

1988-03_handboek-voorkomen-bestrijden-licht-slib

stowa

**Handboek voorkomen en bestrijden van licht
slib**

(STOWA rapport nr. 88-03)

stora

postbus 80200, 2508 GE den haag
johan van oldenbarneveltlaan 5

☎ 070-3512710

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Handboek voorkomen en bestrijden van licht slib

STOWA
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 8090
3503 RB Utrecht
tel. 030-321199
fax 030-321766

*Publikaties en het publikatieoverzicht
kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188
fax 079-613927
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.*

Inhoud	I - II
Ten geleide	III
SAMENVATTING	1
1 INLEIDING	6
2 DE AARD VAN HET PROBLEEM	10
2.1 Mogelijke oorzaken van slibverliezen uit de nabezinktank	10
2.2 De invloed van de draadvormende organismen op het functioneren van zuiveringsinrichtingen	13
2.2.1 effecten op het nabezinkproces	14
2.2.2 effecten op het zuiveringsproces	14
2.2.3 effecten op de slibontwatering	15
2.3 Draadvormende micro-organismen in actiefslib	15
2.3.1 de omvang van het licht-slibprobleem	15
2.3.2 de frequentie van voorkomen van de verschillende soorten organismen	18
2.3.2.1 invloed van de slibbelasting op de populatiesamenstelling	18
2.3.2.2 invloed van de influentkwaliteit	20
2.3.2.3 competitie tussen draadvormende organismen onderling	21
2.3.2.4 indicatorfunctie van de populatiesamenstelling	21
2.3.3 draadvormende micro-organismen en bezinking van actiefslib	22
3 OORZAKEN VAN LICHT SLIB	25
3.1 Selectie van micro-organismen in actiefslib	25
3.1.1 invloed van morfologische kenmerken op het selectieproces	26
3.1.2 invloed van fysiologische kenmerken	26
3.2 De rol van de influentkwaliteit	28
3.2.1 gebrek aan bepaalde voedingsstoffen	28
3.2.2 kwaliteit van de beschikbare koolstofverbindingen en hun deeltjesgrootte	30
3.2.3 leeftijd van het afvalwater	32
3.2.4 vervuilingsgraad van het afvalwater	33
3.2.5 pH van het afvalwater	33
3.2.6 aanvoer van draadvormende organismen met het influent	33
3.3 De invloed van het voedingspatroon	34
3.3.1 substraataanbod in de beluchtingsruimte bij diverse voedingspatronen	35
3.3.2 invloed van het substraatniveau in een aërobe selector	39
3.3.2.1 het verband tussen de SVI en het dispersienummer van de beluchtingstank	43
3.3.3 substraatopname door de vlok	45
3.3.3.1 verwijderingsmechanismen	45
3.3.3.2 de invloed van een aërobe selector op de substraatopname- (snelheid) door actiefslib	47
3.3.3.3 de invloed op de ademhalingsnelheid van het slib	50
3.3.3.4 vorming van reservestoffen	50
3.3.3.5 veranderingen van de vlokpopulatie	52
3.3.4 verwerking van het opgenomen substraat	53
3.3.4.1 invloed van de temperatuur	55
3.3.4.2 slibbelasting en beschikbare regeneratietijd	56
3.3.5 onderzoek met reïncultures van draadvormende en vlokvormende organismen	57

3.3.5.1	fysiologische eigenschappen	61
3.3.5.2	competitie-experimenten	64
3.3.5.3	concurrentiepositie van enkele draadvormende bacteriën	64
3.3.6	<i>omstandigheden in een selector</i>	67
3.3.6.1	aërobe condities	68
3.3.6.2	anoxische en/of anaërobe condities	69
3.4	De rol van het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte	72
3.5	De invloed van de slibbelasting	76
4	PRAKTIJKERVARINGEN MET HET VOORKOMEN EN/OF BESTRIJDEN VAN LICHT SLIB	79
4.1	Toepassing van een selector	80
4.1.1	<i>oxydatiesloten</i>	84
4.1.2	<i>conventionele actief-slibinrichtingen</i>	90
4.2	Veranderingen van de zuurstofvoorziening	98
4.3	Veranderingen van de slibbelasting	99
4.4	Destructie van draadvormende organismen met chloor	99
4.4.1	<i>werkwijze en randvoorwaarden</i>	100
4.4.2	<i>resultaten</i>	103
4.5	Doseren van waterstofperoxyde	108
4.6	Verzwaren van de vlokken	109
4.7	Gebruik van flocculanten	110
4.8	Overige methoden	111
5	EVALUATIE	114
5.1	Groei van draadvormende micro-organismen in actiefslib	114
5.2	Symptoombestrijding	116
5.3	Structurele oplossingen	117
5.3.1	<i>selectie via momentane substraatopname</i>	119
5.3.2	<i>selectie onder anoxische/anaërobe omstandigheden</i>	121
5.3.3	<i>selectie onder aërobe omstandigheden</i>	121
5.3.4	<i>processtabiliteit</i>	123
5.3.5	<i>dimensioneringsgrondslagen</i>	123
5.3.6	<i>aandachtspunten bij toekomstig onderzoek</i>	125
6	STRATEGIE GERICHT OP HET VOORKOMEN EN/OF BESTRIJDEN VAN LICHT SLIB	127
7	REFERENTIES	132

BIJLAGEN

- A. Draadvormende micro-organismen in actiefslib
- B. Factoren die de bezinking van actief-slibvlokken bepalen
- C. Toepassing van de selectormechanismen op praktijk-rwzi's

Ten geleide

Bijna de helft van alle actief-slibinrichtingen heeft periodiek of continu te maken met technische problemen en extra kosten door het optreden van licht slib.

Licht slib ontstaat door massale groei van bepaalde typen draadvormige mikro-organismen en bacteriën die slijmstoffen produceren, hetgeen de bezinkbaarheid van de actief-slibvlokken nadelig beïnvloedt.

Dit handboek werd samengesteld door ir. D.H. Eikelboom* van de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO. In het kader van het STORA-onderzoek naar voorkomen en bestrijding van licht slib verschenen eerder van dezelfde auteur de "Handleiding voor microscopisch slibonderzoek" (1979) en het rapport "Voorkomen en bestrijden van licht slib; de rol van de biosorptie" (1981).

De commissie die de heer Eikelboom bij zijn werkzaamheden namens de STORA heeft begeleid, bestond uit ir. J. Boschloo (voorzitter), ing. F.A. Brandse, ir. S. Gaastra, ing. P.P. Weesendorp en ing. W.G. Wiessner.

Het handboek is veel meer dan een "state of the art"-rapport; via een uitgebreide synthese van theorie en praktijk mondt het uit in een actuele strategie ter voorkoming en bestrijding van licht slib voor de praktijk van alledag.

Den Haag, juni 1988.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

*

De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit:
prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en
ir. J. Boschloo, ir. R. den Engelse, prof.dr. P.G. Fohr, ir. A.E. van Giffen, ir. J.J. de
Graeff, dr.ir. P.J. Huiswaard, ir. R. Karper, drs. S.P. Klapwijk, prof.ir. J.H. Kop,
ir. Tj. Meijer, ir. L.P. Savelkoul, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubing en
ir. M. Tiessens (leden)

SAMENVATTING

Actief-slibvlokken bestaan uit een gemengde populatie van micro-organismen. De populatiesamenstelling wordt bepaald door de kwaliteit van het afvalwater en de omstandigheden in de zuiveringsinrichting (rwzi) en is daarom in beginsel beïnvloedbaar. In de meeste rwzi's is, vanuit de micro-organismen gezien, sprake van een chronisch tekort aan voedingsstoffen. Dit leidt tot een sterke competitie tussen de micro-organismen. In een bepaalde situatie zullen die soorten domineren welke het beschikbare voedsel optimaal kunnen benutten voor energielevering en celsynthese.

Draadvormende micro-organismen behoren tot de normale slibpopulatie. Hun aanwezigheid wordt vaak niet gesignaleerd zolang hun aantal beperkt is. Een toename heeft echter tot gevolg dat de oorspronkelijk compacte slibvlok volumineuzer wordt. Zulke vlokken bezinken langzamer. Men noemt dit verschijnsel daarom "licht slib". De aanwezigheid van licht slib levert zuiveringstechnisch grote problemen op en werkt sterk kostenverhogend. De problemen betreffen vooral de slibverliezen uit de nabezinktank en de veel slechtere ontwaterings- en indikeigenschappen van het slib. Op circa 50% van alle actief-slibinrichtingen is periodiek of continu sprake van licht slib.

Groei van draadvormende micro-organismen in actiefslib

Van ongeveer 30 verschillende draadvormende micro-organismen is bekend dat zij licht slib kunnen veroorzaken. Hiervan wordt een tiental zeer regelmatig in actiefslib waargenomen. De belangrijkste soorten zijn geïsoleerd en onderzocht. Vooral groeibeperkende omstandigheden blijken de draadvormende organismen te bevoordelen binnen de gemengde actief-slibpopulatie. Dit kan zowel een lage voedselconcentratie - in een aëratietank met volledige menging van influent en slib - als tekorten aan N, O₂ of P betreffen. Zij kunnen dan optimaal profijt trekken van hun specifieke morfologische en fysiologische eigenschappen.

Praktisch alle tot nu toe onderzochte draadvormende organismen kunnen echter alleen voedsel opnemen indien O₂ beschikbaar is.

De kwaliteit van het afvalwater heeft grote invloed op de samenstelling van de populatie. Dit betreft zowel de chemische samenstelling van de beschikbare voedingsstoffen als de grootte van de aangevoerde deeltjes. Een hoog percentage aan opgeloste, gemakkelijk opneembare verbindingen is

gunstig voor veel draadvormende organismen. Om die reden vergroten ook anaërobe afbraakprocessen in het aanvoerriool en/of de voorbezinktank de kans op het ontstaan van licht slib. Bij deze afbraak ontstaan bovendien sulfiden, die de groei van sommige draadvormers extra stimuleren. Ook de niet-opgeloste fractie uit het influent lijkt echter een rol te spelen. Enigszins speculatief wordt geconcludeerd dat de draadvormende organismen die vooral in en aan de rand van de vlokken groeien deze fractie kunnen benutten.

De samenstelling van de populatie wordt daarnaast beïnvloed door de slibbelasting, de O_2 -voorziening en de temperatuur. Bij vrijwel iedere, in de praktijk gangbare combinatie van omstandigheden kunnen draadvormende organismen in beginsel groeien.

Alleen bij zeer hoge slibbelastingen verliezen de draadvormers de concurrentieslag definitief. Er is dan ook geen sprake meer van gebrek aan voedingsstoffen. Hun maximale groeisnelheid is ontoereikend om zich bij zeer lage slibleeftijden te kunnen handhaven. De kritische slibbelasting is niet precies bekend, maar ligt waarschijnlijk tussen 0,7 en 1,0 kg BZV.kg d.s.⁻¹. dag⁻¹.

Bestrijden/voorkomen van licht slib

Draadvormende micro-organismen kunnen op diverse manieren worden bestreden. In de loop der jaren is, bij gebrek aan alternatieve mogelijkheden, uitvoerig geëxperimenteerd met werkwijzen waarbij alleen de symptomen worden bestreden en niet de oorzaak wordt weggenomen. Het chemisch vernietigen van de draden door het chloren van retourslib, het verzwaren van de vlokken door de toevoeging van Fe- of Al-zouten of de dosering van flocculanten zijn hiervoor het meest geschikt. Aan hun toepassing kleeft een aantal bezwaren zoals neveneffecten op de vlokpopulatie, een grotere slibproductie, aanzienlijke kosten en het tijdelijke effect. De laatste jaren zijn methoden ontwikkeld waarmee het probleem structureel aangepakt kan worden. Symptoombestrijding zou daarom alleen toegepast moeten worden bij incidentele licht-slibproblemen of in plotselinge noodgevallen waarbij grote slibverliezen dreigen.

Structurele oplossingen vereisen omstandigheden waarbij het grootste gedeelte van de beschikbare voedingsstoffen daadwerkelijk wordt opgenomen door de vlokvormende bacteriën. Dit kan gerealiseerd worden door:

- het opheffen van de groeibeperkende factoren. Het is aangetoond dat dan vlokvormers worden gekweekt, die het beschikbare voedsel veel sneller dan de draadvormers kunnen opnemen;
- te zorgen dat moleculaire zuurstof ontbreekt op de plaats waar het influent met het slib wordt gemengd. Er is dan geen sprake van competitie tussen beide groepen organismen.

Aan deze uitgangspunten wordt niet voldaan bij continue verdunning van het influent met de volledige inhoud van de beluchtingsruimte, zoals in een aëratietank met volledige menging. In plaats hiervan moet het influent met het retourslib worden gemengd in een aparte, relatief kleine tank, waar dus sprake is van een overmaat aan voedingsstoffen. Het mengsel wordt vervolgens in de eigenlijke beluchtingsruimte gebracht, waar verdunning plaats vindt. Bij deze procesvoering worden de micro-organismen periodiek geconfronteerd met een hoog substraatniveau, gevolgd door een lange periode zonder nieuw voedsel. Dit leidt, mits aan nog enkele randvoorwaarden is voldaan, tot een selectie van vlokvormende bacteriën. Zo'n tank wordt daarom meestal een selector genoemd. Eventueel kan het voorste gedeelte van een aëratietank met een uitgesproken propstromingskarakter ook als zodanig fungeren. Ook bij een volledig discontinue bedrijfsvoering is periodiek sprake van een hoog voedselniveau.

Dit voedingspatroon vormt de basis voor een drietal selectiemechanismen, die toegepast kunnen worden voor het bestrijden/voorkomen van licht slib. De aanpassing van de slibpopulatie duurt meestal driemaal de slibleeftijd.

Selectiemechanismen

Een selector is alleen effectief als een belangrijk gedeelte van het beschikbare voedsel ter plaatse door de vlok wordt opgenomen. Deze substraatopname verloopt via verschillende processen bij de drie selectiemechanismen.

Het eerste selectiemechanisme berust op de vrijwel momentane binding van substraat tijdens het mengen van influent en slib. De aanwezigheid van O_2 of NO_3^- heeft geen invloed op de hoeveelheid die vastgelegd wordt. Dit bevestigt dat deze binding verloopt via fysisch-chemische processen, zoals adsorptie en/of invangen door de vlokken. Er zijn aanwijzingen dat vooral niet-opgeloste componenten op deze wijze worden gebonden. Deze momentane opname is soms al toereikend om de balans ten gunste van de

vlokvormers te laten doorslaan. Dit verrassende resultaat is voornamelijk empirisch onderbouwd. De draadvormende micro-organismen verdwenen alleen bij slibbelastingen van 0,4-0,7 kg BZV.kg d.s.⁻¹.uur⁻¹ in de selector. Dit selectiemechanisme is voornamelijk bij rwzi's zonder voorbezinktank toegepast. Het is de vraag of deze procesvoering tot succes leidt bij voorbezonken influent.

Bij het tweede selectiemechanisme worden vlokvormers bevoordeeld die onder aërobe omstandigheden substraat snel kunnen opnemen. Dit selectiemechanisme is uitvoerig onder laboratoriumomstandigheden onderzocht. De resultaten zijn getoetst en bevestigd bij enkele experimenten op praktijkschaal.

Het functioneren van dit selectiemechanisme vereist:

- een hoge slibbelasting in de selector: 0,2-0,5 kg BZV.kg d.s.⁻¹.uur⁻¹. De slibbelasting dient betrokken te zijn op de uren waarbij daadwerkelijk rioolwater wordt aangevoerd. Een daggemiddelde waarde is, vanuit de micro-organismen gezien, volstrekt oninteressant. Hetzelfde geldt voor ruimtebelastingen;
- een korte verblijftijd, 10 à 15 minuten;
- een beluchtingscapaciteit in de selector van 150-200 g O₂.m⁻³.uur⁻¹. Het is vooralsnog onduidelijk hoe zwaar een ontoereikende O₂-voorziening in de selector weegt. In diverse praktijk-rwzi's werden ondanks een ontoereikende zuurstofvoorziening toch goede resultaten geboekt;
- een verblijftijd en een zuurstofgehalte in de eigenlijke beluchtingsruimte die toereikend zijn om het opgeslagen voedsel volledig te verwerken. Dit is van cruciaal belang. De slibademhaling moet weer tot het endogene niveau gedaald zijn, voordat het slib de selector opnieuw bereikt. In rwzi's met een totale slibbelasting > 0,5 kg BZV.kg d.s.⁻¹.dag⁻¹ is deze verblijftijd meestal te kort.

Bij het derde selectiemechanisme worden vlokvormers bevoordeeld die via denitrificatie of fosfaatafgifte substraat kunnen opnemen. Deze processen verlopen alleen in afwezigheid van moleculaire zuurstof. Ook dit selectiemechanisme is voornamelijk empirisch onderbouwd. De slibbelasting is nu niet doorslaggevend, omdat geen sprake is van competitie tussen vlokvormers en draadvormers. De verblijftijd in de selector moet toereikend zijn om het substraat via voornoemde processen vast te leggen in de vlok. In de praktijk werden goede resultaten geboekt met verblijftijden van circa 60 minuten in de selector.

In dit rapport zijn de ervaringen met de toepassing van een selector op 33 praktijk-rwzi's geëvalueerd. Veel van deze rwzi's hadden in het verleden chronische licht-slibproblemen. Toepassing van de diverse selectiemechanismen, conform de vereiste randvoorwaarden, resulteerde in een lage, stabiele slibvolume-index. De voorgestelde dimensioneringsgrondslagen worden in Hoofdstuk 5 besproken.

Het rapport wordt afgesloten met een strategie gericht op het bestrijden/ voorkomen van licht slib. Er wordt een meer procesmatige aanpak van het actief-slibproces voorgesteld. Het slib moet regelmatig microscopisch worden geanalyseerd, om ongewenste veranderingen tijdig te kunnen signaleren. Een frequentie van één maal per slibleeftijd is meestal toereikend. Daarnaast moeten de resultaten van ademhalingsmetingen worden gebruikt om de zuurstofvoorziening in de aëratietank te regelen.

Hoewel veel vragen over het fenomeen licht slib reeds zijn beantwoord, resteren nog enkele belangrijke kwesties. Twee van de drie selectiemechanismen zijn voornamelijk empirisch onderbouwd. De beschikbare informatie is vooral kwalitatief van aard, terwijl voor de vertaling in dimensioneringsgrondslagen juist kwantitatieve gegevens vereist zijn. Er is duidelijk behoefte aan onderzoek waarbij in praktijk-rwzi's wordt nagegaan hoe snel en in welke mate de verschillende fracties uit het influent in een selector worden gebonden.

Het actief-slibproces is een voornamelijk aëroob, biologisch proces voor de zuivering van afvalwater. De biomassa is in de vorm van zogenaamde actief-slibvlokken aanwezig. Dit zijn conglomeraten van levende en dode bacteriecellen, (an)organische deeltjes, protozoën, enz. De samenstelling van de vlokken wordt vooral bepaald door de kwaliteit van het afvalwater en de heersende procesomstandigheden, en kan dus in beginsel worden beïnvloed.

De laatste fase van het zuiveringsproces omvat een scheiding van de slibvlokken en het gezuiverde water (= effluent). Dit wordt veelal uitgevoerd in een nabezinktank waar de vlokken, onder invloed van de zwaartekracht, binnen een bepaalde tijd praktisch volledig behoren te bezinken. Het bezonken slib wordt grotendeels teruggevoerd naar de beluchtingsruimte (retourslib), omdat hierin een constant drogestofgehalte gehandhaafd moet worden; het resterende gedeelte wordt aan het proces onttrokken (surpluslib).

De bezinking van het slib vormt een kritische stap in het totale zuiveringsproces. Als maat voor deze bezinkeigenschappen wordt veelal de slibvolumeindex (SVI) gehanteerd. De SVI is het volume (in ml) van 1 g slib, na een bezinkperiode van 30 min. Een slib met slechte bezinkeigenschappen moet eerst zover worden verdund, dat het totale bezinkvolume in het standglas in elk geval kleiner is dan 300 ml.l^{-1} (= verdunnings-SVI).

Een slib met goede bezinkeigenschappen heeft een SVI kleiner dan 100 ml.g^{-1} , een waarde waarop nabezinktanks vaak werden (en worden) gedimensioneerd (50). In de praktijk blijkt dat een overschrijding van deze waarde, tot soms zeer hoge slibvolume-indices, in veel zuiveringsinrichtingen (rwzi's) eerder regel dan uitzondering is.

Een verslechtering van de bezinkeigenschappen van de vlok is meestal een gevolg van een verschuiving binnen de populatie van aanwezige micro-organismen. In een goed bezinkbaar slib bestaat deze populatie voor een zeer groot gedeelte ($\geq 99\%$) uit ééncellige, vlokvormende organismen (166, 231). Daarnaast zijn vrijwel altijd ook draadvormende organismen aanwezig; deze behoren dus tot de normale slibpopulatie (251). Een massale groei van draadvormende organismen leidt echter meestal tot een drastische verslechtering van de bezinkeigenschappen van het slib. Bovendien

verhinderen de draden een compacte stapeling van de vlokken onderin de nabezinktank (176). Het slib krijgt een volumineus karakter en wordt daarom "licht slib" genoemd. In figuur 1 worden hiervan enkele voorbeelden gegeven. We spreken van licht slib zodra de slibvolume-index, bepaald volgens de verdunningsmethode, de arbitrair gekozen waarde van 150 ml.g^{-1} overschrijdt (13, 115).

Licht slib levert zuiveringstechnisch grote problemen op en werkt bovendien sterk kostenverhogend. De problemen betreffen vooral:

- een daling van het zuiveringsrendement door slibafvoer met het effluent (50); bij grote slibverliezen zal het zuiveringsproces volledig verstoord worden;
- een slechtere slibontwatering.

In hoofdstuk 2 zal hierop nader worden ingegaan.

Licht slib komt zeer frequent voor. Bij diverse, inventariserende studies (zie ook bijlage a) is de laatste jaren vastgesteld dat in 40-60% van alle rwzi's, periodiek of continu, veel draadvormende micro-organismen aanwezig waren (22, 237, 259).

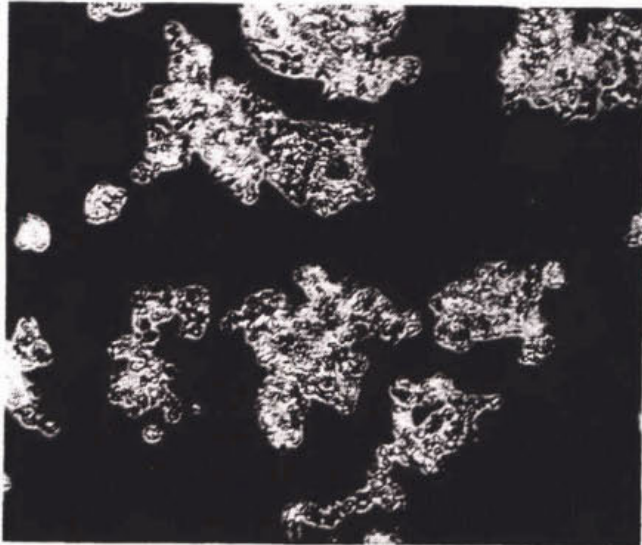
Het probleem is ook niet van recente datum. De eerste publicaties over dit onderwerp dateren uit de twintiger jaren van deze eeuw. Bij een Amerikaans onderzoek in 1943 werd vastgesteld dat van 24 rwzi's er 12 licht-slibproblemen hadden (239).

Er is heel lang gedacht dat de groei van draadvormende micro-organismen niet door modificaties van de procesvoering voorkomen kon worden. Het werd beschouwd als een probleem waarmee men moest "proberen te leven". Er is eindeloos gespeculeerd over mogelijke oorzaken van licht slib - in een publicatie uit 1945 (91) worden 21 oorzaken genoemd! - zonder dat dit leidde tot een beter begrip van het verschijnsel. Via symptoombestrijding (b.v. het chemische vernietigen van de draden met actief chloor, of door het bouwen van grotere nabezinktanks) trachtte men de slibverliezen zoveel mogelijk te voorkomen. Sommige adviesbureau's in de USA bouwen chlooreringsapparatuur zelfs standaard in op nieuwe rwzi's (116).

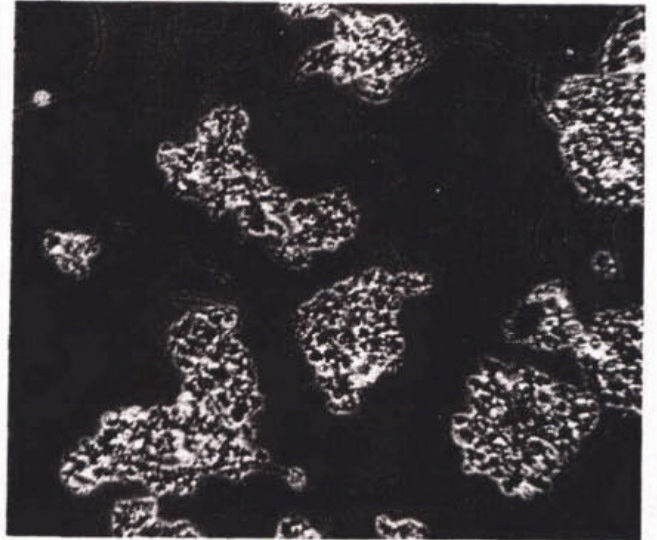
De laatste 10 à 15 jaar is echter veel meer bekend geworden over het ontstaan en het bestrijden van licht slib. Dit betreft zowel kennis over de aard van het probleem als methoden om een te sterke groei van draadvormende organismen te voorkomen, c.q. al aanwezige draden te bestrijden.

In dit rapport zal een overzicht worden gegeven van de nu beschikbare kennis over dit onderwerp. In hoofdstuk 2 zal nader worden ingegaan op de

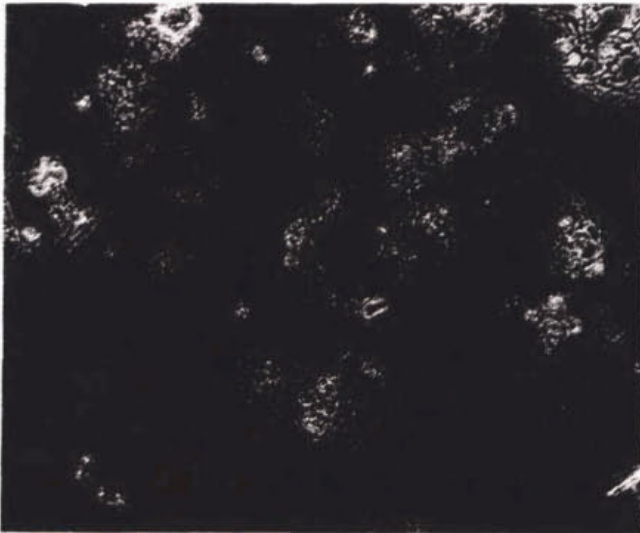
aard van het probleem. In hoofdstuk 3 worden de oorzaken besproken die tot een massale groei van draadvormende organismen kunnen leiden. Dit onderwerp wordt uitvoerig behandeld, omdat een goed begrip van deze oorzaken noodzakelijk is voor de toepassing van de ontwikkelde licht-slibbestrijdingsmethoden op praktijk-rwzi's. De informatie in dit hoofdstuk is voornamelijk gebaseerd op experimenten onder laboratoriumomstandigheden. In hoofdstuk 4 komen praktijkervaringen met het bestrijden en/of voorkomen van licht slib aan de orde. Na een evaluatie, waarbij theorie en praktijk geïntegreerd worden, wordt tenslotte een "strategie", gericht op het voorkomen en/of bestrijden van licht slib, gepresenteerd. Sommige deelonderwerpen zijn in bijlagen nader uitgewerkt.



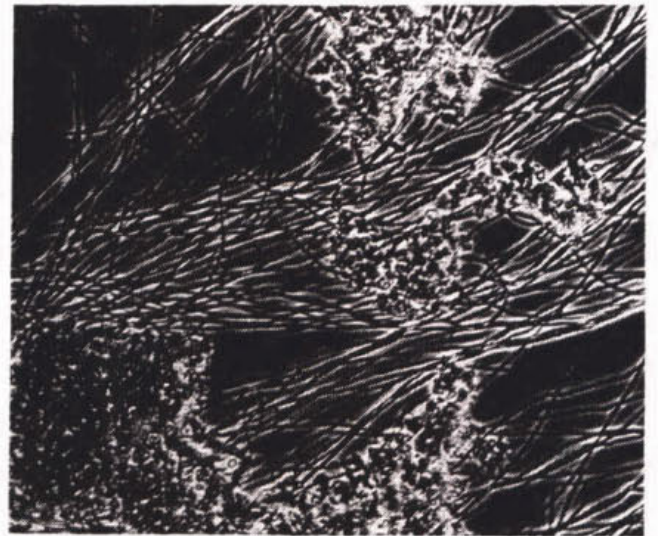
a



b



c



d

Figuur 1. Enkele actiefslibben met duidelijk verschillende bezinkeigenschappen.

- a. Draadvormende organismen afwezig (SVI circa 50 ml/g).
- b. Weinig draadvormende organismen (SVI < 100 ml/g).
- c. Veel dunne, kronkelige draden (SVI circa 150 ml/g).
- d. Zeer veel forse draden aanwezig (SVI > 500 ml/g).

Licht slib wordt vrijwel altijd veroorzaakt door een te sterke groei van draadvormende micro-organismen, hetgeen vaak zal leiden tot slibverliezen uit de nabezinktank. Dit betekent echter niet dat een te hoog gehalte aan zwevend stof in het effluent altijd een gevolg is van licht slib. Bovendien veroorzaken niet alle draadvormende organismen licht slib. Tenslotte zijn ook nog andere factoren medebepalend voor het bezinkgedrag van de vlok.

Deze, misschien enigszins tegenstrijdig lijkende, opmerkingen zijn illustratief voor de verwarring rond het verschijnsel licht slib. Er zijn voorbeelden van rwzi's waarin men draadvormende organismen probeerde te bestrijden, terwijl deze praktisch volledig ontbraken!

Een goed begrip van het fenomeen is daarom noodzakelijk.

2.1 Mogelijke oorzaken van slibverliezen uit de nabezinktank

De oorzaken van slibverliezen kunnen in twee groepen worden ingedeeld.

