Biofilmvorming in een airliftreactor bij de zuivering van stedelijk afvalwater

Voordracht gehouden tijdens het NVA-NBV-symposium 'Immobilisatie en afvalwaterbehandeling' op 2 april 1987 te Rotterdam.

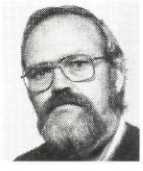
Samenvatting

In conventionele, aërobe zuiveringsinrichtingen is slechts een beperkte hoeveelheid biomassa per m³ reactorinhoud aanwezig. Hieraan is een aantal bezwaren verbonden. Het gehalte aan biomassa kan in beginsel aanmerkelijk worden opgevoerd indien deze gehecht is aan een mobiele drager met een hoge dichtheid en een groot beschikbaar hechtingsoppervlak. Op basis van een literatuurstudie werd geconcludeerd dat de door Gist-Brocades ontwikkelde driefasen airliftreactor de beste perspectieven leek te bieden voor de zuivering van stedelijk afvalwater via dit principe. Uit een laboratoriumonderzoek op tweeliter- en vijfentwintigliterschaal werd geconcludeerd dat de turbulente omstandigheden in zo'n reactor de vorming van een stevige biofilm niet verhinderen. De biofilmvorming werd vooral beïnvloed door de toegepaste volumebelasting, het beschikbare hechtingsoppervlak en de systeemtempratuur. Met de dragermaterialen puimsteen, lava en biogrog kon een biomassaconcentratie van 15-30 kg/m³ worden bereikt. Het gehalte aan biomassa fluctueerde na de aangroeifase echter meestal aanmerkelijk, waardoor nog geen langdurige, stabiele bedrijfsvoering kon worden gerealiseerd. Bij hydraulische verblijftijden <1 uur werd de instabiliteit meestal veroorzaakt door een sterke groei van *Thiothrix* draden op de korrels. Bij CZV-volumebelastingen ≤10 kg/m³ . dag werd het opgeloste CZV voor een groot gedeelte (70-85%) verwijderd. Gesuspendeerde verbindingen werden echter in onvoldoende mate opgenomen. Bij deze belasting kon simultaan een vergaande nitrificatie worden bereikt.

Voorwoord

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-op-dragertechnologie, zoals die door Gist-Brocades is ontwikkeld voor haar bedrijfsafvalwater.

Het onderzoek werd financieel gedragen door de overheid vanuit de subsidieregeling Schone Technologie-Water (samenwerkingsverband van 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.



IR. D. H. EIKELBOOM
MT-TNO Delft
Afd. Biologie

ING. R. KAMPF
MT-TNO Delft
Afd. Biologie

ING. F. VAN VOORNEBURG
MT-TNO Delft
Afd. Milieutechnologie

Inleiding

De huidige typen rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) functioneren meestal bedrijfszeker en leveren in het algemeen een effluent van goede kwaliteit. Het relatief grote ruimtebeslag en de grote slibproduktie, maar ook neveneffecten, zoals geluid- en stankhinder, alsmede aërosolvorming, worden echter steeds meer ter discussie gesteld. De belangstelling voor andere methoden van afvalwaterbehandeling, vooral tegen de achtergrond van overkapping van rwzi's met een zo gering mogelijk ruimtebeslag, is dan ook verklaarbaar.

In de laatste jaren is vooral in het buitenland onderzoek verricht naar de zogenaamde slib-op-dragertechnieken. Deze kenmerken zich meestal door een grote hoeveelheid actieve biomassa per m³ reactorruimte, waardoor in principe een geringer ruimtebeslag mogelijk is dan bij de huidige actief-slibinstallaties en oxydatiebedden.

Tot de slib-op-dragersystemen behoort onder andere de fluidbedreactor van Dorr-Oliver (Oxitron). Hierbij is de biomassa op een korrelvormige inerte drager (bijvoorbeeld zandkorreltjes) met een grote dichtheid gehecht. Behalve een hoge biomassaconcentratie (kg d.s./m³ reactorvolume) en een groot specifiek oppervlak (m²/m³ reactorvolume) wordt hierdoor een hoge bezinksnelheid van het gefixeerde slib verkregen met als gevolg dat de bezinkinrichting kleiner kan worden uitgevoerd. In tabel I zijn enkele procesparameters van het systeem vergeleken met conventionele zuiveringssystemen.

Tot de slib-op-dragersystemen behoort ook de door Gist-Brocades voor de zuivering van het eigen bedrijfsafvalwater ontwikkelde drie-fasen airliftreactor [5], die eveneens met een inerte korrelvormige drager werkt.

