

NN31085.92-07

1S

02 02 02
minst

VRE

E

L&

V8

KK
RSYS
VAN

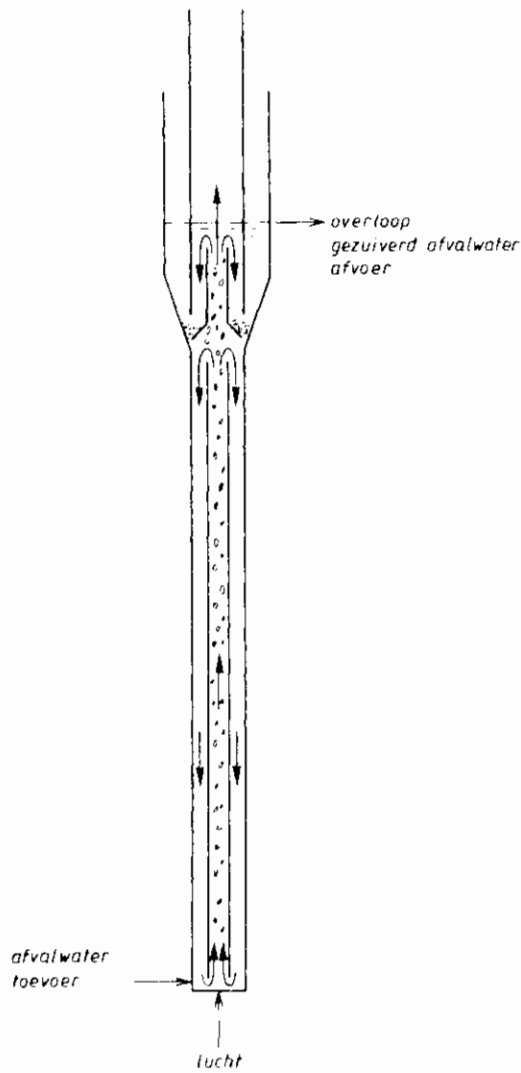
se l: Verkennend onderzoek
en air

2/88

NR 51000, 32091

BIBLIOTHEEK STARINGGEBOUW

ONTWIKKELING VAN EEN SLIB-OP- DRAGERSYSTEEM VOOR DE AEROBE ZUIVERING VAN STEDELIJK AFVALWATER



Fase I: Verkennend onderzoek in een
drie-fasen airliftreactor

Samenvattend rapport
februari 1987

Ing R. Kampf
Ir. D.H. Eikelboom
Ir J.F. de Kreuk



0000 0460 7756

28 JUNI 1988

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
TEN GELEIDE	3
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	9
1.1 Algemeen	9
1.2 De drie-fasen airliftreactor	11
1.3 Opzet van het onderzoek	13
2. EXPERIMENTEEL	17
2.1 Proefinstallaties	17
2.2 Dragermaterialen	19
3. BIOFILMVORMING IN EEN AIRLIFTREACTOR	21
3.1 Hechting van microorganismen aan een vast oppervlak	21
3.2 Hechting en biofilmvorming tijdens de diverse experimenten	22
3.2.1 Hoge aangroeisnelheden	24
3.2.2 "Lage" aangroeisnelheden	26
4. ZUIVERINGSTECHNISCHE ASPECTEN	28
4.1 Hoeveelheid biomassa	28
4.2 CZV-reductie	30
4.3 Nitrificatie	34
4.4 Slibproductie	35
5. EVALUATIE	38
5.1 Dragerkeuze	38
5.2 Biofilmvorming	38
5.3 Zuiveringsrendement	39
5.4 Mogelijkheden voor verder onderzoek	40
6. LITERATUUR	44

TEN GELEIDE

Door het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne) werd aan de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO, met Gist-brocades als participant, onderzoek opgedragen naar het ontwikkelen en vaststellen van de toepassingsmogelijkheden van een nieuw ruimtebesparend zuiveringssysteem met goed bezinkbaar slib voor de aërobe biologische zuivering van stedelijk afvalwater. De basis van het te ontwikkelen zuiveringssysteem is de aërobe slib-opdragertechnologie, zoals die door Gist-brocades is ontwikkeld voor haar bedrijfsafvalwater.

Het onderzoek werd financieel gedragen door de overheid vanuit de subsidie-regeling Schone Technologie-Water (samenwerkingsverband van de ministeries Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Economische Zaken, Landbouw en Visserij en Verkeer en Waterstaat), de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA) en de beide opdrachtnemers.

Reeds eerder werd een literatuuronderzoek "Mogelijkheden van slib-op-drager-systemen voor de aërobe biologische zuivering van stedelijk afvalwater" uitgevoerd. Hierin wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken bij de ontwikkeling van slib-op-dragersystemen voor de oxidatief-biologische zuivering van stedelijk afvalwater. De drie-fasen airliftreactor, door Gist-brocades voor het eigen industriële afvalwater ontwikkeld, kwam in de literatuurstudie als een mogelijk alternatief voor de huidige aërobe behandeling van stedelijk afvalwater naar voren.

In dit samenvattend rapport* worden de hoofdlijnen van het onderzoek op laboratoriumschaal met de drie-fasen airliftreactor voor stedelijk afvalwater besproken. Naast deze versie is een uitgebreid werkrapport verschenen.

Het onderzoek werd begeleid door een commissie bestaande uit:

Ir A.E. van Giffen (voorzitter, Hoogheemraadschap West-Brabant),
Ing. M.M.J. Allessie (VROM-DGMH), (tot november 1986, daarna Ir A.J.
van der Vlugt),

* Het rapport is verkrijgbaar bij STORA, Postbus 80200, 2508 GE 's-Gravenhage.

Dr Ir G. Schraa (Landbouw Universiteit Wageningen),
Ir P.C. Stamperius (STORA),
Ir W. van Starckenburg (DBW/RIZA),
Ir K. Visscher (RIVM/LAE),
Ir T.W.M. Wouda (Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant).

Gist-brocades was in het onderzoek vertegenwoordigd door:

Dr Ir J.J. Heijnen,
Ir H. Hols

Naast de auteurs namen van TNO-zijde deel:

Dr Ir W.H. Rulkens (projectleider),
Ir B.A. Heide
Dr Ir J.M.A. Janssen
Ing F. v. Voorneburg

de biofilm. De filmvorming verloopt trager, maar lijkt beter controleerbaar, als van deze combinatie wordt afgeweken.

Bij een snelle groei van de biofilm blijken de microorganismen zich niet alleen in de poriën, maar ook op gladde "buitenoppervlakken" te hechten. Bij een langzame ontwikkeling start de hechting preferent op beschutte plaatsen, wat betekent dat dragermaterialen die poreus zijn of over een ruw oppervlak beschikken beter bruikbaar zijn. De hechting van de biomassa aan poreuze, ruwe drager is onder de zeer turbulente condities in de airliftreactor zeer stevig; in de regel vormt zich een concentrische biolaag om de korrel.

Bij lagere aangroei snelheden en weinig poreus dragermateriaal ontstaat niet-concentrische, pluksgewijze begroeiing; onder deze omstandigheden wordt slechts een deel van het beschikbare oppervlak effectief benut.

Van de onderzochte dragermaterialen zilverzand, zirkoonzand, biogrog, electrografiet, puimsteen en lava - alle met korreldiameter 0,1 - 0,3 mm, kwamen het poreuze puimsteen en het ruwe lava als de meest geschikte naar voren. Ook met biogrog werden echter goede resultaten behaald.

De aangroei snelheid en de duur van de aangroei periode waren goed reproduceerbaar. De hoeveelheid biomassa neemt bij verblijftijden van ≥ 1 uur vrijwel lineair toe. Na de aangroei periode fluctueerde de biomassa concentratie aanmerkelijk, waardoor de processtabiliteit te wensen liet. Bij enkele proeven, met verblijftijden van 0,4 - 0,8 uur, verliep de toename van gehechte biomassa volgens een logaritmisch patroon. Dit leidde in die gevallen tot een instabiele situatie, waarbij begroeide drager na verloop van tijd massaal uitspoelde. Steeds bleek hierbij een massale groei van draadvormende organismen en/of het samenballen van begroeide deeltjes te zijn opgetreden. Deze massale ontwikkeling van draadvormende organismen zou kunnen worden toegeschreven aan de zeer korte reële waterverblijftijd. Een groot deel van de inhoud van de reactor wordt dan door biomassa + draadvormende organismen ingenomen.

De droogrest van drager + biomassa bedroeg 100 - 250 g/l. Het korrelvolume (van de schone, onbegroeide) drager was 4 - 12%. Uitgaande van een bolvormige, gladde dragerkorrel bedroeg het specifiek drageroppervlakte 1000 - 4000 m²/m³.

De hoeveelheid biomassa aan de drager, na de aangroeperiode, bedroeg bij een verblijftijd van 0,5 - 1 uur 10 - 40 g CZV-biomassa/l. Bij verkennend onderzoek met langere verblijftijden bleef de hoeveelheid biomassa aan de drager beperkt tot 3 - 5 g CZV-biomassa/l.

De dikte van de biolaag bedroeg maximaal 200 μm . Een groter hechtingsoppervlak leidt tot een dunnere biofilm. Er zijn aanwijzingen dat een biolaag met een dikte van 25 - 50 μm optimaal is. Niet alleen de hoeveelheid biomassa is van belang, maar ook de dikte van de biolaag.

zuiveringsrendement

De biolaag in een drie-fasen slib-op-dragersysteem zet voornamelijk opgelost materiaal om. De hoeveelheid gesuspendeerd materiaal in effluent en influent is globaal gelijk. In hoeverre de aard van het gesuspendeerde materiaal in influent en effluent hetzelfde is, is niet bekend. Het rendement is daarom alleen aan de verwijdering van opgeloste bestanddelen beoordeeld. De CZV-reducties bedragen globaal 60 tot 80% voor hydraulische verblijftijden van 0,5 tot respectievelijk 2 uur. Bij optimalisatie van de bedrijfsvoering mogen verwijderingsrendementen op basis van CZV van gefiltreerd influent en effluent worden verwacht van 70 tot 90%.

Bij de toepassing van de drie-fasen airliftreactor voor de zuivering van stedelijk afvalwater zal gesuspendeerd materiaal op andere wijze uit het effluent moeten worden verwijderd.

Bij een vloeistofverblijftijd van 1 uur ontwikkelt zich na ongeveer 80 dagen een nitrificerende populatie. Bij langere verblijftijden is dit aanzienlijk korter. Bij een verblijftijd van $\geq 1,5$ uur is volledige nitrificatie gecombineerd met CZV-verwijdering mogelijk.

Door de kleine schaal waarop is gewerkt, konden geen betrouwbare cijfers worden verkregen van de slibproductie.

conclusies

Zuivering van stedelijk afvalwater in een drie-fasen airliftreactor met slib-op-drager biedt goede perspectieven. Bij een verblijftijd van 0,5 uur is op basis van gefiltreerd effluent een CZV-verwijdering van 70 tot 80% haalbaar. Bij een verblijftijd van 1 uur kan een rendement van 80 - 85% worden bereikt. Nitrificatie treedt op bij een verblijftijd van ≥ 1 uur. Het is mogelijk gebleken om hoge gehalten (10 - 30 g droogrest/l) aan actieve biomassa te verwezenlijken.

In verder onderzoek dient aandacht te worden gegeven aan de processtabiliteit, de slibproductie, de aard en het gedrag van gesuspendeerd materiaal, hechtingsmechanismen, biomassa-samenstelling en substraatopname.

1. INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

De huidige, oxidatief biologische zuiveringsinrichtingen (actief-slib- en oxidatiebedinstallaties) voor stedelijk afvalwater hebben een geringe hoeveelheid actieve biomassa per m³ beluchtingsruimte. Dit heeft tot gevolg dat de hoeveelheid "afvalstoffen" die per m³ beluchtingsruimte en per tijdseenheid kan worden behandeld gering is, waardoor het benodigde volume en dus het vereiste terreinoppervlak per m³ te zuiveren afvalwater groot is.

Toepassing van een slib-op-dragersysteem, waarbij de actieve biomassa op een inerte drager, bijvoorbeeld zand, is aangebracht en waarbij de concentratie aan biomassa per m³ apparaatvolume hoog is, kan hier in beginsel een oplossing bieden. Het zuiveringsproces berust op hetzelfde principe als dat van de conventionele zuiveringsprocessen. Een groot contactoppervlak en een hoge biomassaconcentratie resulteren echter in een compacte bouwwijze en lagere bouwkosten.