I. Oorzaken die verband houden met het ontwerp en/of de bedrijfsvoering van de nabezinktank. Dit betreft vooral (9, 50):

- een hydraulische overbelasting;
- een ongelijkmatige mesbelasting;
- een verkeerde inlaatconstructie voor het slib uit de aëratietank;
- een te geringe capaciteit van de slibretourpomp;
- dichtheidsstromingen.

Bovenstaande oorzaken kunnen leiden tot slibverliezen, terwijl het slib toch goede bezinkeigenschappen heeft.

II. Oorzaken die verband houden met de kwaliteit van de biomassa in de rwzi. Hierbij kunnen de volgende verschijnselen worden onderscheiden (115, 171, 172, 175):

- licht slib;
- gedispergeerde groei;
- deflocculatie;
- pinpoint vlokken;
- opdrijvend slib;
- schuimvorming.

Een onvolledige scheiding van biomassa en effluent kan dus verschillende oorzaken hebben. Het is daarom belangrijk dat altijd eerst de oorzaak van de slibverliezen ondubbelzinnig wordt vastgesteld, alvorens maatregelen worden getroffen om het probleem op te lossen. Voor het stellen van een juiste diagnose moet, naast een bepaling van de SVI, meestal ook microscopisch slibonderzoek, zoals dit is beschreven in een handleiding van de STORA (62), worden uitgevoerd. Indien uit beide analyses blijkt dat sprake is van een slib met goede bezinkeigenschappen, dan moet de oorzaak van de slibverliezen in het ontwerp en/of de bedrijfsvoering van de nabezinktank worden gezocht. Hiervoor wordt verwezen naar referentie (50). Overigens kan wel worden gesteld dat grote slibverliezen vooral door licht slib worden veroorzaakt.

licht slib

De slibvlokken bezinken te langzaam en zijn onvoldoende samendrukbaar doordat zeer veel draadvormende micro-organismen aanwezig zijn. Het slib heeft een hoge SVI. Slibverliezen uit de nabezinktank veroorzaken een troebel effluent. Het effluent is juist erg helder indien slibverliezen kunnen worden voorkomen (dekenfiltratie in de nabezinktank).

In de literatuur wordt daarnaast ook het voorkomen van Zoogloea licht slib genoemd (105). Bij deze vorm van licht slib worden de slechte bezinkeigenschappen niet veroorzaakt door draadvormende bacteriën, maar door een sterke waterbinding van de vlokken. Deze vorm van licht slib blijkt in de praktijk niet vaak voor te komen (22, 228, 239).

Overigens moet nog worden opgemerkt dat de aanwezigheid van draadvormende organismen ook kan leiden tot het opdrijven van slib en/of de vorming van drijfslagen (zie ook de paragrafen 2.1.6 en 2.2).

gedispergeerde groei

De micro-organismen vormen geen echte slibvlokken, maar groeien als losse cellen en/of minuscule vlokjes. Deze deeltjes bezinken niet of nauwelijks, waardoor in de nabezinktank geen duidelijke scheiding van slib en effluent kan worden bereikt. Het effluent is dientengevolge sterk troebel. De SVI kan in feite niet worden bepaald, omdat in het bezinkglas geen duidelijke slibspiegel wordt gevormd. Gedispergeerde groei wordt o.a. veroorzaakt door een zeer sterke overbelasting van de rwzi.

deflocculatie

Deflocculatie betekent dat de vlok uit elkaar valt. Dit kan verschillende oorzaken hebben, o.a.: een toxisch influent, overbelasting van de aëratietank, onvoldoende stikstof en fosfor voor de micro-organismen (172). Ook in sterk onderbelaste oxydatiesloten, met volledige nitrificatie, vindt soms deflocculatie plaats (15).

Het slib bestaat uit twee fracties, namelijk de intacte vlokken die normaal bezinken en het gefragmenteerde materiaal dat veel langzamer bezinkt. Bij de bepaling van de SVI wordt in het bezinkglas nog wel een slibspiegel gevormd, maar de bovenstaande vloeistof blijft troebel.

"pinpoint" vlokken

Dit is een slecht gedefinieerd begrip. Sommige auteurs, o.a. Pipes (89), gebruiken deze term om er de fractie niet-bezinkbare vlokken mee aan te duiden die, waarschijnlijk door een te lage soortelijk dichtheid, nauwelijks sedimenteren in een nabezinktank. Deze vaak enigszins grijs-wit getinte vlokken zijn in vrijwel ieder effluent aanwezig. Het komt echter slechts zelden voor dat deze vlokken een sterke troebeling van het effluent veroorzaken.

Jenkins (115) gebruikt de term "pinpoint" om de situatie aan te duiden waarbij het slib bestaat uit twee fracties, die onderling qua bezinkeigenschappen zeer sterk verschillen. Een deel van de vlokken bezinkt in feite te goed (SVI 20-30 ml.g⁻¹), waardoor de vorming van een slibdeken, inclusief de hiermee samengaannde filtrerende werking, wordt verhinderd. Het resterende gedeelte van de biomassa bezinkt daarentegen juist erg langzaam. Het verschijnsel lijkt op deflocculatie, maar heeft een andere oorzaak. De "zware" vlokken hebben meestal een veel hoger asgehalte.

opdrijvend slib

De slibvlokken gaan opdrijven doordat gasbelletjes (meestal N₂ dat bij denitrificatieprocessen vrij komt) zich aan de biomassa hechten. Dit heeft het ontstaan van een drijfslag op de nabezinktank tot gevolg. De gasontwikkeling kan meestal duidelijk worden waargenomen. De gasbelletjes ontsnappen zodra dit slib geroerd wordt. De vlokken zullen daarna weer normaal bezinken. Bij de bepaling van de SVI bezinkt het slib in eerste instantie normaal. Na verloop van tijd drijft een deel van het slib ech-

ter op, waardoor een situatie ontstaat waarbij zowel onderin als bovenin het bezinkglas een laag slib aanwezig is.

schuimvorming

Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen schuimvorming door de aanwezigheid van verbindingen (vooral detergenten) die de oppervlaktespanning verlagen en het "schuim" dat in de Engelstalige literatuur vaak met de naam "scum" wordt aangeduid. Het eerstgenoemde schuim veroorzaakt eerder ongemak dan slibverliezen. Het kan betrekkelijk eenvoudig (b.v. met antischuimmiddelen, of door het versproeien van water) vernietigd worden. "Scum" is in feite geen schuim, maar een soort drijfslag (soms wel 30-40 cm dik) van ingedikt slib op de nabezinktank en/of de beluchtingsruimte. Deze laag is van een taaie consistentie en kan alleen via mechanische hulpmiddelen worden verwijderd. Zulke drijfslagen kunnen aanzienlijke slibverliezen veroorzaken.

De drijfslagen ontstaan doordat gasbelletjes (N_2 , lucht) zich aan het oppervlak van cellen met hydrofobe eigenschappen hechten. Indien in het slib kluwens of netwerken van draadvormende organismen aanwezig zijn - o.a. *Actinomyceten* (137), type 0092 of *Microthrix parvicella* (22) - dan blijven de belletjes binnen deze structuur gebonden. De slibvlok zal daardoor gaan drijven. Aan het oppervlak vindt daarna flotatie-indikking plaats.

2.2 De invloed van draadvormende organismen op het functioneren van zuiveringsinrichtingen

Draadvormende micro-organismen behoren tot de normale slibpopulatie. Volgens sommige auteurs is hun aanwezigheid zelfs noodzakelijk voor een stevige structuur van de vlok (22, 43, 117). De draden zouden fungeren als het "skelet" van de vlok; een stellingsname die betwijfeld mag worden. Stevige, compacte vlokken zijn lang niet altijd geconstrueerd rondom draadvormende organismen.

Zo lang het aantal draden binnen redelijke grenzen blijft veroorzaken ze geen grote problemen; de negatieve gevolgen blijven beperkt tot een wat slechtere slibindikking, hetgeen uiteraard wel kostenverhogend werkt. Een beperkte groei van deze organismen draagt zelfs bij tot een betere effluentkwaliteit, omdat door hun aanwezigheid de filtrerende werking van de "slibdeken" in de nabezinktank wordt verbeterd. Kleine slibvlokjes,

die zelf onvoldoende snel sedimenteren, worden zo praktisch volledig verwijderd (175).

In de bedrijfsvoering wordt daarom weleens de groei van deze organismen bewust gestimuleerd (121, 154). Zo'n werkwijze lijkt echter vooralsnog prematuur, en is bepaald niet zonder risico's, gelet op de grote problemen die verbonden zijn aan een massale groei van draadvormende organismen. Deze problemen, en de daaraan verbonden extra kosten, betreffen vooral:

2.2.1 effecten op het nabezinkproces

Een verslechtering van de bezinkeigenschappen zal leiden tot een ophoping van slib in de nabezinktank. De slibspiegel (= het grensvlak tussen het bezonken slib en het gezuiverde water) begint te stijgen, tot uiteindelijk de overstortrand of de onderkant van de effluentgoot wordt bereikt, waarna slibuitspoeling plaatsvindt.

Bij een geringe stijging van de SVI (tot circa 150 ml.g^{-1}) kunnen slibverliezen door een goede bedrijfsvoering (bijvoorbeeld door verlaging van het slibgehalte (218) of een verhoging van het debiet van de retourslibpompen) meestal nog wel worden voorkomen.

Zodra de index hoger wordt dan circa 150 ml.g^{-1} kunnen, vooral in perioden met regenwateraanvoer, aanmerkelijke slibverliezen plaatsvinden.

Bij zeer hoge indices zal vrijwel permanent slib op het oppervlaktewater worden geloosd. In extreme gevallen kan het gehalte aan slib in het effluent gelijk zijn aan dat in de beluchtingsruimte.

Een verlenging van de verblijftijd van het slib in de nabezinktank kan daarnaast leiden tot denitrificatie in de bezinktank. Hierdoor zullen slibvlokken opdrijven, hetgeen extra slibverlies kan veroorzaken.

Tenslotte kan de aanwezigheid van draadvormende organismen bijdragen tot het ontstaan van drijfslagen op de beluchtingsruimte en/of de nabezinktanks (137). Ook dit leidt weer tot slibverlies.

2.2.2 effecten op het zuiveringsproces

Voortdurende, grote slibverliezen kunnen leiden tot een totale ontregeling van het zuiveringsproces, omdat het drogestofgehalte in de beluchtingsruimte niet op het vereiste niveau gehandhaafd kan worden. Er dreigt een soort neerwaartse spiraal te ontstaan: slibverliezen → lager gehalte aan biomassa in de beluchtingsruimte → slibbelasting neemt toe → draad-

vormende organismen groeien beter → grotere slibverliezen, enz. (197).

Vooraf in wat lager belaste systemen kan licht slib leiden tot het verlies van twee essentiële proceseigenschappen, namelijk de slibmineralisatie en de nitrificatie (237).

Daarnaast zouden sommige draadvormende organismen de zuurstofoverdracht in de beluchtingsruimte negatief kunnen beïnvloeden omdat hun aanwezigheid de viscositeit van het slib/water-mengsel verhoogt (269).

2.2.3 effecten op de slibontwatering

De aanwezigheid van draadvormende organismen gaat gepaard met aanmerkelijk slechtere ontwateringseigenschappen van het slib (94, 117, 276). Dit geldt ook voor ontwatering via flotatie-indikking (274). De aanwezigheid van draadvormende organismen zal dus de kosten van de slibverwerking aanzienlijk doen stijgen (94). Deze effecten zijn bij een SVI van 75-100 ml.g^{-1} al duidelijk merkbaar.

2.3 Draadvormende micro-organismen in actiefslib

Het licht-slibprobleem is gedurende tientallen jaren geassocieerd met de draadvormende bacterie *Sphaerotilus natans*. De laatste 10-15 jaar is echter vastgesteld dat in actiefslib ruim 30 verschillende soorten draadvormende organismen kunnen worden waargenomen. Het merendeel van deze organismen was volledig onbekend en is daarom nog niet geklassificeerd met een naam maar met een nummer.

De verschillende typen komen niet alle even frequent voor. In bijlage A wordt ingegaan op deze frequentie van voorkomen onder verschillende omstandigheden. In deze bijlage wordt tevens informatie gegeven over draadvormende organismen die de laatste jaren uit slib zijn geïsoleerd en nader onderzocht. In deze paragraaf zullen alleen de organismen ter sprake komen die regelmatig in zuiveringsslib worden waargenomen.

2.3.1 de omvang van het licht-slibprobleem

In de jaren zeventig is een groot aantal monsters actiefslib, die niet geselecteerd waren op basis van hun bezinkeigenschappen, microscopisch onderzocht. In tabel 1 zijn enkele resultaten van dit onderzoek vermeld. In circa 50% van de monsters uit oxydatiesloten met een stedelijk influent waren veel draadvormende organismen aanwezig. Dit percentage steeg tot ruim 70% in oxydatiesloten met een industrieel influent. In hoger belaste actief-slibinrichtingen werden percentages van 33% en 71% vastge-

steld voor respectievelijk een stedelijk en een industrieel influent. Aan de absolute waarde van dit soort getallen mag overigens geen al te grote waarde worden toegekend, ze illustreren echter wel de omvang van het probleem. Bij buitenlandse onderzoeken (22, 237, 259) werden vergelijkbare percentages vastgesteld. Overigens lijkt de grotere aandacht voor het licht-slibprobleem, gedurende de laatste jaren, tot gevolg te hebben dat het percentage rwzi's met licht slib in Nederland duidelijk daalt (1).

aantal draadvormende organismen	alle rwzi's	oxydatiesloten			andere rwzi's ¹⁾	
		stedelijk	zuivel	overige industrie	stedelijk	industrie
geen/weinig	45	48	28	22	67	29
(zeer) veel	55	52	72	78	33	71
n monsters	1029	804	113	18	51	34
n rwzi's	179	130	10	10	20	9

Tabel 1. Procentuele verdeling van monsters actiefslib uit Nederlandse rwzi's op basis van de mate van draadvorming.

1) slibbelasting $> 0,1 \text{ kg BZV.kg d.s.}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$

Tabel 1 illustreert tevens dat een industrieel influent de groei van draadvormende organismen bevordert. Wagner (259) onderzocht de invloed van diverse soorten afvalwater op de groei van draadvormende organismen (zie tabel 2). Hij stelde daarbij vast dat de kans op licht slib vrijwel steeds aanmerkelijk toeneemt indien een rwzi ook afvalwater ontvangt afkomstig van een industrie die "agrarische produkten" verwerkt. Dit soort afvalwater bevat meestal veel gemakkelijk afbreekbare organische verbindingen. Hiervan wordt al lang aangenomen dat ze de groei van draadvormende organismen kunnen stimuleren.

Daarnaast hebben ook specifieke bedrijfsomstandigheden invloed op het ontstaan van licht slib. De afwezigheid van een voorbezinktank zou de kans op het ontstaan van licht slib verkleinen (259). Dit lijkt niet erg waarschijnlijk, indien gelet wordt op de omvang van het probleem in oxydatiesloten. Ook bij "extended aëration" rwzi's in Zuid-Afrika werd vastgesteld dat deze erg gevoelig zijn voor het ontstaan van licht slib (15,

22). Er is wel overeenstemming over het feit dat een lange verblijftijd van het afvalwater in de voorbezinktank de kans op het ontstaan van licht slib aanmerkelijk vergroot (146, 259). In paragraaf 3.2.3 wordt hier nog nader op ingegaan.

aantal draad- vormende organismen	stede- lijk afval- water	minimaal 20% van het afvalwater afkomstig van de industrie									
		fruit ver- wer- king	tex- tiel	vlees indus- trie	brou- werij	distil- leer- derij	me- taal	pa- pier	con- ser- ven	zui- vel	des- truc- tie
geen/weinig in % ¹⁾	56	17	39	58	30	22	50	12	0	17	20
(zeer) veel in % ¹⁾	44	83	61	42	70	78	50	88	100	83	80
n rwzi's	315	24	13	12	10	9	8	8	8	6	5

Tabel 2. De invloed van diverse soorten industrieel afvalwater op het voorkomen van licht slib (259).

¹⁾ van het aantal rwzi's

In rwzi's met simultane, chemische P-verwijdering wordt veel minder frequent licht slib waargenomen. Dit is niet alleen een gevolg van de verzwarende van de vlokken, het merendeel van de draadvormende organismen verdwijnt daadwerkelijk (259). Dit geldt echter niet voor *Microthrix parvicella* en *Nocardia spp.* Nutriëntenverwijdering via biologische processen vergroot daarentegen de kans op het ontstaan van licht slib (22).

Een tweetraps uitvoering resulteert meestal ook in een slib met goede bezinkeigenschappen. Dit geldt niet alleen voor de combinatie: hoog- + laagbelast actiefslib (1, 264), maar ook voor rwzi's met een oxydatiebed (1, 20) of een anaëroob filter (147) als eerste trap.

Tenslotte hebben ook de slibbelasting en het zuurstofgehalte in de beluchttingsruimte invloed op het ontstaan van licht slib. Deze factoren worden in hoofdstuk 3 besproken.

2.3.2 de frequentie van voorkomen van de verschillende soorten organismen

In tabel 3 is de frequentie van voorkomen van de belangrijkste soorten draadvormende organismen in Nederlandse rwzi's vermeld. Deze tabel is gebaseerd op waarnemingen die een periode van enkele jaren bestrijken. Een organisme is in de tabel opgenomen, indien het gedurende deze periode minimaal één keer in grote aantallen in de betreffende rwzi aanwezig was.

oxydatieslootcondities	AT met nitrificatie	AT zonder nitrificatie
<i>Microthrix parvicella</i> (86)	<i>M. parvicella</i> (52)	type 021N (67)
type 0041 (28)	type 021N (31)	<i>H. hydrossis</i> (60)
type 0092 (26)	<i>N. limicola</i> (24)	<i>S. natans</i> (53)
type 021N (18)	<i>H. hydrossis</i> (19)	type 1701 (47)
<i>Haliscomenobacter</i>	type 0041 (14)	type 1863 (27)
<i>hydrossis</i> (18)	type 1851 (12)	<i>Thiothrix</i> (20)
type 0581 (11)	<i>Thiothrix</i> (9)	type 0411 (20)
type 0803 (10)	type 0803 (9)	<i>M. parvicella</i> (13)
type 1851 (9)	type 0092 (7)	<i>N. limicola</i> (13)
<i>Nostocoida limicola</i> (8)	<i>Nocardia</i> (7)	
type 0914 (4)	type 0914 (7)	
-----	-----	-----
131 rwzi's	42 rwzi's	15 rwzi's

Tabel 3. Percentage (tussen haakjes) van het aantal rwzi's, met een voornamelijk huishoudelijk influent, waarin het organisme minimaal één maal in grote aantallen is waargenomen.
AT = actief-slibinrichtingen exclusief oxydatiesloten.

Het percentage van 86% voor *M. parvicella* betekent dus niet dat dit organisme permanent in 86% van de oxydatiesloten in grote aantallen aanwezig was. Het illustreert echter wel dat licht-slibproblemen in rwzi's met een lage slibbelasting vaak door deze bacterie veroorzaakt worden (61).

2.3.2.1 invloed van de slibbelasting op de populatiesamenstelling

Uit tabel 3 blijkt dat de populatiesamenstelling van draadvormende organismen mede bepaald wordt door de belasting van de rwzi. Deze relatie wordt nog duidelijker indien de gegevens gerangschikt worden op de manier zoals in tabel 4 is gebeurd. In rwzi's met een lage slibbelasting (oxyda-

tiesloten) komt *M. parvicella* frequent in grote aantallen voor. Type 0041, type 0092, type 021N en *H. hydrossis* worden ook regelmatig waargenomen. De overige soorten scoren minder dan 15%, waarbij nog moet worden opgemerkt dat type 0581 voornamelijk in oxydatiesloten met een discontinue bedrijfsvoering wordt waargenomen.

slibbelasting ¹⁾	oxydatiesloot < 0,1	AT met nitrificatie 0,1 - 0,2	AT zonder nitrificatie ≥ 0,2 à 0,3
<i>M. parvicella</i>	+++	+++	+
type 0041	++	+	
type 0092	++	+	
type 0803	+	+	
type 0675	+		
type 0581	+		
type 1851	+	+	
type 021N	++	++	+++
<i>H. hydrossis</i>	++	++	+++
type 1701			+++
<i>S. natans</i>			+++
<i>Thiotrix</i>		+	++
type 1863			++
type 0411			++
<i>N. limicola</i>	+	++	+
<i>Nocardia</i>		+	
type 0914		+	

Tabel 4. Invloed van de slibbelasting op de populatiesamenstelling.

¹⁾ kg BZV/kg droge stof.dag

+++ : > 40%

++ : 15-40%

+ : < 15%

} gebaseerd op tabel A.1 uit bijlage A

In meer conventionele actief-slibinrichtingen, met een slibbelasting van 0,1-0,2 kg BZV/kg droge stof.dag, wordt een populatie aangetroffen die eigenlijk niet zoveel verschilt van die in oxydatiesloten. *M. parvicella*, type 0041 en type 0092 scoren een wat lager percentage, de typen 0675 en 0581 verdwijnen, terwijl type 021N en *H. hydrossis* frequenter voorkomen. Het beeld verandert echter volledig zodra een slibbelasting van 0,2 à 0,3

kg BZV/kg droge stof.dag overschreden wordt. Type 021N, *H. hydrossis*, type 1701 en *S. natans* worden nu frequent waargenomen. *M. parvicella* komt nog slechts incidenteel voor, terwijl *Thiotrix*, type 1863 en type 0411 percentages van > 15% scoren.

N. limicola tenslotte, lijkt zich niet zoveel van de slibbelasting aan te trekken.

2.3.2.2 invloed van de influentkwaliteit

De populatiesamenstelling wordt daarnaast in sterke mate beïnvloed door de aard van het beschikbare substraat (= kwaliteit van het influent). In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat in industriële rwzi's dezelfde draadvormende organismen aanwezig zijn als in installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. De invloed van de influentkwaliteit op de populatiesamenstelling kan alleen via statistisch onderzoek worden aangetoond. Het is daarom vaak erg moeilijk om de aanwezigheid van bepaalde draadvormende organismen, in een rwzi met een gemengde aanvoer van afvalwater, ondubbelzinnig te relateren aan industriële lozingen.

Uit tabel 2 volgt dat de groei van draadvormende organismen sterk gestimuleerd wordt door afvalwater afkomstig van bedrijven die agrarische producten verwerken. Dit houdt verband met de kwaliteit en de kwantiteit van de (an)organische verbindingen, aanwezig in dit soort afvalwater. In hoofdstuk 3 komt dit nog nader ter sprake. Dit soort afvalwater bevordert vrijwel zeker de groei van de typen 1701, 021N, 0041 en 0092. Daarnaast worden ook *Nocardia*, *N. limicola*, *H. hydrossis* en *S. natans* vaak geassocieerd met industriële lozingen. Het is opvallend dat de groei van *M. parvicella* vrijwel nooit in verband wordt gebracht met industrieel afvalwater. Ten aanzien van de typen 0041 en 0092 moet nog worden opgemerkt dat deze in rwzi's met een huishoudelijk influent vrijwel nooit grote licht-slibproblemen veroorzaken, terwijl ze zich in sommige industriële rwzi's wel zeer massaal kunnen ontwikkelen.

Ter afsluiting van deze toelichting kunnen nog de pH en de aanwezigheid van sulfiden worden genoemd. Een lage pH bevordert de groei van schimmels. Deze worden in rwzi's met een stedelijk influent echter vrijwel nooit waargenomen. De aanwezigheid van sulfiden in het influent gaat vaak gepaard met de groei van *Thiothrix* of van type 021N in het slib.

2.3.2.3 competitie tussen draadvormende organismen onderling

Een derde factor die invloed heeft op de populatiesamenstelling, is de competitie tussen draadvormende organismen onderling. Het verschijnsel dat binnen de populatie verschuivingen plaatsvinden, zonder dat het aantal draden minder wordt, komt veelvuldig voor (64, 180). Men kan dit verschijnsel vaak waarnemen in rwzi's met een aantal parallelle, en min of meer identieke, straten. In deze straten zijn dan meestal wel dezelfde micro-organismen aanwezig, maar in wisselende onderlinge getalsmatige verhoudingen. De mate van draadvorming is in de diverse straten wel gelijk. Er is kennelijk sprake van vrij labiele evenwichten binnen de populatie. Bekende voorbeelden in dit verband zijn: de combinaties type 021N/*S.natans* en *M. parvicella*/type 0092.

De competitie binnen de populatie kan leiden tot een uitgesproken dominantie van één bepaalde soort (63). Er is dan vrijwel altijd sprake van een slib met een hoge slibvolume-index. Kennelijk verkeert het betreffende organisme dan in een zeer gunstige concurrentiepositie.

2.3.2.4 indicatorfunctie van de populatiesamenstelling

Uit het voorafgaande volgt dat de aanwezigheid van bepaalde soorten indicatief is voor de heersende omstandigheden in een rwzi. Strom en Jenkins (228) vinden dit één van de belangrijkste argumenten om periodiek een microscopisch slibonderzoek uit te voeren. De aanwezigheid van bepaalde soorten draadvormende organismen wordt door hen zelfs gebruikt als een belangrijke indicatie om de oorzaak van licht slib in een rwzi vast te stellen (tabel 5). Aan deze toepassing zijn echter nogal wat risico's verbonden, zolang het veronderstelde verband niet absoluut vast staat. Een vergelijking met tabel 4 leert dat bijvoorbeeld de relatie: lage zuurstofconcentratie → *S. natans*, type 1701, type 021N en type 1863 nogal discutabel geacht moet worden. Onder Nederlandse omstandigheden zouden deze organismen, in rwzi's met een stedelijk influent, gebruikt kunnen worden als indicator organismen voor een hoge slibbelasting! Het is nauwelijks waarschijnlijk dat op alle conventionele, hoogbelaste rwzi's sprake is van een structurele O_2 -limitatie. In oxydatiesloten zou hun aanwezigheid echter wel kunnen duiden op O_2 -tekorten of industrieel afvalwater.

oorzaak van het licht slib	aanwezige organismen
lage belasting	<i>M. parvicella</i> en de typen 0041, 0092, 0581, 0803 (?)
lage O ₂ -concentratie	<i>S. natans</i> en de typen 1701, 021N, 1863
lage pH	schimmels
veel S ²⁻ in het influent	<i>Thiothrix</i> , <i>Beggiatoa</i>
N- en/of P-limitatie	<i>S. natans</i> , type 021N

Tabel 5. Het door Strom en Jenkins (228) veronderstelde verband tussen de procesomstandigheden en de samenstelling van de populatie.

2.3.3 draadvormende micro-organismen en bezinking van actiefslib

De waarde van de slibvolume-index, bepaald volgens de verdunningsmethode (226), is primair afhankelijk van het aantal draadvormende organismen dat aanwezig is. Daarnaast kunnen de fysisch-chemische eigenschappen van de vlok ook een rol spelen. In bijlage B wordt hier nader op ingegaan. In deze paragraaf wordt alleen de invloed van draadvormende micro-organismen op de SVI globaal behandeld.

Draadvormende micro-organismen kunnen de bezinkeigenschappen van het slib, inclusief de compressie van de vlokken onder in de nabezinktank, op twee manieren beïnvloeden (116):

- draadvormende organismen die uit de vlok steken, of voornamelijk in de vloeistoffase tussen de vlokken aanwezig zijn, verhinderen dat de vlokken elkaar dicht naderen. Het effect is groter naarmate de draden rechter, steviger of langer zijn. De structuur van de vlok zelf wordt dus niet beïnvloed. Van de in tabel 4 genoemde organismen beïnvloeden *S. natans*, *H. hydrossis*, *Thiothrix* en de typen 0041, 0803, 1851, 021N en 0914 vooral op deze wijze de SVI;
- sommige draadvormende organismen veroorzaken daarnaast een open structuur van de vlok. Deze wordt groter, maar minder compact (194, 249). Dit kan veroorzaakt worden door de hechting van vlokvormende organismen op de draden. De eerstgenoemde groeien vervolgens lokaal verder tot vlokjes gevormd zijn, die door draden zijn verbonden (agglomeraten). Sommige draadvormende organismen vormen echter ook kluwens van draden, waaromheen vervolgens een vlok ontstaat met een

open structuur. De aanwezigheid van *M. parvicella*, *N. limicola* (soms), *Nocardia* of de typen 0092, 0675, 0581, 1701 en 0411 leidt vaak tot een vlok met een open structuur, die daarnaast ook nog is omgeven door draadvormende organismen.

De mate waarin de belangrijkste draadvormende organismen de SVI kunnen beïnvloeden is in tabel 6 aangegeven. Enkele organismen veroorzaken vrijwel nooit licht-slibproblemen, omdat ze kleine, flexibele draadjes vormen (type 1863) of zelf als "vlokken" groeien (*N. limicola*). Alleen zeer massale groei leidt tot een stijging van de SVI.

invloed op de SVI		
groot	matig	klein
<i>M. parvicella</i>	type 0041 ¹⁾	type 1863
type 1851	type 0092 ¹⁾	<i>N. limicola</i> ¹⁾
type 021N	type 0803	
<i>S. natans</i>	type 0675	
<i>Thiothrix</i> spp.	type 0581	
	<i>H. hydrossis</i>	
	type 1701	
	type 0411	
	<i>Nocardia</i> spp.	
	type 0914	

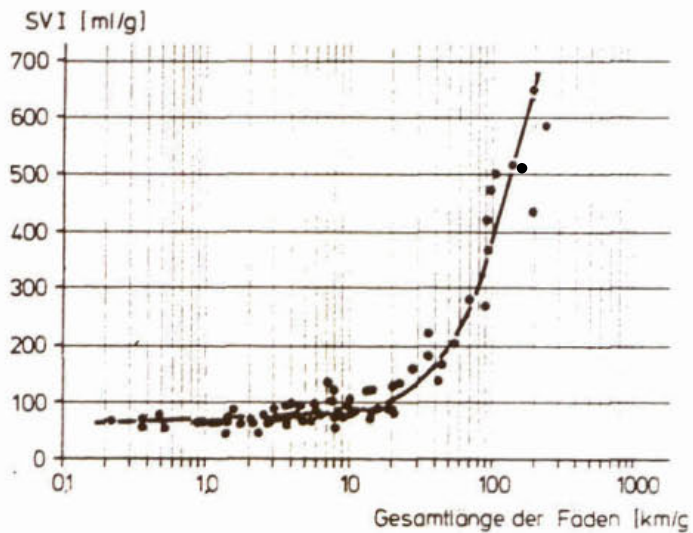
Tabel 6. Invloed van draadvormende organismen op de SVI in rwzi's met een stedelijk influent.