Na een uitvoerige literatuurstudie [6] en evaluatie van de slib-op-dragersystemen is besloten om onderzoek uit te voeren naar de mogelijke toepassing van de airliftreactor voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater. Het onderzoek dat een pragmatisch, toepassingsgericht karakter droeg, is op een schaal van twee en vijfentwintig liter uitgevoerd door TNO in samenwerking met Gist-Brocades [7]. Financiële ondersteuning is verleend door de STORA en door de overheid vanuit de subsidieregeling 'Schone Technologie Water'.

Beschrijving van 'vergelijkbare' slib-op-dragersystemen

Tot de slib-op-dragersystemen, die qua dragertype en dragerconcentratie enigszins vergelijkbaar zijn, behoren de hier genoemde fluidbedreactor en de airliftreactor. Beide reactoren worden hier kort beschreven.

Fluidbedreactor

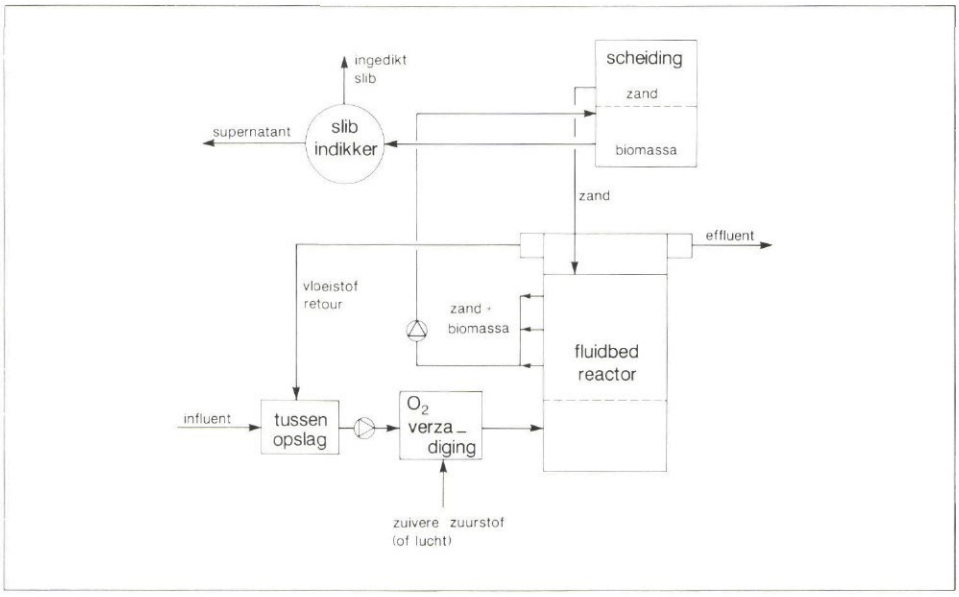
In afb. 1 is het basisschema van een afvalwaterzuiveringsproces met een fluidbedreactor volgens het recirculatieprincipe (Dorr-Oliver) gegeven. Het te zuiveren, al of

TABEL I – *Vergelijking van belangrijke procesparameters voor enkele zuiveringssystemen.*

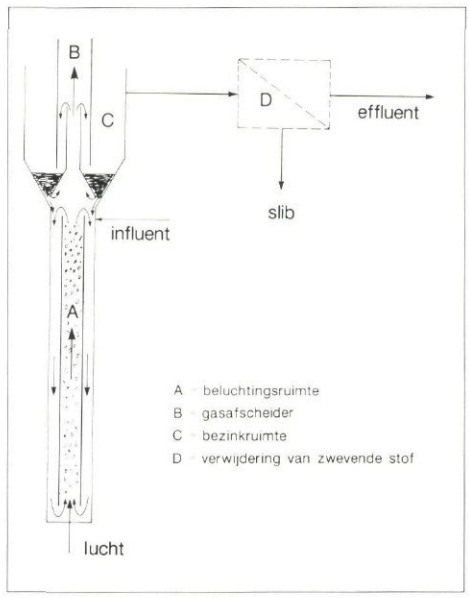
Zuiveringssysteem	Contactoppervlak m²/m³ reactorvolume	Droge-stofconcentratie kg ds/m³ reactorvolume	BZV-belasting kg BZV'/m³ · d*	Ref.
Oxydatiebedden	40 – 100	3 – 7[3]	0,2 – 0,6	[1]
Bioschijven	130 – 165	10 – 20[3]	0,8	[2]
Actief slib met lucht		3 – 6[1] 2 – 3[2]	0,5 – 2,0	[3]
Actief slib met zuivere zuurstof		6 – 8[1] 3 – 5[2]	1,2 – 2,4	[4]
Fluidbedreactor voor BZV-afbraak en nitrificatie (2-fasen)	2.600 – 4.000	12 – 20[2]	8 – 16	
Fluidbedreactor voor denitrificatie (2-fasen)	2.600 – 4.000	30 – 40[3]		

Bezinksnelheid van actief-slibvlokken: orde grootte 1 m/h.
Bezinksnelheid begroeide zandkorrels: orde grootte 50 m/h.