Deze voordelen zijn overigens pas echt van belang, indien een slib-op-dragersysteem ongeveer dezelfde zuiveringstechnische "prestaties" kan leveren als conventionele zuiveringsinrichtingen. Bij de ontwikkeling, of beoordeling van een slib-op-dragersysteem moet aandacht worden geschonken aan een groot aantal aspecten, zoals:

- *hechting van micro-organismen*

Onder welke omstandigheden hechten micro-organismen zich aan dragermateriaal, welke dragermaterialen kunnen worden gebruikt, is het proces reproduceerbaar, is de filmvorming beheersbaar, welk gehalte aan biomassa kan worden bereikt, wat is de activiteit/kwaliteit van de biomassa;

- *dragermateriaal*

Eigenschappen van dragermateriaal: vorm en grootte van korrel, ruwheid, porositeit, dichtheid, mechanische sterkte, kostprijs;

- *influent*

De invloed van fluctuaties in samenstelling, hoeveelheid en temperatuur van het te zuiveren afvalwater op het functioneren van de installatie.

Welke eisen moeten worden gesteld aan de voorbezinking of voorbehandeling;

- *effluent*

De te behalen effluentkwaliteit in fysische, chemisch-biochemische en microbiologische zin;

- *slibproductie*

Drogestofgehalte, hoeveelheid gevormd slib, noodzaak en wijze van slibafvoer, afvoer van begroeide drager en terugvoer van onthechte drager, waarvan de biolaag is verwijderd;

- *aëratie*

Het rendement van de zuurstofoverdracht;

- *ontwerp en functioneren van de reactor*

De technische uitvoering van het proces, complexiteit van de installatie, bedrijfszekerheid en (energie)kosten.

Door Gist-brocades zijn de toepassingsmogelijkheden van zowel aërobe als anaërobe slib-op-dragersystemen voor de zuivering van het eigen industrieel afvalwater onderzocht. Dit heeft geleid tot de bouw van twee praktijkinstallaties, bestaande uit een anaërobe verzuringsreactor en een methaanreactor, waarmee het CZV van het afvalwater van Gist-brocades wordt vermindert. Een aërobe drie-fasen airliftreactor voor de toepassing van de ontwikkelde aërobe fluïdbed-techniek voor nitrificatie wordt in 1987 gerealiseerd.

In de literatuurstudie over de mogelijkheden van slib-op-dragersystemen voor de aërobe biologische zuivering van stedelijk afvalwater [1] wordt vermeld, dat de bruikbaarheid van het drie-fasen (airlift) slib-op-dragersysteem van Gist-brocades voor de zuivering van stedelijk afvalwater zich nog moet bewijzen. De drie-fasen airliftreactor kon hierin bij gebrek aan informatie nog niet worden besproken. Het onderhavige rapport behandelt de resultaten van verkennend onderzoek op laboratoriumschaal met een drie-fasen (airlift) slib-op-dragersysteem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater.

Het hoofddoel van het hier gerapporteerde onderzoek was om op laboratoriumschaal (2 l en 25 l schaal) na te gaan of de drie-fasen airliftreactor in principe bruikbaar is voor de aërobe behandeling van stedelijk afvalwater. Hierbij stonden de volgende vragen centraal:

- ontwikkelt zich onder de turbulente omstandigheden in een airliftreactor een stabiele biofilm op het dragermateriaal bij de behandeling van stedelijk afvalwater. De CZV-waarde van stedelijk afvalwater is veel lager (factor 5 - 10 lager) dan die van het industriële afvalwater van Gist-brocades. Ook de temperatuur ligt met 5 - 20°C op een lager niveau.
- welke methoden zijn geschikt voor de karakterisering van een biofilm, monsterneming uit een airliftreactor;
- welke dragermaterialen verdienen de voorkeur;
- is het mogelijk een hoge biomassaconcentratie (15 - 30 kg/m³) in de reactor te verkrijgen (en te handhaven) bij een korte hydraulische verblijftijd (0,5 - 1 uur) en een CZV-volumebelasting van 15 - 30 kg/m³·dag;
- wat is hierbij het zuiveringsrendement;
- vindt onder deze omstandigheden nitrificatie plaats;
- wat is het effect van een meertrapsconfiguratie.

1.2 DE DRIE-FASEN AIRLIFTREACTOR

In het literatuuronderzoek naar de mogelijkheden van slib-op-dragersystemen [1] is aandacht geschonken aan de ontwikkeling van het drie-fasen (airlift) slib-op-dragersysteem. Het systeem wordt hierin vergeleken met twee-fasen systemen (bijv. Dorr-Oliver) en conventionele actief-slibsystemen. Nadere informatie over de ontwikkeling en toepassing van de drie-fasen airliftreactor bij Gist-brocades voor de behandeling van het eigen industriële afvalwater is onder meer vermeld in [2, 3]. Kenmerkend voor een dergelijke reactor zijn het airliftsysteem en het drie-fasensysteem van water, drager + biomassa en lucht.

In de twee-fasen reactor van Dorr-Oliver wordt zuurstof buiten de reactor in een waterstroom opgelost. Met deze waterstroom wordt in de reactor het dragermateriaal gefluïdiseerd. De waterstroom heeft dus twee functies: zuurstofinbreng en fluïdisatie. De begroeide dragerkorrels zweven eigenlijk in een opwaartse waterstroom. De turbulentie rond de korrels is betrekkelijk gering. Er vindt een classificatie plaats op korreldiameter (dus op dikte van de biofilm). De minst begroeide korrels bevinden zich onderin en de dikst begroeide bovenin de kolom.

De drie-fasen airliftreactor van Gist-brocades is eigenlijk geen fluïdbed-reactor zoals in [1] is vermeld. Figuur 1 geeft een principeschets. De beluchtingsruimte A bestaat uit twee concentrische buizen. In de benodigde zuurstof wordt voorzien door lucht onderin de binnenbuis van de reactor in te leiden. De reactor is hoog ten opzichte van zijn diameter (hoogte/diameter verhouding = 10 à 30). Per oppervlakte-eenheid wordt veel lucht ingebracht. Er ontstaat hierdoor een sterk turbulente opwaartse stroom van lucht, water en (begroeide) drager in de binnenbuis. Door de buitenbuis gaat de stroom naar beneden. De ingebrachte lucht wordt in de gasafscheider B afgescheiden. Het in de bezinker C afgescheiden begroeide dragermateriaal stroomt terug naar de beluchtingsruimte.

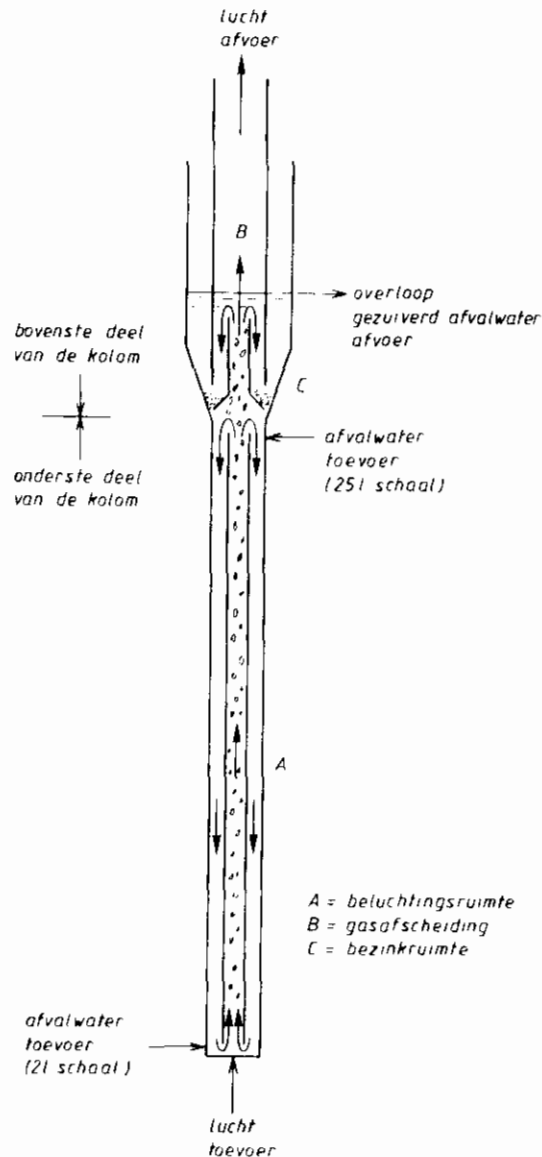


Fig. 1. Principeschets van de airliftreactor

De opwaartse stroming in de binnenbuis van de airliftreactor is groter dan voor fluïdisatie nodig is. Door de sterke pompwerking is de menging in een airliftreactor veel intensiever dan in een fluïdbedreactor. De turbulentie rond de begroeide dragerkorrels is eveneens veel groter; daarnaast vindt er geen of nauwelijks classificatie van korrels op diameter plaats. De voornaamste technologische uitgangspunten zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1 Technologische uitgangspunten van de drie-fasen airliftreactor.

Biomassaconcentratie	:	15-30 kg d.s./m ³
Volume ingenomen door drager (= korrelvolume)	:	5-12%
Dragerconcentratie	:	100-250 kg/m ³
Dragermateriaal, bijvoorbeeld	:	zand/lava/puimsteen
Dragerdiameter	:	0,1-0,3 mm
Slibbelasting	:	1-2 kg CZV/kg d.s.dag
Volumebelasting	:	15-30 kg CZV/m ³ .dag
Verblijftijd	:	0,5-1 uur
Geen controle van de dikte van de biolaag		

Uitgaande van een bolvormige, gladde drager bedraagt de specifiek drageroppervlakte 1000 - 4000 m²/m³ (dit is bij een oxidatiebed \leq 100 m²/m³). Door de grote specifieke drageroppervlakte kan een dunne, actieve biolaag resulteren in een hoog gehalte aan biomassa. Een biolaag ter dikte van 50 - 100 μ m neemt een specifiek volume in van 50 - 400 l/m³. Deze biomassa komt overeen met een droogrest van 5 tot 40 kg per m³ beluchtingsruimte.

1.3 OPZET VAN HET ONDERZOEK

In figuur 2 is een chronologisch overzicht van het uitgevoerde onderzoek gegeven. De volgende stappen kunnen hierbij worden onderscheiden:

2.1 schaal

- vooronderzoek (twee experimenten, waarbij gedurende korte tijd een 7 l reactor gebruikt)
- selectie van dragermateriaal (series 1, 2 en 3)
- verkennend onderzoek bij langere verblijftijden.

25 l schaal

- onderzoek bij verblijftijden van 0,5 en 1 uur (waarbij twee reactoren met een verblijftijd van 0,5 uur in serie worden geschakeld).

Het vooronderzoek was bedoeld om na te gaan of in beginsel groei van biomassa op drager zou optreden met (voorbezonken) stedelijk afvalwater onder turbulente condities. Tevens diende deze serie proeven om inzicht te krijgen in het effect van enkele belangrijke procesvariabelen en om het verdere onderzoek te kunnen definiëren. Het vooronderzoek werd uitgevoerd met hydraulische verblijftijden van 0,4 tot 1,6 uur en zilverzand als drager.