Groot: een massale groei leidt tot een SVI > 300 à 400 ml.g⁻¹.
 Matig: de SVI blijft meestal < 300 ml.g⁻¹.

¹⁾ Deze organismen kunnen in industriële rwzi's soms ook hoge SVI-waarden veroorzaken.

Figuur 2 laat zien dat een toename van het aantal draden in eerste instantie niet/nauwelijks blijkt uit een stijging van de SVI. De SVI blijft in dit voorbeeld op een niveau van 50 à 100 ml.g⁻¹ tot de draden een totale lengte van circa 10 km.g slib⁻¹ hebben bereikt. Een verdere toename van het aantal draden veroorzaakt vrij abrupt een drastische verslechtering van de bezinkeigenschappen van het slib. Op het moment dat de SVI

duidelijk begint te stijgen, is het dus eigenlijk al te laat; het aantal draadvormende organismen is dan reeds hoog (58, 262). Dit verklaart waarom beheerders van rwzi's vaak min of meer overvallen worden door licht-slibproblemen. De ontwikkeling van licht slib kan alleen door het regelmatig uitvoeren van microscopisch slibonderzoek tijdig gesignaleerd worden (62).



Figuur 2. De invloed van de totale lengte van de draden op de SVI (135).

In de literatuur wordt een groot aantal mogelijke oorzaken van licht slib genoemd (15, 33). Deze kunnen globaal in twee groepen ingedeeld worden:

- oorzaken die verband houden met de kwaliteit van het influent;
- oorzaken die verband houden met het ontwerp en/of de bedrijfsvoering van de rwzi. Hierbij zijn vooral de wijze waarop het influent in de beluchtingsruimte wordt gebracht, het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte en de slibbelasting van de rwzi van belang.

Een en ander zal in dit hoofdstuk nader worden toegelicht. Voor een beter begrip van deze materie wordt echter eerst in paragraaf 3.1 in meer algemene zin ingegaan op enkele aspecten die een grote rol spelen bij de concurrentie tussen micro-organismen in actiefslib (bij licht slib: tussen vlokvormende en draadvormende organismen).

3.1 Selectie van micro-organismen in actiefslib

Een beluchtingsruimte is niet alleen een tank met slib, maar vooral ook een tank vol met levende micro-organismen. De samenstelling van de populatie in een bepaalde rwzi wordt primair bepaald door de kwaliteit van het afvalwater, de toegepaste slibbelasting en de andere bedrijfsomstandigheden, maar zal daarnaast in de loop van de tijd vaak aanmerkelijk kunnen fluctueren door schommelingen in de belasting, seizoensinvloeden, enz. De actief-slibpopulatie vormt dus een dynamisch geheel. Dit blijkt overigens meestal niet uit het zuiveringsrendement, omdat verschuivingen binnen de populatie juist gericht zullen zijn op het zo optimaal mogelijk benutten van de beschikbare voedingsstoffen. Zo'n verschuiving wordt uiteraard wel duidelijk zichtbaar indien draadvormende micro-organismen zich massaal ontwikkelen.

In een rwzi is, vanuit het oogpunt van de micro-organismen bezien, sprake van een chronisch tekort aan voedingsstoffen (meestal koolstofverbindingen). Dit gegeven vormt de basis van het actief-slibproces. Vrijwel alle voedingsstoffen kunnen in beginsel door een groot aantal verschillende organismen gebruikt worden. Dit heeft als consequentie dat de micro-organismen elkaar sterk beconcurreren om de beschikbare voedingsstoffen (= substraat). De populatie in een bepaalde rwzi zal daarom voornamelijk bestaan uit organismen die het beschikbare substraat onder de gegeven omstandigheden het meest optimaal kunnen benutten. De fysiolo-

gische (fysiologie = stofwisseling) en de morfologische (morphos = vorm) kenmerken van de micro-organismen zijn bepalend voor het verloop van dit selectieproces, waarbij de eerstgenoemde vaker doorslaggevend zullen zijn dan de "vorm" van de micro-organismen (220).

3.1.1 *invloed van morfologische kenmerken op het selectieproces*

Micro-organismen kunnen voorkomen als:

- losse cellen;
- conglomeraten van cellen (= vlokken);
- ketens van cellen (= draden).

Alle noodzakelijke voedingsstoffen moeten de celwand passeren. Dit betekent dat een organisme waarbij de oppervlakte/volumeverhouding (oppervlak = contactoppervlak met de omringende vloeistof) zo groot mogelijk is, in beginsel in een gunstige concurrentiepositie verkeert. Deze verhouding is maximaal bij losse cellen. Deze kunnen zich in een actief-slibstelsel echter niet handhaven, omdat ze niet bezinken en dus met het effluent worden geloosd. De verhouding is minimaal bij de organismen die "opgesloten" zijn in de slibvlok. Zij zijn aangewezen op diffusieprocessen, voor de aanvoer van voedingsstoffen vanuit de vloeistoffase tussen de vlokken naar de cel. In beginsel verkeren de draadvormende organismen dus in een gunstige concurrentiepositie. In hoeverre zij in staat zijn hiervan te profiteren, wordt echter vooral bepaald door hun fysiologische eigenschappen. Uiteraard vervalt dit voordeel indien de draadvormende organismen opgesloten zijn in een vlok.

3.1.2 *invloed van fysiologische kenmerken*

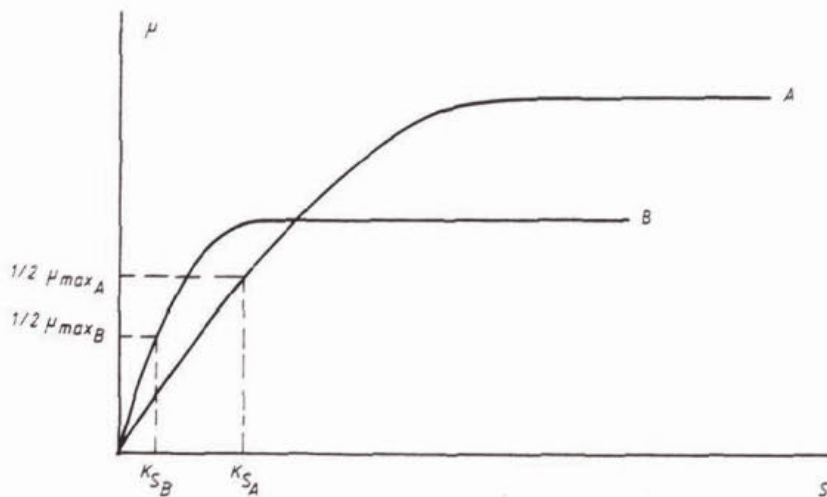
De groeisnelheid van een micro-organisme is afhankelijk van de heersende milieu-omstandigheden (kwaliteit en kwantiteit van de beschikbare voedingsstoffen, temperatuur, enz.). Bovendien kunnen de groeisnelheden van verschillende organismen onderling sterk verschillen. Onder omstandigheden waarbij alle voedingsstoffen in overmaat aanwezig zijn, zullen de micro-organismen niet in hun groei worden beperkt en dus hun maximale groeisnelheid bereiken. Binnen een gemengde populatie (i.e. er zijn verschillende soorten micro-organismen aanwezig) zullen dan de snelste groeiers uiteindelijk gaan domineren.

Een situatie waarbij langdurig sprake is van een overmaat aan substraat, wordt in een actief-slibinstallatie echter nooit aangetroffen. In dit milieu wordt de groei vrijwel altijd gelimiteerd door gebrek aan een of

meer voedingsstoffen (vaak koolstofverbindingen). Voor de groeisnelheid van een micro-organisme geldt dan, indien sprake is van een evenwichts-situatie, de klassieke Monod-vergelijking:

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_s + S}$$

Hierin zijn μ en μ_{\max} respectievelijk de werkelijke en de maximale groeisnelheid van het organisme. S is de concentratie van het groeibeperkende substraat (b.v. koolstof, stikstof, fosfor of zuurstof) en K_s is de substraatconcentratie waarbij $\mu = \frac{1}{2} \mu_{\max}$. Dit verband is in figuur 3 grafisch weergegeven voor een tweetal organismen. Hierbij is aangenomen, zoals door veel onderzoekers is geopperd, dat het draadvormende organisme een lagere K_s -waarde (= een hogere substraataffiniteit) heeft dan het vlokvormende organisme. Dit betekent dat het draadvormende organisme bij lage voedselconcentraties sneller zal groeien dan de vlokvormer en vice versa. In hoeverre deze aanname correspondeert met de werkelijkheid in actiefslib zal in paragraaf 3.3.5 worden besproken. Voornamelijk is het voldoende te weten dat de groeisnelheid van een micro-organisme mede bepaald wordt door de substraatconcentratie.



Figuur 3. Competitiemodel ter verklaring van de dominantie van draadvormende organismen bij lage voedselconcentraties (41).

A : vlokvormend organisme
B : draadvormend organisme

De selectie binnen een gemengde populatie wordt echter niet alleen door de groeisnelheden van de individuele micro-organismen bepaald. De volgende factoren zijn daarbij ook belangrijk:

- de zogenaamde celopbrengstfactor (= y). Dit is een maat voor de hoeveelheid celmateriaal die per eenheid van substraat geproduceerd

wordt. Micro-organismen met een hoge celopbrengstfactor verkeren in een gunstige concurrentiepositie, omdat zij uit betrekkelijk weinig substraat relatief veel celmateriaal kunnen produceren. Zij kunnen de beschikbare voedingsstoffen dus efficiënt benutten;

- het vermogen om reservestoffen op te slaan. Dit kenmerk speelt vooral een rol indien het voedsel niet continu wordt aangevoerd. Micro-organismen die hiertoe in staat zijn, kunnen op deze manier perioden zonder voedsel overbruggen. Bovendien kan het opgenomen substraat niet door andere organismen gebruikt worden;
- een micro-organisme verbruikt, net als ieder ander levend wezen, continu energie om de cel intact te houden (de zogenaamde onderhoudsenergie). Is deze energiebehoefte gering, dan is het organisme ook beter in staat perioden zonder aanvoer van voedsel te overbruggen. Organismen met een hoge onderhoudsenergiebehoefte zullen onder dit soort omstandigheden dood kunnen gaan;
- in een actief-slibinstallatie heeft daarnaast ook het sturen op een bepaalde slibleeftijd grote invloed op de populatiesamenstelling. Organismen die te langzaam groeien worden met het surplus-slib afgevoerd.

3.2 De rol van de influentkwaliteit

De samenstelling van de slibpopulatie wordt in belangrijke mate beïnvloed door de kwaliteit van het afvalwater dat in de rwzi wordt behandeld. Een massale groei van draadvormende organismen kan soms direct gekorreleerd worden aan de kwaliteit van het influent. In deze paragraaf zal een aantal aspecten worden besproken waarvan algemeen wordt aangenomen dat ze kunnen bijdragen tot een verschuiving binnen de actief-slibpopulatie.

3.2.1 *gebrek aan bepaalde voedingsstoffen*

Gebrek aan bepaalde voedingsstoffen gaat vaak gepaard met een massale groei van draadvormende organismen in een rwzi. Het betreft meestal een tekort aan stikstof (95, 113, 138, 275) en/of fosfor (93, 116, 277) in het influent. Incidenteel wordt in dit verband ook Fe genoemd (27). Op welke wijze kan dit nu worden verklaard?

Een bacteriecel bevat erg veel C, wat minder O, N, H en P, en geringe hoeveelheden van een groot aantal andere elementen. Al deze elementen zijn in een bepaalde onderlinge verhouding aanwezig, waarbij wel moet worden opgemerkt dat deze verhouding in verschillende organismen niet

steeds dezelfde is. Voor een optimale groei van het organisme moeten deze elementen, met uitzondering van koolstof, in de voeding in dezelfde verhouding aanwezig zijn. Van koolstof is ongeveer de dubbele hoeveelheid nodig, omdat globaal 40-60% van de beschikbare koolstofverbindingen wordt afgebroken tot CO₂, dat ontwijkt.

Een micro-organisme groeit niet indien de voeding alle benodigde voedingsstoffen minus één bevat. Dit betekent dat de groei van een populatie altijd beperkt zal worden door het element dat "in het minimum" verkeert. In de praktijk is gebleken dat draadvormende micro-organismen onder dit soort groei-limiterende omstandigheden in een gunstige concurrentiepositie verkeren. Hierbij kunnen de volgende factoren een rol spelen:

- het groeibeperkende element is voor de draadvormende organismen beter beschikbaar;
- het draadvormende organisme heeft een lage K_s-waarde voor het betreffende element;
- licht slib bevat, behalve indien *M. parvicella* en/of *Nocardia* als dominerende organismen aanwezig zijn (deze slaan juist veel P op in de cellen), relatief weinig fosfor (259). Dit duidt op een lage P-behoefte van draadvormende organismen. Ook de waarneming dat de P-opname door een slib met zeer veel draden (type 021N) slechts circa 50% bedroeg van de opname door een goed bezinkbaar slib, past in dit beeld (37);
- een gebrek aan N, P, of een ander element gaat gepaard met een lagere groeisnelheid van het slib (218). Dit betekent dat de koolstofverbindingen minder efficiënt worden opgenomen door de vlok. Ook dit bevordert de groei van draadvormende organismen (zie paragraaf 3.3.3).

Als vuistregel voor de gewenste verhouding van de belangrijkste elementen geldt: C : N : P = 100 : 10 : 1. In stedelijk afvalwater zijn de elementen stikstof en fosfor in overmaat aanwezig. Dit is de verklaring voor de meestal onvolledige verwijdering van deze elementen in rwzi's met een voornamelijk stedelijk influent.

Er zijn geen aanwijzingen dat een overmaat aan N en/of P, indien de N tenminste in een anorganische vorm aanwezig is, de groei van draadvormende organismen bevordert. De overmaat aan gereduceerde stikstof wordt, bij slibbelastingen < 0,2 à 0,3 kg BZV.kg slib⁻¹.dag⁻¹, geoxydeerd tot nitraat. Het soms wel geopperde verband tussen dit nitrificatieproces en de groei van draadvormende organismen, wordt niet ondersteund door fei-

ten. Indien door dit nitrificatieproces de pH van het slib te ver daalt (tot waarden van 5,0 à 5,5) kan echter wel deflocculatie optreden (15).

In sommige industriële afvalstromen is daarentegen sprake van duidelijke tekorten aan N en/of P, c.q. een overmaat aan koolstofverbindingen. De groei van de draadvormende organismen, vaak *S. natans*, type 021N en type 1701, kan dan bestreden worden door de dosering van het element dat "in het minimum" verkeert. Bij zeer extreme N-tekorten (b.v. CZV : N > 297 : 1) groeien de draadvormende organismen ook niet meer (277). Bij deze hoge C/N-verhouding ontstond een soort Zoogloea licht slib. Het zuiveringsrendement van de betreffende rwzi was uiteraard erg laag, omdat volstrekt onvoldoende N beschikbaar was om de aanwezige koolstofverbindingen om te zetten in biomassa. Duidelijke tekorten (BZV : N > 15 à 20 : 1; BZV : P > 150 à 200 : 1; referentie 116) stimuleren dus niet alleen de groei van draadvormende organismen, maar leiden ook tot een lager zuiveringsrendement. Een gering tekort kan meestal nog wel worden opgevangen door de biomassa, omdat een overmaat aan koolstofverbindingen in de vorm van reservestoffen in de cel kan worden opgeslagen. Het slib dat hierbij ontstaat, heeft echter meestal slechtere ontwateringseigenschappen.

3.2.2 *Kwaliteit van de beschikbare koolstofverbindingen en hun deeltjesgrootte*

Het grootste gedeelte van de micro-organismen in actiefslib heeft organische koolstofverbindingen nodig om te kunnen groeien. Deze worden met het influent aangevoerd in een grote verscheidenheid qua chemische samenstelling en deeltjesgrootte.

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat rwzi's, waarin afvalwater wordt behandeld afkomstig van industrieën die agrarische produkten verwerken, erg gevoelig zijn voor het ontstaan van licht slib. Dit kan ten dele verklaard worden uit een gebrek aan N en/of P in sommige soorten afvalwater, daarnaast speelt de aard van de aanwezige organische verbindingen echter ook een rol. Het CZV van dit soort afvalwater bestaat vaak voor een belangrijk gedeelte uit laagmoleculaire verbindingen, die door micro-organismen gemakkelijk opgenomen kunnen worden. Zulke verbindingen stimuleren de groei van veel draadvormende organismen (54, 255). Vooral de enkelvoudige koolhydraten (o.a. glucose) en de organische zuren (o.a. azijnzuur, propionzuur) zijn zeer goede substraten voor veel draadvormende micro-organismen. Twee voorbeelden:

- een calamiteit waarbij in 18 dagen 115 ton aan organische zuren in

- de beluchtingsruimte van een rwzi terecht kwam, ging gepaard, ondanks extra beluchtingsapparatuur en de dosering van stikstof, met een explosieve ontwikkeling van een kleurloze blauwwier (52);
- een lange verblijftijd van brouwerij-afvalwater in een voorbezinkt-tank resulteerde in de vorming van o.a. 96 mg.l^{-1} azijnzuur en 34 mg.l^{-1} propionzuur in het influent van de beluchtingsruimte. Dit ging gepaard met een sterke groei van draadvormende organismen. Gedurende de wintermaanden (geen afbraakprocessen in de voorbezinkt-tank \rightarrow gehalte aan organische zuren $< 10 \text{ mg.l}^{-1}$) verdwenen deze weer (198, 230).

Naast de chemische samenstelling van de voedingsstoffen, is ook de deeltjesgrootte van belang. Een influent bevat zowel opgeloste, als colloïdale en andere gesuspendeerde deeltjes. Alleen opgeloste verbindingen kunnen de celwand passeren; deze kunnen dus direct opgenomen worden door een draadvormend organisme. Een massale groei van deze organismen kan dan ook in veel gevallen bestreden worden, door het creëren van omstandigheden waarbij dit opgeloste substraat daadwerkelijk de vlok kan bereiken (zie paragraaf 3.3).

De niet-opgeloste verbindingen worden daarentegen via adsorptie aan en/of invangen door de slibvlok uit het afvalwater verwijderd (2). De deeltjes worden vervolgens ter plaatse enzymatisch verkleind, waarna de brokstukken opgenomen worden door de micro-organismen. Deze fractie uit het influent wordt dus grotendeels benut door de organismen die in en rondom de slibvlokken aanwezig zijn. In paragraaf 3.3.3.1 zal nog nader worden ingegaan op de substraatopname door actiefslib.

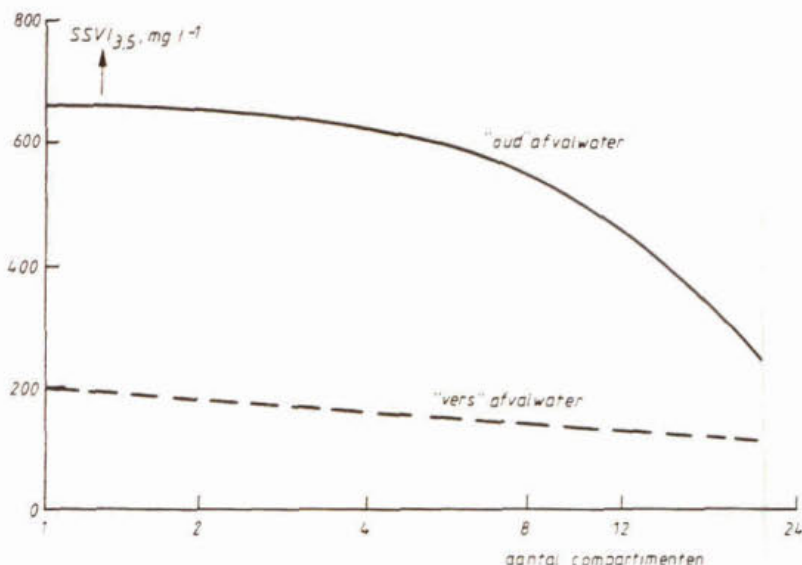
De afwezigheid van een voorbezinktank betekent daarom in beginsel een concurrentievoordeel voor de vlokvormende organismen. Een niet-voorbezonden afvalwater bevat bovendien deeltjes die de vlok verzwaren. Beide factoren kunnen bijdragen tot betere bezinkeigenschappen van het slib. Volgens Wagner (259) komen licht-slibproblemen dan ook nauwelijks voor in rwzi's zonder een voorbezinktank. Deze conclusie correspondeert echter totaal niet met de situatie in Nederland en Zuid-Afrika (22), waar een sterke groei van draadvormende organismen frequent wordt waargenomen in rwzi's zonder een voorbezinktank. In paragraaf 2.3.2.1 is aangegeven dat licht slib in dit soort rwzi's voornamelijk veroorzaakt worden door *M. parvicella* en type 0092. Het gegeven dat beide organismen vaak in en rondom de vlokken aanwezig zijn, kan, in het licht van het voorafgaande, niet als toevallig worden beschouwd. Het type 1701, waarvan is aangetoond

dat het goed kan groeien op complexe substraten (194), groeit eveneens vaak in en rondom de vlokken (116).

3.2.3 leeftijd van het afvalwater

Een lange verblijftijd van het afvalwater in de voorbezinktank, waardoor dit volledig anaëroob wordt ("aangerot"), stimuleert de groei van draadvormende organismen (145, 146, 241, 259). Dit is een gevolg van de omzettingprocessen die onder deze omstandigheden plaatsvinden.

Organische zuren vormen een uitstekend substraat voor sommige draadvormende organismen. In vers, stedelijk afvalwater is de concentratie van dit soort verbindingen in het algemeen laag. Afvalwater dat lang onderweg is voordat het de beluchtingsruimte bereikt - b.v. een lange verblijftijd in het rioolstelsel, in een persleiding of in een voorbezinktank - wordt echter volledig anaëroob. De afbraakprocessen die onder zuurstofloze omstandigheden plaatsvinden gaan gepaard met de produktie van organische zuren. Bovendien wordt bij de afbraak van eiwitten ook H_2S gevormd. Zo steeg bijvoorbeeld tijdens een proef waarbij het afvalwater circa 36 uur werd opgeslagen, het sulfidegehalte van $< 0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ tot 15 mg.l^{-1} (240). Het gehalte aan organische zuren verdrievoudigde in deze periode tot 100 à 150 mg.l^{-1} . Het effect van deze opslag van het afvalwater op de bezinkeigenschappen van het slib, in proef-rwzi's met een variabel aantal compartimenten, is in figuur 4 weergegeven.



Figuur 4. De invloed van aanrotten van afvalwater op de bezinkeigenschappen van slib in proef-rwzi's met een toenemend aantal compartimenten (30).

Sulfiden kunnen door sommige micro-organismen worden geoxydeerd tot sulfaat. Dit levert hen een energiewinst op, die ze vervolgens benutten bij de produktie van celmateriaal, waarvoor ze o.a. de organische zuren als bouwstenen gebruiken. Enkele draadvormende bacteriën (o.a. *Thiothrix*, *Beggiatoa*, type 021N) zijn in staat deze omzetting uit te voeren (270, 271, 272). Sommige *Thiothrix*-stammen groeien zelfs niet indien sulfiden volledig ontbreken. Het aantal organismen dat in staat is om sulfiden te oxyderen is relatief gering, hetgeen impliceert dat er niet zo'n sterke concurrentie is om dit substraat.

In de literatuur worden dan ook diverse voorbeelden (109, 151) genoemd, waarbij de groei van draadvormende organismen direct gerelateerd kon worden aan de aanwezigheid van sulfiden (5-30 ppm) in het influent van de rwzi.

3.2.4 *vervuilingsgraad van het afvalwater*

Over dit onderwerp is niet zo veel bekend. Bij een laboratoriumexperiment werd vastgesteld dat verdunnen van het influent, bij een overigens ongewijzigde slibbelasting (→ kortere verblijftijden van het afvalwater), leidde tot een snellere ontwikkeling van licht slib (191) in rwzi's met een volledige menging. Dit kon verwacht worden (zie paragraaf 3.3.2). Andere onderzoekers concludeerden daarentegen dat draadvormende micro-organismen zich juist niet ontwikkelden indien een rwzi gevoed werd met "dun", voorbezonden afvalwater (BZV: 139 ml.l^{-1}), zelfs niet indien dit afvalwater circa 24 uur zuurstofloos werd opgeslagen voordat het in de beluchtingsruimte werd gebracht (47, 136).

3.2.5 *pH van het afvalwater*

De meeste bacteriën, inclusief de draadvormende, groeien het beste bij een ongeveer neutrale zuurgraad (pH = 6-8). In de literatuur wordt vaak gesteld dat een lage pH van het influent de groei van draadvormende organismen bevordert. Dit betreft eigenlijk alleen de groei van schimmels, omdat deze bij een pH van circa 4,0 juist goed groeien. Schimmels veroorzaken echter vrijwel nooit licht slib in rwzi's met een stedelijk influent.

3.2.6 *aanvoer van draadvormende organismen met het influent*

Alle draadvormende micro-organismen, die bijdragen tot licht slib, hebben zuurstof nodig om te kunnen groeien. Dit betekent dat ze niet of nauwe-

lijks groeien in het rioolstelsel en/of de voorbezinktank. Incidenteel zijn in het influent van een rwzi desondanks veel draadvormende organismen aanwezig. Het betreft dan vrijwel zeker een lozing van effluent, afkomstig uit een andere rwzi met licht slib, op het rioolstelsel (273, 269).

3.3 De invloed van het voedingspatroon

In het begin van de zeventiger jaren verschenen enkele publicaties (43, 100, 186, 237), waarin de veronderstelling werd geuit dat de groei van draadvormende organismen kon worden voorkomen/bestreden door:

- een duidelijke propstroming in de beluchtingsruimte;
- de voorschakeling van een contacttank;
- een volledig discontinue bedrijfsvoering.

Vooral met de laatste procesvoering werden goede resultaten bereikt (242).

Er werd geconcludeerd dat het voedingspatroon van de rwzi in zeer veel gevallen doorslaggevend is bij de competitie tussen vlokvormende en draadvormende organismen in actiefslib. Een volledige menging van het influent met de totale inhoud van de beluchtingsruimte zou de groei van draadvormende organismen stimuleren. Volledig gemengde systemen zijn de laatste decaden op grote schaal gebouwd, omdat dit type rwzi bepaalde voordelen biedt (o.a. opvangen van stootbelastingen, beter bestand tegen de lozing van toxische componenten). In rwzi's zonder deze volledige menging wordt het slib in feite discontinu belast met afvalwater. Deze bedrijfsvoering zou de vlokvormende organismen bevoordelen.

Deze waarnemingen, die door de onderzoekers op dat moment maar ten dele verklaard konden worden, betekenden een doorbraak in het op dat moment eigenlijk volledig vastgelopen onderzoek naar de bestrijding van licht slib. Het idee is sindsdien verder onderzocht en uitgewerkt, hetgeen uiteindelijk geresulteerd heeft in licht-slibbestrijdingsmethoden, die op veel rwzi's met succes kunnen worden toegepast. De diverse aspecten die hiermee samenhangen zullen in deze paragraaf worden besproken. Hierbij zal eerst worden ingegaan op een aantal aspecten die met het voedingspatroon verband houden. De theoretische onderbouwing van de waarnemingen, inclusief de resultaten van het laboratoriumonderzoek met reïncultures van vlokvormende en draadvormende organismen, komt in paragraaf 3.3.5 ter sprake.

Achteraf bezien is het eigenlijk merkwaardig dat het zo lang heeft geduurd voordat de groei van draadvormende organismen in verband werd gebracht met het voedingspatroon. De ontwerpers van de twee belangrijkste modificaties van het actief-slibproces - Ardern en Lockett: conventioneel systeem (rond 1900) en Pasveer: oxydatiesloot (vijftiger jaren) - werkten namelijk oorspronkelijk met discontinu belaste systemen, waarin geen hinder werd ondervonden van licht slib (239).

3.3.1 *substraat-aanbod in de beluchtingsruimte bij diverse voedingspatronen*

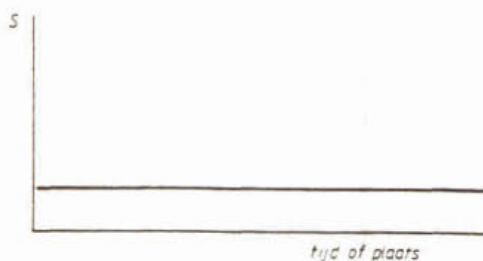
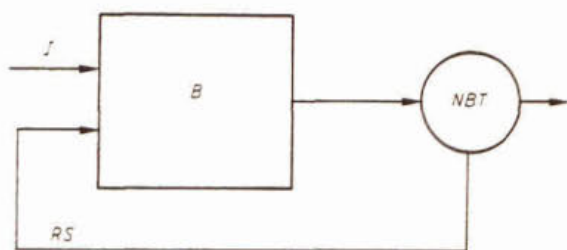
De groei van draadvormende micro-organismen kan alleen worden voorkomen indien een zeer groot gedeelte van het aangevoerde substraat daadwerkelijk door vlokvormende bacteriën wordt opgenomen. Hierbij moet worden benadrukt dat volgens de literatuur hierbij vooral de opgeloste fractie uit het influent van belang lijkt te zijn. Op welke wijze beïnvloedt het voedingspatroon van een rwzi nu de voedselopname door de diverse organismen in de slibpopulatie? Om dit te kunnen begrijpen, dient eerst de voedselconcentratie, tijdens het mengen van influent en (retour) slib, nader te worden beschouwd.

In figuur 5 is een aantal modificaties van het actief-slibproces schematisch weergegeven. In het rechtse gedeelte van deze figuur is de substraatconcentratie, c.q. het verloop hiervan in de beluchtingsruimte, in de diverse modificaties aangegeven.