* BZV' = BZV afgebroken
[1] betrokken op de totale slibmassa
[2] betrokken op de organische fractie uit het slib
[3] waarbij een deel effectief meedoet



Afb. 1 - Basisschema van een fluidbedreactor.



Afb. 2 - Principeschets van een airliftreactor.

niet bezonken, afvalwater (influent) wordt gemengd met een deel van het reeds gezuiverde afvalwater (recirculatiewater) en vervolgens met zuivere zuurstof verzadigd. Hierna wordt het afvalwater via een verdeelsysteem onder in de fluidbedreactor gevoerd, waarin zich een bed van (biologisch) inerte deeltjes (meestal zand), omgeven met actieve biomassa, bevindt. De vloeistofsnelheid is zo groot dat de deeltjes in zwevende toestand geraken (fluïdiseren). Het zuiveringsproces is identiek aan het conventionele oxydatief-biologische zuiveringsproces; voor de zuivering zijn in principe dezelfde aërobe micro-organismen verantwoordelijk. Na het passeren van de reactor wordt een deel van het gezuiverde afvalwater (effluent) afgevoerd en het resterende deel als recirculatiewater teruggevoerd. In tegenstelling tot het conventionele zuiveringsproces wordt geen slib (actieve biomassa), maar water gecirculeerd.

De recirculatie is vereist om voldoende zuurstof in het systeem te brengen en om het bed ten tijde van geringe wateraanvoer in gefluïdiseerde toestand te houden. Om de hoeveelheid actieve biomassa in de reactor constant te houden, moet het geproduceerde slib (slibaanwas) uit de reactor worden afgevoerd. Daartoe wordt een deel van de reactorinhoud gescheiden in inert dragermateriaal en biomassa (slib). Het dragermateriaal, bijvoorbeeld zand, wordt naar de reactor teruggevoerd, terwijl de biomassa na verdere behandeling (eventueel ontwatering) als surplusslib wordt afgevoerd.

Drie-fasen airliftreactor

In afb. 2 is een principeschets van de airliftreactor opgenomen. De beluchtingsruimte (A) bestaat uit twee concentrische buizen.

TABEL II – *Karakteristieke verschillen tussen de fluidbedreactor en de airliftreactor.*

Omschrijving	Fluidbedreactor	Airliftreactor
Kenmerk	Twee-fasen	Drie-fasen
Luchtbellen	Afwezig*	Aanwezig
Reactorinhoud	Gefluïdiseerd	Gemengd
Classificatie begroeide drager	Ja	Neen
Mate van turbulentie	Laag	Hoog
Externe vloeistofcirculatie ten behoeve van zuurstofvoorziening	Aanwezig	Afwezig**
Zuurstofvoorziening	Zuivere zuurstof	Lucht
Zuurstofinbreng	Buiten de reactor	In de reactor
Energieverbruik	Hoger	Lager
Onderzoeksinspanning met betrekking tot de zuivering van stedelijk afvalwater	Veel	Nihil***

* Zuurstof is opgelost in de waterfase
** Wel hoge interne recirculatie ten gerieve van pompwerking van de airlift
*** Tot aan de start van het TNO-GB onderzoek

Het te behandelen, voorbezonken afvalwater wordt bovenin de reactor toegevoerd, terwijl de voor de afbraak benodigde zuurstof in de vorm van luchtbellen direct onderin de binnenbuis van de reactor wordt gebracht. Doordat de diameter van de reactor klein is ten opzichte van de reactorhoogte (hoogte/diameter = 10-30), is de luchtbelasting zo hoog dat een sterk turbulente, opwaartse stroom van lucht, water en (begroeide) drager in de binnenbuis wordt gecreëerd (principe van de mammoetpomp). Door de ruimte tussen binnen- en buitenbuis stroomt de vloeistof vervolgens naar beneden. Direct boven de beluchtingsruimte vindt fasescheiding plaats; de ingebrachte lucht ontwijkt in de gasafscheider (B), terwijl in de bezinker (C) begroeide drager wordt afgescheiden die vervolgens naar de beluchtingsruimte terugstroomt. Gesuspendeerde deeltjes (niet ingevangen zwevende stof of losgeslagen biomassa) moeten separaat uit het effluent worden afgescheiden (D).