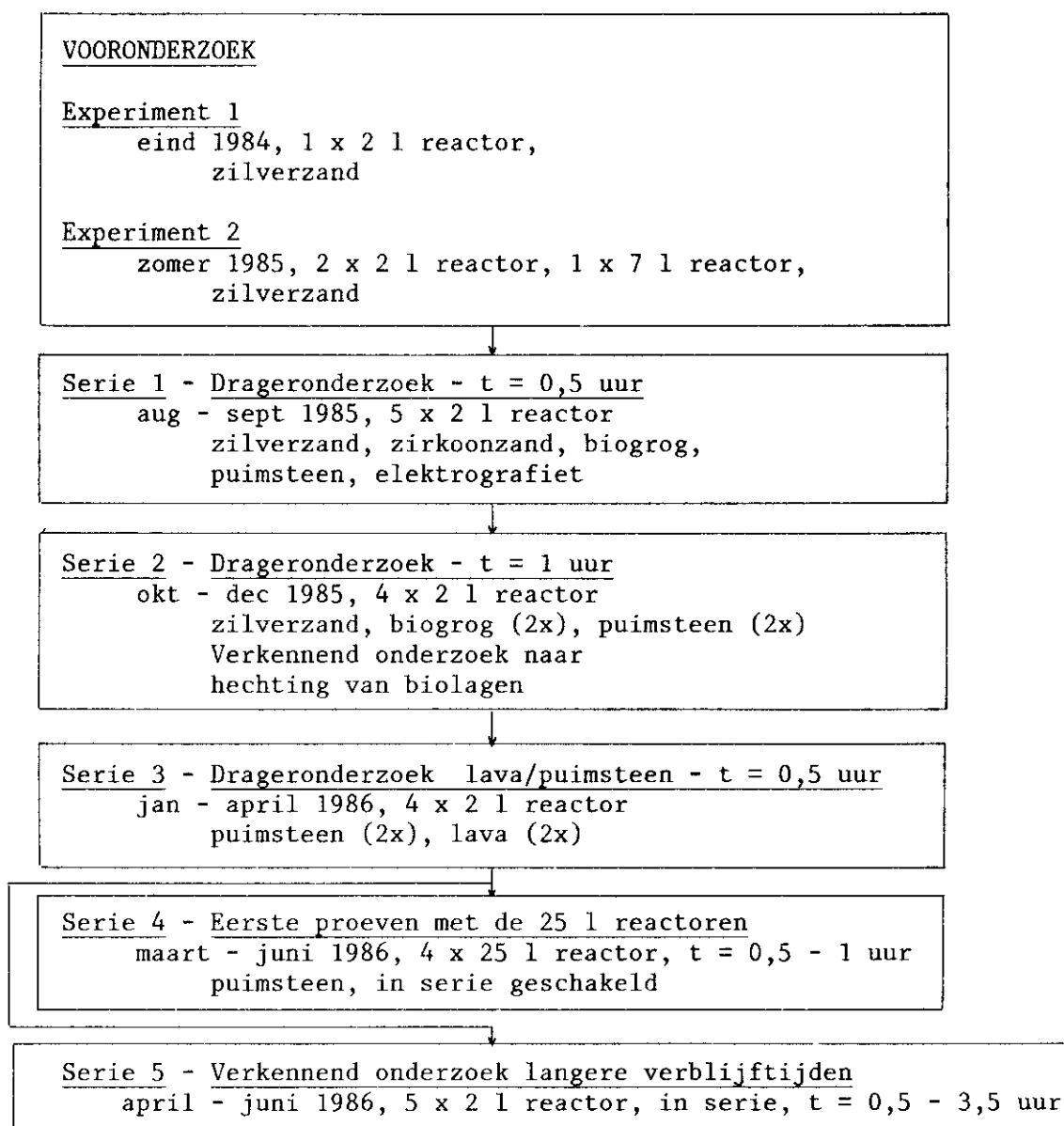


Fig. 2. Chronologisch overzicht.

In series 1 en 2 van het voortgezette onderzoek was de aandacht vooral gericht op de hechting van biomassa aan de drager, op de selectie van geschikte dragermaterialen en op de eisen die aan dragermateriaal zouden moeten worden gesteld.

Serie 1 (Drageronderzoek - $t = 0,5$ uur) werd uitgevoerd met zilverzand, zirkoonzand, biogrog, puimsteen en elektrografiet als dragermaterialen. Uit dit onderzoek werd geconcludeerd dat zirkoonzand (te zwaar) en elektrografiet niet geschikt waren om als dragermateriaal te fungeren. Overigens ging de combinatie van proefomstandigheden bij dit experiment gepaard met een zeer snelle ontwikkeling van de biofilm in de meeste reactoren. De systemen waren niet beheersbaar, door een massale uitspoeling van begroeide drager.

Het onderzoek met de overige dragermaterialen werd voortgezet bij een langere hydraulische verblijftijd (1 uur), een hogere dragerconcentratie (korrelvolume circa 8%) en een grotere dragerdiameter (0,2 - 0,3 mm): *Serie 2 - Drageronderzoek - $t = 1$ uur*. De proeven met biogrog en puimsteen werden in tweevoud uitgevoerd. De biofilmontwikkeling was nu beter beheersbaar. Tijdens deze proevenserie werd tevens een *verkennend onderzoek naar de stevigheid van de hechting van biologen* uitgevoerd. Hierbij bleek dat de hechting op een ruwe drager (puimsteen en biogrog) in het turbulente milieu van de drie-fasen airliftreactor bijzonder stevig is. Puimsteen bleek een geschikte drager, met als nadelen een betrekkelijk laag soortelijk gewicht en een geringe mechanische sterkte.

In *serie 3 (Drageronderzoek lava/puimsteen - $t = 0,5$ uur)* werden lava (aanbevolen door Gist-brocades) en puimsteen als drager vergeleken, vooral ten behoeve van het voorgenomen onderzoek in de 25 l reactoren. Er werd toen de voorkeur gegeven aan puimsteen, hoewel lava ook een geschikte drager bleek te zijn.

De proefnemingen waren tot dat moment allemaal op 2 l schaal uitgevoerd. Deze kleine schaal is voor oriënterende studies geschikt (werkt het, hoe verloopt de initiële aangroei?). Nadelen van de 2 l schaal bleken echter aangroei van biomassa op de reactorwand (verstoppingen!) en een minder goede scheiding van dragermateriaal uit het effluent.

Serie 4 (met 25 l reactoren) is uitgevoerd bij verblijftijden van 0,5 en 1 uur, waarbij twee kolommen met een verblijftijd elk van 0,5 uur in serie

waren geschakeld. Deze serie was gericht op een meer gedetailleerde bestudering van de toepassingsmogelijkheden van de geselecteerde drager, de vorming van een redelijke hoeveelheid biomassa (tot 30 kg droogrest/m³), de reductie van CZV en de mogelijkheden voor nitrificatie bij korte hydraulische verblijftijden.

De kleine reactoren zijn tegelijkertijd gebruikt voor *Serie 5 (Verkennd onderzoek langere verblijftijden)*. Uit de eerdere proeven was gebleken dat bij een lagere CZV-volumebelasting, of bij een langere verblijftijd of bij een geringere CZV van het afvalwater, nitrificatie mogelijk is. In serie 5 zijn verblijftijden van 0,5 - 2 uur toegepast bij twee strengen van in serie geschakelde reactoren. De totale verblijftijden waren respectievelijk 2,5 en 3,5 uur.

2. EXPERIMENTEEL

Voor een uitgebreider verantwoording van experimentele omstandigheden, monsterneming, analyses en microscopisch onderzoek wordt verwezen naar het werkrapport. Hier worden slechts enkele hoofdlijnen weergegeven.

2.1 PROEFINSTALLATIES

Het onderzoek is met 2 l en 25 l drie-fasen airliftreactoren uitgevoerd. De vijf 2 l reactoren (zie fig. 3) zijn door Gist-brocades ter beschikking gesteld, de vier 25 l reactoren (zie fig. 4) werden op aanwijzingen van Gist-brocades door TNO gebouwd. De constructie van de overloop van de nabezinkers werd aangepast aan de aard van het stedelijk afvalwater.

Het "stedelijk" afvalwater is afkomstig van een woonwijk in Delft met ongeveer 1500 inwoners. Het afvalwater, uit een gemengd rioolstelsel, is voornamelijk van huishoudelijke aard.

De gemiddelde samenstelling van het voorbezonden afvalwater tijdens het onderzoek was als volgt:

CZV	=	600 mg/l;
CZV-na filtreren	=	400 mg/l;
N-Kjeldahl	=	80 mg/l;
P-totaal	=	15-20 mg/l;
pH	=	7-8;
temperatuur	=	5-20°C

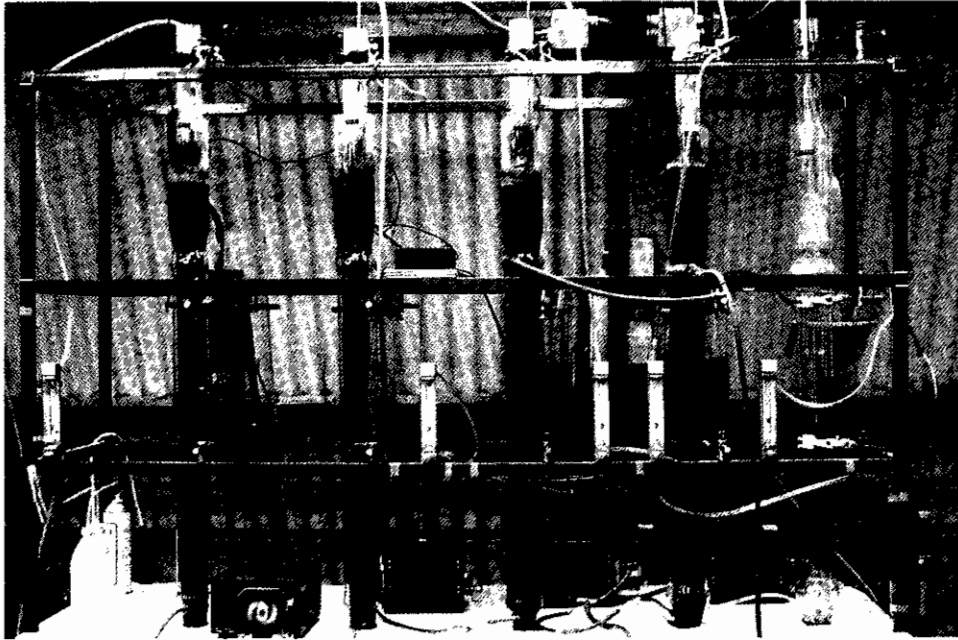


Fig. 3. Opstelling op 2 l schaal, reactoren 1 t/m 5

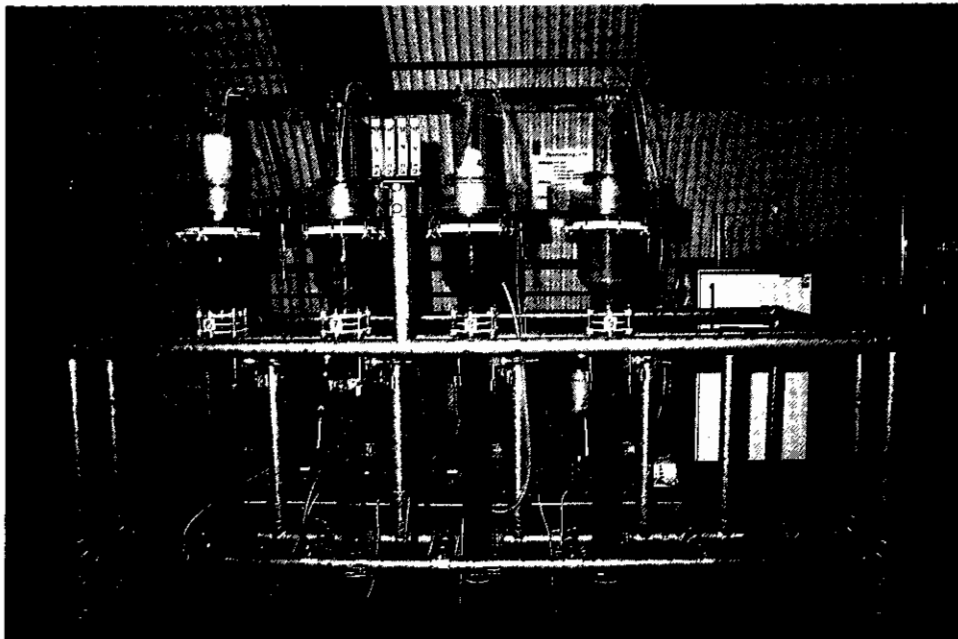


Fig. 4. Opstelling op 25 l schaal, reactoren 6 t/m 9

2.2 DRAGERMATERIALEN

Er is met zes dragermaterialen gewerkt. Enkele eigenschappen hiervan zijn in tabel 2 vermeld. De figuren 5 en 6 zijn rasterelektronenmicroscopische opnamen van lava en puimsteen.

Tabel 2 Enkele eigenschappen van de toegepaste dragermaterialen

Drager	Globale samenstelling	Gloeirest (%)	Dichtheid (kg/m ³)	Vorm	Ruwheid oppervlak 1)	Poriën
Zilverzand	silicaat	100	2600	rond/hoekig	± ²⁾	weinig
Zirkoonzand	Zr-silicaat	100	4400	rond	-	incidenteel
Biogrog	Al-silicaat	96	2200	hoekig	+	weinig ³⁾
Puimsteen	K-Al-silicaat	96	1600	rond/staven ⁴⁾	++++	zeer veel ⁴⁾
Lava	silicaat	96	2400	rond/hoekig	++	weinig
Elektrografiet	koolstof	86	2000	rond/plaatvormig	+++	veel

1) - = glad oppervlak; ++++ = zeer ruw oppervlak.

2) Lokaal.

3) Circa 20% van de korrels bevat wel veel, ondiepe poriën.

4) Circa 20% van de korrels bestaat uit langwerpige deeltjes. De zijvlakken hiervan zijn gladder en veel minder poreus dan de kopse uiteinden.