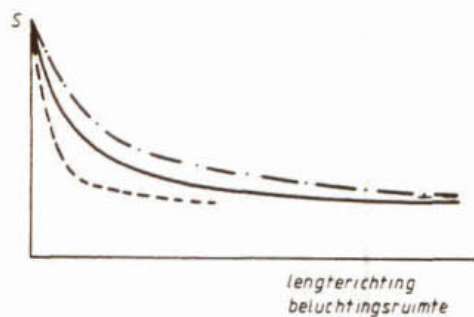
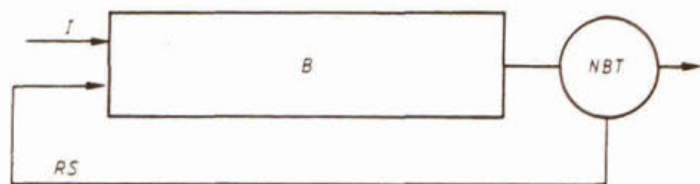
In een rwzi met volledige menging (I) wordt het influent verdund met de volledige inhoud van de beluchtingsruimte. De voedselconcentratie in deze tank is daardoor overal praktisch gelijk en laag (idem het gehalte aan CZV in het effluent). De concentratie wordt hoger naarmate de belasting toeneemt.

In een rwzi met propstroming (II) worden influent en retourslib aan de kopse kant in de langwerpige beluchtingsruimte gebracht. Het verdunnings-effect is daardoor veel kleiner. In het eerste gedeelte van de tank is een duidelijk verhoogd substraatgehalte aanwezig, dat daalt naarmate het voedsel opgenomen wordt door de vlok. Er ontstaat op deze wijze een substraatgradiënt in de lengterichting van de tank. Het verloop van deze gradiënt is afhankelijk van het voedselniveau tijdens het mengen en de snelheid waarmee de micro-organismen dit voedsel opnemen. Een en ander kan per rwzi aanmerkelijk verschillen. In figuur 5-II zijn daarom verschillende gradiënten getekend.

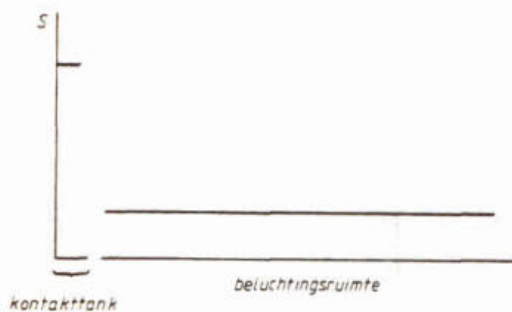
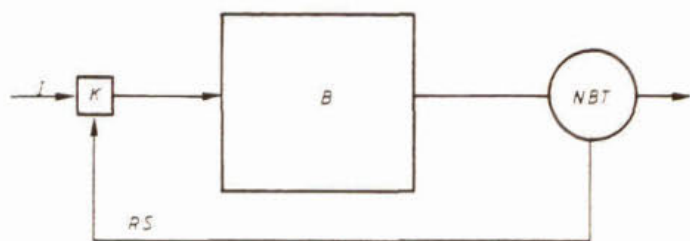
I rwzi met volledige menging



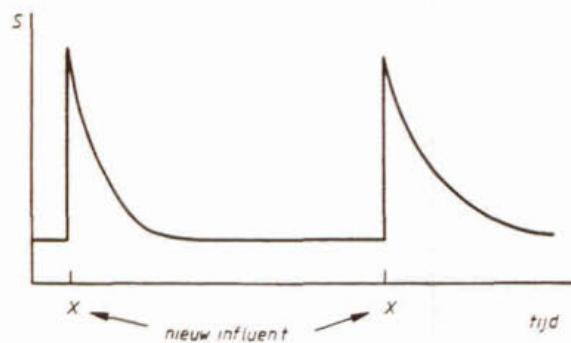
II rwzi met propstroming



III rwzi met een contacttank



IV Fill-and-draw rwzi; cyclus: vullen - beluchten - bezinken - effluent afdalen - vullen, enz. Volledige proces dus in één tank.



Figuur 5. De invloed van de manier van influent doseren (links) op de substraatconcentratie in de beluchtingsruimte (rechts).
 I: influent; RS = retourslib; B: beluchtingstank; NBT: nabezink-tank; c = contacttank; S: voedselconcentratie.

Overigens staan de oxydatiesloot en de daarvan afgeleide carrousel qua mengpatroon dicht bij een rwzi met volledige menging dan bij een rwzi met propstroming.

In modificatie III wordt het influent niet direct in de beluchtingsruimte gebracht, maar eerst in een aparte, zogenaamde contacttank gemengd met retourslib. Na een korte verblijftijd (5-15 min.) in deze tank wordt het mengsel in de eigenlijke beluchtingsruimte gebracht, waar een sterke verdunning plaatsvindt. Deze procesvoering impliceert een hoge substraatconcentratie in de contacttank en een laag niveau in de beluchtingsruimte.

In een zogenaamde fill-and-draw rwzi (IV) wordt een volledig discontinue bedrijfsvoering toegepast. Het totale zuiveringsproces speelt zich af in één tank. In dit voorbeeld wordt het influent steeds in zeer korte tijd toegevoegd. Direct na de toevoer van influent is de substraatconcentratie hoog. Deze daalt tijdens het beluchten. Na verloop van tijd wordt de beluchting stopgezet. Het slib bezinkt, waarna het bovenstaande water (effluent) verwijderd kan worden. Vervolgens wordt weer rioolwater toegevoegd, enz. De oxydatiesloot werkte oorspronkelijk volgens dit principe. De laatste jaren is sprake van een groeiende belangstelling voor rwzi's met een discontinue bedrijfsvoering omdat deze systemen enkele voordelen bieden; o.a. meer mogelijkheden om licht slib te voorkomen (33).

In een fill-and-draw rwzi is dus, net als in een tank met propstroming, sprake van een substraatgradiënt.

De systemen II t/m IV, die alle drie in beginsel geschikt zijn om de massale groei van draadvormende organismen te voorkomen/te bestrijden, hebben dus gemeen dat de voedselconcentratie periodiek, en vaak maar voor een korte tijd, hoog is. Voor de micro-organismen in actiefslib betekent dat het volgende.

In een rwzi met volledige menging is de voedselconcentratie permanent laag. Onder deze omstandigheden geldt (zie paragraaf 3.1.2) voor de meeste groeibeperkende substraten: $S < K_s$. Dit betekent dat de organismen met de laagste K_s -waarden in een gunstige concurrentiepositie verkeren en dus het snelst groeien. Deze zullen daarom gaan domineren in de populatie.

Een bedrijfsvoering waarbij periodiek sprake is van een hoog substraatniveau, gevolgd door een lange periode zonder extern voedsel, betekent, vanuit de micro-organismen bezien, een enorm verschil. Periodiek geldt

gedurende een korte tijd: $S \gg K_s$! Binnen de populatie gelden nu totaal andere selectiecriteria zoals:

- de maximale groeisnelheden tijdens dit grote voedselaanbod;
- het vermogen om snel reservestoffen op te slaan (het hamsteren van voedsel);
- de energiebehoefte van de individuele organismen tijdens de lange periode zonder substraat toevoer.

Er is in eerste instantie proefondervindelijk vastgesteld dat op deze wijze de vlokvormende organismen bevoorreed worden. Het selectieproces binnen de gemengde populatie wordt dus beïnvloed door het voedingspatroon. Voor het eerste gedeelte van de beluchtingsruimte van een rwzi met propstroming werd daarom de term selector ingevoerd (41). Een contact-tank, een term die door Pasveer werd geïntroduceerd (100), is dus een selector die vóór de eigenlijke beluchtingsruimte is geplaatst. Overigens zijn ook modificaties toegepast waarbij twee of meer kleine contacttanks in serie werden geschakeld, vóór de eigenlijke beluchtingsruimte.

De aanwezigheid van een selector garandeert echter niet dat de groei van draadvormende micro-organismen voorkomen/bestreden kan worden. Kennelijk is een verhoogd voedselniveau alleen niet voldoende en moet daarnaast nog aan andere voorwaarden worden voldaan. Onderzoek heeft uitgewezen dat de volgende factoren hierbij van belang zijn:

- de hoogte van het substraatniveau;
- de snelheid waarmee de biomassa het substraat opneemt;
- de tijd die voor de biomassa beschikbaar is om het opgenomen substraat af te breken;
- de zuurstofvoorziening in de selector.

Bij dit laatste moet onderscheid worden gemaakt tussen aërobe (= O_2 aanwezig), anoxische (= geen O_2 , maar wel NO_3^- aanwezig) en anaërobe (geen O_2 of NO_3^- beschikbaar) omstandigheden in de selector. Pasveer bijvoorbeeld (100), paste een anoxische selector toe, bij de experimenten van Chudoba et al. (43) was daarentegen sprake van aërobe condities in de selector. Dit is een zeer wezenlijk verschil waarop in paragraaf 3.3.6 nader wordt ingegaan. De informatie die in de tussenliggende paragrafen wordt gegeven heeft voornamelijk betrekking op selectie onder aërobe condities.

3.3.2 invloed van het substraatniveau in een aërobe selector

Een verhoogd substraatniveau betekent dat het voedselaanbod ter plaatse niet langer de groeilimiterende factor vormt. Zowel de draadvormende als de vlokvormende organismen zullen uit deze voorraad putten. Het is vastgesteld (zie paragraaf 3.3.5) dat de vlokvormers onder deze omstandigheden niet alleen sneller groeien, maar vooral ook het substraat sneller kunnen opslaan dan de draadvormers. Deze eigenschappen kunnen ze echter alleen benutten indien daadwerkelijk sprake is van een grote overmaat aan substraat. De draadvormende organismen zullen opnemen wat zij maximaal kunnen verwerken, al het overige staat ter beschikking van de vlok. Dit betekent dat het voedselaanbod in de selector boven een bepaald minimumniveau moet liggen (100).

De opnamecapaciteit van de vlokvormende organismen is echter ook niet ongelimiteerd. Indien deze duidelijk overschreden wordt zal, indien de selector uit een contacttank bestaat (met een begrensde verblijftijd), een deel van het aangevoerde substraat alsnog de beluchtingsruimte bereiken en daar verdund worden. In een rwzi met propstroming zal de gradiënt langer worden hetgeen de draadvormende organismen ook mogelijkheden biedt om te veel substraat op te nemen.

Het voedselaanbod mag dus niet te laag, maar ook niet te hoog zijn (56).

Voor het karakteriseren van het voedselniveau in de selector wordt vaak de term "vlokbelading" gebruikt (100). Deze kan als volgt berekend worden:

$$\text{vlokbelading (I)} = \frac{Q_I \times \text{CZV}_I}{Q_{RS} \times \text{DS}_{RS}} \quad (\text{mg CZV/g droge stof}) \quad [1]$$

Hierin zijn I en RS respectievelijk influent en retourslib. Q is het debiet en DS het drogestofgehalte. In deze formule is geen rekening gehouden met de rest-CZV die uiteindelijk met het effluent geloosd wordt.

Correctie hiervoor leidt tot:

$$\text{vlokbelading (II)} = \frac{(\text{CZV}_I - \text{CZV}_E) Q_I}{Q_{RS} \times \text{DS}_{RS}} \quad (\text{mg CZV/g droge stof}) \quad [2]$$

Hierin is E het effluent.

De verschillen tussen de vlokbeladingen I en II zijn overigens meestal klein. Omdat in de diverse referenties vaak niet duidelijk is vermeld

welke vlokbelading wordt bedoeld, wordt in dit rapport ook geen onderscheid gemaakt tussen I en II.

In een vorige publicatie van de STORA over licht slib (57) werd gesteld, op basis van een beperkt aantal gegevens, dat het vlokbeladingsniveau waarschijnlijk tussen 50 en 150 mg CZV.g droge stof⁻¹ zou moeten liggen om de groei van draadvormende organismen te voorkomen. De resultaten die in tabel 7 zijn vermeld bevestigen deze veronderstelling grotendeels. Alleen bij een laag (20-30 mg CZV.g droge stof⁻¹) en een hoog vlokbeladingsniveau (200 mg CZV.g droge stof⁻¹) kon de groei van draadvormende organismen niet worden voorkomen, door de aanwezigheid van een selector. Overigens is de hoeveelheid beschikbaar CZV bij de verschillende onderzoeken uit tabel 7 niet steeds op dezelfde manier bepaald. Bij sommige proeven werd het vlokbeladingsniveau berekend op basis van het opgelost CZV, bij andere proeven omvatte de vlokbelading tevens een bepaald percentage moeilijk affiltreerbaar, maar niet echt opgelost materiaal (grotere colloïdale deeltjes).

vlokbelading (mg CZV.g droge stof ⁻¹)	SVI (ml.g ⁻¹)	soort afvalwater	referentie
200	hoog	synthetisch	168
20	laag ¹⁾	"	168
120-150	laag	stedelijk	163
62	"	"	100
80-120	"	"	136
60	"	aardappelind.	193
30	stijgt	"	193
125	laag	zuivel	189/190
60	"	"	189/190

Tabel 7. Invloed van het vlokbeladingsniveau op de SVI in proef-rwzi's met korte verblijftijden (ca. 10 min.) in de selector.

¹⁾ eerst laag, daarna hoog, vervolgens dalend tot een laag, stabiel niveau.

Het voorafgaande betrof steeds het voedselniveau in een duidelijk van de beluchtingsruimte gescheiden selector. In een rwzi met propstrooming (→ een soort ingebouwde, maar ruimtelijk niet scherp begrensde selector

in het eerste gedeelte van de beluchtingsruimte) is een substraatgradiënt aanwezig. Deze wordt meestal berekend door het CZV van de vloeistoffase voorin de beluchtingsruimte te verminderen met het CZV van het effluent. De gradiënt wordt uitgedrukt in mg CZV.l^{-1} . In tabel 8 worden enkele waarden voor deze gradiënt gegeven, waarbij de groei van draadvormende organismen kon worden voorkomen. Wanneer de gradiënt gedeeld wordt door het drogestofgehalte in de beluchtingsruimte, verkrijgt men een waarde die enigszins met het vlokbeladingsniveau vergeleken kan worden. Indien een drogestofgehalte van 2 g.l^{-1} wordt aangenomen, dan zou een gradiënt van $40 \text{ à } 60 \text{ mg CZV.l}^{-1}$ corresponderen met een vlokbelading van $20 \text{ à } 30 \text{ mg CZV.g droge stof}^{-1}$. In een contacttank kan de groei van draadvormende organismen met dit vlokbeladingsniveau niet altijd worden voorkomen (zie tabel 7). Een propstromingsconfiguratie lijkt dus in beginsel toch nog wat meer mogelijkheden te bieden om de groei van draadvormende organismen te voorkomen/te bestrijden dan een contacttank, omdat in dit laatste systeem het "substraatoverschot" abrupt verdwijnt zodra het mengsel een beluchtingsruimte met volledige menging bereikt.

gradiënt (mg CZV.l^{-1})	opmerkingen	referentie
> 64	industrieel afvalwater	68
> 50 ¹⁾	synthetisch afvalwater	34
35-50	stedelijk afvalwater; opgeloste CZV	163
30-230	opgeloste CZV; literatuurstudie	163

Tabel 8. Substraatgradiënten waarbij geen licht slib ontstond.

1) mg TOC.l^{-1} ; aangenomen dat de TOC van het effluent circa 30 mg.l^{-1} bedroeg

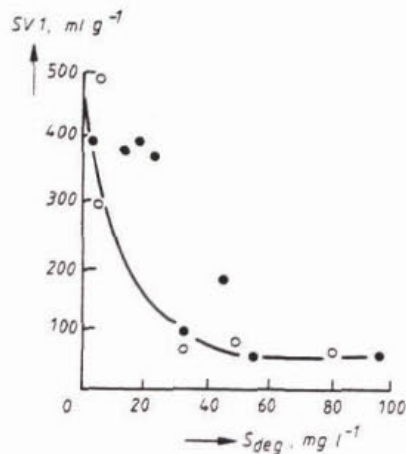
Er is nogal wat terechte kritiek op de term "vlokbelading", omdat hiermee het substraatniveau in de selector onvoldoende gedefinieerd wordt. De factor tijd ontbreekt in de berekeningswijze. Het is daarom geen belading of belasting, maar een soort verhouding, die aangeeft hoeveel substraat in beginsel per eenheid per biomassa beschikbaar is. De vlokbeladingen bij verschillende experimenten kunnen daarom alleen onderling vergeleken worden indien de verblijftijd in de selector bij de diverse proeven gelijk is. De vlokbelading kan gebruikt worden voor berekeningsdoeleinden

(opnamepercentages en dergelijke). Voor het definiëren van het werkelijke substraatniveau in een selector kan echter het beste de conventionele slibbelasting (in g CZV.g droge stof⁻¹.dag⁻¹) worden gebruikt. In de literatuur (136, 163) worden voor een effectieve selector slibbelastingen van 15-22 en > 20 g CZV.g d.s.⁻¹.dag⁻¹ genoemd. Voor een BZV slibbelasting van de selector wordt een waarde van 0,75-1,25 g BZV.g d.s.⁻¹.dag⁻¹ vermeld (277). De omrekening van het hiervoor genoemde vlokbeladingsniveau van 50-150 mg CZV.g droge stof⁻¹ leidt, uitgaande van een verblijftijd van 10 minuten in de contacttank, tot een slibbelasting van 7-21 g CZV.g d.s.⁻¹.dag⁻¹. Dit zijn zeer hoge belastingen, die duidelijk illustreren dat in de selector een soort substraatstresscondities gecreëerd moeten worden om de samenstelling van de vlokpopulatie te kunnen beïnvloeden. Overigens kunnen deze slibbelastingen niet vergeleken worden met die in de eerste trap van tweetraps zuiveringsinrichtingen, waarin de slibbelasting permanent hoog is. Het slib uit een rwzi met een selector wordt uitgesproken discontinu blootgesteld aan deze belastingen.

Voor een effectieve selector geldt zelfs dat meer substraat aanwezig moet zijn dan de micro-organismen kunnen opnemen (39). Oorspronkelijk werd verondersteld (60) dat minimaal 50% van het aangevoerde substraat moest worden opgenomen tijdens het verblijf in de selector, een veel hoger percentage werd echter nog effectiever geacht. Bij enkele laboratoriumonderzoeken werd bevestigd dat een opnamepercentage < 50% leidt tot licht slib (168), met een opname van 50-60% kon de groei van draadvormende organismen worden voorkomen (163). In een recente publicatie (39) wordt echter aangetoond dat een praktisch volledige verwijdering van het substraat tijdens het verblijf in de selector niet effectief is (zie figuur 6). In de afloop van de contacttank moet volgens deze auteur nog minimaal 30 mg CZV.l⁻¹ aan opgelost, afbreekbaar substraat aanwezig zijn, om de groei van draadvormende organismen te voorkomen. Dit is minder vreemd dan het op het eerste gezicht misschien lijkt. Een praktisch volledige opname kan alleen worden bereikt door de belasting van de selector te verlagen, via een langere verblijftijd in deze tank of door een lagere vlokbelading (57). Een duidelijk overschot aan substraat betekent bovendien dat dit voedsel, via diffusieprocessen, diep in de vlok zal doordringen, waardoor meer vlokvormende organismen betrokken worden bij de verwijdering van het substraat.

In figuur 6 is aangegeven dat zelfs met een gehalte van 80-100 mg CZV.l⁻¹ aan afbreekbaar substraat in de afloop van de selector nog lage waarden

van de SVI werden gerealiseerd. Deze waarden betroffen echter een experiment waarbij de selector uit een aantal in serie geschakelde tankjes bestond. Het resterende afbreekbaar substraat werd in het tweede compartiment van de selector praktisch volledig opgenomen en bereikte dus niet de beluchtingsruimte.



Figuur 6. Verband tussen de SVI en het gehalte aan opgelost, afbreekbaar substraat (= S_{deg}) in de afloop van de contacttank (39)

o: Chudoba et al. (41, 43); kunstmatig afvalwater;
 ·: Lee et al. (136); stedelijk afvalwater.

3.3.2.1 het verband tussen de SVI en het dispersienummer van de beluchtingstank

Oorspronkelijk werd bij deze methode van licht-slibbestrijden vooral de nadruk gelegd op de aanwezigheid van een duidelijke substraatgradiënt, c.q. de mate van propstroming in de aëratietank (43, 186, 242). Pas later groeide het inzicht dat niet zozeer deze factor, maar de hiermee samenhangende slibbelasting in de selector de sleutelfactor vormde.

In een rwzi met propstroming worden influent en retourslib aan de "kopse" kant in de beluchtingsruimte gebracht. Het mengsel doorstroomt vervolgens de tank. Het is hierbij echter niet volledig van de omgeving gescheiden, het mengsel doorstroomt de tank dus niet echt als een denkbeeldige "prop". Er treedt vermenging met de omringende vloeistof op; naarmate deze sterker is neemt het propstromingskarakter van de tank af. Het dispersienummer van een tank is een maat waarmee de mate van propstroming aangegeven kan worden. In een rwzi met volledige menging is dit dispersienummer oneindig groot. Bij een volledig discontinue bedrijfsvoering (een fill-and-draw rwzi) is het dispersienummer zeer klein (in theorie zelfs nul).

Overigens kan men de mate van propstroming niet zonder meer afleiden uit de vorm van de beluchtingsruimte. Het propstromingskarakter van een langwerpige tank kan grotendeels teniet worden gedaan door b.v. een te groot retourslibdebiet (30), of door menging ten gevolge van het beluchtingsproces. De bepaling van het dispersienummer, met behulp van een traceronderzoek, is daarom noodzakelijk indien men de mate van propstroming in een tank wil vaststellen (242).

Een laag dispersienummer van een tank wil dus zeggen dat meestal een duidelijke substraatgradiënt aanwezig zal zijn. Het substraatniveau "aan de kop" van de beluchtingsruimte (i.e. het selectorgedeelte van de tank) zal hoog zijn. Er zal daarom een verband bestaan tussen het dispersienummer en de SVI. In tabel 9 zijn enige gegevens uit de literatuur over dit onderwerp vermeld. De massale groei van draadvormende organismen kon alleen worden voorkomen in tanks met een dispersienummer $< 0,2$. Met een zeer sterk aangerot afvalwater werd het beoogde resultaat niet echt gerealiseerd, ondanks een dispersienummer van 0,023.

dispersienummer	SVI (ml.g ⁻¹)	opmerkingen	referentie
∞	517	kunstmatig	43
1,06	300	afvalwater	"
0,17	91		"
0,033	51		"
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
0,72	680	sterk aangerot	30
0,128	640	afvalwater	"
0,041	480		"
0,023	250		"
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
$< 0,06$	laag	praktijk rwzi's	238/242
0,386-0,649	geen verband	stedelijk afvalwater	136
$< 0,140$	laag	kunstmatig afvalwater	277

Tabel 9. De invloed van het dispersienummer op de bezinkeigenschappen van het slib.

3.3.3 *substraatopname door de vlok*

In de vorige paragraaf werd benadrukt dat in de selector een hoog substraatniveau moet worden gehandhaafd, om een grote substraatopname door de vlokvormende organismen te kunnen bewerkstelligen. Wat er in de vlok gebeurt, op welke wijze de substraatopname(snelheid) door de vlok beïnvloed wordt door de hoeveelheid beschikbaar voedsel en hoe verschillende componenten/fracties, aanwezig in afvalwater, worden opgenomen wordt in deze paragraaf behandeld.

3.3.3.1 verwijderingsmechanismen

Het influent van een rwzi bevat zowel opgeloste verbindingen, als colloïdale en andere gesuspendeerde deeltjes. Voor stedelijk afvalwater geldt dat circa 40% van het BZV van het ruwe afvalwater uit opgeloste componenten bestaat (210). De opgeloste verbindingen enerzijds en de niet-opgeloste fractie anderzijds worden via verschillende mechanismen uit de waterfase opgenomen.

De niet-opgeloste fractie wordt opgenomen via adsorptie aan en/of invangen door de vlok. Deze fysisch-chemische verwijdering is niet O_2 -afhankelijk. Sommige verbindingen kunnen zeer snel (binnen 1 minuut) praktisch volledig geadsorbeerd worden. De niet-opgeloste verbindingen worden het beste verwijderd in een langzaam groeiend, weinig turbulent systeem (2). Een sterke turbulentie kan het loslaten van geadsorbeerde deeltjes veroorzaken. Dit is de reden waarom voor de behandeling van een afvalwater met veel gesuspendeerd materiaal het contactstabilisatieproces wordt aanbevolen (124).

De adsorptie wordt gevolgd door hydrolyse van de gebonden deeltjes. Bij dit proces worden de deeltjes enzymatisch verkleind tot verbindingen die door de cel opgenomen kunnen worden. Ook voor deze hydrolyseprocessen is geen zuurstof nodig, hetgeen betekent dat ze b.v. ook nog in de nabezinktank kunnen plaatsvinden. Misschien is dit de verklaring voor het soms wel gesuggereerde verband tussen een lange verblijftijd in de nabezinktank en de groei van draadvormende organismen. De hydrolyseprocessen kunnen snel verlopen. De opname van de geproduceerde, laagmoleculaire verbindingen vormt meestal de snelheidsbeperkende stap (2).

Opgeloste verbindingen kunnen direct opgenomen worden door de cellen. Dit betreft een actief biologisch proces. Aërobe organismen zijn hiertoe alleen in staat in aanwezigheid van O_2 . Eventueel kan voor sommige organis-

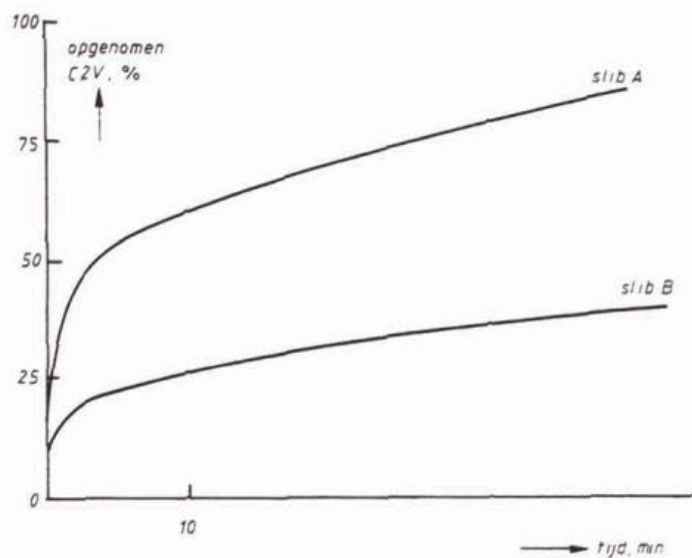
men ook nitraat als zodanig fungeren. Het opgenomen substraat wordt in de cel verwerkt tot o.a. celmateriaal en reservestoffen.

Het is niet helemaal duidelijk in hoeverre adsorptieprocessen daarnaast ook een rol spelen bij de verwijdering van het opgelost substraat. Volgens sommige onderzoekers (o.a. 108) is de bijdrage van fysisch-chemische processen hieraan nihil. In referentie 210 wordt echter gesteld dat slib uit een hoog-belaste rwzi 40 mg glucose en 3-10 mg aan organische zuren per gram slib kon opnemen via adsorptie. Ook het duidelijke verband tussen de vlokbelading en de biosorptie (= opname door de vlok in mg CZV.g biomassa⁻¹), suggereert dat fysisch-chemische processen wel degelijk van belang zijn bij de opname van opgelost substraat door de vlok (57). Mogelijk speelt bij hoge vlokbeladingen het verder doordringen van het substraat in de vlok ook een rol. Hoe het ook zij, bij een overmaat aan beschikbaar substraat vormt de snelheid waarmee het voedsel in de cel verwerkt kan worden de snelheidsbepalende stap.

Er is niet veel bekend over de substraatopname(snelheid) bij lage voedselconcentraties in volledig gemengde systemen. Het is een praktijkgegeven dat het afbreekbare substraat vaak snel uit de waterfase verdwijnt; binnen 20 à 30 minuten (44).

Bij een hoge vlokbelading wordt een deel van het beschikbare CZV binnen 1 minuut, na het mengen van slib en afvalwater, gebonden door de vlok. De hoeveelheid die zo gebonden wordt is afhankelijk van de kwaliteit van het slib en van de vlokbelading. De vlok neemt meer op naarmate de vlokbelading hoger is. Vrijwel alle slibben, dus ook die uit volledig gemengde systemen, blijken over deze eigenschap te beschikken (57, 210, 233). Het zuurstofverbruik van de vlok houdt geen gelijke tred met deze momentane opname, hetgeen betekent dat de opgenomen voedingsstoffen in de vlok opgeslagen worden (210, 234). De vlok wordt als het ware momentaan verzadigd met substraat. De verdere opname uit de vloeistoffase wordt bepaald door de snelheid waarmee het gebonden substraat in de cellen verwerkt kan worden en verloopt daardoor veel trager. Er ontstaat een opnamepatroon, waarvan in figuur 7 enkele voorbeelden worden gegeven. In deze figuur is de CZV-verwijdering door twee slibben weergegeven, die onderling aanmerkelijk verschillen qua opnamecapaciteit. Slib A neemt in 10 minuten ruim 60% van het beschikbare CZV op. Dit impliceert dat bij dit slib de groei van draadvormende organismen vrijwel zeker voorkomen kan worden door de toepassing van een selector. Slib B heeft een veel lagere opnamecapaciteit (circa 25% in 10 min.). Het effect van een selector zal daarom be-

perkt zijn, tenzij de aanwezigheid van zo'n selector, na verloop van tijd, leidt tot een aanmerkelijke stijging van de snelheid waarmee dit slib substraat kan opnemen.



Figuur 7. Opnamepatroon van substraat bij een hoge vlokbelading.

3.3.3.2 de invloed van een aërobe selector op de substraatopname(snelheid) door actiefslib

Bij een groot aantal onderzoeken is de laatste jaren vastgesteld dat een discontinu voedingspatroon daadwerkelijk leidt tot een grotere substraatopnamesnelheid door actiefslib (28, 29, 34, 39, 68, 108, 136, 255). Hierbij gaat het niet om een grotere adsorptie van opgelost materiaal, maar om een actief opnameproces. De helling van de lijnen uit figuur 7 neemt dus toe. Veel van deze proeven zijn uitgevoerd met een kunstmatig afvalwater met één of meer koolstofverbindingen. In tabel 10 wordt een voorbeeld gegeven van de resultaten van zo'n onderzoek. De verschillen zijn opmerkelijk.