Vergelijking van beide systemen

Naast enkele kenmerken die de beide zuiveringssystemen gemeenschappelijk hebben, zoals het type drager, de biomassaconcentratie (10-40 kg d.s./m³ reactor) en de afwezigheid van een slibretour, vertonen de systemen een aantal duidelijke verschillen. De belangrijkste zijn opgenomen in tabel II. Essentieel is dat de vloeistofrecirculatiestroom bij de fluidbedreactor een tweeledige functie heeft: fluïdisatie en zuurstofinbreng. In geval van stedelijk afvalwater moet hierbij zuivere zuurstof worden opgelost, omdat met lucht niet aan de met de hoge BZV-belasting corresponderende zuurstofvraag kan worden voldaan. Het instandhouden van de vloeistofrecirculatiestroom (energieverbruik) en het werken met zuivere zuurstof (kosten) zijn nadelige factoren voor de fluïdbedreactor. Deze bezwaren kent de airliftreactor in principe niet. Hier staat evenwel tegenover dat door de grote interne recirculatie en de daarmee gepaard gaande sterke turbulentie hoge eisen aan de vorming en de instandhouding van de biolaag worden gesteld.

Experimenten

In aansluiting op de literatuurstudie is een

onderzoek onder laboratoriumomstandigheden gestart. Dit (verkennend) onderzoek was primair gericht op de vraag: Biedt het Gist-Brocades-ontwerp voor een airlift-reactor in beginsel mogelijkheden voor de zuivering van stedelijk afvalwater?
De experimenten zijn uitgevoerd in de periode juli 1984-juni 1986. Hierbij is vooral aandacht geschonken aan de volgende aspecten:
– ontwikkelt zich bij stedelijk afvalwater een stabiele biofilm op het dragermateriaal;
– welke dragermaterialen verdienen de voorkeur;
– is het mogelijk een hoge biomassa-concentratie (15-30 kg/m³) in de reactor te verkrijgen (en te handhaven) bij een korte vloeistofverblijftijd (0,5-1 uur);
– wat is hierbij het zuiveringsrendement, qua CZV-verwijdering en ammonium-oxydatie;
– ontwikkeling van methoden voor karakterisering biofilm, monsterneming uit een airliftreactor, enz.

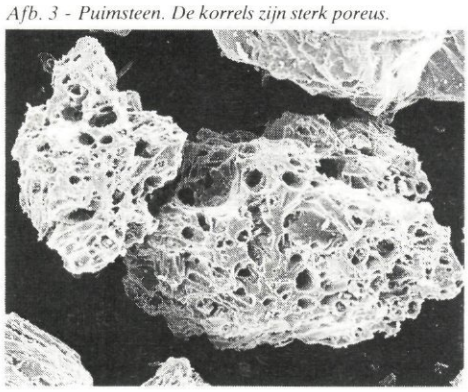
Proefomstandigheden
Het onderzoek is uitgevoerd op laboratoriumschaal (tweeliter en vijfentwintigliter reactoren). De reactoren werden bij de start van de experimenten gevuld met in leidingwater gesuspendeerd dragermateriaal en vervolgens belast met voorbezonken stedelijk afvalwater.
De meeste proeven zijn uitgevoerd bij hydraulische verblijftijden van 0,5-1 uur. De CZV-volumebelasting bedroeg 15-30 kg CZV/m³ . dag. Op tweeliter schaal zijn daarnaast enkele experimenten met langere (gesommeerde) hydraulische verblijftijden uitgevoerd (tot 3,5 uur). De systeem-temperatuur varieerde, afhankelijk van het jaargetijde, van 10 tot 22 °C. Het gehalte aan opgeloste zuurstof was vrijwel steeds >2 mg O_2/l. De proefduur van de diverse experimenten varieerde, afhankelijk van de snelheid van biofilmvorming en de beheers-baarheid van het systeem, van 2 tot circa 16 weken.