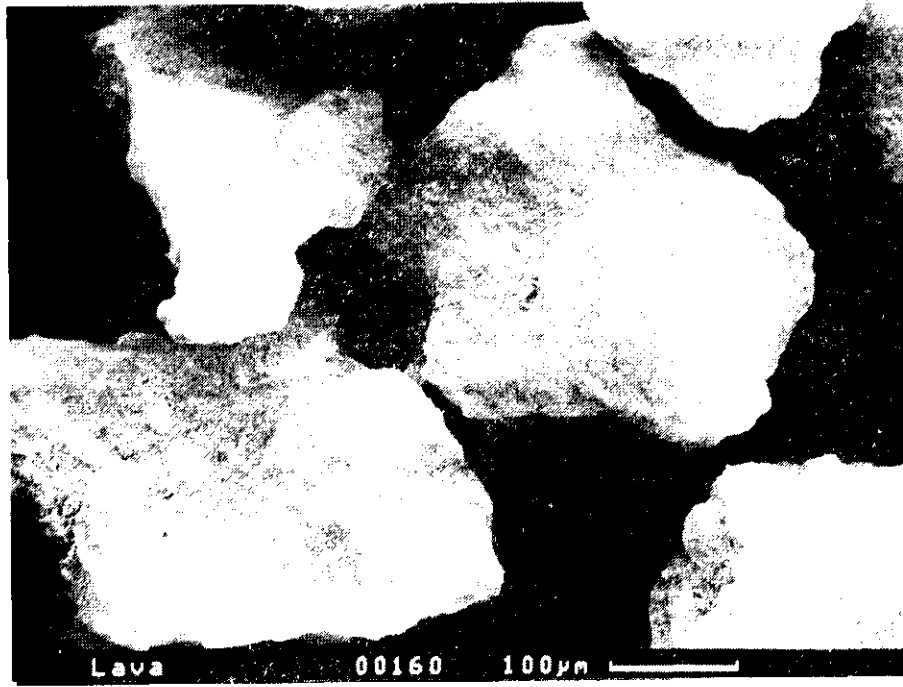


Fig. 5. Lava (160x)

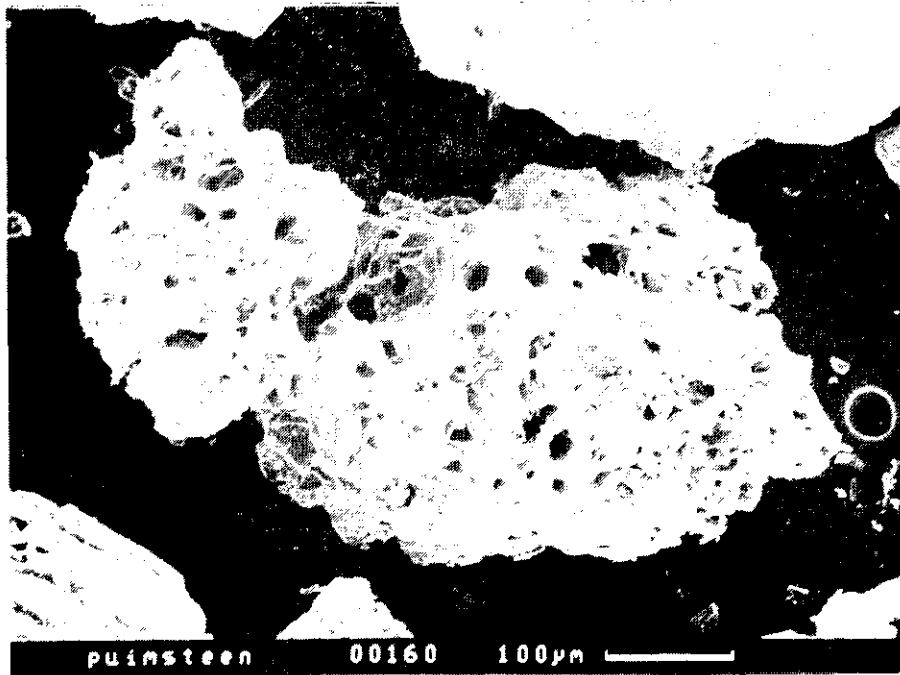


Fig. 6. Puimsteen (160x)

3. BIOFILMVORMING IN EEN AIRLIFTREACTOR

In dit hoofdstuk zal de biofilmvorming worden besproken. Alvorens hierop in te gaan, zal echter eerst in meer algemene zin iets over hechting van micro-organismen aan een vast oppervlak, en over de eigenschappen van de gebruikte dragermaterialen, worden vermeld.

3.1 HECHTING VAN MICROORGANISMEN AAN EEN VAST OPPERVLAK

Voordat hechting plaats kan vinden, moeten de cel en het oppervlak elkaar dicht naderen en/of elkaar daadwerkelijk raken. Dit transport naar elkaar toe is afhankelijk van:

- vloeistofstromingen;
- sedimentatieprocessen;
- chemotaxis (= actieve beweging van een cel naar een plaats met een verhoogde voedselconcentratie);
- Brownbeweging van deeltjes;
- hydrofobiciteit van het celoppervlak.

In een airliftreactor is sprake van een turbulente stroming, waardoor in zo'n systeem vooral de eerste factor bepalend is voor dit initiële contact. Zodra de cel en het oppervlak elkaar dicht genaderd zijn, ontstaat een ingewikkelde situatie waarbij aantrekkingskrachten en afstotingskrachten elkaar tegenwerken. De resultante van deze, elkaar tegenwerkende krachten is bepalend voor het feit of een cel lang genoeg in de buurt van het oppervlak kan blijven om zich te hechten. Bij deze hechting speelt een verankering via biopolymeren een belangrijke rol. Een zekere ruwheid van het oppervlak bevordert de hechting.

Hechting zou echter niet plaats kunnen vinden indien de turbulente vloeistofstroming voortdurend langs het vaste oppervlak zou "schuren". Het initiële contact zou dan weer direct verbroken worden. Het laagje water dicht om de korrel is echter min of meer in rust (laminaire laag). Hetzelfde geldt uiteraard voor het water aanwezig in poriën. De dikte van de laminaire laag neemt toe naarmate het oppervlak van de vaste fase ruwer is. Een lagere turbulentie bij een lager luchtdebiet in een airliftreactor gaat ook gepaard met een dikkere laminaire laag.

In een airliftreactor wordt lucht doorgeblazen om sedimentatie van deeltjes te voorkomen en de zuurstofconcentratie in de vloeistof hoog te houden. Bij de start van de experimenten werd het toegepaste luchtdebiet vooral bepaald door deeltjessedimentatie. Na de ontwikkeling van een biofilm moest om in de O_2 -vraag te voorzien vrijwel steeds meer lucht doorgeblazen worden dan daarvoor nodig was.

Een evaluatie van de eigenschappen van de dragermaterialen, in relatie tot hetgeen hiervoor is vermeld over hechting aan een vast oppervlak, leert dat:

- puimsteen en elektrografiet zeer goede hechtingsmogelijkheden lijken te bieden door het grote aantal beschutte plaatsen (poriën e.d.);
- lava nauwelijks poriën bevat, maar wel een uitgesproken ruw oppervlak heeft, waardoor hechting ook wordt bevorderd;
- zilverzand en biogrog weinig poriën bevatten, terwijl het oppervlak slechts lokaal als "ruw" gekarakteriseerd kan worden; biogrog is echter wel wat ruwer dan zilverzand;
- zirkoonzand nauwelijks hechtingsmogelijkheden biedt. Bovendien is dit materiaal veel zwaarder, waardoor aanmerkelijk sterker belucht moet worden om de deeltjes in beweging te houden. Deze grote dichtheid kan, mits hechting plaatsvindt, echter ook een voordeel betekenen omdat hierdoor de bezinkeigenschappen beter zullen zijn dan die van lichter materiaal.

3.2 HECHTING EN BIOFILMVORMING TIJDENS DE DIVERSE EXPERIMENTEN

In tabel 3 wordt een globale karakterisering van de biofilmontwikkeling gegeven in relatie tot enkele procesparameters. In de tabel is de beschikbare hechtingsoppervlakte vermeld. Dit is berekend op basis van de diameter van de deeltjes en onder de aanname dat deze bolvormig zijn. Vooral bij sterk poreuze materialen zal de werkelijke oppervlakte veel groter zijn dan het berekende. De tabel toont verder dat bij de diverse experimenten sprake is geweest van aanmerkelijke verschillen in biofilmvorming (zowel qua snelheid als qua vorm van de film).

Tabel 3 Karakterisering van de biofilmontwikkeling tijdens de uitgevoerde experimenten

Onderzoek	Temperatuursverloop (°C)	Drager	Oppervlakte ¹⁾ (m ² /m ³)	Verblijftijd (uur)	Begroeiing drager tijdens filmontwikkeling			
					snelheid ²⁾	uniform op alle korrels	aangroei concentrisch	
Vooronderzoek - experiment 1	18-10	zilverzand	ca. 2000	0,4	ca. 2	ja	ja	
Vooronderzoek - experiment 2	12-19	zilverzand	ca. 3200	0,5	4-6	ja	ja	
			ca. 3200	0,8	6-8	neen	alleen op korrels met	
			ca. 3200	1,6	6-8	neen	dikke film	
Serie 1	18-24	zilverzand	2000	0,5	2	ja	ja	
			zirkoonzand	2000	0,5	"nihil"	-	-
			biogrog	2000	0,5	2	ja	ja
			puimsteen	> 2000	0,5	1	vlokvorming	
			elektrograf.	> 2000	0,5	1	ja	ja
Serie 2	17-12	zilverzand	2000	1	zeer laag	neen	neen	
			biogrog	2000	1	ca. 5	neen	neen
			"	2000	1	ca. 5	neen	neen
			puimsteen	> 2000	1	ca. 5	ja	ja
			puimsteen	> 2000	1	ca. 5	ja	ja
Serie 3	10-12	lava	2000	0,5	5-6	neen	neen	
			puimsteen	> 2000	0,5	5-6	neen	ja
			lava ³⁾	2000	0,5	eerst traag, na week 7 zeer snel		
			puimsteen ³⁾	> 2000	0,5	5-6	ja	ja
Serie 4	10-20	puimsteen	> 4000	0,5	7	neen	soms	
			"	> 4000	1	9	neen	"
			"	> 4000	0,5	7	neen	"
			" 4)	> 4000	0,5	>12	ja	-

- 1) Beschikbaar voor hechting bij de start van de proef.
 2) Tijdsduur (in weken) tot een soort "evenwichtssituatie" is ontstaan.
 3) Temperatuursverhoging tot 15°C.
 4) In serie geschakeld (2e trap).

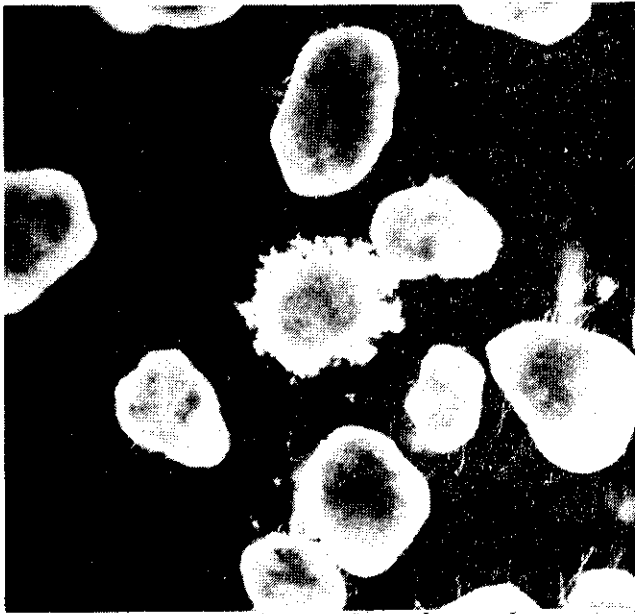
De filmvorming lijkt beïnvloed te worden door:

- de verblijftijd van het afvalwater (= de belasting van de kolom);
- de aard van het dragermateriaal;
- het totaal beschikbare hechtingsoppervlak;
- de temperatuur;
- de aanwezigheid van draadvormige microorganismen.