Bij proeven met glucose als substraat werd vastgesteld dat het slib uit een discontinu systeem in totaal 600-750 mg glucose per gram slib kon opnemen. De opnamecapaciteit van slib uit een volledig gemengd systeem, met een gelijke slibbelasting, was vrijwel nihil. Dit laatste slib kon 174 mg glucose per gram slib opnemen, indien het eerst 6 uur belucht werd zonder voeding (28). Dit betekent dat naast de opnamesnelheid ook de opnamecapaciteit wordt beïnvloed door het voedingspatroon.

substraat	belasting rwzi		eenheid
	discontinu	continu	
nutriënt broth	1,10	0,70	mg eiwit.g droge stof ⁻¹ .min ⁻¹
glucose	2,96	0,33	mg glucose " " "
acetaat	7,45	2,75	mg CZV " " "
zetmeel	3,20	0,43	mg zetmeel " " "
caseïne	0,25	0,15	mg eiwit " " "

Tabel 10. De invloed van het voedingspatroon op de substraatopnamesnelheid door actiefslib (255).

De kinetiek van de substraatopname, met stedelijk afvalwater als influent, is bestudeerd door Van Niekerk (163). Hij stelde vast dat de substraatopname, onafhankelijk van het voedingspatroon, met een eerste orde reactie beschreven kon worden, tot 70 à 80% van het beschikbare CZV verwijderd was uit de waterfase:

$$\frac{dS}{dt} = - K_1 \cdot X_0 \cdot S$$

Hierin zijn S en S₀ respectievelijk de nog aanwezige en de oorspronkelijke substraatconcentratie (in mg opgelost CZV.l⁻¹). X₀ is het oorspronkelijke slibgehalte (in g organische stof.l⁻¹). K₁ is de eerste orde snelheidsconstante (l.g⁻¹.min⁻¹) en t is de tijd in minuten. Voor K₁ werden de volgende waarden gemeten:

- rwzi met 2 contacttankjes in serie : K₁ = 15,4 l.g⁻¹.min⁻¹.10³
- fill-and-draw rwzi : K₁ = 15,8 " " "
- volledig gemengde rwzi : K₁ = 3,9 " " "

Het is opmerkelijk dat de opgelost-CZV-opnameconstante van slib uit een rwzi met een aparte selector vrijwel gelijk was aan die van slib uit een fill-and-draw rwzi. De substraatverwijderingssnelheid door slib uit een volledig gemengd systeem bleef hier ver bij achter.

De invloed van het voedingspatroon op de verwijderingssnelheid van grotere deeltjes is nog slechts in beperkte mate onderzocht. Niet-opgeloste deeltjes ("particulate substrate", scheiding door filtratie over 0,45 µm) werden niet sneller opgenomen door slib uit een rwzi met een selector

(163). Het voedingspatroon bleek daarentegen wel invloed te hebben op de verwijderingssnelheid van zetmeel en caseïne (255), produkten die ook niet direct door de cel opgenomen kunnen worden. Ze worden eerst geadsorbeerd, vervolgens enzymatisch verkleind en daarna opgenomen. In tabel 11 zijn de resultaten vermeld van een proef waarbij twee slibben (alleen slib A was afkomstig uit een rwzi met een selector) *vice versa* gemengd werden met het afvalwater waarmee ze normaal gevoed werden.

	vlokbelading mg CZV.g d.s. ⁻¹	tijd min.	biosorptie mg CZV.g d.s. ⁻¹	opgenomen %
slib A + influent A	123	1	80	65
		10	104	85
		30	107	96
slib A + influent B	50	1	20	39
		10	46	92
		30	47	93
slib B + influent B	37	1	5	13
		10	13	36
		30	13	36
slib B + influent A	91	1	14	15
		10	22	24
		30	33	27

Tabel 11. Biosorptie door twee soorten actiefslib, waarbij deze ook gemengd werden met "elkaars" afvalwater.

Slib A was afkomstig uit een rwzi met een selector.

De vlokbelading bij deze proef werd berekend op basis van het CZV van het afvalwater, nadat de grotere deeltjes via centrifugeren, bij een lage snelheid (1500 x g, 3 min.), waren verwijderd. Dit betekent dat de colloïdale fractie in elk geval nog aanwezig was. Slib A nam zowel met influent A als met influent B binnen 10 minuten circa 90% van het beschikbare CZV op. De opnamepercentages door slib B waren veel lager. Dit kan alleen maar betekenen dat een slib uit een rwzi met een selector niet alleen opgelost substraat snel op kan nemen, maar dat het ook in staat is

grotere deeltjes sneller op te nemen. Dit is ook niet zo vreemd omdat de adsorptiesnelheid (en colloïdale deeltjes worden vooral via dit mechanisme verwijderd uit de waterfase) mede bepaald wordt door de snelheid waarmee de cellen de produkten, die na de hydrolyse ontstaan, kunnen verwerken (2).

3.3.3.3 de invloed op de ademhalingssnelheid van het slib

Aërobe micro-organismen hebben zuurstof nodig voor de verwerking van de beschikbare voedingsstoffen. De ademhalingssnelheid van actiefslib neemt daarom vrijwel direct toe, zodra substraat wordt toegevoegd. De ademhalingssnelheid van slib uit een rwzi met een selector stijgt echter tot een veel hoger niveau dan dat van slib uit een volledig gemengd systeem (34, 108, 255). Een selector leidt kennelijk tot een populatie die veel beter in staat is snel een overmaat aan substraat te verwerken. Zo werd bij proeven met een stedelijk afvalwater (163) vastgesteld dat, bij een vlokbelading van 200 mg CZV.g organische stof⁻¹, de ademhalingssnelheid steeg van ca. 5 tot 25 à 30 (slib uit een volledig gemengd systeem) en tot 60 à 70 (slib uit een rwzi + selector) mg O₂.g organische stof⁻¹.uur⁻¹. Dit is een fors verschil. Ook in het verdere verloop van de ademhalingssnelheid waren er aanmerkelijke verschillen tussen de beide systemen. De ademhalingssnelheid van het slib uit het volledig gemengde systeem begon heel geleidelijk te dalen, nadat het opgeloste CZV bijna volledig was opgenomen door het slib. Het slib uit de rwzi met de selector reageerde daarentegen met een zeer abrupte daling van het zuurstofverbruik (van 60-70 tot circa 30 mg O₂.g org.stof⁻¹.uur⁻¹ binnen enkele minuten), zodra het substraat voor een belangrijk gedeelte was opgenomen. De verdere daling van de ademhalingssnelheid verliep geleidelijk, net als bij het slib uit de volledig gemengde reactor. Overigens werd deze piek in het zuurstofverbruik niet waargenomen, als de voeding bestond uit verbindingen die eerst buiten de cel gehydrolyseerd moeten worden, zoals zetmeel en caseïne (255). Ook bij voeding met zuivelafvalwater werd zo'n duidelijke versnelling van de ademhalingssnelheid niet waargenomen (68).

3.3.3.4 vorming van reservestoffen

Uit het zuurstofverbruik door het slib kan worden berekend hoeveel van het opgenomen voedsel daadwerkelijk is afgebroken tot H₂O + CO₂. Zeer globaal kan worden gesteld dat 50% van het beschikbare substraat wordt gebruikt voor de produktie van celmateriaal. Het resterende percentage

wordt verademd. Een deel van het opgenomen substraat is nog niet verwerkt tot nieuwe cellen, maar ligt opgeslagen in cel indien dit laatste percentage duidelijk beneden 50% blijft terwijl het beschikbare voedsel al uit de waterfase is verdwenen.

Bij proeven met glucose als koolstofbron werd vastgesteld dat tijdens de substraatopname, door slib uit een fill-and draw rwzi, slechts 13% van het opgenomen voedsel werd verademd (108). Dit duidt op een forse opslag van reservestoffen in de cellen. Nu is glucose een merkwaardigekoolstofbron. Veel micro-organismen kunnen dit snel accumuleren (= opslaan), waardoor het zeer de vraag is of deze verbinding wel representatief is voor de koolstofverbindingen in stedelijk afvalwater (28). Bij proeven met andere koolstofbronnen, waaronder stedelijk afvalwater, werd echter ook vastgesteld dat een deel van het opgenomen substraat in de cel werd opgeslagen (34, 163). De zuurstofopname in een selector bij een rwzi van een suikerfabriek vertoonde hetzelfde beeld (128). In de selector (verblijftijd: 10 min.) werd 93% van het opgeloste CZV verwijderd, er werd echter slechts 7% verademd. De volledige balans wordt in tabel 12 gegeven. Bij een ander praktijkexperiment werd vastgesteld dat de installatie van een selector inderdaad leidde tot een toename van de opslagcapaciteit (85). Het is niet helemaal duidelijk in welke vorm dit opgenomen voedsel wordt opgeslagen. Met speciale microbiologische kleuringsreacties kon worden aangetoond dat de vorming van reservestoffen hierbij een rol speelde (163). Volgens anderen wordt een gedeelte echter ook in ongewijzigde vorm opgeslagen. Het vormt een soort "pool" waaruit de cel kan putten (28, 90).

	selector	aëratietank	totaal
CZV-opgenomen	20,4	5,8	26,2
CZV-verademd	1,6	13,8	15,4
CZV-vastgelegd	18,8	-8,0	10,8

Tabel 12. Balansstudie (in kg O₂.dag⁻¹) naar de opname en de verademing van het substraat (128).

3.3.3.5 veranderingen van de vlokpopulatie

De aanwezigheid van een selector leidt dus tot een duidelijk andere stofwisseling van het slib. De vraag doet zich voor of dit een gevolg is van een aanpassing van de aanwezige micro-organismen aan de gewijzigde omstandigheden, of van een verschuiving binnen de populatie van vlokvormende micro-organismen. Het voedingspatroon zou dus niet alleen invloed hebben op de competitie tussen draadvormende en vlokvormende organismen, maar ook op de competitie tussen de vlokvormende bacteriën onderling. De praktische consequentie hiervan is, dat een aanpassing van de stofwisseling van de cel veel sneller zal verlopen dan een aanpassing van de populatie.

Bij de in de vorige paragraaf genoemde balansstudie werd vastgesteld dat de voorschakeling van een selector gepaard ging met een tijdelijke troebeling van het effluent. Dit duidt op een verschuiving binnen de populatie. De overschakeling op een strategie gericht op de bestrijding van draadvormende organismen ging gepaard met een aanmerkelijke toename van het aantal levende cellen in de vlok en vice versa (34). Bij een onderzoek naar de samenstelling van de populatie in een rwzi voor en na de installatie van een selector werd vastgesteld, dat de populatiesamenstelling aanmerkelijk werd beïnvloed door deze ingreep (eerst *Pseudomonas spp* dominerend, daarna *Acinetobacter spp.*) (16). De resultaten van Van Niekerk (163) illustreren eveneens dat een selector leidt tot een andere samenstelling van de vlokpopulatie (zie tabel 13). De eencellige organismen uit de rwzi met een selector kunnen sneller groeien, nemen ook sneller substraat op en hebben een hoger ademhalingsniveau dan de organismen uit het volledig gemengde systeem. Dit is in feite de bevestiging van hetgeen in de vorige paragrafen werd gesteld inzake deze parameters.

De consequentie hiervan is dat het vaak lang zal duren voordat het effect van een gewijzigd voedingspatroon duidelijk zichtbaar wordt. Dit is in overeenstemming met het praktijkgegeven dat licht slib zich snel kan manifesteren, maar dat het vaak maanden duurt voordat de draadvormende organismen weer zijn verdwenen, na de genomen maatregelen (109, 183, 189, 265). Het gebeurt slechts incidenteel dat de draadvormende organismen vrij abrupt verdwijnen (241), meestal zijn dan type 021N of *S. natans* als dominerende organismen aanwezig.

	I ¹⁾	II ¹⁾
maximale groeisnelheid, μ_{\max} (dag ⁻¹)	5,4	2,5
celopbrengstfactor (g cellen.g HAC ⁻¹)	0,39	0,36
afstervingsnelheid (dag ⁻¹)	0,11	0,07
substraatopnamesnelheid (mg HAC.g ⁻¹ .min ⁻¹)	13,2	4,4
ademhalingsnelheid (mg O ₂ .g ⁻¹ .uur ⁻¹)	292	97

Tabel 13. Kinetische groeiparameters van een aantal vlokvormende organismen (163).

¹⁾ gemiddelde van 7 (I), respectievelijk 10 (II) stammen.

I : rwzi met een selector

II: rwzi met volledige menging

HAc = azijnzuur

De snelheid waarmee de populatie zich aanpast wordt uiteraard vooral bepaald door de slibleeftijd in de rwzi. Als vuistregel wordt wel een periode van driemaal de slibleeftijd genoemd, voordat een nieuwe evenwichtssituatie is bereikt. Uit een modelstudie werd geconcludeerd dat hiervoor zelfs een tijdsduur van 4,5-9 maal de slibleeftijd nodig zou zijn (163).

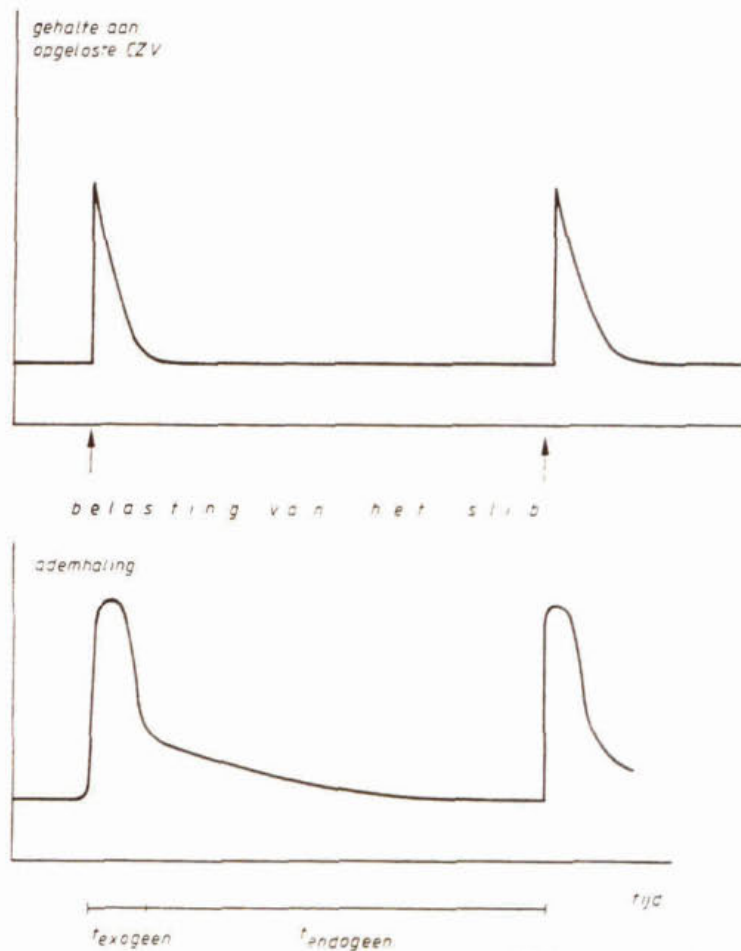
3.3.4 verwerking van het opgenomen substraat

Bij de eerste proeven inzake het effect van een substraatgradiënt op de SVI werd vastgesteld dat bij hogere slibbelastingen de groei van draadvormende organismen niet kon worden voorkomen door zo'n gradiënt (37, 186). Er is kennelijk nog een factor waaraan voldaan moet worden als bestrijding van deze organismen via een gewijzigd voedingspatroon effect wil hebben.

De cellen die in staat zijn snel een grote hoeveelheid substraat op te nemen komen letterlijk "barstensvol" reserve-voedsel uit de hoogbelaste selector. Ze kunnen pas opnieuw zoveel en zo snel substraat opnemen nadat de aanwezige voedselvoorraden zijn verwerkt. De biosorptiecapaciteit moet geregenereerd worden (57); dit kost tijd. Het selectormechanisme werkt niet als deze tijd ontbreekt. De snelle opname van opgelost substraat kan dan niet gerealiseerd worden, waardoor voedingsstoffen te lang beschikbaar blijven voor de draadvormende organismen.

In de literatuur wordt daarom benadrukt dat er niet alleen een duidelijke scheiding moet zijn tussen deze fase van substraatopname en de fase van substraatverwerking (100, 108, 187), maar dat vooral ook voldoende tijd beschikbaar moet zijn voor deze afbraak (38).

In figuur 8 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 8. Verloop van het gehalte aan opgelost CZV en van de ademhaling bij het discontinu belasten van actiefslib.

Gelijktijdig met de dosering van substraat neemt de ademhaling toe tot een hoog niveau. Deze daalt aanmerkelijk, maar blijft nog wel duidelijk boven de oorspronkelijke ademhalingsnelheid zodra het opgeloste substraat voor een belangrijk gedeelte is opgenomen (163). De ademhalingsnelheid daalt vervolgens langzaam verder tot de uitgangssituatie weer is bereikt. De substraatopnamecapaciteit is dan volledig geregenereerd waardoor het slib weer snel veel voedingsstoffen kan opnemen. Er is dan circa 50% van het opgenomen substraat verademd (90).

In figuur 8 worden de termen exogeen en endogeen gebruikt, begrippen die veelvuldig in de literatuur genoemd worden. Tijdens de exogene periode is

nog substraat buiten de cel beschikbaar, de fase daarna wordt vaak de endogene* periode genoemd.

Het voorafgaande betekent dat zowel een periodiek hoge slibbelasting als voldoende tijd voor de verwerking van het substraat noodzakelijk is voor de bestrijding van draadvormende organismen. Dit laatste werd overigens al in 1932 door Haseltine (96) onderkend. Hij stelde:

"The primary cause of bulking is insufficient biological oxidation to keep pace with adsorption."

Het zal daarnaast duidelijk zijn dat de praktijkwaarneming, dat reaëratie van retourslib soms geschikt is om draadvormende organismen te bestrijden, berust op regeneratie van de opnamecapaciteit.

gebrek aan stikstof en fosfor

Na de exogene fase volgt een lange periode zonder extern voedsel. De cel moet intact blijven en verbruikt daarvoor permanent energie. Een deel van het opgeslagen voedsel zal dus niet gebruikt worden voor de synthese van celmateriaal, maar alleen voor de energievoorziening van de cel. Dit betekent dat het selectormechanisme in theorie ook nog moet kunnen functioneren bij een beperkte limitatie aan stikstof en fosfor in het afvalwater. Deze veronderstelling werd bij enkele experimenten bevestigd (68, 149, 276, 277). Uit een onderzoek onder praktijkomstandigheden werd echter geconcludeerd dat de normale C:N:P-verhouding moest worden gehandhaafd om de groei van draadvormende organismen te kunnen voorkomen (128).

3.3.4.1 invloed van de temperatuur

De snelheid waarmee de biomassa het opgenomen substraat kan verwerken, wordt mede bepaald door de omstandigheden in de rwzi. Hierbij zijn voornamelijk de temperatuur en het zuurstofgehalte van belang. Op de mogelijke invloed van het zuurstofgehalte op het ontstaan van licht slib wordt in paragraaf 3.4 nader ingegaan.

* Dit is in feite niet correct. Het endogene ademhalingsniveau is de ademhalingssnelheid nadat al het beschikbare substraat, dus ook de opgeslagen reservestoffen, is verwerkt. De endogene ademhalingssnelheid kan worden bepaald door slib eerst 24 uur zonder voedsel te beluchten en vervolgens de ademhalingssnelheid te meten. In figuur 8 wordt het echte endogene niveau pas bereikt, vlak voor het tijdstip waarop nieuw substraat wordt toegevoegd.

De invloed van de temperatuur op de groei van draadvormende organismen in zuiveringsinrichtingen kan vaak niet ondubbelzinnig vastgesteld worden, omdat hierbij "tegengestelde krachten" werkzaam zijn. Een hogere temperatuur betekent dat de biomassa actiever is en dus het opgenomen voedsel sneller zal verwerken. Er ontstaat daardoor een langere endogene periode waardoor het selectormechanisme beter zal functioneren. Dit verklaart waarschijnlijk waarom draadvormende organismen tijdens de zomermaanden soms verdwijnen (47, 101, 158). Een hogere temperatuur kan echter ook tot gevolg hebben dat de anaërobe afbraakprocessen in het aanvoerriool en de voorbezinktank sneller verlopen, waardoor het influent sterk aangerot in de beluchtingsruimte komt. Dit stimuleert juist de groei van draadvormende organismen. Bovendien groeit in elk geval type 1701 bij hogere temperaturen onevenredig veel sneller (194). Een algemene regel voor de invloed van de temperatuur op het ontstaan van licht-slib kan dientengevolge niet worden gegeven.

3.3.4.2 slibbelasting en beschikbare regeneratietijd

De substraat-opnamecapaciteit van actief-slib uit conventionele rwzi's wordt kleiner naarmate de belasting van het systeem toeneemt (57, 234), omdat er steeds minder tijd voor de regeneratie van de opnamecapaciteit beschikbaar is. Daarnaast speelt uiteraard het percentage actieve micro-organismen een rol. Dit is in oxydatiesloot-slibben vaak erg laag. Het selector-mechanisme houdt op als zodanig te functioneren zodra een aanmerkelijk gedeelte van het beschikbare substraat niet meer tijdens het verblijf in de selector vastgelegd kan worden. Er ontstaat dan opnieuw licht slib. In tabel 14 worden enkele kritische slibbelastingen uit de literatuur vermeld. Een slibbelasting van circa 0,5 kg BZV.kg droge stof⁻¹.dag⁻¹ (de waarde van 3,0 betrof een experiment met een zeer korte proefduur) lijkt de bovengrens te zijn voor een toepassing met kans op succes van het selectormechanisme in actief-slibsystemen. In rwzi's met een grotere belasting zou daarom een aparte slibreaëratie gecreëerd moeten worden (36). Voor rwzi's met een vrijwel ideaal propstromingskarakter (de fill-and-draw systemen) lijkt deze grens nog hoger te liggen (68, 186).

Overigens zijn deze waarden gebaseerd op experimenten met een kunstmatig samengesteld influent met in het algemeen een hoog percentage opgeloste componenten. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen boven welke slibbelasting het selectormechanisme niet meer functioneert in praktijk-rwzi's.

slibbelasting		referentie
> 0,5	kg BZV.kg droge stof ⁻¹ .dag ⁻¹	37
> 0,3	" " " "	187
> 0,7	" " " "	199
> 0,6	" " " "	1)
≥ 0,6-0,8	" " " "	129/147
> 0,45	" " " "	141
> 3,0	kg CVZ " "	218

Tabel 14. Slibbelastingen waarboven het aërobe selectormechanisme niet langer functioneerde.

1) Onderzoek van Clesceri (1963) uit referentie 163.

In paragraaf 2.3.2.1 is aangegeven dat de slibbelasting invloed heeft op de populatie van draadvormende micro-organismen in actiefslib. Er is sprake van een zekere successie van soorten, naarmate de belasting toeneemt. Boven een slibbelasting van 0,3 à 0,4 kg BZV.kg droge stof⁻¹.dag⁻¹ veroorzaken vooral *S. natans*, *H. hydrossis*, type 021N en type 1701 lichtslibproblemen. Het is opvallend, en vooralsnog maar ten dele verklaarbaar, dat uitgerekend deze organismen preferent in veel laboratorium rwzi's lijken te groeien en vrijwel onafhankelijk van de slibbelasting (o.a. 43, 187, 255). Onder laboratoriumomstandigheden werden goede resultaten geboekt bij de bestrijding van deze organismen, mits de slibbelasting niet te hoog was. Het falen van het selectormechanisme bij te hoge slibbelastingen kan dus niet worden toegeschreven aan het type draadvormend organisme dat aanwezig is.

3.3.5 onderzoek met reïncultures van draadvormende en vlokvormende organismen

De laatste jaren is een aantal draadvormende organismen uit actiefslib geïsoleerd en onderzocht. In bijlage A wordt hier nader op ingegaan. Een aantal belangrijke eigenschappen is samengevat in de tabellen 15 en 16. In tabel 17 worden ter vergelijking enkele kenmerken van vlokvormers vermeld.

	<i>Thiothrix</i>	type 021N	<i>S. natans</i>	type 1701	<i>M. parvicella</i>	<i>H. hydros- sis</i>	type 0041
opslag reserve- stoffen ¹⁾							
PHB	+	+	+	+	-	-	+
volutine	+	+	-	-	+	-	-
zwavel	+	+	-	-	-	-	-
andere	n.b.	n.b.	+	n.b.	+	n.b.	n.b.
groei zonder O ₂	-	-	-	-	-	-	-
denitrificerend	-	-	-	-	-	-	-
hydrolyse van ²⁾							
gelatine	+	+	+	+	-	+	n.b.
caseïne	±	-	+	+	-	n.b.	n.b.
zetmeel	-	-	±	+	-	+	n.b.
Tween 80	-	-	-	-	+	n.b.	n.b.
groei op ³⁾							
organische zuren	++	++	++	++	-	-	n.b.
koolhydraten	±	++	++	+	-	+	n.b.
alcoholen	±	±	+	±	-	n.b.	n.b.
aminozuren	-	+	++	+	-	n.b.	n.b.
specifieke sub- straatbehoefte	soms ab- soluut S ²⁻ - nodig				hogere vet- zuren en ge- redu- deerde N en S		
referenties	156, 270, 271, 272				220	253	271

Tabel 15. Enkele fysiologische eigenschappen van een aantal draadvormende organismen.

- 1) PHB = poly- β -hydroxybutyraat (een koolstofverbinding),
volutine = reservevoorraad aan fosfaat
andere = diverse koolstofverbindingen waaronder lipiden
(vetachtige verbindingen).
- 2) complexe substraten die buiten de cel gesplitst moeten
worden. Gelatine en caseïne zijn eiwitten, zetmeel is een
polysaccharide en Tween 80 bevat een aantal veresterde
vetzuren.
- 3) -, ±, + en ++ betekenen dat het organisme respectievelijk
geen, weinig, veel en zeer veel van deze componenten als
koolstofbron kan gebruiken.
n.b. = niet bekend.

parameter	draadvormend micro-organisme										
	Type 021N				Type 1701	S. natans		H. hydrossis		M. parvicella	
μ_{max}	3,5	3,8	1,4	3,9	2,6	6,5	6,5	3,4	1,2	-2,2	1,44
k_s	<1	<1	<1	0,07	2	10	10	5		5	<1
k_{DO}				0,06 ¹⁾	0,014	0,033	0,01				0,016
k_N					<<1						
y	0,3-0,6	0,71	0,56	0,38	0,44	0,53	0,53		0,59-0,42		1,41
k_d	1,42	0,55	0,16	0,03-0,19	0,06	0,07	0,05				
m	1,6	0,78	0,32		0,14	0,12			0,48		0,04
glucose		x	x		x	x	x	x	x	x	
lactaat	x			x							
acetaat				x							
oliezuur											x
tween 80											
CZV	x										x
referentie	195	196		163	196	195	133	66	254	131	220

Tabel 16. Kinetische groeiparameters van enkele draadvormende organismen.

- μ_{max} : maximale groeisnelheid (dag^{-1})
 k_s : substraatconcentratie waarbij $\mu = \frac{1}{2} \mu_{max}$ (mg.l^{-1})
 k_{DO} : k_s -waarde voor opgeloste O_2 ($\text{mg } O_2 \cdot \text{l}^{-1}$)
 k_N : k_s -waarde voor ammonium (mg N.l^{-1})
y : celopbrengst ($\text{mg cellen. mg substraat}^{-1}$)
 k_d : afstervingscoëfficiënt (dag^{-1})
m : onderhoudscoëfficiënt ($\text{mg substraat. mg cellen}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$)
¹⁾ : geen evenwichtssituatie

Bij het verklaren van de veranderingen in gemengde actief-slibpopulaties, aan de hand van de eigenschappen van de geïsoleerde draadvormende organismen, dient de nodige voorzichtigheid in acht te worden genomen. De laboratoriumomstandigheden simuleren immers vaak slechts ten dele de praktijksituatie. Zo is bijvoorbeeld glucose, wat erg vaak gebruikt is als koolstofbron in studies waarbij de kinetische groeiparameters bepaald werden, niet representatief voor de koolstofverbindingen in stedelijk afvalwater.

parameter ¹⁾	diverse vlokvormende organismen						
μ_{\max}	4,3			9,2	5,4 ²⁾	2,5 ³⁾	5,5
k_s		2	1,8	5			0,3
k_{DO}	0,073			0,15			
y				0,55	0,39	0,36	0,51
k_d				0,15	0,11	0,07	0,08-0,8
referentie	195	131		133	163		

Tabel 17. Kinetische groeiparameters van enkele vlokvormende organismen.

- 1) zie tabel 16
- 2) gemiddelde waarde van 7 stammen uit een rwzi met een selector
- 3) gemiddelde waarde van 10 stammen uit een aëratietank met volledige menging.

In tabel 15 valt op dat voornamelijk micro-organismen zijn vermeld, die onder praktijkomstandigheden vooral licht slib veroorzaken in rwzi's met een hogere slibbelasting. Alleen *M. parvicella* en Type 0041 (waarvan praktisch nog niets bekend is) zijn typische vertegenwoordigers van de populatie uit laagbelaste systemen. Over een groot aantal draadvormende organismen is weinig of niets bekend, hetgeen het uiterst riskant maakt om op basis van studies met reïncultures, generaliserende licht-slibtheorieën te formuleren, zoals in (33).

De draadvormende organismen die voorkomen bij hoge slibbelastingen groeien relatief goed en snel op veel eenvoudige koolstofverbindingen. Dit verklaart niet alleen hun massale groei in veel industriële en laboratorium rwzi's, maar waarschijnlijk ook waarom juist deze organismen betrekkelijk eenvoudig uit slib geïsoleerd kunnen worden. De isolatie van Type 021N en *Thiothrix* leverde in eerste instantie nog wel problemen op, tot bleek dat in de voedingsbodem sulfide aanwezig moet zijn (195).

