selector	150	530	680
Influentpompput [1]	55	60	115
Schachtreactoren [1]	4.500	930	5.430
Flotatie-eenheid [1]	210	800	1.010
Afdekking flotatie (aluminium)	225	-	225
Retourslibgemaal [1]	55	35	90
Defosfateringseenheid	815	640	1.455
Slibbuffer	255	75	330
Bedrijfs/blowergebouw	1.000	-	1.000
Luchtbehandeling	50	20	70
SUBTOTAAL	8.200	3.730	11.930
Elektrisch (40 % van mech. kosten)			1.500
Grondwerk	4 % van civiele kosten [2]		150
Bemaling	5 % ,, [2]		185
Fundering	13 % ,, [2]		485
Verbindend leidingwerk	8 % ,,		660
Verhardingen	3 % ,,		250
TOTAAL BOUWKOSTEN [4]			15.160

[1] kosten door V&P geraamd
[2] exclusief schachtreactoren
[3] alle bedragen incl. staartkosten
[4] exclusief bijkomende kosten zoals OB, advieskosten, vergunningen en onvoorzien.

Variant: Schachtreactor met toekomstige effluenteisen (SRnp met simultane precipitatie) (Bouwkosten, bedragen x *f* 1.000,-)

Onderdeel	Civiel[3]	Mechanisch[3]	Totaal
Ontvangwerk/fijnroosters	580	350	930
Zandvanger	305	290	595
Beluchte selector	150	530	680
Influentpompput [1]	55	60	115
Schachtreactoren [1]	5.500	1.050	6.550
Flotatie-eenheid [1]	210	800	1.010
Afdekking flotatie (aluminium)	225	-	225
Retourslibgemaal [1]	55	35	90
Defosfateringseenheid	10	300	310
Slibbuffer	255	75	330
Bedrijfs/blowergebouw	1.000	-	1.000
Luchtbehandeling	50	20	70
SUBTOTAAL	8.395	3.510	11.905
Elektrisch (40 % van mech. kosten)			1.450
Grondwerk	4 % van civiele kosten [2]		120
Bemaling	5 % ,, [2]		150
Fundering	13 % ,, [2]		380
Verbindend leidingwerk	8 % ,,		675
Verhardingen	3 % ,,		255
TOTAAL BOUWKOSTEN [4]			14.935

[1] kosten door V&P geraamd
[2] exclusief schachtreactoren
[3] alle bedragen incl. staartkosten
[4] exclusief bijkomende kosten zoals OB, advieskosten, vergunningen en onvoorzien.

5 EVALUATIE

De kostenvergelijking is uitgevoerd voor een conventioneel actief slibsysteem en voor een schachtreactorsysteem, zowel bij de huidige als de toekomstige aangescherpte effluenteisen. Getracht is om de systemen technisch en technologisch zo veel mogelijk vergelijkbaar maken.

In tabel 3 zijn de beschouwde systemen en de bijbehorende totale bouwkosten (incl. staartkosten) weergegeven. De kosten voor de onderdelen van de schachtreactorsystemen zijn, voor zover deze onderdelen verschillen van de conventionele systemen, door V&P bepaald. Witteveen + Bos heeft de overige bouwkosten geraamd.

Tabel 3 Beschouwde systemen (50.000 i.e.) met bijbehorende bouwkosten[1]

	Conventioneel	Schachtreactor
Huidige effluenteisen:		
beluchting	circuit (CONV)	schachtreactor (SR)
slibbelasting	0,05	0,05 kg BZV/kg d.s.d
slibgehalte beluchting	4	8 g/l
slib/waterscheiding	nabezinking	flotatie
Totale bouwkosten [1]	*f* 14 miljoen	*f* 13 miljoen
Toekomstige effluenteisen:		
beluchting	circuit (CONVnp)	schachtreactor (SRnp)
slibbelasting	0,04	0,05/0,04 kg BZV/kg d.s.d
slibgehalte beluchting	4	8 g/l
stikstofverwijdering	simultane denitrificatie	voordenitrificatie
fosfaatverwijdering	simultane defosfatering	post-precipitatie of simultaan
slib/waterscheiding	nabezinking	flotatie
Totale bouwkosten [1]	*f* 15,4 miljoen	*f* 15 miljoen [2]

[1] geraamde bouwkosten; inclusief staartkosten en exclusief bijkomende kosten zoals OB, advieskosten, vergunningen en onvoorzien. Prijspeil 1993.