In de loop van de experimenten werden de materialen biogrog, elektrografiet, lava, puimsteen, zilverzand en zirkoonzand getoetst op hun geschiktheid om als drager te fungeren. Deze dragermaterialen die, met uitzondering van elektrografiet, uit silicaat-verbindingen bestaan, verschillen onderling aanmerkelijk qua dichtheid, vorm van de deeltjes, ruwheid van oppervlak en porositeit. In de afb. 3 en 4 worden hiervan twee voorbeelden gegeven. De diameter van het dragermateriaal is gevarieerd van 100 tot 300 μm. Het vulvolume aan dragermateriaal bedroeg 5-12% van de inhoud van de reactor. Dit correspondeerde met een beschikbaar hechtingsoppervlak van 2.000 – >4.000 m²/m³ reactorinhoud.
De ontwikkeling van de biofilm werd gevolgd op basis van chemische analysemethoden (gehalte aan droge stof, asrest en CZV van aan de drager gebonden biomassa) en microscopische technieken (zowel licht- als rasterelektronenmicroscopie).

Factoren die de biofilmvorming bepalen
Er is vastgesteld dat de turbulente omstandigheden in een drie-fasen airlift-reactor de vorming van een biofilm niet verhinderden, tenzij het luchtdebiet tot een tamelijk extreem niveau (zeer veel hoger dan nodig was om in de O_2-behoefte te voorzien) werd opgevoerd.
De biofilm werd bepaald door:
– de vloeistofverblijftijd in de reactor, c.q. de belasting van de reactor;
– het beschikbare hechtingsoppervlak (m²/m³);
– de systeemtemperatuur;
– de eigenschappen van het oppervlak van het dragermateriaal;
– de aanwezigheid van draadvormige organismen.
De snelheid van biofilvorming werd vooral bepaald door de eerste drie parameters. Hierbij konden twee aangroeipatronen worden onderscheiden.

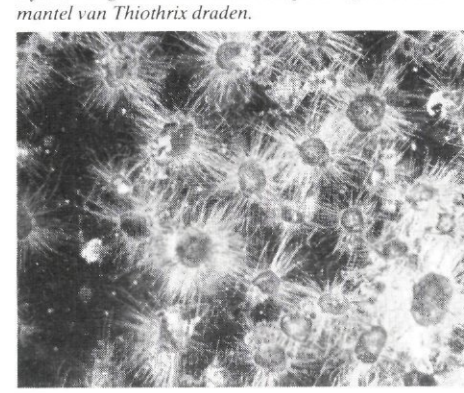
Hoge aangroeisnelheden
De combinatie van een korte hydraulische verblijftijd (<1 uur), een relatief klein hechtingsoppervlak (circa 2.000 m²/m³) en een vrij hoge systeemtemperatuur (>15 à 17 °C) ging gepaard met een zeer snelle, logaritmische ontwikkeling van de biofilm. De filmvorming startte niet preferent, zoals eigenlijk werd verwacht, met de hechting van

Afb. 3 - Puimsteen. De korrels zijn sterk poreus.

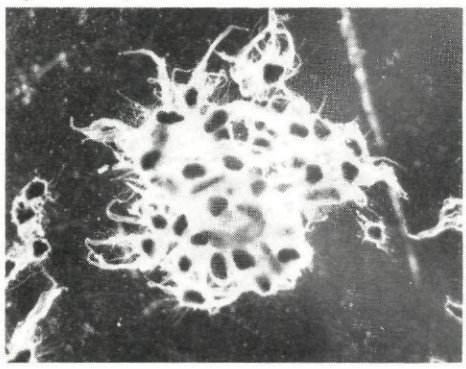


Afb. 4 - Lava. De korrels hebben een ruw oppervlak.

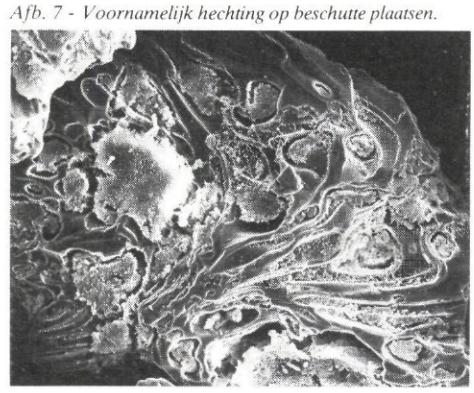
Afb. 5 - Begroeide korrels, die omgeven zijn door een mantel van Thiothrix draden.



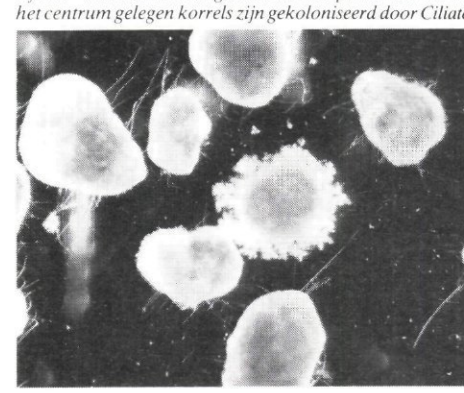
Afb. 6 - Een aggregaat ontstaat door het samenballen van begroeide deeltjes.