M. parvicella groeide eerst echter vrijwel niet onder laboratoriumomstandigheden. De fysiologische eigenschappen konden pas bestudeerd worden nadat, min of meer toevallig, was vastgesteld dat deze bacterie niet alleen een merkwaardige koolstofbron (hogere vetzuren als oliezuur of

palmitinezuur) nodig heeft, maar ook uitsluitend gereduceerde verbindingen als N- en S-bron kan gebruiken (220). Dit is een tamelijk unieke combinatie, die aangeeft dat de veronderstelling, waarbij de groei van alle draadvormende organismen voornamelijk gerelateerd wordt aan de aanwezigheid van eenvoudige, goed oplosbare koolstofverbindingen, vrijwel zeker te eenvoudig is. De koolstofbronnen die *M. parvicella* nodig heeft lossen zelfs slecht op in water. Deze hogere vetzuren zijn in het rioolwater voornamelijk in een veresterde vorm aanwezig en zullen de beluchtingsruimte als colloïdale deeltjes bereiken.

Een uitvoerige bespreking van de problemen verbonden aan de isolatie van draadvormende organismen valt buiten de doelstelling van dit handboek. Het voorbeeld van *M. parvicella* is alleen genoemd om aan te geven dat sommige draadvormende organismen zeer speciale voedingsstoffen nodig hebben en waarschijnlijk daardoor moeilijk geïsoleerd kunnen worden.

3.3.5.1 fysiologische eigenschappen

Bij de competitie tussen micro-organismen spelen hun fysiologische eigenschappen meestal een doorslaggevende rol. Hierbij zijn in beginsel vooral de actuele groeisnelheid, de k_s -waarde voor het beschikbare substraat, de celopbrengst, het vermogen reservestoffen op te slaan en het energieverbruik tijdens voedselloze perioden van belang. Het antwoord op de vraag welke van deze factoren doorslaggevend zijn bij de competitie tussen de verschillende draadvormende en de vlokvormende organismen in actief-slibinstallaties is niet alleen van zuiver wetenschappelijk belang. Een gerichte bestrijding is alleen mogelijk indien bekend is waaruit de sterke concurrentiepositie van dat organisme bestaat. Bij de nu volgende bespreking worden de gegevens uit de tabellen 15 t/m 17 gebruikt.

De μ_{\max} -waarden van de draadvormende organismen blijven - die van *S. natans* misschien uitgezonderd - in het algemeen wat achter bij die van de vlokvormers. De maximale groeisnelheid speelt alleen een rol indien alle voedingsstoffen (inclusief O_2) in overmaat aanwezig zijn, zoals in een beluchte selector het geval is. Zo'n voedingspatroon bevoordeelt dus de vlokvormers.

In tabel 16 worden overigens voor Type 021N, *S. natans* en *H. hydrossis* verschillende μ_{\max} -waarden vermeld. Dit zijn groeisnelheden van verschillende stammen, die morfologisch niet van elkaar kunnen worden onderscheiden. Een bepaalde naam of een nummer kan dus verschillende stammen omvatten.

Over de rol die de k_s -waarden spelen bij de competitie zijn de verschillende onderzoekers het onderling niet eens. Chudoba et al. (29, 39) concludeerden uit hun onderzoek met actiefslib dat de k_s -waarde voor het beschikbare substraat een doorslaggevende rol speelt bij de competitie tussen draadvormers en vlokvormers in volledig gemengde systemen. Zij stelden inderdaad vast dat slibben uit volledig gemengde rwzi's (met een hoge SVI) een lagere k_s -waarde hadden voor de getoetste substraten dan slibben uit een rwzi met een selector (lage SVI). Het competitie-model in figuur 3 is dan ook door deze groep onderzoekers voorgesteld. Volgens Van den Eynde et al. (66, 67, 69) is echter niet de k_s -waarde doorslaggevend, maar de substraatopnamesnelheid. Hun conclusies zijn gebaseerd op een onderzoek met reïncultures. Deze schijnbare controversen kan verklaard worden uit de organismen dat bij de verschillende proeven aanwezig waren. In de proef-rwzi's van Chudoba was Type 021N de dominerende draadvormer, Van den Eynde werkte met een mengcultuur van *S. natans* en een vlokvormende *Arthrobacter* stam. De k_s -waarden voor het beschikbare substraat van beide draadvormende organismen verschillen onderling aanmerkelijk (tabel 16). Een vergelijking met de k_s -waarden uit tabel 17 toont dat slechts twee van de vijf geïsoleerde draadvormende organismen zeer lage k_s -waarden hebben en dus bij zeer lage voedselconcentraties in een voordelige concurrentiepositie verkeren. Nader onderzoek met draadvormende organismen uit rwzi's met een lage slibbelasting (bijvoorbeeld de typen 0803, 0041 of 0092) zal moeten uitwijzen in hoeverre het competitie-model uit figuur 3 daadwerkelijk geschikt is om de massale groei van veel draadvormende organismen in volledig gemengde rwzi's te verklaren.

De zeer lage k_{DO} -waarden van de draadvormende bacteriën betekenen, dat deze organismen bij lage zuurstofconcentraties in de beluchtingsruimte in een voordelige concurrentiepositie verkeren.

Type 021N heeft een extreem lage k_s -waarde voor ammonium. Bovendien kan dit organisme stikstofverbindingen in beperkte mate opslaan (196), hetgeen betekent dat type 021N onder N-limiterende omstandigheden in het voordeel is.

De draadvormende organismen hebben, met uitzondering van *M. parvicella*, een celopbrengst per eenheid van substraat die vergelijkbaar is met die van de vlokvormende bacteriën. *M. parvicella* gebruikt het beschikbare

voedsel buitengewoon efficiënt, hetgeen een concurrentie-voordeel betekent.

In paragraaf 3.3.3.4 wordt geconcludeerd dat in de selector een belangrijk gedeelte van de opgenomen voedingsstoffen in de vorm van reservestoffen in de cel wordt opgeslagen. Organismen die reservestoffen vormen, nemen in feite een onevenredig deel van het beschikbare substraat op. Vlokvormende bacteriën kunnen grote hoeveelheden reservestoffen opslaan: tot 40 à 50% van het gewicht van de cel (3, 163).

Vrijwel alle draadvormende organismen zijn echter ook in staat koolstofverbindingen in de cel op te slaan. Bij *S. natans* en *M. parvicella* kan 30 à 40% van het gewicht van de cellen uit reservestoffen bestaan (156, 220).

Thiothrix, Type 021N en *M. parvicella* kunnen daarnaast ook fosfaat opslaan, een eigenschap die overigens weinig voordeel lijkt te bieden in een rwzi met een stedelijk influent waar een overmaat aan P is. De eerstgenoemde twee kunnen tenslotte ook nog zwavelverbindingen oxyderen en eventueel tijdelijk in de cel opslaan. Deze oxydatie levert extra energie op, die benut kan worden bij de synthese van celmateriaal. Zo gaat bijvoorbeeld de aanwezigheid van thiosulfaat gepaard met een extra celproductie van 0,15 g droge stof/g $S_2O_3^{2-}$ (196).

De invloed van een selector kan dus niet zonder meer worden verklaard uit het wel/niet in staat zijn reservestoffen te vormen. Het lijkt bij dit selectie criterium niet zozeer te gaan om het vermogen reservestoffen te vormen, als wel om de snelheid waarmee dit gebeurt. Vlokvormende organismen zouden de beschikbare voedingsstoffen sneller opnemen dan draadvormende bacteriën (36, 42, 67, 163) en bovendien efficiënter gebruiken (155). Het aantal beschikbare gegevens waarmee deze hypothese bevestigd kan worden is echter nog zeer beperkt.

Het selectiemechanisme functioneert alleen indien de korte periode van voedseloverschot gevolgd wordt door een lange endogene fase. Er is een controverse tussen verschillende onderzoekers inzake het feitelijke effect van deze endogene periode op de micro-organismen in actiefslib.

Chiesa veronderstelt dat de fysiologische conditie van de draadvormende bacteriën minder wordt tijdens de endogene fase (34). Ze zouden langzaam afsterven. Dit zou betekenen dat men de aanwezige draden kan bestrijden via een periode zonder voeding, terwijl wel belucht wordt. De substraatopnamesnelheid door slibben met zeer veel draadvormende organismen daalde

echter niet tijdens een endogene periode van 6 uren (40), hetgeen een aanwijzing vormt dat de fysiologische condities van de draden kennelijk niet minder werd.

De afstervingsnelheden van draadvormende en vlokvormende organismen zijn bovendien van dezelfde orde van grootte (zie k_d -waarden in de tabellen 16 en 17); het is dan ook erg onwaarschijnlijk dat de fysiologische conditie van de eerstgenoemde groep sneller zou afnemen dan die van de vlokvormers. Tenslotte kan ook nog worden gesteld dat draadvormende bacteriën, *M. parvicella* in het bijzonder, relatief weinig substraat gebruiken voor het onderhoud van de cel (254). Het effect van de lange endogene periode betreft daarom voornamelijk de regeneratie van de biosorptiecapaciteit van de vlokvormende bacteriën en niet het selectief afsterven van draadvormers. Uit de praktijk was overigens reeds lang bekend dat een eenmalige, lange endogene periode vrijwel nooit leidde tot een drastische verbetering van de bezinkeigenschappen van het slib.

3.3.5.2 competitie-experimenten

In de literatuur worden competitie-experimenten, voornamelijk tussen vlokvormende en draadvormende organismen, beschreven (zie tabel 18). Bij deze experimenten worden twee organismen in een reactor gebracht. Vervolgens wordt nagegaan welke van deze twee onder de ingestelde omstandigheden gaat domineren. Met dit soort proeven wordt aangetoond dat een organisme een bepaalde eigenschap inderdaad kan benutten in een mengcultuur. Eigenlijk is het resultaat vaak min of meer voorspelbaar. Zo zal bijvoorbeeld *S. natans*, die een zeer lage k_{DO} -waarde heeft normaal gesproken ook moeten winnen van een vlokvormer met een hogere k_{DO} -waarde, indien in de reactor een zeer laag zuurstofgehalte ($\ll 1 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$) wordt gehandhaafd.

3.3.5.3 concurrentiepositie van enkele draadvormende organismen

Ter afsluiting van deze paragraaf worden in tabel 19 draadvormende en vlokvormende organismen op een aantal punten onderling vergeleken. Een laag zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte ($< 1 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$) bevoordeelt praktisch alle geïsoleerde draadvormende bacteriën in een gemengde populatie.

organismen	parameter	resultaat	ref.
<i>S. natans</i> en <i>Arthrobacter</i> sp.*	DO	<i>Arthrobacter</i> wint bij hoge DO	3
<i>S. natans</i> en <i>Arthrobacter</i> sp.*	voedingspatroon	<i>Arthrobacter</i> wint bij discontinue voeding	69
<i>S. natans</i> en <i>Citrobacter</i> sp.*	DO	<i>S. natans</i> wint soms bij een zeer lage DO	133
Type 1701 en vlokvormer	DO	Type 1701 wint bij lage DO	194
<i>S. natans</i> en Type 1701	DO	Hoge DO → <i>S. natans</i> ; Beluchting periodiek uit → Type 1701	194
Type 021N en <i>Pseudomonas</i> sp.*	voedingspatroon N	Type 021N wint bij discontinue voeding van stikstof	196
<i>S. natans</i> en <i>Pseudomonas</i> sp.*	DO	<i>Pseudomonas</i> wint bij een hoge DO	231
Type 021N en <i>Zoogloea</i> sp.*	voedingspatroon	<i>Zoogloea</i> wint bij discontinue voeding	163

Tabel 18. Competitie-experimenten tussen draadvormende en vlokvormende (*) bacteriën.

DO = gehalte aan opgeloste zuurstof.

Het concurrentievoordeel van type 021N lijkt daarnaast vooral uit de hoge substraataffiniteit (= lage K_s -waarden) te bestaan. Ook de aanwezigheid van sulfiden bevordert de groei van deze bacterie. Onder condities waarbij de vlokvormende bacteriën hun hogere μ_{max} -waarden en hun hogere substraatopnamesnelheid kunnen benutten, zal type 021N de concurrentieslag om de koolstofverbindingen verliezen. In hoeverre zij zich onder dit soort omstandigheden nog in beperkte mate kunnen handhaven door hun vermogen sulfiden te oxyderen, is vooralsnog onduidelijk. Een selector zal de beschikbaarheid van sulfiden voor draadvormende organismen waarschijnlijk nauwelijks beïnvloeden. Bovendien kan type 021N deze sulfiden zeer snel opslaan. Het is in dit verband opvallend dat in rwzi's met een zeer hoge slibbelasting eigenlijk alleen nog *Thiothrix* spp. (die sterk verwand

	type		<i>S. natans</i>	<i>H. hydros- sis</i>	<i>M. par- vicella</i>
	021N	1701			
maximale groeisnelheid	-	-	o/+	-	-
lage voedselconcentratie	++	o	-	-	++
laag O ₂ -gehalte	+	+	+	n.b.	+
celopbrengst	o	o	o	o	+
afstervingsnelheid	o	o	o	o	o
onderhoudsenergie	-/o	o	o	-/o	++
substraatopnamesnelheid	-	n.b.	-	n.b.	n.b.
substraatvoordeel ¹⁾	sulfiden	complexe verbin- dingen	breed spectrum	o	hogere vet- zuren

Tabel 18. Concurrentiepositie van draadvormende micro-organismen in actiefslib.

- + : concurrentievoordeel draadvormer
- o : geen duidelijk voordeel draadvormer
- : concurrentievoordeel vlokvormers
- n.b. : niet bekend
- ¹⁾ : substraat wat de draadvormer een specifiek voordeel verschafft

zijn met type 021N) als draadvormende organismen aanwezig zijn. Dit kan niet verklaard worden uit hun μ_{\max} -waarden met koolstofverbindingen. Kennelijk benutten ze een substraat waarbij ze weinig concurrentie onder vinden van andere organismen. Dit zouden gereduceerde zwavelverbindingen kunnen zijn.

De sterke punten van type 1701 lijken beperkt tot de lage k_{DO} -waarde en het vermogen een breed spectrum van koolstofverbindingen, inclusief complexe substraten, te benutten. Het feit dat type 1701 vooral in en rondom de vlokken groeit, houdt vrijwel zeker hiermee verband. Het vermogen om complexe substraten te benutten betekent onder omstandigheden, waarbij de vlok niet in staat is het geadsorbeerde substraat snel te verwerken een voordeel voor type 1701. Dat deze bacterie desondanks niet in alle hoogbelaste rwzi's massaal aanwezig is, zou verklaard kunnen worden uit zijn relatief lage μ_{\max} -waarden.

S. natans lijkt het bij aanwezigheid van voldoende zuurstof vooral te moeten hebben van zijn hoge groeisnelheid en zijn vermogen zeer veel laagmoleculaire verbindingen als koolstofbron te kunnen benutten. Dit

laatste geldt echter ook voor type 021N. Dit verklaart waarom *S. natans* vaak als eerste verschijnt (hoge μ_{\max} -waarde), om vervolgens verdrongen te worden door type 021N (lage k_s is op termijn doorslaggevend) (1, 41). In een selector verliest *S. natans* de concurrentieslag, doordat vlokvormende organismen het substraat sneller op kunnen nemen.

H. hydrossis zou blijkens tabel 19, altijd moeten verliezen van de vlokvormende bacteriën. Desondanks is deze draadvormer, vooral in rwzi's met een hoge slibbelasting, frequent aanwezig in actiefslib. Dit betekent dat de beschikbare gegevens niet juist en/of onvolledig zijn.

M. parvicella is buitengewoon goed toegerust voor de competitie met vlokvormende bacteriën in laagbelaste rwzi's. De lage k_s - en k_{DO} -waarde, de hoge celopbrengst, het zeer lage energieverbruik voor onderhoud van de cel en het groeien op een substraat dat slechts langzaam wordt afgebroken door vlokvormende organismen (142) vormen een "ijzersterke" combinatie onder voedselarme omstandigheden. Desondanks wordt dit organisme 's zomers vaak verdrongen door type 0092. Dit houdt mogelijk verband met het feit dat gereduceerde N- en S-verbindingen 's zomers in onvoldoende mate beschikbaar zijn in rwzi's waarin een praktisch volledige nitrificatie wordt nagestreefd. *M. parvicella* heeft deze verbindingen absoluut nodig (220). De relatief lage μ_{\max} -waarde van *M. parvicella* houdt in dat het organisme zich niet zal kunnen handhaven in een rwzi met een korte slibleeftijd.

3.3.6 omstandigheden in een selector

In de voorafgaande paragrafen is uitvoerig ingegaan op het aërobe selectie-mechanisme. Een goed begrip van de factoren die hierbij een rol spelen is noodzakelijk voor de toepassing van deze wijze van licht-slibbestrijden in praktijk-rwzi's. Onderwerpen als vorm, beluchting of verblijftijd in zo'n selector zijn echter nog niet expliciet besproken. Ook het feit dat anoxische of zelfs anaërobe condities in een selector soms toereikend zijn om de groei van draadvormende organismen te voorkomen, is slechts zijdelings gememoreerd. Deze onderwerpen zullen in de volgende paragrafen besproken worden.

Met nadruk wordt nogmaals gesteld dat een selector alleen effectief is indien hierin een belangrijk gedeelte van het beschikbare substraat daadwerkelijk wordt opgenomen door de vlok. Het is vooralsnog niet zeker of deze voorwaarde ook geldt voor de niet-opgeloste fractie uit het in-

fluent. Het feit dat sommige micro-organismen (o.a. *M. parvicella* en type 1701) voedingsstoffen kunnen gebruiken die de rwzi vaak in een niet-opgeloste vorm bereiken, doet echter vermoeden dat deze fractie een grotere rol speelt bij het ontstaan van licht slib dan vaak wordt verondersteld.

3.3.6.1 aërobe condities

De aanwezigheid van een selector leidt na verloop van tijd tot een populatie van vlokvormers die het substraat snel kan opnemen. Deze snelle opname gaat gepaard met een sterke stijging van het ademhalingsniveau van het slib in de selector en wel tot tweemaal de ademhalingsnelheid van het slib uit een volledig gemengde reactor. Dit heeft uiteraard consequenties voor de te installeren beluchtingscapaciteit in de selector. Een te laag O_2 -gehalte heeft tot gevolg dat het selectie-mechanisme niet goed functioneert, waardoor de substraatopname door de vlokvormende bacteriën onvolledig of onvoldoende snel verloopt. Bovendien zullen dan de lage k_{DO} -waarden van veel draadvormende bacteriën een rol kunnen spelen. Een O_2 -gehalte $< 0,5 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$ in de selector ging dan ook gepaard met een massale groei van draadvormende organismen, terwijl deze geen kans kregen bij een zuurstofgehalte van $2-3 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$ (241, 242).

Ook in een "fill-and-draw-rwzi" leidde een laag zuurstofgehalte tijdens het vullen weer tot licht slib (230). In dit soort rwzi's moet òf al het influent in één keer toegediend worden òf moeten zuurstofloze condities gehandhaafd worden tijdens de vulperiode (34, 48, 89). Alleen op deze wijze kan de noodzakelijke substraatgradiënt gecreëerd worden. Een beluchte vulperiode is in het voordeel van de draadvormende organismen. De ophoping van substraat kan overigens ten dele teniet worden gedaan indien tijdens een lange vulperiode zonder beluchting denitrificatieprocessen plaatsvinden (168).

Het aantal beschikbare gegevens over de ademhalingsnelheid van het slib in een selector (na selectie van de gewenste vlokvormers) is nog beperkt. Ze stemmen onderling echter goed met elkaar overeen, namelijk $50 \text{ à } 60 \text{ mg } O_2 \cdot g \text{ ds}^{-1} \cdot \text{uur}^{-1}$ (47, 163). Deze ademhalingsnelheid zou daarom gebruikt kunnen worden als dimensioneringsgrondslag voor de beluchtingscapaciteit in een aërobe selector.

De vereiste, snelle substraatopname impliceert dat een korte hydraulische verblijftijd in een aërobe selector toereikend moet zijn. Het substraat moet binnen enkele minuten voor een belangrijk gedeelte zijn opgenomen

door de vlokvormende organismen, anders fungeert het selectormechanisme niet of onvoldoende. Onder laboratoriumomstandigheden werden goede resultaten geboekt met hydraulische verblijftijden van 5-15 minuten in de selector (o.a. 163, 190, 193). Bij de experimenten van Lee (136) kon de groei van draadvormende bacteriën zowel voorkomen als bestreden worden bij een verblijftijd van 10 minuten in de selector. Een verlenging van de verblijftijd tot 15 minuten, hetgeen uiteraard ook consequenties had voor de slibbelasting in de selector, had echter tot gevolg dat de groei van draadvormende organismen alleen nog maar kon worden voorkomen. Als al veel draden aanwezig waren, verdwenen deze niet na de installatie van de selector.

Het met een korte verblijftijd corresponderende selectorvolume bedroeg bij Lee (136) en Van Niekerk (163) $1/40$, respectievelijk $1/75$ van het volume van de eigenlijke beluchtingsruimte. Beide onderzoekers gebruikten voorbezonken, stedelijk afvalwater als voeding voor hun proef-rwzi's.

Ten aanzien van de vorm van een aërobe selector kan tenslotte nog worden opgemerkt dat een langwerpige vorm of enkele kleine tankjes in serie, effectiever lijkt te zijn dan een ronde of vierkante selector (47, 163, 189). Dit betekent dat ook in de selector bij voorkeur een propstroming nagestreefd dient te worden. Onder deze omstandigheden wordt de hoge substraat/biomassa-verhouding zo lang mogelijk gehandhaafd.

3.3.6.2 anoxische en/of anaërobe condities

In de literatuur worden diverse voorbeelden genoemd van (vooral praktijk) rwzi's waaruit de draadvormende organismen praktisch verdwenen, nadat overgeschakeld was op een procesvoering waarbij influent en retourslib onder anoxische of zelfs anaërobe condities met elkaar werden gemengd (15, 30, 100, 182, 184, 241, 260, 261).

Anoxisch betekent dat nitraat of nitriet als enige zuurstofbron aanwezig is. Het milieu is dus niet anaëroob, maar de CZV-verwijdering is gekoppeld aan denitrificatieprocessen. Daarnaast spelen verwijderingsprocessen als invangen door en/of adsorptie aan de vlok onder denitrificerende omstandigheden mogelijk een grotere rol dan onder de turbulente omstandigheden waarmee aërobe condities gepaard gaan.

Een milieu is anaëroob indien noch O_2 noch nitriet of nitraat aanwezig zijn. De omstandigheden worden dus van anoxisch anaëroob zodra de stikstofoxyden zijn verbruikt. Deze anaërobe omstandigheden zijn echter nog

niet vergelijkbaar met die in de slibgisting. Dit betekent bijvoorbeeld dat in een anaërobe selector, extreem lange verblijftijden daargelaten, geen sulfaat- of carbonaatademhaling zal plaatsvinden. De hydrolyseprocessen van hoogmoleculaire verbindingen gaan echter wel door waarbij, analoog aan de situatie in de eerste trap van de slibgisting, laagmoleculaire zuren zullen ontstaan. In een anaërobe selector is de opname van deze verbindingen alleen mogelijk door bacteriën die tot biologisch defosfateren in staat zijn (62a). Deze slaan onder aërobe omstandigheden extra fosfaat op. Dit kost energie. Het opgeslagen fosfaat gaat onder anaërobe omstandigheden weer in oplossing. Hierbij komt energie vrij, die benut wordt om laagmoleculaire verbindingen in de cel op te slaan. Deze voedselvoorraad kan alleen onder aërobe omstandigheden verder worden verwerkt. Dit levert energie op die onder andere gebruikt wordt voor de opname van extra fosfaat, enz. Bij biologisch defosfateren moet het milieu dus afwisselend aëroob en anaëroob zijn. Door periodiek slib aan het aërobe gedeelte van de rwzi te onttrekken, en de gebonden P hieruit te verwijderen, kan een grotere fosfaat-eliminatie worden gerealiseerd dan in conventionele rwzi's.

Er moet uitdrukkelijk worden gesteld dat het hierbij om totaal andere selectie-mechanismen gaat, waarvoor de in de voorgaande paragrafen besproken theorie niet geldt. In een aërobe selector worden micro-organismen bevoordeeld die snel substraat kunnen opnemen; anoxische of anaërobe omstandigheden bevoordelen daarentegen bacteriën die kunnen denitrificeren, respectievelijk betrokken zijn bij biologisch defosfateren. Dit zijn vrijwel zeker totaal andere organismen. Een snelle substraatopname is misschien wel gewenst, maar waarschijnlijk niet echt noodzakelijk als O_2 ontbreekt. Praktisch alle geïsoleerde draadvormende organismen, inclusief degene die niet bijdragen tot licht slib (201), kunnen immers alleen onder aërobe omstandigheden substraat opnemen. Onder anoxische/anaërobe omstandigheden is dus geen sprake van concurrentie tussen draadvormers en vlokvormers.

Het blijft uiteraard wel noodzakelijk dat een belangrijk gedeelte van het beschikbare substraat wordt opgenomen tijdens het verblijf in de selector. De processen die hierbij een rol spelen zijn echter, in relatie tot het voorkomen/bestrijden van licht slib, nog nauwelijks onderzocht. In feite is alleen het empirische praktijkgegeven beschikbaar dat een anoxische of een anaërobe mengzone voor retourslib en influent, primair bedoeld voor denitrificatie respectievelijk selectie van micro-organismen

die extra P kunnen opslaan, vaak gepaard gaat met goed bezinkbaar slib. Vragen als bij voorbeeld:

- is sprake van een kritische vlokbelading;
- welke CZV/ NO_3^- - of CZV/P-verhouding is minimaal noodzakelijk;
- vindt in een anoxische zone substraatopslag in de cellen plaats zijn tot nu toe nog nauwelijks onderzocht.

Het lijkt wel vast te staan dat de verblijftijd van afvalwater + slib in een anoxische/anaërobe selector aanmerkelijk langer dient te zijn dan in een aërobe selector. In de literatuur worden voor de eerstgenoemde selectoren verblijftijden van 30 tot 150 minuten genoemd (76, 100, 182, 242, 260). De minimaal benodigde verblijftijd is niet bekend, maar zal ongetwijfeld vooral afhangen van het percentage gemakkelijk afbreekbare verbindingen in het influent. Een verblijftijd van 10 minuten was in elk geval veel te kort (136). De veel kortere, benodigde verblijftijden in aërobe selectoren hangen samen met het feit dat aërobe opnameprocessen in het algemeen sneller verlopen (149). Bij een vorig STORA-onderzoek (57) werd weliswaar geconcludeerd dat de aanwezigheid van O_2 de biosorptie nauwelijks leek te beïnvloeden, maar dit betrof de fractie die via adsorptie gebonden wordt. Het is intussen bekend dat in een aërobe selector de ademhalingssnelheid kan stijgen tot 50 à 60 mg O_2 .g ds⁻¹.uur⁻¹. Daarnaast wordt ook nog substraat verwijderd via de opslag van reservestoffen in de cellen. Indien deze ademhalingssnelheid vergeleken wordt met een gangbare denitrificatiesnelheid van 1 mg NO_3^- -N.g ds⁻¹.uur⁻¹ (→ 4,8 mg NO_3^- -O.g ds⁻¹.uur⁻¹), zal duidelijk zijn waarom de verblijftijd in een anoxische selector relatief lang dient te zijn.

Het anaërobe selectiemechanisme functioneert alleen indien de micro-organismen, die via fosfaatafgifte substraat op kunnen nemen (*Acinetobacter* e.d.), in voldoende aantallen in het slib aanwezig zijn. Deze ontbreken in rwzi's met een stedelijk influent praktisch volledig. Hun selectie is gekoppeld aan de al genoemde afwisseling van aërobe en anaërobe omstandigheden. De vorming van voldoende zuren door facultatief anaërobe bacteriën kost meestal nogal wat tijd (1-2 uren). Overigens worden deze zuren via denitrificatieprocessen verwijderd zolang nog nitraat beschikbaar is. Om deze reden wordt in rwzi's, waar biologische P-verwijdering wordt nagestreefd, het anaërobe compartiment meestal gevoed met slib uit een anoxische zone.

Het influent van sommige rwzi's bevat al relatief veel laagmoleculaire verbindingen uit industriële lozingen of door afbraakprocessen in het

aanvoerriool. In dit soort rwzi's komt de biologische P-verwijdering uiteraard aanmerkelijk sneller op gang (169, 260, 269).

De keerzijde van de lange verblijftijd in een anoxische/anaërobe selector is het risico dat de gevormde organische zuren in onvoldoende mate worden opgenomen. De kans dat daardoor alsnog licht slib ontstaat, is minder groot als de selector gevolgd wordt door een aërobe zone met een duidelijke propstroming. Een bedrijfsvoering waarbij de afloop van zo'n selector in een tank met volledige menging komt, kan echter leiden tot het ontstaan van licht slib (22, 161). Toepassing van een anoxische of anaërobe selector in een bestaande rwzi heeft daarnaast als nadeel dat vaak een aanzienlijk gedeelte van de aëratietank gebruikt moet worden als selector. Dit gedeelte van de beluchtingsruimte is dan niet meer beschikbaar voor de aërobe afbraak van het substraat. De kans op het ontstaan van licht slib wordt aanmerkelijk vergroot als het selectorvolume > 20% van het volume van de aëratietank is (177).

Samenvattend kan worden gesteld dat een anoxische of een anaërobe selector toegepast kan worden bij het bestrijden van licht slib. De selectie berust op het gegeven dat draadvormende organismen alleen in aanwezigheid van O_2 substraat kunnen opnemen. De voordelen van deze manier van licht-slibbestrijden bestaan vooral uit de mogelijkheden om dit te combineren met de vaak gewenste extra N- en P-eliminatie. De relatief lange verblijftijden in zulke selectoren vormen echter een duidelijk nadeel. Deze werkwijze kan daardoor vaak niet op een eenvoudige manier toegepast worden op bestaande rwzi's.

De beschikbare informatie is overigens vooralsnog ontoereikend om de grenzen van deze wijze van licht-slibbestrijden aan te kunnen geven.

3.4 De rol van het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte

Het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte beïnvloedt de competitie tussen vlokvormende en draadvormende organismen in actiefslib. In het verleden is licht slib incidenteel in verband gebracht met een hoog gehalte aan opgeloste zuurstof (18, 19). Er is zelfs een voorbeeld bekend van een praktijk-rwzi waarin een verlaging van het zuurstofgehalte tot een niveau $< 1 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$ gepaard ging met het verdwijnen van de draden (200). Vrijwel alle onderzoekers zijn echter van mening dat niet een te hoog, maar juist een te laag O_2 -gehalte de groei van draadvormende micro-organismen stimuleert (o.a. 102, 186, 217).