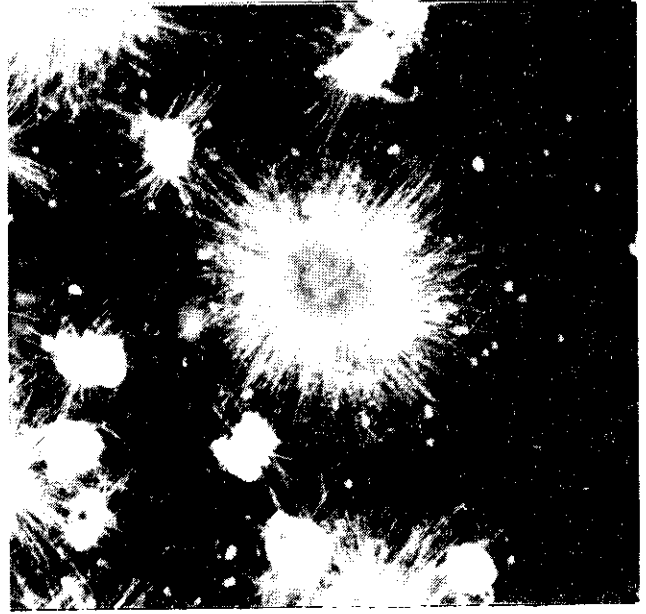
De snelheid van biofilmvorming werd vooral bepaald door de eerste drie parameters. Hierbij konden twee aangroepatronen worden onderscheiden.

3.2.1 Hoge aangroeisnelheden

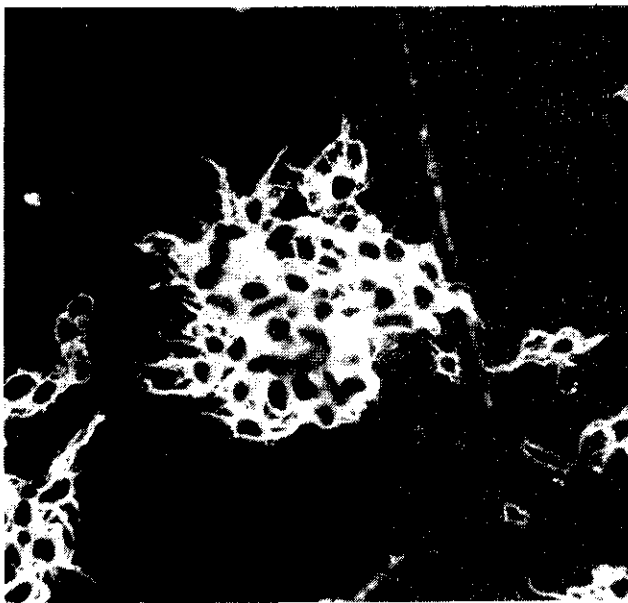
De combinatie van een korte hydraulische verblijftijd (< 1 uur), een relatief klein hechtingsoppervlak (circa 2000 m²/m³) en een vrij hoge systeemtemperatuur (> 15 à 17°C) ging gepaard met een zeer snelle, logaritmische ontwikkeling van de biofilm. De filmvorming startte niet preferent, zoals eigenlijk werd verwacht, met de hechting van microorganismen in poriën en op andere beschutte plaatsen. Ook de gladde "buitenoppervlakken" werden al in een vroeg stadium gekoloniseerd. Dit betekende dat onder deze combinatie van omstandigheden de aard van het oppervlak van het dragermateriaal geen rol speelde. De gladde zilverzandkorrels werden praktisch net zo snel omgeven door een concentrische biofilm als de poreuze korrels puimsteen (fig. 7A). De gehechte biomassa nam bij dit aangroepatroon snel toe. Na 1 à 2 weken was al circa 10 g biomassa/l reactor aanwezig. Zo'n snelle aangroei werd echter steeds gevolgd door een massale uitspoeling van begroeide drager, waardoor de kolommen in enkele dagen leeg spoelden. Dit werd meestal veroorzaakt door een massale groei van *Thiothrix* draden op de korrels (fig. 7B). Een dichte mantel van draden rondom de korrel gaat gepaard met een aanmerkelijke volumevergroting (→ daling van de dichtheid) van het deeltje. Hoge aangroeisnelheden resulteerden daarnaast bij enkele experimenten in het ontstaan van aggregaten (fig. 7C), door het samenballen van deeltjes en/of de vorming van grote actief-slibvlokken. Ook dit ging gepaard met grote verliezen aan dragermateriaal. Een hoge aangroeisnelheid lijkt dientengevolge tot een erg instabiel systeem te leiden. Bij het microscopisch onderzoek kon overigens worden vastgesteld dat zo'n snelle ontwikkeling van de biofilm vrijwel steeds begon met de groei van opvallende "uitstulpsels" (karakteristieke bacteriekolonies e.d.) op de korrels (fig. 7D).



A



B



C



D

Fig. 7. Voorbeelden van biofilms
 A. Concentrisch begroeide korrels puimsteen (70x);
 B. Korrels omgeven door *Thiothrix* draden (30x);
 C. Vorming van aggregaten (20x);
 D. Uitstulpsels rondom de korrels (125x).

3.2.2 "Lage" aangroei-snelheden

De filmvorming verliep trager, maar was beter controleerbaar, indien van de hiervoor genoemde combinatie (korte hydraulische verblijftijd + klein hechtingsoppervlak + temperatuur > 15 à 17°C) werd afgeweken. Hierbij leek het weinig uit te maken welke parameter veranderd werd. Zowel een langere vloeistofverblijftijd (dus een lagere CZV-belasting), als een lagere temperatuur, als een groter hechtingsoppervlakte bij de start van de proef had tot gevolg dat de biofilmontwikkeling vertraagd werd van 1 à 2 weken tot 4 à 8 weken. Onder deze omstandigheden startte de hechting wel preferent op beschutte plaatsen. Gladde oppervlakken werden nu nauwelijks gekoloniseerd. Dit betekent dat dragermaterialen die erg poreus zijn (bijvoorbeeld puimsteen), of die over een ruw oppervlak beschikken (bijvoorbeeld lava) in beginsel beter bruikbaar zijn dan bijvoorbeeld zilverzand (vrij glad en nauwelijks poreus). De hechting van de biomassa aan poreuze, ruwe drager was ook bijzonder stevig.

Verschillende proefomstandigheden resulteerden in biofilms die qua vorm aanmerkelijk van elkaar verschilden. Naast een concentrische begroeiing van alle korrels (fig. 7A) konden ook andere vormen van aangroei (niet concentrisch of slechts dikke biofilms op een deel van de korrels) worden onderscheiden. In het werkrapport van het onderzoek wordt hierop uitvoerig ingegaan.

De hoeveelheid biomassa in het systeem nam bij de meeste proeven vrijwel lineair in de tijd toe, tot een soort stabilisatieniveau werd bereikt. Met puimsteen als dragermateriaal werden "lineaire" aangroei-snelheden van circa 300-830 mg CZV-biomassa/l beluchtingsinhoud.dag vastgesteld. Dit proces leek goed reproduceerbaar te zijn. De aangroei-snelheid werd primair bepaald door de belasting van de kolom en secundair door de systeemtemperatuur. Een groter hechtingsoppervlak (meer drager) leidde niet tot een andere aangroei-snelheid, maar wel tot dunnere biofilms. De dikte van de biolaag bedroeg 25-100 µm (maximaal 250 µm).

De aangroei-snelheid van biomassa aan lava en biogrog bleef iets achter bij die aan puimsteen. Het oppervlak van zilverzand en zirkoonzand was te glad voor een goede hechting van biomassa. Zirkoonzand was ook te zwaar. Elektro-

grafiet is in slechts één kortlopend experiment onderzocht waarbij een sterke uitspoeling van drager optrad.

De hoeveelheid biomassa aan de drager bedroeg, na de aangroeiperiode, bij een verblijftijd van 0,5-1 uur 10-30 g CZV-biomassa/l. Bij het verkennend onderzoek met langere verblijftijden (serie 5) bleef de hoeveelheid biomassa aan de drager in de 2e, 3e of 4e trap beperkt tot 3-5 g CZV-biomassa/l.

De "stabilisering" van de biofilmontwikkeling ging vrijwel steeds gepaard met een massale kolonisering van de begroeide korrels door vastzittende Ciliaten. Stabilisering is tussen aanhalingstekens geplaatst omdat het gehalte aan biomassa in het systeem vaak aanmerkelijk fluctueerde. De aanwezigheid van veel *Thiothrix*-draden, die overigens ook de korrels pas na de aangroEIFase massaal koloniseerden, was in enkele gevallen de voornaamste oorzaak van de onvoldoende processtabiliteit. Deze bacterie veroorzaakte echter alleen bij korte (0,4-0,8 uur) vloeistofverblijftijden problemen. De grote schommelingen in de hoeveelheid biomassa kunnen daarom niet steeds hierdoor worden verklaard. Het lijkt waarschijnlijk dat ook een te hoog gehalte aan biomassa in het systeem vrijwel automatisch leidt tot een instabiele situatie, doordat de reactor min of meer volgroeit en gemakkelijk uitspoeling van begroeide drager optreedt.

4. ZUIVERINGSTECHNISCHE ASPECTEN

In dit hoofdstuk wordt de invloed van de concentratie en de aard van de biomassa op de processtabiliteit besproken. Daarnaast wordt een overzicht gegeven van de CZV-verwijdering en de nitrificatie bij de diverse proeven-series. De slibproductie kon door de kleine schaal waarop werd gewerkt niet exact worden bepaald. Op basis van de CZV-balans, over een bepaalde proefperiode in serie 4, is een voorzichtige schatting gemaakt.

4.1 HOEVEELHEID BIOMASSA

Een van de doelstellingen bij de ontwikkeling van slib-op-drager systemen is het verwezenlijken van een grote hoeveelheid actieve biomassa op het dragermateriaal. Hierbij wordt gestreefd naar 15-30 kg droge stof/m³. Bij een actief-slib systeem wordt het slibgehalte in de beluchtingsruimte ingesteld op ongeveer 4 kg/m³ en vervolgens door middel van gecontroleerd spuien op deze waarde gehouden. Dit leidt tot een constante slibbelasting bij een gelijkblijvende samenstelling en hoeveelheid van het influent.

Bij een slib-op-dragersysteem kan het gehalte aan biomassa in principe ook worden ingesteld door het afvoeren van begroeide drager en het vervangen door nieuwe drager of door drager, waarvan de biomassa geheel of gedeeltelijk is verwijderd. De slibbelasting kan dus net als bij een actief-slibstelsysteem worden geregeld.

Bij een actief-slibstelsysteem wordt in de vlok veel gesuspendeerd materiaal ingevangen. De slibgroei wordt hierdoor verhoogd, de slibleeftijd verlaagd. Bij een slib-op-dragersysteem vindt groei van biomassa vooral op de drager plaats, er wordt waarschijnlijk weinig gesuspendeerd materiaal ingevangen. De biolaag bestaat hierdoor veel meer dan bij actiefslib uit biomassa en de slibleeftijd is hoger.

Bij actief-slibsystemen wordt het maximaal bereikbare gehalte aan biomassa bepaald door de bezinkbaarheid van het slib. De bezinksnelheid en ook de droogrest van de actief-slibvlok (de droogrest van ingedikt actiefslib is maximaal 40 kg/m³) zijn laag. De droogrest van een biofilm in een slib-op-dragersysteem is hoger (60 tot 100 kg/m³ biomassa [3]). Omdat de compacte biofilm ook nog gehecht is aan een relatief zware kern (dichtheid circa 2000 kg/m³) zal het bezinkgedrag niet snel de beperkende factor vormen. In wezen

wordt bij een airliftreactor de maximale hoeveelheid biomassa bepaald door het volraken van de reactor. Van groot belang hierbij is de verstoring door de groei van draadvormende organismen. De diameter van een begroeide korrel neemt dan "sprongsgewijs" toe en er treedt uitspoeling van drager en biomassa op.

Bij de beoordeling van de experimentele resultaten is ook waargenomen, dat het hydraulisch gedrag van de reactor wordt beïnvloed door de groei van biomassa.

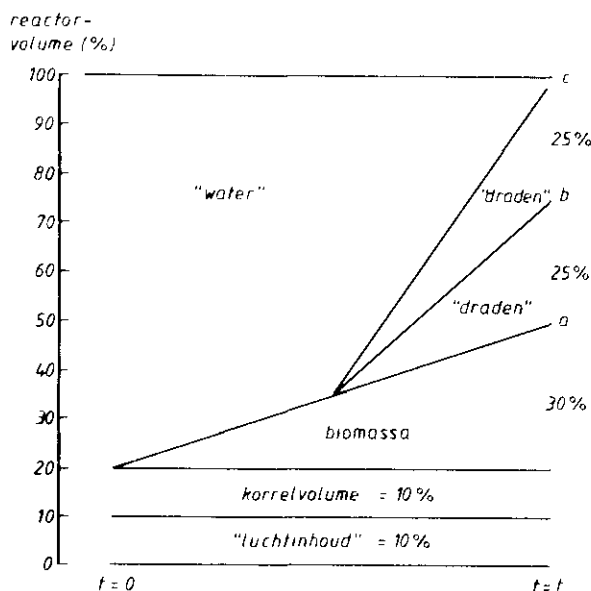


Fig. 8. Verloop van de bezetting van het reactorvolume - voorbeeld.