Afb. 7 - Voornamelijk hechting op beschutte plaatsen.



Afb. 8 - Concentrisch begroeide korrels puimsteen. De in het centrum gelegen korrels zijn gekoloniseerd door Ciliaten.



micro-organismen in poriën en op andere beschutte plaatsen. Ook de gladde 'buiten-oppervlakken' werden al in een vroeg stadium gekoloniseerd. Dit betekent 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.
De gehechte biomassa nam bij dit aangroeipatroon 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 reactoren in enkele dagen leeg spoelden. Dit werd meestal veroorzaakt door een massale groei van *Thiothrix* draden op de korrels (afb. 5). 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 (afb. 6), 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.

'Lage' aangroeisnelheden
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 (→ lagere CZV-belasting), als een lagere temperatuur, als een groter hechtingsoppervlak bij de start van de proef hadden tot gevolg dat de biofilm-ontwikkeling vertraagd werd van 1 à 2 weken tot 4 à 8 weken. Onder deze omstandigheden startte de hechting wel preferent op beschutte plaatsen (afb. 7). Gladde oppervlakken werden nauwelijks gekoloniseerd; ook niet na verloop van tijd.
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, hetgeen overigens niet zonder meer een voordeel behoeft te zijn.
Variabele proefomstandigheden resulteerden overigens in biofilms die qua vorm aanmerkelijk van elkaar verschilden. Naast een concentrische begroeiing van alle korrels (afb. 8) konden ook andere vormen van aangroei (niet concentrisch, slechts dikke biofilms op een deel van de korrels, enz.) worden onderscheiden. In de eindrapportage van het onderzoek wordt hierop uitvoerig ingegaan [7].
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' aangroeisnelheden van circa 300-830 mg CZV-biomassa/l beluchtingsinhoud . dag vastgesteld. Dit proces leek goed reproduceerbaar te zijn. De aangroeisnelheid werd primair bepaald door de belasting van de kolom en secundair door de systeemtemperatuur. Een groter hechtingsoppervlak (i.e. meer drager) leidde niet tot een andere aangroeisnelheid, maar beïnvloedde wel de dikte van de biofilm (minder biomassa per korrel dragermateriaal). Deze bedroeg maximaal circa 250 μm.

De aangroeisnelheid aan lava en biogrog bleef iets achter bij die aan puimsteen. Zilverzand (te glad → slechte hechting), zirkoonzand (te zwaar) en elektrografiet worden minder geschikt geacht om als dragermateriaal in een airliftreactor te fungeren.
De hoeveelheid biomassa aan de drager bedroeg, na de aangroeiperiode, bij een verblijftijd van 0,5-1 uur 10-30 g CZV-biomassa/l (globaal = droogrest).
Bij het verkennend onderzoek met langere verblijftijden 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 biofilm-ontwikkeling ging vrijwel steeds gepaard met een massale kolonisering van de begroeide korrels door vastzittende Ciliaten. Stabilisering is tussen aanhalingstekens geplaatst omdat, ook bij deze experimenten, het gehalte aan biomassa in het systeem vaak aanmerkelijk fluctueerde. De aanwezigheid van veel *Thiothrix* draden, die overigens ook pas na de aangroeifase de korrels massaal koloniseerden, was in enkele gevallen de voornaamste oorzaak van de onvoldoende processtabiliteit. Deze bacterie veroorzaakte echter alleen bij korte vloeistofverblijftijden (0,4-0,8 uur) problemen. De grote schommelingen van 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. De reactor groeit min of meer vol, waardoor gemakkelijk uitspoeling zal plaatsvinden.

Zuiveringsresultaten
Een uitvoerige bespreking van de zuiveringstechnische aspecten van een airliftreactor valt buiten de doelstelling van dit artikel. In referentie [7] wordt hierop uitvoerig ingegaan. Hier wordt volstaan met een samenvatting van enkele resultaten.