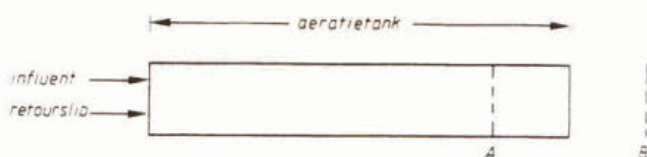
Een te laag O_2 -gehalte wordt vaak als de tweede hoofdoorzaak van licht slib genoemd (116). De andere is de lage substraatconcentratie in rwzi's met volledige menging in de beluchtingsruimte. De aanwezigheid van bepaalde soorten draadvormende bacteriën zou een direct gevolg zijn van een te laag O_2 -gehalte (zie tabel 5), zodat de groei van deze organismen eenvoudig bestreden kan worden door het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte te verhogen (166). Het feit dat de organismen die karakteristiek zouden zijn voor een laag O_2 -gehalte vaak bestreden kunnen worden via het selectormechanisme, toont al aan dat deze stelling waarschijnlijk te eenvoudig is.

Het actief-slibprocédé is een aëroob proces. De organismen aan de rand van de vlok nemen de zuurstof op uit de waterfase tussen de vlokken. De bacteriën in de vlokken zijn aangewezen op de O_2 die via diffusieprocessen wordt aangevoerd. Dit betekent dat sprake is van een zuurstofgradiënt in de vlok. Het gehalte in het centrum van de vlok is afhankelijk van de O_2 -concentratie in de omringende vloeistof, de lengte van de diffusieweg en het zuurstofverbruik onderweg in de vlok.

Een gehalte van $2 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$ in de vloeistoffase tussen de vlokken wordt vaak als een kritische grens beschouwd (86, 117, 123, 218). Dit is een praktijkgegeven. Uit een modelberekening werd geconcludeerd dat een vlok met een diameter van $200 \mu\text{m}$ en een normale respiratiesnelheid, bij dit zuurstofgehalte inderdaad tot in het centrum volledig aëroob is (134). Een vlok diameter van $200 \mu\text{m}$ stemt redelijk overeen met de gemiddelde vlog grootte in veel praktijk-rwzi's. Een slib dat voornamelijk uit agglomeraten bestaat (62) heeft meestal wel een grotere gemiddelde diameter, maar ook een open structuur, waardoor het water tussen de onderdelen van de vlok kan stromen.

Het is zeker dat een O_2 -gehalte $< \text{circa } 2 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$ de kans op het ontstaan van licht slib aanmerkelijk vergroot. Bij een laag zuurstofgehalte kan slechts een deel van de aërobe, vlokvormende organismen optimaal functioneren. Een belangrijk gedeelte van de micro-organismen doet niet of nauwelijks mee aan de aërobe afbraakprocessen. De slibbelasting, betrokken op de micro-organismen aanwezig in de nog aërobe delen van de vlok, is daardoor hoger dan uit het quotiënt van BZV-aanvoer en totale hoeveelheid droge stof blijkt. De substraatopname en -verwerking worden hierdoor vertraagd, hetgeen de draadvormers bevoordeelt (245). Dit is in figuur 9 schematisch weergegeven. Bij voldoende O_2 is het substraat bij A

al volledig verwerkt (biosorptiecapaciteit geregeneerd en ademhaling op endogeen niveau). Bij een laag zuurstofgehalte zou dit pas bij B bereikt kunnen worden. De verblijftijd in de tank is dan niet toereikend. Overigens kan zo'n verschuiving van A naar B ook het gevolg zijn van een hogere belasting van de rwzi of van een lagere temperatuur.



Figuur 9. Schematisch overzicht aëratietank (zie tekst).

Langdurige zuurstofloze perioden in het centrum van de vlok bevoordelen daarnaast facultatief anaërobe bacteriën. Deze schakelen dan over op een ander stofwisselingsproces, waarbij onder andere organische zuren geproduceerd worden. Het is dus niet toevallig dat in licht slib relatief veel van deze facultatief anaërobe organismen aanwezig zijn (213). Ook het feit dat onder O_2 -limitering de dosering van nitraat toereikend bleek om licht slib te voorkomen (104), duidt op de noodzaak van een snelle aërobe (eventueel met NO_3^- -0) verwerking van het beschikbare voedsel.

Bij een laag O_2 -gehalte in de beluchtingsruimte kunnen ook de lage k_{DO} -waarden van veel draadvormende bacteriën een rol spelen. Overigens lijkt deze eigenschap in beluchtingsruimten met volledige menging, extreem lage zuurstofgehalten uitgezonderd, voornamelijk van belang voor organismen die vaak in de vlok groeien (o.a. *M. parvicella* of type 1701). Een verhoging van het O_2 -gehalte werkt bij type 1701 dan ook alleen preventief en niet curatief (195). Organismen als type 021N en *S. natans* groeien voornamelijk in de vloeistoffase buiten de vlokken en zullen daarom pas bij een zeer laag O_2 -gehalte kunnen profiteren van hun lage k_{DO} -waarden. De k_{DO} -waarden spelen uiteraard wel een rol indien sprake is van een chronische O_2 -limitatie in het voorste gedeelte van een beluchtingsruimte met propstrooming. Deze situatie doet zich vaak voor in praktijk rwzi's (238). Een geringe stijging van de viscositeit ter plaatse speelt hierbij mogelijk ook een rol (197). Omdat de competitie om het beschikbare substraat juist vooraan in de tank wordt beslist, kan in zo'n rwzi gemakkelijk licht slib ontstaan, ondanks een voldoende hoog O_2 -gehalte in het grootste gedeelte van de beluchtingsruimte.

Het voorafgaande verklaart waarom een laag zuurstofgehalte in de beluch-

tingsruimte bij kan dragen tot het ontstaan van licht slib, ook in reactoren met een discontinue voeding (108) en in rwzi's met een duidelijke propstroming (276).

Diverse onderzoekers (o.a. 118, 166) stellen echter dat de invloed van de zuurstofconcentratie niet ophoudt bij een O_2 -gehalte \geq circa $2 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$. De groei van draadvormende organismen in rwzi's met een O_2 -gehalte $> 2 \text{ mg} \cdot l^{-1}$ zou eenvoudig bestreden kunnen worden door het zuurstofgehalte nog verder op te voeren.

De ontwerpers van rwzi's waarin zuivere zuurstof voor de beluchting wordt gebruikt, veronderstelden oorspronkelijk ook dat de lage SVI-waarden, van deze slibben een direct gevolg waren van de hoge zuurstofgehalten in zulke systemen ($4-6 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$). De laatste jaren is echter aangetoond dat de bezinkeigenschappen van slibben uit deze rwzi's niet significant verschilden van die uit rwzi's met conventionele beluchting en een O_2 -gehalte $> 2 \text{ mg} \cdot l^{-1}$ (86, 123, 167). De veelal goede bezinkeigenschappen van de slibben uit eerstgenoemde systemen worden primair veroorzaakt door de cascade-uitvoering van de beluchtingsruimte. Overigens zijn ook voorbeelden bekend van licht slib in zuivere-zuurstof-rwzi's (162).

Bij een groot aantal onderzoeken (43, 191, 230, 277) is intussen vastgesteld dat de groei van draadvormende bacteriën in rwzi's met een volledige menging niet kon worden voorkomen door een hoog O_2 -gehalte in de beluchtingsruimte, zelfs niet indien dit tot een extreem niveau van circa $15 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$ werd opgevoerd (38, 136). Aangezien het licht slib in deze laboratorium-rwzi's vrijwel steeds veroorzaakt werd door *S. natans*, type 021N en *H. hydrossis* is de suggestie om juist deze bacteriën als indicatororganismen voor een laag O_2 -gehalte te gebruiken eveneens niet juist. Een laag O_2 -gehalte kan wel tot hun groei leiden, maar hun aanwezigheid is niet perse een gevolg van een zuurstofgebrek.

Ter afsluiting van deze paragraaf volgen enkele punten die ook een rol spelen, maar waarover onvoldoende bekend is:

- regelmatig terugkerende belastingspieken, waarbij de hiermee corresponderende zuurstofvraag in onvoldoende mate kan worden opgevangen door de aanwezige beluchtingscapaciteit, creëren periodiek gunstige condities voor de draadvormende bacteriën;
- de viscositeit van slib wordt beïnvloed door de mate van draadvorming en het soort draadvormend organisme (274). De aanwezigheid van zeer veel draden van het type 021N ging gepaard met een sterk

viskeus slib (269). Deze hoge viscositeit werd niet veroorzaakt door polymere verbindingen in de vloeistoffase, maar leek samen te hangen met het grote aantal aanwezige draden. Aangezien de α -factor beïnvloed wordt door de viscositeit zou een neerwaartse spiraal kunnen ontstaan: groei van draden \rightarrow hogere viscositeit \rightarrow slechtere zuurstofoverdracht \rightarrow lager zuurstofgehalte \rightarrow betere groei van draadvormers, enz.;

- de aanwezigheid van draden rondom de vlok kan tot gevolg hebben dat de laag water rondom de vlok min of meer "in rust verkeert". De diffusieweg, vanaf de turbulente vloeistoffase tot in het centrum van de vlok, wordt dan langer. Een groter gedeelte van de vlok wordt dan zuurstofloos.

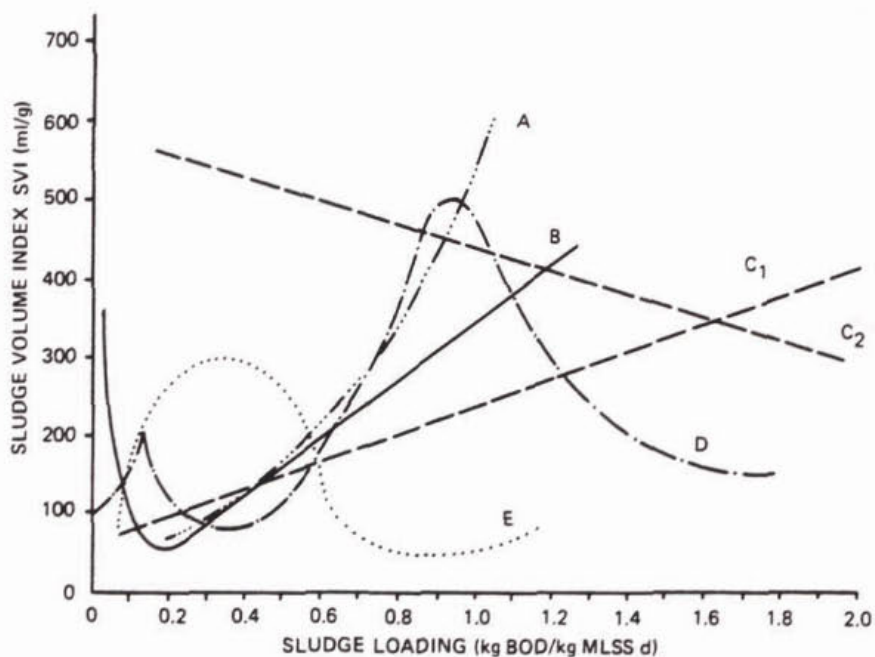
3.5 De invloed van de slibbelasting

De invloed van de slibbelasting op het ontstaan van licht slib is in de loop der jaren frequent onderzocht, zonder dat dit geleid heeft tot duidelijkheid. In de literatuur over de aërobe zuivering van afvalwater is nauwelijks een ander onderwerp te vinden waarover zoveel verwarring bestaat. Enkele voorbeelden van deze verwarring:

- licht slib treedt vooral op in rwzi's met een slibbelasting van globaal 0,2-0,4 g BZV.g slib⁻¹.dag⁻¹ (259);
- de SVI is minimaal bij een slibbelasting van 0,2-0,4 g BZV.g slib⁻¹.dag⁻¹ (75, 139, 165, 175);
- de SVI stijgt naarmate de belasting toeneemt (25, 95, 103, 170).

Figuur 10, waarmee de verwarring duidelijk gedemonstreerd wordt, is overgenomen uit een publicatie van Tomlinson (239). Er kan alleen maar geconcludeerd worden dat een algemeen geldend verband tussen beide parameters, kennelijk niet bestaat. Hiervoor kan ook een aantal argumenten worden genoemd.

Een rwzi met propstroming zal anders reageren op een verhoging van de belasting dan een systeem met volledige menging. Bij volledige menging zal een verhoging van de belasting in eerste instantie de draadvormende bacteriën bevoordelen. Organismen met lage k_s -waarden voor het beschikbare substraat zullen domineren in het slib. Dit gaat door tot een belastingsniveau wordt bereikt waarbij het voedsel niet langer schaars is. Dit blijkt o.a. uit de duidelijke toename van het CZV van het effluent. De competitie wordt dan vooral beslist op basis van μ_{\max} -waarden en de slibleeftijd (36). Bij hoge slibbelastingen zullen de draadvormende organis-



Figuur 10. Het "verband" tussen de SVI en de slibbelasting bij enkele onderzoeken (239).

men zich niet meer kunnen handhaven, omdat hun maximale groeisnelheid achterblijft bij die van veel vlokvormende bacteriën. Er kan niet precies worden aangegeven boven welke slibbelasting dit het geval is. Bij laboratoriumproeven met een kunstmatig afvalwater werd vastgesteld dat deze grens rond een belasting van $1 \text{ kg CZV.kg slib}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ lag (21, 32). In de hoogbelaste eerste trap van tweetraps actief-slibinrichtingen zijn ook niet veel draadvormende bacteriën aanwezig. Zo'n eerste trap wordt in het algemeen gedimensioneerd op een slibbelasting $> 1 \text{ kg CZV.kg slib}^{-1} \text{ .dag}^{-1}$.

Een toename van de belasting in een rwzi met propstroming zal in eerste instantie niet leiden tot een betere groei van draadvormende organismen, omdat in deze rwzi's een selector is ingebouwd. Het is zelfs niet uitgesloten dat het selectormechanisme beter gaat functioneren, zolang de belasting nog niet te hoog is. Misschien is dit de verklaring voor de referenties waarin wordt gesteld dat de laagste SVI-waarden gepaard gaan met een slibbelasting rond $0,3 \text{ g BZV.g slib}^{-1} \text{ .dag}^{-1}$.

Boven een slibbelasting van circa $0,5 \text{ g BZV.g slib}^{-1} \text{ .dag}^{-1}$ (zie tabel 14) houdt het selectormechanisme op als zodanig te functioneren, omdat onvol-

doende tijd voor de regeneratie van de biosorptiecapaciteit beschikbaar is. De draadvormende organismen krijgen dan alsnog een kans en zullen zich kunnen handhaven tot de belasting zo hoog geworden is dat ze de competitie verliezen door hun ontoereikende groeisnelheid.

In het voorafgaande is steeds aangenomen dat de beluchttingscapaciteit toereikend was om, ondanks de toegenomen slibbelasting, aërobe condities te kunnen handhaven. In de praktijk is dit lang niet altijd het geval, waardoor de biomassa soms op een andere wijze zal reageren op een stijging van de belasting.

De groei van draadvormende organismen wordt mede bepaald door de kwaliteit van het beschikbare substraat. Slibben die gevoed worden met stedelijk afvalwater reageren anders op een stijging van de belasting dan slibben die belast worden met industrieel afvalwater (82, 87, 142). De aard van de beschikbare koolstofverbindingen, de grootte van de opgeloste fractie in het influent, enz. hebben invloed op de competitie tussen vlokvormende en draadvormende bacteriën.

In praktijk-rwzi's is sprake van een successie van soorten draadvormende bacteriën. Sommige soorten groeien vooral bij lage andere juist bij hoge slibbelastingen. Onder laboratoriumomstandigheden groeien vooral de draadvormende organismen die onder praktijkomstandigheden voornamelijk in rwzi's met een hoge slibbelasting en/of een industrieel influent worden waargenomen. Een organisme als *M. parvicella* groeit absoluut niet op de kunstmatige influenten die bij veel laboratoriumexperimenten worden gebruikt. Dit verklaart waarom op basis van laboratoriumexperimenten (21, 32) nogal eens wordt geconcludeerd dat licht slib niet ontstaat bij lage slibbelastingen. In praktijk rwzi's veroorzaakt echter juist *M. parvicella* frequent hoge SVI-waarden bij lage slibbelastingen.

Het zal duidelijk zijn dat een algemeen geldend verband tussen de SVI en de slibbelasting niet bestaat. Het verband is in feite specifiek voor iedere aparte rwzi. Een vergelijking van gegevens uit verschillende rwzi's om de invloed van de slibbelasting op de SVI vast te stellen, is alleen zinvol indien deze rwzi's verschillen qua belasting, maar verder praktisch identiek zijn.

Sinds circa 1920 is op een groot aantal manieren geprobeerd licht slib te bestrijden. Veel van de in de literatuur beschreven maatregelen leverden echter hooguit incidenteel en waarschijnlijk toevallig het beoogde resultaat op. Ook worden bestrijdingsmethoden genoemd waarbij naar de huidige inzichten het middel erger was dan de kwaal (dosering van koper- of chroomzouten). In dit hoofdstuk zal een aantal potentiële bestrijdingsmethoden worden geëvalueerd. Hierbij zal, waar mogelijk, tevens worden gelet op het effect van deze methoden op de diverse draadvormende organismen, omdat het eventuele succes van bepaalde bestrijdingswijzen tevens afhangt van de aard van de aanwezige organismen. Bij deze evaluatie zal gebruik worden gemaakt van de ervaringen opgedaan bij het "actief-slib-werkoverleg" (1) en van de in de literatuur vermelde gegevens.

Licht-slibbestrijdingsmethoden kunnen globaal in twee groepen worden ingedeeld:

- A. Maatregelen die gericht zijn op het aantasten van de sterke concurrentiepositie van de draadvormende organismen:
- gebruik van een aërobe, anoxische of anaërobe selector;
 - verhoging van het zuurstofgehalte;
 - optimalisering van de C:N:P verhouding;
 - veranderingen van de slibbelasting.
- B. Maatregelen die primair gericht zijn op het bestrijden van de symptomen. Bij deze werkwijzen wordt dus niet geprobeerd de oorzaak van het probleem weg te nemen. Dit betekent dat zulke maatregelen in beginsel voor onbepaalde tijd gecontinueerd moeten worden. Hiertoe behoren:
- werkwijzen waarbij de draden chemisch of mechanisch stuk gemaakt worden;
 - werkwijzen waarbij men de slibverliezen probeert te beperken via het verzwaren van de vlokken of door de flocculatie te verbeteren. Met beide methoden wordt een verbetering van de bezinkeigenschappen van de vlokken nagestreefd.

4.1 Toepassing van een selector

Vrijwel vanaf het moment waarop de eerste publicaties verschenen, waarin een verband werd gelegd tussen het voedingspatroon en het optreden van licht slib, is op praktijkschaal geprobeerd licht slib te bestrijden via een periodiek hoge slibbelasting. In Bijlage C worden de ervaringen in ruim 30 rwzi's globaal besproken. In deze rwzi's werden voorzieningen getroffen, soms erg provisorisch, om retourslib en influent te mengen teneinde een periodiek hoge slibbelasting toe te kunnen passen. Hiertoe werden aparte contacttanks geïnstalleerd of werd een afgescheiden gedeelte van de beluchttingsruimte of zandvangter gebruikt als selector. Soms werd slechts het retourslibdebet gewijzigd of het influent tijdelijk gebufferd, teneinde de vlokbelading vooraan in een langwerpige aëratietank te veranderen. De voorzieningen zijn meestal getroffen zonder voldoende beschikbare kennis van de werking van de verschillende selectiemechanismen. Al deze constructies, al dan niet duidelijk afgescheiden van de beluchttingsruimte, worden in dit rapport aangeduid met de term selector, ook indien naar de huidige inzichten de inrichting zodanig was dat vrijwel zeker geen selectie van vlokvormende bacteriën kon plaatsvinden.

De omstandigheden en de ervaringen op de verschillende rwzi's zijn in de tabellen 22 en 24 samengevat. De interpretatie van het resultaat is overigens niet altijd goed mogelijk, omdat soms meerdere veranderingen in de bedrijfsvoering gelijktijdig werden uitgevoerd. Vaak betrof dit rwzi's met zeer hoge waarden van de SVI.

In de tabellen wordt eerst een korte karakterisering van de rwzi gegeven (ontwerpcapaciteit, slibbelasting tijdens de experimenten of gedurende de laatste jaren en het percentage industrieel afvalwater).

De situatie vòòr de introductie van de selector wordt gekarakteriseerd op basis van de SVI, de categorie (= mate van draadvorming) en de aanwezige draadvormende organismen.

Het mengpatroon is beoordeeld op basis van de vorm van de selector. Hierbij is aangenomen dat alleen een uitgesproken langwerpige vorm (bijvoorbeeld lengte = 10 x breedte) van de selector tot een propstroming leidt. Bij de zuurstofvoorziening in de selector worden vaak combinaties, bijvoorbeeld aëroob/anoxisch of anoxisch/ anaëroob, genoemd. Dit illustreert dat vrijwel nooit bewust gekozen werd voor een bepaald selectiemechanisme. Influent en retourslib werden ergens in het systeem met elkaar gemengd. In deze mengzone of -tank werd vrijwel nooit (extra) beluchttingscapaciteit geïnstalleerd. De ter plaatse eventueel al aanwezige beluch-

tingscapaciteit was praktisch steeds ontoereikend om aan de zuurstofvraag te voldoen. Het zuurstofgehalte in deze selectoren was dus frequent praktisch nul. Dit leidt tot combinaties als aëroob/anaëroob of aëroob/anoxisch voor selectoren waarbij in het retourslib geen/weinig, respectievelijk vrij veel nitraat aanwezig is. Op dezelfde wijze kan bij de niet-beluchte selectoren onderscheid worden gemaakt tussen anoxische en anoxische/anaërobe condities. Hierbij speelt het jaargetijde soms ook een rol. In veel Nederlandse rwzi's bevat het retourslib overigens weinig nitraat, omdat vaak gestreefd wordt naar simultane denitrificatie in de beluchtingsruimte.

De hoeveelheid voedsel die in de selector voor de micro-organismen beschikbaar is hangt samen met de vervuilingsgraad van het afvalwater, het drogestofgehalte van het retourslib, de mengverhouding van deze twee stromen en de verblijftijd in de selector. Vanuit de micro-organismen bezien lijkt daarnaast ook de frequentie waarmee het slib de selector passeert van belang te zijn. Over deze parameter is nog weinig bekend. De voedselvoorziening in de selector wordt meestal gekarakteriseerd op basis van:

- verhouding van de volumina van de aëratietank (V_T) en de selector (V_S);
- verblijftijd in de selector;
- vlokbelading;
- slibbelasting in de selector.

Deze grootheden zijn onderling verbonden, hetgeen met twee rekenvoorbeelden geïllustreerd zal worden. Bij deze voorbeelden gelden de volgende randvoorwaarden:

- droog-weeraanvoer;
- de totale hoeveelheid afvalwater per dag bereikt de rwzi in circa 10 uur;
- de vlokbelading is berekend op basis van het totale BZV van het afvalwater dat de aëratietank bereikt.

Rekenvoorbeeld I: Oxydatiesloot

10.000 i.e.	- influent	: 1500 m ³ .dag ⁻¹ ; 150 m ³ .h ⁻¹
150 l. i.e. ⁻¹ .dag ⁻¹	- retourslib	: 75 m ³ .h ⁻¹
50 g BZV. i.e. ⁻¹ .dag ⁻¹	- BZV-aanvoer	: 500 kg.dag ⁻¹
4 i.e. .m ⁻³	- BZV-influent	: 333 mg O ₂ .l ⁻¹
droge stof in de	- aëratietank	: 2500 m ³
beluchtingsruimte:	- slibbelasting:	0,05 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
4 g.l ⁻¹		

Uitgaande van deze gegevens kan bij een drogestofgehalte van 8 g.l⁻¹ in het retourslib de vlokbelading berekend worden met de formule:

$$\text{vlokbelading} = \frac{\phi_{\text{influent}} \times \text{BZV}_{\text{influent}}}{\phi_{\text{retourslib}} \times \text{DS}_{\text{retourslib}}} = \frac{150 \times 333}{75 \times 8} = 83 \text{ mg BZV.g ds}^{-1}$$

De waarden voor de diverse grootheden bij een variabele verblijftijd in de selector zijn weergegeven in tabel 20.

	verblijftijd (min)				
	5	10	15	30	60
V _S (m ³)	19	38	56	112	225
V _T /V _S	132	66	45	22	11
slibbelasting in selector (kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹)	9,8	4,9	3,3	1,7	0,8
ruimtebelasting (kg BZV.m ⁻³ .dag ⁻¹)	26	13	9	4,5	2,2

Tabel 20. Het verband tussen enkele grootheden waarmee een selector gekarakteriseerd kan worden (oxydatieslootcondities).

Rekenvoorbeeld II: Conventionele actief-slibinrichting

50 000 i.e.

150 l. i.e.⁻¹.dag⁻¹

35 g BZV. i.e.⁻¹.dag⁻¹ (voorbezonden)

13 i.e. .m⁻³ (→ 12,5 uur verblijftijd)

slibbelasting: 0,15 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹

drogestofgehalte in de aëratietank: 3 g.l⁻¹

drogestofgehalte in het retourslib: 6 g.l⁻¹

effluentrecirculatie: 50%

$$\phi_{\text{retourslib}} = \frac{1}{2} (\phi_{\text{influent}} + \phi_{\text{recirculatie}})$$

- BZV-aanvoer	: 1750 kg BZV.dag ⁻¹
- ϕ_{influent}	: 750 m ³ .h ⁻¹
- $\phi_{\text{recirculatie}}$: 375 m ³ .h ⁻¹
- $\phi_{\text{retourslib}}$: 560 m ³ .h ⁻¹
- BZV na voorbezinktank	: 160 mg O ₂ .l ⁻¹
- vlokbelading	: 54 BZV. kg ds ⁻¹

Het verband tussen de verblijftijd in de selector en enkele andere grootheden waarmee zo'n contactruimte gekarakteriseerd kan worden is weergegeven in tabel 21.

	verblijftijd (minuten)				
	5	10	15	30	60
V _S (m ³)	140	280	420	840	1680
V _T /V _S	28	14	9,5	4,8	2,4
slibbelasting in selector (kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹)	6,3	3,1	2,1	1,1	0,5
ruimtebelasting (kg BZV.m ⁻³ .dag ⁻¹)	12,5	6,2	4,2	2,1	1,0

Tabel 21. Het verband tussen enkele grootheden waarmee een selector gekarakteriseerd kan worden (conventionele actief-slibinrichting).

De voorbeelden zullen bij de bespreking van de praktijkervaringen als referentie fungeren om ontbrekende parameters globaal te kunnen schatten.

Het effect van een selector wordt, net als de uitgangssituatie, beoordeeld op basis van aantal en soort draadvormende organismen en de SVI. Bij de afsluitende beoordeling wordt onderscheid gemaakt tussen geen/gering, matig, redelijk en groot effect.

4.1.1 oxydatiesloten

De ervaringen met selectoren bij oxydatiesloten zijn samengevat in tabel 22 (pp. 85-87).

Bij deze oxydatiesloten is de selector buiten de beluchtingsruimte geconstrueerd. De vlokbelading was in het algemeen noch extreem hoog, noch bijzonder laag, zodat wat dit betreft aan de vereiste randvoorwaarden werd voldaan. In de meeste selectoren werd een korte verblijftijd (5-15 minuten onder droogweerstandigheden) van influent + retourslib toegepast. De inhoud van de selector werd meestal niet belucht, zodat sprake was van anoxische/anaërobe condities. De slibbelasting in de selector varieerde van 0,3 tot circa 15 kg BZV.kg slib⁻¹.dag⁻¹. Deze is overigens in een aantal gevallen geschat door uit de vlokbelading en de verblijftijd een slibbelasting te berekenen, onder de aanname dat de totale dagelijkse BZV-aanvoer de rwzi in circa 10 uur bereikt.

Op vijf zuiveringsinrichtingen is de selector aanwezig sinds de bouw van de rwzi, waardoor een uitgangssituatie als vergelijkingsmateriaal ontbreekt. De mogelijke invloed van de selector kan hierbij dus alleen op basis van de huidige slibkwaliteit beoordeeld worden, waarbij de onzekerheid blijft of de afwezigheid van draadvormende organismen misschien ook een andere oorzaak kan hebben. Overigens speelt deze onduidelijkheid alleen bij de rwzi Vollenhove.

Gelet op de resultaten zijn in het slib van circa 50% van de rwzi's vooral 's winters nog steeds te veel draadvormende organismen aanwezig. Dit lijkt een magere score. Het resultaat is echter in feite boven verwachting, omdat volgens de theorie (Hoofdstuk 3) nauwelijks effect mocht worden verwacht van de combinatie korte verblijftijd + anoxische/ anaërobe condities. Een korte verblijftijd is noodzakelijk voor het aërobe selectiemechanisme. Bij afwezigheid van O₂ zijn juist relatief lange verblijftijden vereist. Het experiment op de rwzi Zuidpolder is wat dit betreft

	Blaricum	Bunnik	Carquefou	Dalfsen	Echten
Capaciteit (i.e.)	30.000	32.000	600	18.000	100.000
% industrie	gering	70	gering	20	50
slibbelasting ¹⁾	0,05	0,05-0,06	0,02-0,06	0,04	0,05
Uitgangssituatie	*			*	
- SVI (ml.g ⁻¹)		>300	250-300		150-250
- categorie		4			3-4
- draadvormers		type 0041 <i>N. limicola</i>	type 0041 type 0092		type 021N <i>M. parvicella</i>
Selector	aparte tank	zandvang	aparte tank	tank + leiding	zandvang
- menging	volledig	propstroom	volledig	propstroom	volledig
- A/AX/AN ²⁾	AX/AN	A/AN	?	AX	AN
- $V_T : V_S$ ³⁾	40	85	70	164	
- verblijftijd (min)	10	5	10-20	4	14/6-10
- vlokbelading ⁴⁾	20	50	75	65	30/70-140
- slibbelasting ¹⁾	1-3	5-7	2-4	10	1-1,5/4-8
Resultaat					
- SVI	150-200	80-120	<50	143±40	140-190/<150
- categorie	3-4	2-3			2-3
- draadvormers	<i>M. parvicella</i>	diverse soorten		<i>M. parvicella</i>	<i>M. parvicella</i> en type 021N niet meer dominant
- beoordeling effect	gering	groot	groot	gering	matig/rede- lijk
Opmerkingen	hoge SVI alleen in winter en voorjaar ingesteld	simultaan dis- continue be- drijfsvoering		SVI: jaarge- middelde van 1985	proef ge- volgd door definitieve bedrijfs- voering
Referentie	1	4	181	26a	1

Tabel 22. Oxydatiesloten met een selector.