[2] de geraamde bouwkosten voor de SRnp-varianten met post-precipitatie of met simultane defosfatering zijn vrijwel gelijk.

Afhankelijk van het systeem bedragen de totale bouwkosten tussen *f* 13 en 15,4 miljoen gulden ofwel *f* 260,- tot *f* 310,- per inwonerequivalent. Deze waarden komen omgerekend naar de investeringskosten (incl. OB, advieskosten, vergunningen en onvoorzien, ca. 75 %) en gecompenseerd voor het prijspeil van 1993, overeen met de waarden uit de RIZA-grafiek.

Uit de vergelijking van de totale bouwkosten van de varianten in de tabel kan worden afgeleid dat de kosten voor de schachtreactorvarianten in dezelfde orde van grootte liggen als de conventionele varianten. De verschillen liggen binnen de onnauwkeurigheidsmarge zoals die voor een dergelijke kostenvergelijking mag worden gehanteerd. Bovendien is en nog slechts beperkte ervaring opgedaan met de bouw van schachtreactoren. Voor een hogere nauwkeurigheid is een meer gedetailleerd ontwerp noodzakelijk.
Bovendien kunnen de kostenramingen voor de beschouwde systemen in de praktijk afwijken door lokale omstandigheden als beschikbaar terreinoppervlak, grondgesteldheid, grondwaterniveau en -kwaliteit etc.

PUBLIKATIEREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN RWZI 2000" [1]

1 "Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst"
Een haalbaarheidsonderzoek. I. Eindrapport II. Werkrapport
RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
Juli 1986

2 "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000"
Onderzoekplan
RIZA, STORA
Januari 1988

3 "Jaarverslag 1988"
RIZA, STORA
Maart 1989

4 "Slibontwatering; een voorstudie"
TU-Delft, TU-Eindhoven
RWZI 2000 89-01
Januari 1989

5 "Knelpunten bij de invoering van defosfatering"
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-02
April 1989

6 "Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van een magneetsysteem"
Smit-Nymegen, TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-03
Oktober 1989

7 "Verwijdering van zware metalen uit zuiveringsslib door elektrolyse"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-04
Oktober 1989

---

[1] Te bestellen bij:
STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
tel. 030-321199

8 "Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-05
Oktober 1989

9 "Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfieldproces"
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-06
December 1989

10 "Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Vertech-systeem"
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-07
December 1989

11 "Symposium "RWZI 2000" d.d. 5 oktober 1989"
RIZA, STORA
RWZI 2000 89-08
December 1989

12 "Jaarverslag 1989"
RIZA, STORA
RWZI 2000 90-01
Maart 1990

13 "AB-Systemen: een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-02
September 1990

14 "Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-03
Augustus 1990

15 "Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-04
December 1990

16 "Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks"
Adviesbureau BKH
RWZI 2000 90-05
September 1990

17 "Verkenning Bio-Denitro/Bio-Denipho"
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 90-06
Juni 1990

18 "Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 90-07
Oktober 1990

19 "Jaarverslag 1990"
RIZA, STORA
RWZI 2000 91-01
Maart 1991

20 "Deep Shaft-systemen; een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 91-02
Maart 1991

21 "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

22 "Jaarverslag 1991"
RIZA, STOWA
RWZI 2000 92-01
Maart 1992

23 "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

24 "First Dutch-Japanese workshop on the treatment of municipal waste water; 8-11 april 1991, Heelsum, The Netherlands. Part I and part II.
RIZA, STOWA, TU-Delft
RWZI 2000 92-03
Maart 1992

25 "Biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een korrelreactor"
LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-04
Augustus 1992

26 "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

27 "Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste aktiefslibinstallatie"
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Grontmij N.V.
RWZI 2000 92-06
Oktober 1992

28 "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

29 "Behandeling van stedelijk afvalwater met het schachtreactorsysteem"
V & P Waste Water Management B.V.
RWZI 2000 92-08
Juli 1994