Bij een verblijftijd van 0,5-1 uur varieerde de volumebelasting van 10-30 kg CZV/m³ . dag. Het zuiveringsrendement dat bij deze hoge volumebelastingen is gerealiseerd, werd in sterke mate negatief beïnvloed door het hoge gehalte aan zwevende stof in het effluent. Dit bestond niet uit slibvlokken, maar uit fijn gesuspendeerd materiaal dat niet of nauwelijks sedimenteerde in een nabezinktank. De hoeveelheid gesuspendeerd materiaal in het effluent was, zolang geen grote verliezen aan begroeide drager plaatsvonden, globaal gelijk aan dat in het voorbezonken influent. Dit suggereert dat een biolaag in een driefasen reactor, bij een hydraulische verblijftijd van 0,5-1 uur, voornamelijk opgelost materiaal op zou nemen. Deze opname zou bovendien niet gepaard gaan met de produktie van surplusslib! Deze mogelijkheid lijkt vooralsnog weinig reëel. Er zijn aanwijzingen, hoewel deze nog niet gekwantificeerd konden worden, dat het gesuspendeerde materiaal in het effluent voor een deel bestaat uit resten van biofilms. Voor de verdere ontwikkeling van het slib-op-dragersysteem dient onderzoek gericht op de karakterisering en de verwijdering van dit gesuspendeerde materiaal een hoge prioriteit te krijgen.
Wanneer de effluentkwaliteit beoordeeld wordt op basis van de analyses van gefiltreerde monsters, werd bij een hydraulische verblijftijd van 0,5 uur (volumebelasting circa 30 kg CZV/m³ . dag) een CZV-verwijdering van 70-80% gerealiseerd. Bij een verblijftijd van 1 uur steeg dit percentage tot 80-85%.

Gezien de geringe nitrificatie in hoger belaste actief-slibinstallaties is de nitrificatie in de drie-fasen slib-op-dragerreactor eigenlijk van nog grotere betekenis. Er kon een vergaande nitrificatie worden bereikt bij hoge hydraulische belastingen. De ontwikkeling van een nitrificerende populatie duurde bij een vloeistofverblijftijd van 1 uur circa 100 dagen; bij langere verblijftijden ging het uiteraard sneller.
Het is te verwachten dat bij een hydraulische verblijftijd van meer dan 1,5 uur (CZV-volumebelasting ≤10 kg/m³ . dag) een volledige nitrificatie mogelijk is.

Conclusies
Resumerend kan worden gesteld dat het kweken van voldoende, gehechte biomassa in een airliftreactor mogelijk is, ondanks de turbulente omstandigheden in het systeem. Een snelle, logaritmische ontwikkeling van de biofilm leidt tot een uiterst instabiel systeem. Dit is veel beter beheersbaar indien de biomassa langzaam, lineair toeneemt.

De beste resultaten (snelste aangroei en hoogste gehalte aan biomassa) werden verkregen met het dragermateriaal puimsteen. De relatief lage dichtheid en de geringe mechanische sterkte van puimsteen zijn echter nadelig. Bovendien heeft een verkennend onderzoek uitgewezen dat de biomassa zeer sterk aan de puimsteenkorrels is gebonden. Lava en biogrog zijn waarschijnlijk redelijke alternatieven indien naast de biofilm-ontwikkeling ook het gewicht van korrel en film alsmede de mogelijkheden voor onthechting belangrijke selectiecriteria gaan vormen.
De processtabiliteit laat vooralsnog te wensen over en verdient een hoge prioriteit bij toekomstig onderzoek.
Ook voor het zuiveringstechnische gedeelte van de vraagstelling geldt dat de, bij Gist-Brocades ontwikkelde, airliftreactor in beginsel bruikbaar is voor de zuivering van stedelijk afvalwater. Aan de oorspronkelijke vraagstelling is hiermede voldaan. In hoeverre het systeem daadwerkelijk toekomstperspectieven heeft, zal in sterke mate afhangen van het feit of de tijdens dit onderzoek gesignaleerde knelpunten opgelost kunnen worden.

Literatuurlijst

1. Koot, A. C. J. *Behandeling van afvalwater, 2e druk.* Uitg. Waltman, Delft.
2. Becker, K. P. (1979). *Das Oxitron-System, ein neues biologisches Abwasserreinigungsverfahren für den BSB-Abbau sowie zur Nitrifikation und Denitrifikation.* Chem.-Ing. Techn. 51, nr. 6, S. 549-559.
3. Stathis, T. C. (1980). *Fluidized bed for biological waste water treatment.* Journal of the environmental engineering division, February 1980, p. 227-241.
4. Barbara, H., Flood, F. and Jens, F. (1980). *Fluidized beds improve treatment, cut costs.* Water & Waste Engineering, June 1980, 35-37.
5. Heijnen, J. J. (1984). *Biological industrial waste water treatment minimizing biomass production and maximizing biomass concentration.* Proefschrift maart 1984. Uitg. Delft University Press.
6. Voorneburg, F. van en Heide, B. A. *Mogelijkheden van slib-op-dragersystemen voor de aërobe biologische zuivering van stedelijk afvalwater (literatuurstudie).* Verkrijgbaar bij de STORA.
7. Kampf, R., Eikelboom, D. H. en Kreuk, J. F. de (1987). *Ontwikkeling van een slib-op-dragersysteem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater. Fase 1 – Verkennend onderzoek in een drie-fasen airliftreactor.* STORA, verschijnt binnenkort.