In figuur 8 wordt met drie voorbeelden gedemonstreerd hoe de reële verblijftijden worden beïnvloed door de aangroei van biomassa: a) normale aangroei, b) vorming van draden en c) vorming van veel draden. Uit de figuur blijkt dat bij aangroei van de biomassa tot 30 kg CZV-biomassa/m³ de reële verblijftijd met 50% zou teruglopen bij een korrelvolume van 10% en een "luchtinhoud" van 10% (lijn a). Door vorming van draadvormende organismen neemt de dichtheid van de biofilm af en zonder biomassa-afvoer neemt het volume hiervan sterk toe (lijnen b en c in de figuur). De reële hydraulische verblijftijd neemt dan sterk af, de reactor "groeit vol".

Vermoedelijk verklaart dit voor een deel de experimenteel waargenomen instabiliteit bij korte verblijftijden.

De groei van draadvormende organismen heeft tevens invloed op de effluentkwaliteit. Bij een verblijftijd van 0,5 uur nam de CZV-verwijdering in de

loop van de tijd af. Uitspoeling van dragermateriaal had dan soms weer een betere effluentkwaliteit tot gevolg (verlenging van de verblijftijd?).

Er mag hieruit niet worden geconcludeerd dat niet gestreefd zou moeten worden naar een hoge biomassaconcentratie. Het is echter wel van groot belang het proces zodanig te optimaliseren dat een stabiele procesvoering mogelijk is.

4.2 CZV-REDUCTIE

De CZV-reductie is beoordeeld aan de hand van gefiltreerd effluent. Het aangegeven rendement, CZV-%, heeft dan ook betrekking op gefiltreerd effluent ten opzichte van niet gefiltreerd influent. Het rendement CZV-F-% is gebaseerd op het CZV van de opgeloste organische stof (gefiltreerd influent en gefiltreerd effluent).

In tabel 4 zijn gegevens samengebracht over de werking van de airliftreactoren tijdens "uitgezochte" periodes uit het gehele onderzoek. Deze periodes zijn geselecteerd op basis van de volgende eisen:

- redelijke stabiliteit, geen grote wisselingen in afvalwatersamenstelling;
- redelijke hoeveelheid biomassa op de drager.

In figuur 9 is het CZV van gefiltreerd effluent (gegevens uit tabel 4) uitgezet tegen de hydraulische verblijftijd. De omcirkelde tekens hebben betrekking op in serie geschakelde kolommen, waarbij de vermelde verblijftijden zijn gesommeerd. Bij toenemende verblijftijd neemt de CZV-verwijdering toe. In de figuur is met lijnen de waargenomen (gemiddelde waarden) en de haalbare effluentkwaliteit aangegeven. Deze is reeds gedurende kortere perioden bij een goede werking van de reactoren gerealiseerd. Na optimalisatie van het proces zal dit ook bij normaal bedrijf kunnen. De schattingen zijn in tabel 5 opgenomen.

Voor het industriële afvalwater van Gist-brocades werd bij een verblijftijd van 0,3 uur en een temperatuur van 40°C een specifieke slibactiviteit (CZV-omzetting per eenheid biomassa per dag) van 0,75 kg CZV/kg organische stof waargenomen [2]. In dit onderzoek werden overeenkomstige waarden gevonden. Er werd in serie 4 (25 l reactoren), tijdens de periode dag 51-dag 78 bij een verblijftijd van 0,5 uur 9,5 kg opgelost CZV/m³.dag verwijderd. (zie ook tabel 4). Bij 15 kg/m³ CZV-biomassa bedroeg de specifieke slibactiviteit dus 0,6 kg CZV/kg CZV-biomassa.dag. Daaropvolgend werd bij een geringere biomassaconcentratie een beter zuiveringsrendement gevonden. De slibacti-

Tabel 4 Zuiveringsrendement tijdens uitgezochte periodes.

	Biomassa concen- tratie 1)	Temp. (°C)	CZV volume- belas- ting (kg/m ³ .d)	CZV-inf influent (mg/l)	CZV-inf-F influent gefil- treerd (mg/l)	CZV-eff effluent (mg/l)	CZV-eff-F effluent gefil- treerd (mg/l)	CZV-% 5)	CZV-F-% 5)	Voorkomen nitrificatie
<u>Voorbereidend onderzoek</u>										
experiment 1, dag 130-199 zilverzand, t = 0,4 uur	a = 12,0	12	35	565	-	350	170	68	-	Nee, wel bij lagere CZV-volumebelastingen in eerdere meetperiode
<u>experiment 2, dag 77 - 98</u>										
zilverzand										
t = 0,5 uur	a = 6,1	17	21	435	-	155	125	71	-	N-Kj-% = ca. 40%,
t = 0,8 uur	a = 7,7	"	13	"	-	265	145	65	-	aan eind van proef
t = 1,6 uur	a = 3,4	"	6	"	-	235	120	71	-	hogere nitraatgehalten
<u>Serie 1, dag 4-21 2)</u>										
t = 0,5 uur										
zirkoonzand	laag	ca. 20	28	590	-	-	ca. 380	ca. 35	-	Niet bekend
overige dragers	a = 1-4	"	28	"	-	-	ca. 210	ca. 65	-	
<u>Serie 2, dag 36-71</u>										
t = 1 uur										
zilverzand	a = 2,4	12-15	7,5	315	-	235	125	58	-	Niet bekend
biogrog	a = 8,3	"	"	"	-	170	89	70	-	
biogrog	a = 3,9	"	"	"	-	205	110	63	-	
puimsteen	a = 11	"	"	"	-	175	85	71	-	
puimsteen	a = 9	"	"	"	-	180	92	69	-	
							ca. 50 3)	ca. 80 3)		
<u>Serie 3, dag 41-57</u>										
t = 0,5 uur										
lava	b = 14,9	12	33	685	540	550	275	60	50	Niet bekend
puimsteen	b = 21,0	"	33	685	540	480	260	62	52	
<u>Serie 4, dag 51-93</u>										
puimsteen										
t = 0,5 uur										
- tot dag 76	b = 20,6	18	30	640	420	460	210	66	49	Niet bij t = 0,5 uur,
- daarna 4)	b = 8,2	"	30	620	400	-	150	75	60	bij t = 1 uur pas na
t = 1 uur	b = 14,5	"	15	630	410	350	120	81	71	meer dan 80 dagen
t = 0,5 + 0,5 uur	b = 12,3	"	15	630	410	355	135	79	69	
<u>Serie 5, dag 44-92</u>										
puimsteen										
verblijftijd (uur)										
0,5	b = 3-5	20	28	590	420	425	125	79	70	Ja, bij lage CZV-
(0,5) + 1 = 1,5	b = 3-5	"	-	-	125	380	105	82	75	volumebelastingen
(0,5 + 1) + 1 = 2,5	b = ca. 2	"	-	-	105	210	80	86	81	
(0,5 + 1 + 1) + 1 = 3,5	b = ca. 2	"	-	-	80	120	58	90	86	
(0,5) + 2 = 2,5	b = 4-5	"	-	-	125	245	83	86	80	

1) a = "organische" stof (g/l) - gloeiverlies drager

b = CZV-biomassa aan drager (g/l)

2) alleen aangroeperiode, sterke uitspoeling

3) puimsteen, gedurende korte tijd

4) van dag 76-93

5) zie §4.2

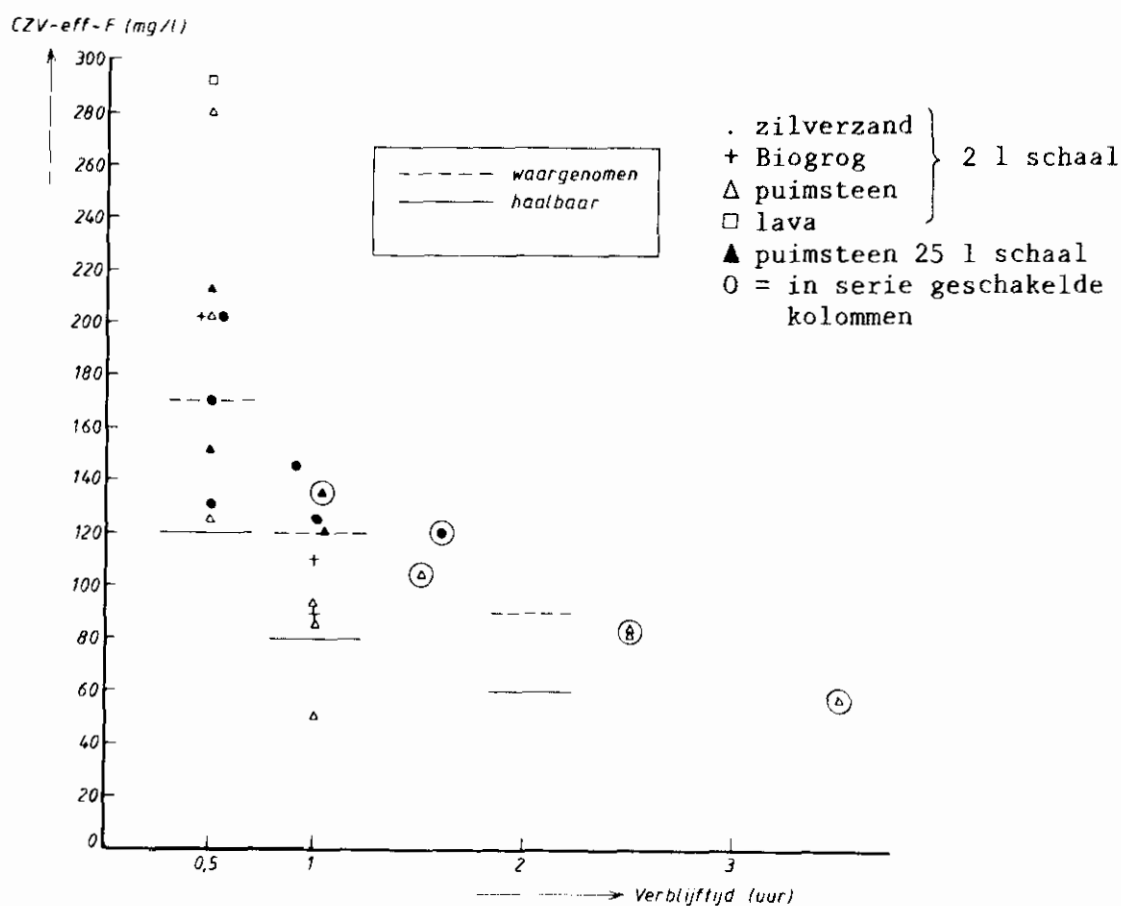


Fig. 9. CZV-effluent (na filtreren) als functie van de hydraulische verblijftijd.

Tabel 5 De invloed van de vloeistofverblijftijd op de CZV-reductie.

	Verblijf- tijd (uur)	CZV-volume- belasting (kg CZV/m ³ .dag) 1)	CZV-effluent gefiltreerd (mg/l)	CZV-reductie (gefiltreerd) (%) 2)	CZV- reductie (%) 3)
Waargenomen	0,5	30	170	60	70
	1	15	120	70	80
	2	7,5	90	80	85
"Haalbaar"	0,5	30	120	70	80
	1	15	80	80	90
	2	7,5	50	90	90

1) CZV-influent, niet gefiltreerd circa 600 mg/l, gefiltreerd circa 400 mg/l.

2) CZV-reductie, gebaseerd op gefiltreerde influenten en effluenten.

3) CZV-reductie, gefiltreerd effluent t.o.v. niet gefiltreerd influent.

viteit was daarbij 1,5 kg CZV/kg CZV-biomassa.dag. Voor het zuiveringsrendement leek het niet veel uit te maken of de totale verblijftijd werd bereikt in één reactor of in meerdere reactoren, die in serie waren geschakeld. De dupliceerbaarheid van de proeven bleek goed. De invloed van de temperatuur op het zuiveringsrendement kon niet eenduidig vastgesteld worden.

In figuur 10 is het CZV van gefiltreerd effluent uitgezet tegen de CZV-volumebelasting ($\text{kg CZV/m}^3\text{.dag}$). Het werkgebied van actief-slibsystemen en van carrouzels is ook ingetekend. De waargenomen gemiddelde effluentkwaliteit uit figuur 9 is ook hier aangegeven. In een drie-fasen airliftreactor kan een effluentkwaliteit verkregen worden, die vergelijkbaar is met die van conventionele actief-slibsystemen, bij veel hogere CZV-volumebelastingen.

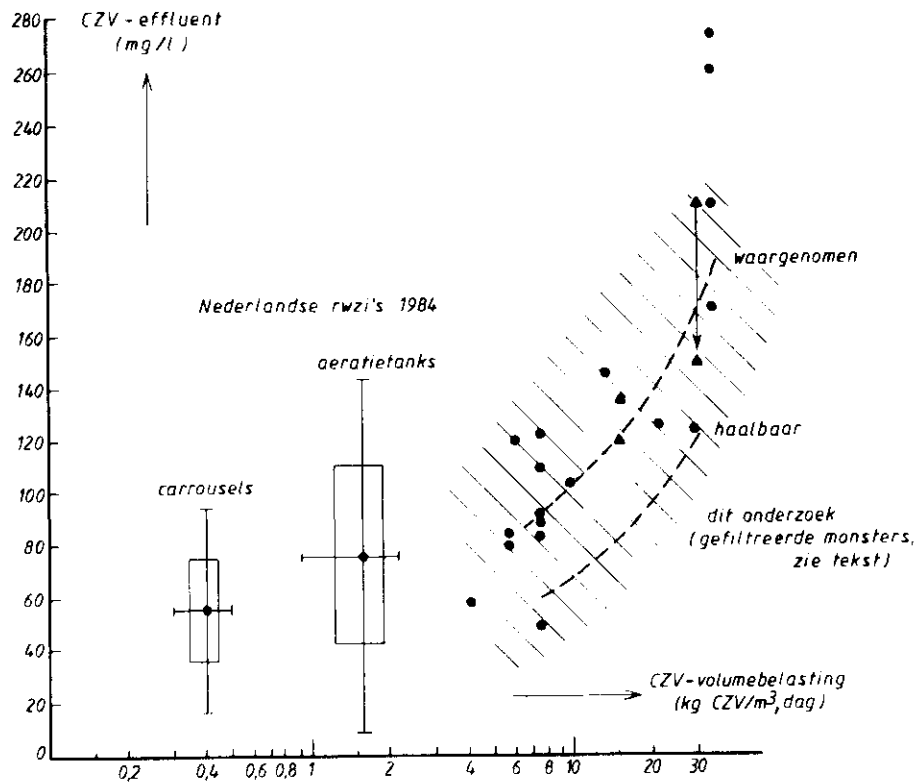


Fig. 10. CZV in effluent als functie van de CZV-volumebelasting.

- Opmerking 1) Nederlandse rwzi's in 1984: Gegevens ter beschikking gesteld door CBS. Aangegeven zijn het gemiddelde plus/minus de spreiding (blokje) en het 95%-interval (lijnstuk).
- Opmerking 2) Dit onderzoek: ●, ▲ = gemiddelde van CZV's van gefiltreerde effluenten over een meetperiode, zie tabel 4 (● = 2 l schaal, ▲ = 25 l schaal).

Er is echter één groot verschil. Het gehalte aan gesuspendeerd materiaal in het effluent was bij deze proeven hoog. Het CZV van niet gefiltreerd effluent was twee tot vier maal dat van gefiltreerd effluent. Dit was overigens al in het vooronderzoek onderkend. In dit stadium van het onderzoek kan de beoordeling van de mogelijkheden van CZV-verwijdering alleen worden uitgevoerd aan de hand van gefiltreerd effluent.

Het geproduceerde slib bevond zich, zoals later in dit hoofdstuk besproken wordt voornamelijk in het effluent en dit zal apart afgescheiden moeten worden.

4.3 NITRIFICATIE

In tabel 4 is aangegeven bij welke proeven nitrificatie is opgetreden. Het duurde vrij lang voor zich een nitrificerende populatie begon te ontwikkelen. Bij een hydraulische verblijftijd van 1 uur duurde dit ongeveer 10 weken; bij langere (gesommeerde) verblijftijden ging het aanzienlijk sneller. Vaak was de proefduur te kort om tot een volledige nitrificatie te komen. In figuur 11 zijn resultaten uit proeven op 2 l schaal opgenomen (experiment 2 van het vooronderzoek en serie 5).

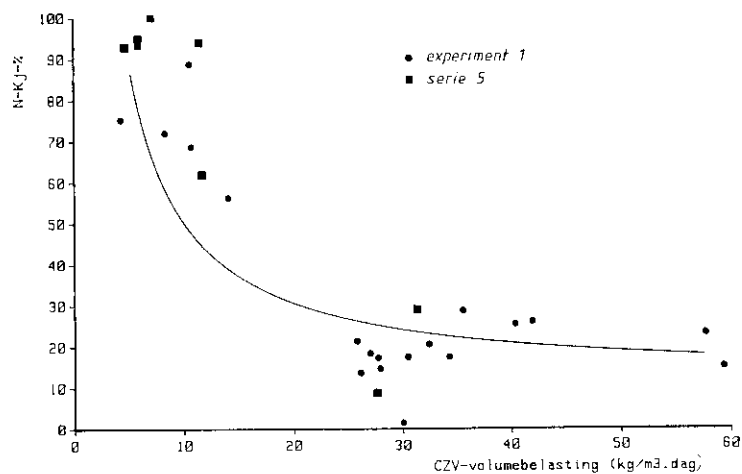


Fig. 11 Invloed van de CZV-volumebelasting (t.o.v. gesommeerde hydraulische verblijftijd) op de N-Kj-reductie.

De proeven wijzen uit dat bij een CZV-volumebelasting van minder dan 10 kg CZV/m³ volledige nitrificatie mogelijk is:

- bij een verblijftijd $\geq 1,5$ uur en een voor stedelijk afvalwater gebruikelijke CZV van rond 600 mg/l;
- bij verdund afvalwater, of na een voorafgaande CZV-reductie bij verblijftijden van 0,4 - 1 uur.

De hoge slibleeftijd in een drie-fasen airliftreactor is klaarblijkelijk gunstig voor de ontwikkeling van een nitrificerende populatie. In figuur 12 worden de gehalten aan N-Kjeldahl in (gefiltreerd!) effluent uit dit onderzoek vergeleken met praktijkresultaten van Nederlandse actief-slibsystemen en carroussels. Gezien de geringe nitrificatie in hoog belaste actief-slibsystemen zijn de goede mogelijkheden voor nitrificatie in de drie-fasen airliftreactor van grote betekenis.

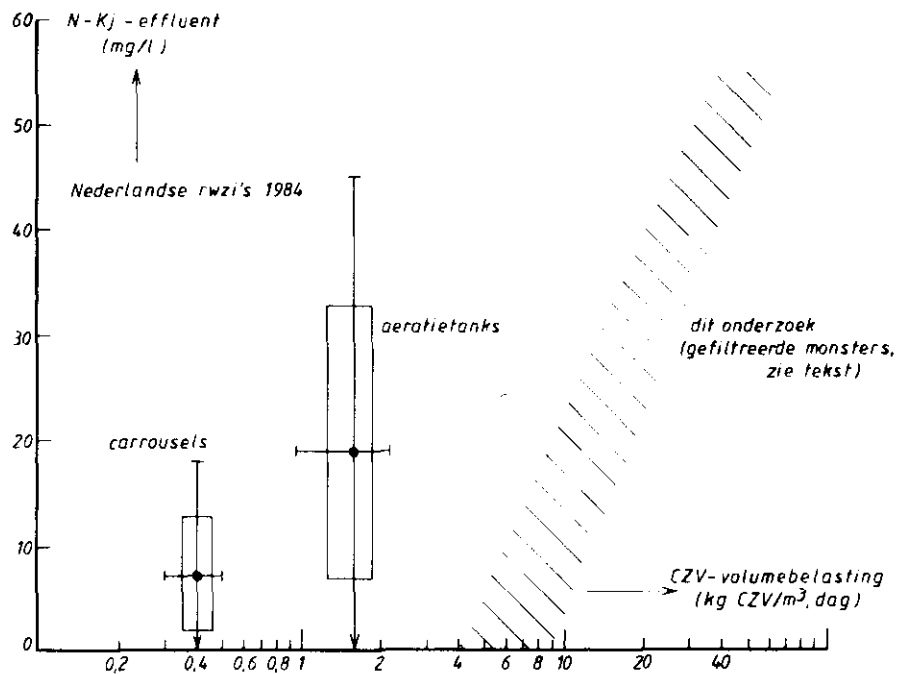


Fig. 12 N-Kj in effluent als functie van de CZV-volumebelasting.

Opmerking: Nederlandse rwzi's in 1984: Gegevens ter beschikking gesteld door CBS.

4.4 SLIBPRODUKTIE

Het afvalwater bevatte, na bezinking nog veel gesuspenseerd materiaal (35% van het CZV kon door filtreren worden afgescheiden). In de drie-fasen airliftreactoren vond vrijwel geen verandering van de hoeveelheid gesuspenseerd materiaal plaats. Het CZV van gesuspenseerd materiaal in het influent en het effluent is vrijwel gelijk (circa 40 g CZV/i.e. dag). Het is nog onduidelijk of het gesuspenseerde materiaal in het influent "doorstroomt" of dat de aard van het gesuspenseerde materiaal in influent en effluent duidelijk verschilt.

De verwijdering van opgelost CZV bedroeg in serie 4 bij een verblijftijd van 0,5 uur circa 9,5 kg CZV/m³.dag. De slibproductie kan vanuit twee extreme uitgangspunten worden geraamd:

- a. Alleen de toename van gesuspendeerd materiaal wordt als slibproductie beschouwd. De slibproductie is dan nagenoeg nihil en er zou voor de biofilm op de drager alleen sprake zijn van een "maintenance situatie" (endogene ademhaling). Dit is de situatie zonder slibgroei, zoals gerealiseerd is bij proefnemingen door Gist-brocades bij zuivering van gefiltreerd bedrijfsafvalwater [2, 3].
- b. Al het gesuspendeerde materiaal in het effluent is afkomstig van slibproductie. Deze bedroeg dan (in de periode dag 51-93) 11-12 kg CZV/m³.dag of circa 0,6 kg CZV/kg verwijderd CZV.dag. Dit zou echter inhouden dat al het bezinkbare en gesuspendeerde materiaal in het influent zou worden omgezet in de airliftreactor, hetgeen bij deze korte verblijftijden onwaarschijnlijk is.

De werkelijkheid ligt bij behandeling van stedelijk afvalwater dan tussen 0 en 0,6 kg CZV/kg verwijderd CZV.dag. De slibafvoer zal bestaan uit een niet bewuste afvoer van slib met het effluent van de airliftreactor en eventueel een bewuste afvoer van slib door verwijdering van aan de drager gehechte biomassa (zie figuur 13).

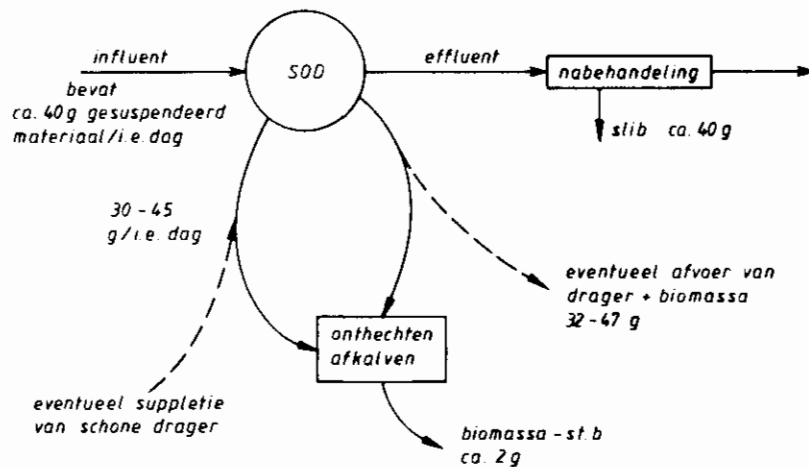


Fig. 13. Schematisch overzicht van de berekende slibafvoer bij een ingestelde CZV-biomassa van 10 g/l, gebaseerd op gegevens van serie 4, 25 l reactoren.

Bij een hydraulische verblijftijd van 0,5 uur in de 25 l reactoren bedroeg de slibaangroei aan de drager 1,6 g CZV biomassa/i.e.dag. Bij 1 uur was deze 2,2-2,3 g CZV biomassa/i.e.dag. Het maakt niet veel uit of de verblijftijd van 1 uur in één reactor of in twee in serie geschakelde reactoren werd gerealiseerd.

Aangenomen mag worden, dat bij praktische toepassing van de drie-fasen airliftreactor de slibgroei aan de drager dus gering zal zijn (ongeveer 2 g CZV biomassa/i.e.dag).