● ● ●

Oxydatiebedden: een oude technologie met toekomstmogelijkheden?

● *Vervolg van pagina 383*

bedden echter weer toegenomen. In 1982 is de rwzi Den Helder in bedrijf genomen en momenteel zijn onder andere de rwzi's Franeker en Goes in voorbereiding.
De redenen hiervoor zijn:
– gering energieverbruik;
– goede slibkwaliteit; goede indik- en ontwateringseigenschappen;
– lagere slibproduktie
– lagere zuiveringskosten;
– de mogelijkheid om stankproblemen te voorkomen;
– differentiatie van de effluentkwaliteitseisen in relatie tot de toelaatbare vuilbelasting van het ontvangend oppervlaktewater.

Uit de zuiveringsresultaten van de Nederlandse oxydatiebedsystemen blijkt dat met laagbelaste oxydatiebedden zeker nog een redelijke effluentkwaliteit te bereiken is. Bij belastingen kleiner dan 0,3 kg BZV/m^3·d zijn zowel voor BZV, N-Kj als zwevende stof effluentwaarden < 20 mg/l zeker bereikbaar. Door de geringe belangstelling voor het systeem in de afgelopen jaren heeft onderzoek naar verbetering van de zuiveringsresultaten nauwelijks plaatsgevonden. Deze kwaliteitsverbetering moet echter zeker niet worden uitgesloten; nader onderzoek is van belang met name op de volgende aspecten:
– nitrificatie bij kunststofvulmaterialen;
– contacttijd; een gelijkmatigere en betere effluentkwaliteit kan mogelijk worden verkregen door vergroting van de contacttijd. Met name de invloed van de bedhoogte, de recirculatie en het soort vulmateriaal kan hierbij een rol spelen;
– temperatuurinvloed; bij het ontwerp en de bedrijfsvoering zal zo goed mogelijk moeten worden getracht temperatuurverliezen te beperken, onder meer door afdekking, goede isolatie, beperkte ventilatie en recirculatie;
– zwevende stof; oxydatiebedden geven naast goed bezinkbaar slib ook een hoeveelheid zeer fijne, niet bezinkbare vaste stofdeeltjes. Verbetering van het bezinkingsproces, waarbij de fijne deeltjes in een slibdeken worden ingevangen en coaguleren of door andere scheidingstechnieken (bijvoorbeeld flotatie, trommelzeef en dergelijke) kan de effluentkwaliteit mogelijk sterk verbeteren.
Toepassing van laagbelaste oxydatiebedden biedt dus ook in de Nederlandse situatie zeker nog mogelijkheden voor die situaties waarbij de effluentkwaliteit niet aan zeer strenge effluenteisen behoeft te voldoen of waarbij in de zomer een veel grotere belasting optreedt dan in de winter (bijvoorbeeld recreatie).
Toepassing van hoogbelaste systemen als eerste trap in situaties waarbij strenge effluenteisen gelden is niet zinvol.
Het systeem is aanzienlijk complexer en de kostenbesparingen zeer gering. Vergaande denitrificatie is niet of alleen met zeer moeilijke ingrepen haalbaar omdat de C/N-verhouding in de tweede trap te gering is geworden om een goede nitraatomzetting te verkrijgen.
Eveneens biedt het systeem goede mogelijkheden voor indivuele zuivering van verspreide lozingen. Het slib-op-drager systeem behoeft nauwelijks procescontrole en de ontwikkelde compactinstallaties zijn niet onderhouds- en storingsgevoelig.
Bovendien is het systeem, mits goed ontworpen met zo weinig mogelijk mechanische apparatuur, goed bruikbaar in ontwikkelingslanden om dezelfde redenen als bij de individuele zuiveringssystemen en bovendien door het geringe energieverbruik.
De goede ervaringen in Curaçao, waar de afgelopen twee jaren twee oxydatiebedinstallaties in bedrijf zijn genomen, namelijk rwzi Klein Hofje (40.000 i.e.) en rwzi Tera Cora (4.200 i.e.), geven aan, dat er ruime toepassingsmogelijkheden in dergelijke gebieden aanwezig zijn.

● ● ●