5. EVALUATIE

De doelstelling van het slib-op-drageronderzoek is het ontwikkelen en vaststellen van de toepassingsmogelijkheden, van een nieuw ruimtebesparend zuiveringssysteem voor de aërobe biologische zuivering van stedelijk afvalwater. De hier gerapporteerde fase van verkennend onderzoek was gericht op de toetsing van de bruikbaarheid van de door Gist-brocades ontwikkelde drie-fasen airliftreactor voor de zuivering van stedelijk afvalwater.

Hierbij stonden de volgende vragen centraal:

- welke drager is voor bovenstaand doel geschikt;
- hoe verloopt de biofilmvorming op de drager;
- wat is het zuiveringsresultaat.

5.1 DRAGERKEUZE

De experimenten, die bedoeld waren om een drager te selecteren, hebben puimsteen en lava als geschikte materialen opgeleverd.

Beide materialen zijn van vulkanische oorsprong. Puimsteen is als het ware gestold "magma-schuim". Het is poreus en het oppervlak is ruw. Bij lava bevatte het magma tijdens het stollen minder gas. Door de veel geringere porositeit is lava zwaarder, maar mechanisch ook sterker. Beide zijn voldoende ruw om een snelle kolonisatie op het oppervlak mogelijk te maken. Hoewel de experimenten op 25 l schaal zijn uitgevoerd met behulp van puimsteen als drager is om genoemde redenen besloten bij het mogelijke vervolgonderzoek toch lava te gebruiken. Het lijkt derhalve niet nodig om op korte termijn aan de dragerkeuze nog verdere aandacht te besteden. Biogrog is in beginsel ook bruikbaar. Zilverzand (te glad oppervlak) en zirkoonzand (te glad en te zwaar) zijn minder geschikt als dragermateriaal.

5.2 BIOFILMVORMING

Het is steeds mogelijk gebleken om, behalve bij zirkoonzand, groei op de drager te bewerkstelligen. De mate van turbulentie, die nodig was om zirkoonzand in beweging te houden was zo groot, dat deze niet of nauwelijks begroeide.

De kolonisatie van dragers is dus in principe geen probleem. De aard van de gevormde biofilm kan echter wel problemen opleveren.

Hoewel niet verwacht in dit turbulente systeem, trad regelmatig groei van draadvormende organismen op. Deze groei had een zeer negatieve invloed op de stabiliteit van het proces. Hierbij moet er rekening mee worden gehouden, dat door de verandering in de morfologie van de biomassa ook een sterke verandering in het volume hiervan optreedt en dus ook in de reële verblijftijd van het afvalwater in de kolom.

Het is gebleken dat er meer inzicht nodig is in het mechanisme van de biofilmvorming, voordat er experimenten op semi-praktijkschaal kunnen worden uitgevoerd. Beheersing van de biofilmdikte, door een geregelde afvoer van begroeide drager, kan de stabiliteit van het proces aanzienlijk verbeteren. Gedurende de beginfase van ieder experiment werd immers een periode van lineaire groei waargenomen, waarbij het systeem, na eerste aangroei van biomassa, goed functioneert. Door het systeem in deze toestand te houden zou dan ook de stabiliteit gehandhaafd blijven. Getracht zou kunnen worden om het afscheiden van biomassa (begroeide drager) selectief uit te voeren, zodat met draadvormende organismen begroeide drager, korrels en aggregaten worden verwijderd. De drager kan hierna schoongemaakt worden en teruggebracht worden in de reactor, of er kan schone drager worden gebruikt om het "verlies" aan te vullen. Afhankelijk van de snelheidsverschillen in de kolonisatie van nieuwe of schoongemaakte korrels zal deze keuze wel of geen effect hebben. De kosten van het ontbechten van biomassa van de drager en de kostprijs van de drager zijn hierbij van belang.

5.3 ZUIVERINGSRENDEMENT

Bij bestudering van de resultaten van het slib-op-drageronderzoek valt direct op, dat er bijna alleen een vermindering optreedt van de hoeveelheid opgelost materiaal, dat aan de reactor wordt toegevoerd. Het zuiveringsrendement is om die reden betrokken op de opgeloste organische stof in het influent van de reactor. Het rendement is dan aanzienlijk: 70-80% en 80-85% CZV-verwijdering bij gemiddelde verblijftijden van het afvalwater in de reactor van respectievelijk 0,5 en 1 uur. De volumebelasting bedroeg hierbij respectievelijk 30 en 15 kg CZV/m³.dag.

Bij langere (gesommeerde) verblijftijden (1-3,5 uur) trad ook een aanzienlijke nitrificatie op (60-> 95% verwijdering van N-Kj). Na een lange aanloopperiode begon dit al bij een waterverblijftijd van 1 uur. Als grens voor nitrificatie moet vooralsnog een minimale (gesommeerde) waterverblijf-

tijd van 1,5 uur aangehouden worden. Op zich is het optreden van vergaande nitrificatie, gecombineerd met CZV-verwijdering, bij deze hoge belastingen zeker vermeldenswaard.

Wanneer het zwevend stof in de evaluatie van de experimenten betrokken wordt, lijken de resultaten minder gunstig. Het CZV van zwevend stof maakt 30-35% van het CZV van het influent en 50-75% van het CZV van het effluent uit. In principe kan het materiaal in het effluent bestaan uit:

- gesuspendeerd inert en/of slecht afbreekbaar materiaal afkomstig uit het influent;
- uitgespoelde (begroeide) drager;
- biomassa, die losgeraakt is van de drager of die in suspensie is gegroeid.

Over de onderlinge verhoudingen van deze soorten zwevend materiaal in het effluent is nog niets bekend. Er werd geen bewuste slibafvoer toegepast. Dit houdt in dat alle geproduceerde biomassa, voorzover niet omgezet of "opgezameld" in de reactor, met het effluent afgevoerd werd. Mede hierdoor kon de slibproductie niet vastgesteld worden. Over een periode van zes weken is in een experiment, met de 25 l reactoren, een CZV-balans opgesteld. Hieruit bleek dat de slibgroei aan de drager relatief gering is. In hoeverre er groei van biomassa in suspensie optreedt (of dat de gesuspendeerde biomassa losgeraakte biolaag is) kon hier niet uit worden afgeleid. Dit houdt in, dat er eigenlijk geen uitspraken gedaan kunnen worden over slibproductie en de mogelijk invang van deeltjes en omzetting hiervan in de biolaag. Bij het verder ontwikkelen van het slib-op-dragersproces zal hieraan veel aandacht moeten worden besteed. Dit heeft overigens vooral betrekking op de aard van het zwevend stof en daaraan gekoppeld het gedrag in de reactor.

Samenvattend kan echter worden gesteld, dat de resultaten zodanig veelbelovend zijn, dat deze de verdere ontwikkeling van het proces rechtvaardigen.

5.4 MOGELIJKHEDEN VOOR VERDER ONDERZOEK

In het werkrapport wordt uitgebreid ingegaan op de mogelijkheden voor verder onderzoek. Hierbij wordt fundamenteel, toepassings- en praktijkgericht en op reactortechnologie gericht onderzoek onderscheiden.

In deze paragraaf worden enkele meer toepassingsgerichte problemen aangestipt. Als onderwerp voor verder onderzoek komt vooral de stabiliteit van het slib-op-dragerproces naar voren. De biofilmvorming lijkt hierbij een belangrijke parameter te zijn. Daarnaast zou aandacht besteed moeten worden aan de effluentkwaliteit (zwevend stof) en de optimalisatie van CZV-verwijdering en de nitrificatie. Beantwoording van meer fundamentele vragen zou in samenwerking met een universiteit plaats kunnen vinden (b.v. TU-Delft). Invulling van het mogelijke onderzoeksprogramma kan ook pas dan plaatsvinden.

Biofilmvorming en processtabiliteit

De processtabiliteit leek beïnvloed te worden door fluctuaties van de hoeveelheid biomassa in de reactor, die volgden op een periode van lineaire aangroei aan de drager. Hierbij trad, vooral bij verblijftijden < 1 uur, ook groei van draadvormende organismen op. Oorzaak en gevolg kunnen bij deze waarneming niet gemakkelijk worden gescheiden, wanneer nog rekening wordt gehouden met de eerder genoemde omgekeerde evenredigheid tussen de toename van de hoeveelheid biomassa en de waterverblijftijd.

Beheersing van de hoeveelheid biomassa in het systeem zou een sterke stabiliserende invloed kunnen hebben. Op welke manier dit zou moeten gebeuren is een punt van onderzoek. Daarnaast is ondermeer van belang hoe de heraan groei verloopt aan dragerkorrels, waarvan de biolaag (gedeeltelijk) is verwijderd en hoe de dikte en de aard van de biolaag door de omstandigheden in de reactor worden beïnvloed.

Effluentkwaliteit en zwevend stof

Vergeleken met conventionele actief-slibinstallaties is in principe een gelijke effluentkwaliteit bij een aanzienlijke volumebesparing mogelijk. Het lijkt erop dat een "langere" verblijftijd van 1 uur of hoger gunstig is, zowel voor het zuiveringsrendement als voor een stabiele bedrijfsvoering. Dit ook gezien de mogelijk vergaande nitrificatie onder die omstandigheden. Overigens is, vergeleken met een conventionele zuiveringsinrichting een "langere" verblijftijd van 1-2 uur nog kort.

Voor de beoordeling van de kwaliteit van het zuiveringsproces is het echter nodig om aard, (gedrag) en hoeveelheid van het gesuspendeerde materiaal in in- en effluent vast te stellen. Op die wijze kan, door vergelijking van de verkregen gegevens, antwoord gegeven worden op de volgende vragen:

- welk deel van het zwevend stof passeert ongehinderd de reactor en is dit inert of van organische oorsprong;
- wordt er zwevend materiaal ingevangen in de biofilm en/of omgezet;
- treedt er groei van microorganismen in suspensie op;
- vindt afkaveling van de biolaag op (hoe is dit te onderscheiden van groei in suspensie).

Wanneer meer inzicht is verkregen in de aard van het zwevend stof kan ook beter een mening worden gevormd over de verwijdering ervan. Over zwevend stofverwijdering is op zich al veel bekend. Er zou derhalve volstaan kunnen worden met de keuze uit bestaande mogelijkheden en met verificatie van deze keuze met behulp van enkele laboratoriumexperimenten.

Slibproduktie

De slibproduktie kan niet los gezien worden van de wijze van biofilmcontrole. Voor verder onderzoek is van belang hoe het (surplus)slib aan de reactor kan worden onttrokken, hoe groot de slibproduktie is en de verwerkbaarheid van het slib is.

Optimalisatie

Het ligt voor de hand, dat bij een toenemende kennis van het proces ook gestreefd zal worden naar optimalisatie hiervan op basis van deze kennis. Dit zou naast de optimalisatie van de CZV-verwijdering, ook die van de nitrificatie moeten betreffen. Dit vooral omdat nitrificatie bij de hoge CZV-volumebelasting van de slib-op-dragerreactor in conventionele rwzi's niet optreedt. Bij de optimalisatie van de drie-fasen airliftreactor voor de zuivering van stedelijk afvalwater is het energieverbruik van belang. De zuurstofoverdracht bepaalt in hoge mate de economische haalbaarheid. Een evaluatie van de inpasbaarheid van de reactor in een rwzi zal in vervolgonderzoek opgenomen moeten worden.

Prioriteiten bij toekomstig onderzoek

Stabiliteit en rendement van het zuiveringsproces zijn essentiële factoren bij de verdere ontwikkeling van slib-op-dragersystemen. Toekomstig onderzoek moet dan ook primair op deze factoren zijn gericht. De processtabiliteit

teit zou sterk verbeterd kunnen worden door de hoeveelheid biomassa in de reactor te beheersen en groei van draadvormende organismen te voorkomen. Dit zou de eerste onderzoeksprioriteit moeten zijn. Op de tweede plaats komt onderzoek naar aard en gedrag van het zwevend stof. Hiermee kan ook inzicht in de slibproduktie worden verkregen. Daarna dient de optimalisatie van het proces ter hand te worden genomen en moeten opschalingsparameters worden vastgesteld.

6. LITERATUUR

- [1] Voorneburg, F. van en B.A. Heide
Mogelijkheden van slib-op-dragersystemen voor de aërobe biologische zuivering van stedelijk afvalwater (literatuurstudie).
TNO, Gist-brocades, Ministeries VROM, EZ, L&V en V&W, STORA, 1986.
Uitgegeven door STORA, 's-Gravenhage.
- [2] Heijnen, J.J. en P.A. Lourens
Biologische afvalwaterzuivering met behulp van fluid bed systemen.
Interimrapport 1977-1982, Gist-brocades N.V., Delft, mei 1984.
- [3] Heijnen, J.J.
Biological industrial waste-water treatment minimizing biomass production and maximizing biomass concentration.
Proefschrift Technische Hogeschool Delft, Delft Universiteitspress, 1984.