1) in kg BZV.kg d.s.⁻¹.dag⁻¹; 2) A = aëroob, AX = anoxisch, AN = anaëroob; 3) V_T en V_S zijn respectievelijk de volumina van de aëratietank en de selector; 4) in g BZV.kg d.s.⁻¹; *: aanwezig sinds bouw rwzi.

N.B.: vlokbelading en slibbelasting in de selector zijn globaal geschat.

illustratief. *M. parvicella* verdween praktisch volledig uit deze rwzi, nadat een anoxische selector met een verblijftijd van 150 minuten was geïnstalleerd.

Het duidelijke effect van de selector op de rwzi's Echten, Haulerwijk, Ommen en Zwartsluis (en mogelijk ook Vollenhove) illustreert dat de aan-

	Haulerwijk	Heino	Hengeveide	Kaatsheuvel	Ommen
Capaciteit (i.e.)	16.500	12.500	3.000	30.000	10.000
% industrie	80	60	15	gering	20
slibbelasting ¹⁾	0,05-0,14	0,03	0,03	0,05	0,05
Uitgangssituatie					
- SVI (ml.g ⁻¹)	≥300		250		ca. 250
- categorie	4		4		4
- draadvormers	M. parvicella type 1851 type 0041		M. parvicella		M. parvicella
Selector					
- menging	aparte tank volledig	aparte tank propstroom	slingergoot propstroom	aparte tank volledig	zandvang propstroom
- A/AX/AN ²⁾	AX/AN	AX	AX/AN	A	AX
- $V_T : V_S$ ³⁾	205	242	26	160	86
- verblijftijd (min)	5	3,5	10	5	5
- vlokbelading ⁴⁾	35-100	110			50
- slibbelasting ¹⁾	4-12	15	1-2	10-15	6
Resultaat					
- SVI (ml.g ⁻¹)	150-200	100-140	110-220	100-200	110
- categorie	3-4				2-3
- draadvormers	type 1851 vrij- wel weg; rest niet afgenomen	M. parvicella	M. parvicella	M. parvicella	M. parvicella
- beoordeling effect	matig	gering?	gering	gering	redelijk
Opmerkingen					
	bij huidige SVI geen slibver- liezen	lage SVI on- danks 60% zu- velafvalwater		selector anoxisch - SVI niet lager	OC tevens ver- hoogd
Referentie	1	25a	1	269	25a

Tabel 22. Oxydatiesloten met een selector (vervolg)
Legenda: zie pagina 85.

wezigheid van voldoende O_2 geen absoluut vereiste lijkt bij een korte verblijftijd. Waarschijnlijk kan dit rijtje nog uitgebreid worden met de rwzi's Bunnik en Carquefou. Op de rwzi Bunnik werd de inhoud van de selector weliswaar enigszins belucht, maar de beschikbare OC is minimaal; deze dateert uit een tijd toen de selectorruimte als beluchte zandvang werd gebruikt. De installatie en inrichting van de selector op de rwzi Carquefou vergde nauwelijks investeringen, zodat aangenomen mag worden dat deze niet belucht werd.

Er is geen verband tussen de SVI en de parameters V_T/V_S , verblijftijd en vlokbelading, maar wel met de slibbelasting in de selector. In tabel 23 zijn de rwzi's gerangschikt naar opklimmende slibbelasting. Bij lage

	Vollenhove	Zwartsluis	Zuidpolder/TNO
Capaciteit (i.e.)	20.000	5.000	500
% industrie	25	gering	nihil
slibbelasting ¹⁾	0,02	0,05	0,05
Uitgangssituatie	*		
- SVI (ml.g ⁻¹)		160-290	150-250
- categorie		4	4
- draadvormers		<i>M. parvicella</i> <i>S. natans</i>	<i>M. parvicella</i>
Selector	tank + leiding	aparte tank	6 tanks in serie
- menging	propstroom	propstroom	propstroom
- A/AX/AN ²⁾	AX/AN	AX/AN	AX
- $V_T : V_S$ ³⁾	180	47	5
verblijftijd (min)	6	7	150
- vlokbelading ⁴⁾	35	60	40
- slibbelasting ¹⁾	4	5	0,3
Resultaat			
- SVI (ml.g ⁻¹)	90±20	90±20	40-80
- categorie			
- draadvormers	weinig	weinig	weinig
- beoordeling effect	?	groot	groot
Opmerkingen	in periode met belasting = 0,05 wel een hoge SVI	slibbelasting verlaagd na daling SVI	
Referentie	25a	25a	100

Tabel 22. Oxydatiesloten met een selector (vervolg)
Legenda: zie pagina 85.

slibbelastingen (1-3 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹) was het resultaat minimaal, tenzij een lange verblijftijd + anoxische omstandigheden werden toegepast.

Er werden in het algemeen goede resultaten geboekt met slibbelastingen in de selector van 3-6 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. Het aantal draden werd steeds sterk gereduceerd. Dit betrof zowel *M. parvicella* als enkele andere soorten. Er kan niet goed worden verklaard waarom bijvoorbeeld *M. parvicella* wel praktisch volledig uit de rwzi Zwartsluis verdween, terwil dit organisme zich kon handhaven in de rwzi Haulerwijk. De daling van de SVI in deze laatste installatie werd vooral veroorzaakt door de afname van type 1851. Mogelijk bevat dit afvalwater relatief veel opgeloste, hogere vet-

rwzi	omstandigheden in selector		effect op groei draadvormers						opmerkingen
	slibbe- lasting ¹⁾	verblijf- tijd ²⁾	A/AX/AN	M. parvi- cella	type	type	type	type	
Zuidpolder	0,3	150	AX	groot					
Echten ⁴⁾	1-1,5	14	AN	gering	groot				
Hengevelde	1-2	10	AX/AN	gering					
Blaricum	1-3	10	AX/AN	gering					
Carquefou	2-4	10-20	?			groot	groot		rwzi bij een ziekenhuis
Vollenhove	4	6	AX/AN						lage SVI
Haulerwijk	4-12	5	AX/AN	gering		groot	gering		80% industrieel afvalwater
Zwartsluis	5	7	AX/AN	groot					
Bunnik	5-7	5	A/AN				groot	groot	100% industrieel afvalwater
Echten ⁵⁾	4-8	6-10	AN	groot	groot				
Ommen	6	5	AX	redelijk					
Dalfsen	10	4	AX	gering					
Kaatsheuvel	10-15	5	A	gering					
Heino	15	3,5	AX	gering					

Tabel 23. De invloed van de selector op de groei van diverse draadvormende bacteriën in oxydatiesloten.

1) kg BZV.kg slib⁻¹.dag⁻¹; 2) in minuten (droogweeraanvoer); 3) A = aëroob, AX = anoxisch, AN = anaëroob; 4) omstandigheden tijdens een experiment; 5) huidige omstandigheden.

zuren (80% van het influent is afkomstig van een kippenlachterij).

Bij slibbelastingen van 10-15 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹ was het effect van de selector weer minimaal.

De anoxisch/anaërobe condities en de korte verblijftijd maken het erg onwaarschijnlijk dat micro-organismen een actieve en wezenlijke bijdrage leveren aan de substraatopname in deze selectoren. De resultaten kunnen alleen verklaard worden uit een doorslaggevende rol van fysisch/chemische verwijderingsprocessen van substraat. In paragraaf 3.3.3 is aangegeven dat de hoeveelheid substraat, die via deze momentane opname vastgelegd wordt, binnen zekere grenzen toeneemt, naarmate meer substraat beschikbaar is. Dit betreft echter alleen een toename in absolute zin. De opname in procenten van de beschikbare hoeveelheid daalt daarentegen juist naarmate de vlokbelading stijgt. Dit verklaart waarom bij relatief lage, respectievelijk zeer hoge slibbelastingen in de selector de groei van draadvormende organismen niet kon worden voorkomen in deze oxydatiesloten.

Enkele relevante vragen kunnen echter, ondanks dit positieve resultaat, niet definitief beantwoord worden, omdat nog onvoldoende gegevens beschikbaar zijn. Dit betreft vooral:

- welke verbindingen op deze wijze worden gebonden. Er zijn aanwijzingen dat het toch vooral gaat om de niet-opgeloste componenten uit het influent. Bij een onderzoek naar de invloed van het voedingspatroon werd vastgesteld dat de momentane verwijdering van substraat in alle proef-rwzi's, dus inclusief de rwzi's met een ingebouwde selector, drastisch daalde (van 50 à 80 mg CZV. g ds⁻¹ tot circa 10 mg CZV. g ds⁻¹; contacttijd: 1 min.), nadat was overgeschakeld op een voeding met voorbezonden influent, bij een overigens gelijkblijvende vlokbelading (1);
- de toename van de momentane opname na verloop van tijd door de aanwezigheid van een selector met een hoge slibbelasting. Er zou een vlok kunnen ontstaan die meer niet-opgelost substraat kan binden via fysisch-chemische processen. Waarschijnlijk is van deze adaptatie geen sprake. Bij het hiervoor genoemde onderzoek (1) werd vastgesteld dat de wijze van voeden de momentane opname niet leek te beïnvloeden. De slibben verschilden alleen qua substraatopnamesnelheid tijdens de daaropvolgende minuten. Desondanks verschillen slibben uit praktijk-rwzi's onderling vaak aanmerkelijk qua momentane sub-

straatopname. Dit kan op basis van de beschikbare gegevens niet worden verklaard. Mogelijk hangt een en ander samen met de vorm en/of de structuur van de vlok.

De koppeling van het effect van een selector zonder beluchting en met een korte verblijftijd aan de verwijdering van niet-opgelost substraat betekent dat de micro-organismen, die op deze wijze succesvol bestreden werden, kennelijk het niet-opgeloste substraat of zijn omzettingsprodukten kunnen gebruiken als koolstofbron.

Een tweede consequentie is dat weinig effect van zo'n selector mag worden verwacht als een belangrijk gedeelte van het influent-CZV uit opgeloste verbindingen bestaat. In Hoofdstuk 5 zal hier nog nader op worden ingegaan.

Ter afsluiting van deze paragraaf wordt opgemerkt dat de resultaten met contactruimten bij oxydatiesloten in feite nauwelijks informatie opgeleverd hebben over de toepasbaarheid van de selectiemechanismen die in het vorige hoofdstuk zijn vermeld! Alleen de selector op de rwzi Zuidpolder voldeed aan de genoemde randvoorwaarden. Op de rwzi Kaatsheuvel werd de inhoud van de selector weliswaar tijdelijk in voldoende mate belucht, maar de toegepaste slibbelasting was vrijwel zeker veel te hoog. Desalniettemin zijn de totale resultaten waardevol, omdat hiermee met een grote waarschijnlijkheid kon worden aangetoond dat de binding van niet-opgelost substraat in een contactruimte soms ook kan bijdragen tot het bestrijden van licht slib. In feite is dit een vierde selectiemechanisme.

4.1.2 *conventionele actief-slibinrichtingen*

De resultaten die in 20 conventionele actief-slibinrichtingen werden geboekt zijn samengevat in tabel 24. In Bijlage C wordt meer gedetailleerde informatie over deze experimenten gegeven. Onder conventionele rwzi's worden hier verstaan: actief-slibinrichtingen met voorbezinktanks en een aparte, anaërobe slibstabilisatie. In vergelijking met oxydatiesloten bevat het influent dus veel minder niet-opgelost materiaal en is de slibleeftijd veel korter.

De slibbelasting was in alle rwzi's $< 0,5 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$. In beginsel zouden draadvormende organismen daarom bestreden kunnen worden via een aëroob selectiemechanisme (zie tabel 14).

	Amsterdam-N	Bath	Bayreuth	Berlijn	Columbus
Capaciteit (i.e.)	130.000	400.000	300.000	1.200.000	1.000.000
% industrie	20	50-60	groot	30	50
slibbelasting ¹⁾	0,2-0,3	0,15	0,2	0,15-0,25	0,2-0,4
Uitgangssituatie					
- SVI (ml.g ⁻¹)	120-200	>500	>1000	150-200	200-300
- categorie		4+	4+	3-4	
- draadvormers	<i>M. parvicella</i> type 021N	type 021N	<i>Thiothrix</i> <i>S. natans</i> <i>Beggiatoa</i> type 021N type 0961	type 021N type 0961	lijkt op blauwwier
Selector ⁵⁾					
- menging	contacttank volledig	contacttank volledig	alleen overscha- keling op prop- stroming.	1e deel AT propstroom	1e deel AT volledig
- A/AX/AN ²⁾	A/AN	A/AN		AX/AN	A
- $V_T : V_S$ ³⁾	30	22	Eerste deel AT	6	8
- verblijftijd (min)	5	8	is AN/AX.	100	
- vlokbelasting ⁴⁾		ca. 30			
- slibbelasting ¹⁾	7-10	2-4		1-2	2-4
Resultaat					
- SVI (ml.g ⁻¹)	120-200	> 500	100	50-70	laag
- categorie		4+	1	1-2	
- draadvormers	<i>M. parvicella</i> type 021N	type 021N	diversen	type 021N type 0961	vrijwel af- wezig
- beoordeling effect	nihil	nihil	groot	groot	groot
Opmerkingen					
	chronisch O ₂ tekort in de beluchting	draadvormers verdwenen na verhoging OC in AT	simultaan ver- blijftijd in voorbezink- tank sterk gereduceerd	simultaan bio- logische defos- fatering (spon- taan)	AT: 8 compartimenten in serie. Alleen OC in eerste cel verhoogd
Referentie					
	1	269	109, 179	169	198

Tabel 24. Conventionele rwzi's met een selector.

1) in kg BZV.kg d.s.⁻¹.dag⁻¹; 2) A = aëroob, AX = anoxisch, AN = anaëroob; 3) V_T en V_S zijn de volumina van de aëratietank, respectievelijk de selector; 4) in g BZV.kg d.s.⁻¹; 5) AT = aëratietank; *: aanwezig sinds bouw rwzi.

Het influent bestond meestal voor een aanzienlijk percentage uit industrieel afvalwater en bereikte de rwzi's frequent in een sterk aangetaste toestand. Dit soort afvalwater stimuleert de groei van veel draadvormende organismen. Op de meeste rwzi's was de SVI in het verleden dan ook, vaak gedurende lange perioden, (zeer) hoog.

	Dedemsvaart	Deventer	Dongemond	Duphar	Halifax
Capaciteit (i.e.)	45.000	120.000	108.000	68.000	
% industrie	40	20	50	100	
slibbelasting ¹⁾	0,08	0,13	0,15	0,08-0,14	0,16
Uitgangssituatie					
- SVI (ml.g ⁻¹)	>500	125-300			>200
- categorie	4+	3-4			3-4
- draadvormers	"Cyanophyceae" H. hydrossis N. limicola type 021N	M. parvicella type 021N			
Selector ⁵⁾	contacttank	contacttank	contacttank	contacttank	le deel AT
- menging	volledig	propstroom	volledig	volledig	propstroom
- A/AX/AN ²⁾	A/AX	AN	A/AX/AN	AN	A/AN
- V _T : V _S ³⁾	30	31	26	66	?
- verblijftijd (min)	4	8	9	9	
- vlokbelading ⁴⁾	30	45			ca. 80
- slibbelasting ¹⁾	5-7	4-6	1,5-2,5	7-10	
Resultaat					
- SVI (ml.g ⁻¹)	90±40	130±25	140-500	>> 500 ⁸⁾	laag
- categorie	0-1	2-3	3-4+	4+	0-1
- draadvormers		M. parvicella	type 021N	type 021N	
- beoordeling effect	groot	redelijk	gering	gering?	groot
Opmerkingen	incidenteel dosering Cl ₂		meer O ₂ + ver- dwijnen type 021N		vlokbelading ca. 40 - hoge SVI
Referentie	25a	25a	269	1	122

Tabel 24. Conventionele rwzi's met een selector (vervolg)

Legenda: zie pag. 91.

8) incidenteel.

Het aantal draadvormende organismen nam in 13 rwzi's sterk af, nadat was overgeschakeld op een bedrijfsvoering waarbij één van de mogelijke selectiemechanismen werd toegepast. In de resterende 7 rwzi's werden geen of onvoldoende resultaten geboekt.

Een integrale bespreking van alle resultaten, zoals bij de oxydatiesloten is gebeurd, is nu niet mogelijk, omdat diverse selectiemechanismen toegepast werden. Bovendien speelden in sommige rwzi's ook nog andere facto-

	Hamilton	Holten	Horstermeer	Huizen	Kampen
Capaciteit (i.e.)	200.000	54.000	160.000	80.000	75.000
% industrie	50	75	25	30	40
slibbelasting ¹⁾	0,2-0,4	0,033	0,082	0,10-0,15	0,06
Uitgangssituatie					
- SVI (ml.g ⁻¹)	250-500	200		150-500	<100
- categorie				3-4+	
- draadvormers	<i>N. limicola</i> type 1851 type 0041 type 0675	type 021N		type 021N <i>M. parvicella</i> <i>N. limicola</i>	weinig
Selector ⁵⁾	goot	contacttank	contacttank	contacttank	contacttank
- menging	propstroming	volledig	volledig	volledig	volledig
- A/AX/AN ²⁾	A	A/AX	A/AX	AX/AN	A/AX
- $V_T : V_S$ ³⁾		8	8	10	25
- verblijftijd (min)	4	13-17	9	8	5
- vlokbelading ⁴⁾		85		30	25
- slibbelasting ¹⁾		1-3	1-2	2-3	3
Resultaat					
- SVI (ml.g ⁻¹)	50	80±20	250 ⁹⁾	150-250	70±20
- categorie				3-4	
- draadvormers	<i>N. limicola</i> en type 1851 vol- ledig weg	weinig	<i>M. parvicella</i>	type 021N weg; anderen niet gereduceerd	
- beoordeling effect	groot	groot	matig?	matig	groot?
Opmerkingen	daling SVI verge 7 maanden		selector be- staat uit 2 cellen		selector als veiligheids- maatregelen (sinds 1982)
Referentie	265	25a	1	1	25a

Tabel 24. Conventionele rwzi's met een selector (vervolg)

Legenda: zie pag. 91.

9) korte periode in voorjaar '86, overigens een lage SVI.

ren, vooral O₂-limitatie in de beluchttingsruimte, een rol. Van een duidelijk verband tussen het resultaat en de slibbelasting in de selector lijkt bij deze conventionele rwzi's overigens ook geen sprake te zijn. In het slibbelastingstraject van 1-7 kg BZV.kg ds⁻¹. dag⁻¹ werden zowel positieve als negatieve resultaten geboekt. In twee rwzi's (Amsterdam-N en Duphar) werd een hogere slibbelasting (7-10 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹) in de selector toegepast; in beide gevallen met een negatief resultaat. Dit resultaat kan echter op diverse manieren verklaard worden en hoeft dus niet perse een gevolg te zijn van de toegepaste slibbelasting.

	Katwoude	Leopoldsdorf	Molsheim	Raalte	Tiel
Capaciteit (l.e.)	50.000	450.000	70.000	51.000	65.000
% industrie		100	60	40	30
slibbelasting ¹⁾		0,25	0,15	0,10	0,10-0,15
Uitgangssituatie		o			o
- SVI (ml.g ⁻¹)	400		200-500	hoog	
- categorie	4				
- draadvormers	type 021N		type 0092	type 021N	
Selector ⁵⁾	1e deel AT	contacttank	zandvang	contacttank	contacttank
- menging		volledig	volledig	volledig	volledig
- A/AX/AN ²⁾		A	A/AX?	A/AX	A/AN
- $V_T : V_S$ ³⁾		40	31	21	11
- verblijftijd (min)		10	15-30	12	15
- vlokbelading ⁴⁾	10 - 150	30	max. 80	25	10-40
- slibbelasting ¹⁾		7,5	5-7	1,5-3	1-3
Resultaat					
- SVI (ml.g ⁻¹)	laag	<50	<100	80±20	70-3500
- categorie					1-4*
- draadvormers	type 021N verdwijnt snel	afwezig	sterke afname type 0092	weinig	type 021N
- beoordeling effect	groot	groot	groot	groot	gering
Opmerkingen	alleen vlokbelading sterk verhoogd	vooronderzoek: geen selector - veel <i>S. natans</i>		's zomers extra denitrificatie bekken - $V_T/V_S = 3$	verhogen D_2 in AT - minder type 021N
Referentie	1	128	183	25*	1

Tabel 24. Conventionele rwzi's met een selector (vervolg)
Legenda: zie pag. 91.

Op de rwzi's waar de selectiemechanismen uit Hoofdstuk 3, conform de vereiste randvoorwaarden werden toegepast, werden steeds goede resultaten geboekt. Dit betrof:

- anoxische/anaërobe condities + een lange verblijftijd in het selectorgedeelte. Dit werd toegepast op de rwzi's Bayreuth, Berlijn en Raalte (alleen in de zomer). In het verleden was op deze rwzi's sprake van bijna chronische licht-slibproblemen door een sterke groei van *Thiothrix*, *S. natans*, *Beggiatoa* en de typen 021N en 0961.

De SVI is sinds de toepassing van dit selectormechanisme praktisch steeds $\leq 100 \text{ ml.g}^{-1}$;

- voldoende O_2 + een korte verblijftijd in de selector. Dit aërobe selectiemechanisme werd toegepast op de rwzi's Columbus, Hamilton, Leopoldsdorf en (misschien ook) Molsheim. Het was effectief voor het bestrijden, c.q. voorkomen van: "*Cyanophyceae*", *S. natans*, *N. limicola* en de typen 1851, 0041, 0675 en 0092. Ook op deze rwzi's leidde de toepassing van een selector tot een lage, stabiele index.

In drie rwzi's (Deventer, Duphar en Huizen) werd de combinatie van een korte verblijftijd (8-9 minuten) + anoxische en/of anaërobe condities toegepast. Deze combinatie is in de vorige paragraaf uitvoerig besproken, waarbij uiteindelijk werd geconcludeerd dat het effect bepaald wordt door de slibbelasting in de selector en het percentage niet-opgelost materiaal in het afvalwater. Het afvalwater van Duphar bevat voornamelijk opgeloste componenten. De slibbelasting in de selector lijkt bovendien te hoog ($7-10 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$). Er mag dientengevolge worden aangenomen dat de selector nauwelijks bijdraagt tot de in het algemeen goede bezink-eigenschappen van het slib. Het is waarschijnlijker dat het eerste gedeelte van de langwerpige aëratietank, en dus niet de daarvoor geïnstal-leerde contacttank, als selector fungeert (zie ook Bijlage C).

Op de rwzi Huizen verdween type 021N na de ingebruikneming van de anoxische/ anaërobe selector. Het aantal *M. parvicella* en *N. limicola* draden nam echter niet af. De SVI daalde wel enigszins, maar niet in voldoende mate ($150-250 \text{ ml.g}^{-1}$). De slibbelasting in de selector was met $2-3 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$ waarschijnlijk te laag om veel succes van deze selector te mogen verwachten. Het is daarnaast de vraag in welke mate het resultaat beïnvloed werd door het zuurstofgehalte in de aëratietank. Dit werd zo laag mogelijk gehouden om de nitrificatie af te remmen. Lage zuurstofgehalten in de aëratietank bevorderen de groei van veel draad-vormende organismen.

Op de rwzi Deventer werd in de selector een slibbelasting toegepast waar-mee in verschillende oxydatiesloten de groei van draadvormende organismen effectief kon worden bestreden. In deze rwzi was de reductie echter aan-merkelijk minder. Het aantal *M. parvicella* draden is nog steeds aan de hoge kant, hetgeen gepaard gaat met een SVI van $130 \pm 25 \text{ ml.g}^{-1}$. Dit zou kunnen betekenen dat de combinatie van een korte verblijftijd + anoxische/ anaërobe condities minder effectief is bij voorbezonken af-valwater.

Op het merendeel van de rwzi's werd het voorste gedeelte van de meestal langwerpige aëratietanks gebruikt als een soort semi-aërobe selector. Hiermee wordt bedoeld dat de inhoud wel werd belucht, maar dat de geïnstalleerde beluchtingscapaciteit niet toereikend was om aan de lokale zuurstofbehoefte, inclusief het extra O_2 -verbruik waarmee het aërobe selectieproces gepaard gaat, te voldoen. De beluchtingscapaciteit was in feite op een conventionele wijze gedimensioneerd. Dit betekent dat het zuurstofgehalte in de selector een groot gedeelte van de dag praktisch nul was. Het is uiteraard de vraag of onder zulke omstandigheden wel selectie plaatsvindt van vlokvormende organismen die snel substraat op kunnen nemen.

In tabel 25 is een aantal gegevens van deze rwzi's samengevat. Van de rwzi's Halifax en Katwoude moet nog wel worden opgemerkt dat de SVI pas laag werd nadat de vlokbelading drastisch was verhoogd. Deze werkwijze hield tevens een reäeratie in van het retourslib (\rightarrow herstel biosorptiecapaciteit). Het is in zulke gevallen altijd moeilijk om de werkelijke oorzaak van de verlaging van de SVI aan te geven.

Bij de rwzi's Horstermeer en Kampen is het effect van de selector voorzien van een vraagteken. Op de eerstgenoemde rwzi is sinds de ingebruikneming (in 1985) een keer sprake geweest van licht slib. Op de rwzi Kampen is de SVI altijd laag geweest, ook in de jaren voor plaatsing van de selector. Het effect is desalniettemin als "groot" beoordeeld, omdat een influent dat voor 40% uit zuivelafvalwater bestaat op veel rwzi's tot hoge waarden van de SVI leidt.

Op de vier rwzi's waar het effect met gering/nihil beoordeeld werd was de SVI periodiek (zeer) hoog. De groei van de draadvormende organismen startte meestal tijdens de wintermaanden. Bij drie van de vier rwzi's verschilde de slibbelasting in de selector niet wezenlijk van die in de zuiveringsinrichtingen waar met een selector wel succes werd geboekt. Het geringe effect kan dus waarschijnlijk niet aan deze factor worden toegeschreven.

Tabel 25 suggereert dat het ontbreken van nitraat als alternatieve zuurstofbron mogelijk een doorslaggevende rol speelde. In de eerste vier bevatte het retourslib in het algemeen weinig/geen nitraat, in de overige rwzi's meestal wel. Dit lijkt echter een afgeleide factor te zijn, omdat op deze rwzi's het zuurstofgehalte in de aëratietanks laag was. Op alle vier rwzi's was dus sprake van een dubbele O_2 -limitatie, zowel in de se-

lector als in de beluchtingsruimte. Een duidelijke verhoging van het O_2 -gehalte in de beluchtingsruimte op 3 van de 4 rwzi's leidde tot het verdwijnen van de draden (type 021N), en een veel lagere SVI.

rwzi	effect selector	slibbelasting in de selector ¹⁾	condities in de selector ²⁾
Amsterdam-N	gering/nihil	7 - 10	A/AN
Bath	" "	2 - 4	A/AN
Dongemond	" "	1,5- 2,5	A/AX/AN
Tiel	" "	1 - 3	A/AN
Dedemsvaart	groot	4 - 6	A/AX
Halifax	groot	n.b.	A/AN
Holten	groot	1 - 3	A/AX
Horstermeer	matig?	1 - 2	A/AX
Kampen	groot?	3	A/AX
Katwoude	groot	n.b.	n.b.
Raalte ³⁾	groot	1,5- 3	A/AX

Tabel 25. Rwzi's met een laag zuurstofgehalte in de selector.

1) $kg\ BZV.kg\ ds^{-1}.dag^{-1}$

2) A = aëroob, AX = anoxisch, AN = anaëroob

3) In de zomermaanden wordt de selector gevolgd door een denitrificatiebekken

n.b. = niet bekend

Deze laatste resultaten leiden tot enkele belangwekkende conclusies. Voorop staat het gegeven dat dit soort afvalwater (een groot percentage van industriële oorsprong en/of sterk aangerot) in aëratietanks met volledige menging veel frequenter licht slib zou veroorzaken. Deze conclusie is echter niet nieuw, omdat al eerder werd vastgesteld dat een propstroming de kans op het ontstaan van licht slib verkleint (242). Het is wel opvallend dat het lage zuurstofgehalte in de selector minder zwaar lijkt te wegen dan het gebrek aan O_2 in de eigenlijke beluchtingsruimte. Dit laatste verhindert een snelle regeneratie van de biosorptiecapaciteit.

In beginsel zou een laag O_2 -gehalte in de selector nadelig zijn voor het optimaal functioneren van het aërobe selectiemechanisme. De lage waarden van de SVI illustreren dat de selectoren de samenstelling van de slib-

populatie wel beïnvloed lijken te hebben. In hoeverre dit selectiemechanisme optimaal functioneerde kan echter niet worden aangegeven, waardoor een extrapolatie naar de toepasbaarheid bij hogere slibbelastingen niet gemaakt kan worden.

4.2 Veranderingen van de zuurstofvoorziening

In paragraaf 3.4 is het verband tussen het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte en het optreden van licht slib besproken. Er werd geconcludeerd dat het zuurstofgehalte vrijwel nooit een doorslaggevende rol zal spelen bij O_2 -gehaltenes $\geq 2 \text{ mg.l}^{-1}$. In de praktijk wordt, vooral om energie te besparen en/of simultaan te denitrificeren, vaak bewust een lager O_2 -gehalte in de beluchtingsruimte toegepast. Dit vergroot de kans op het ontstaan van licht slib. Er zijn dan ook talrijke voorbeelden (o.a. 1, 6, 211) van praktijk-rwzi's waar de draadvormende organismen praktisch verdwenen na een verhoging van het O_2 -gehalte in de aëratietank.

Deze bestrijdingswijze zal overigens in rwzi's met propstroming in de beluchtingsruimte vaker succes hebben dan in rwzi's met volledige menging in de aëratietanks. In deze laatste wordt zo slechts één van de factoren, waaraan de draadvormende organismen hun sterke concurrentiepositie ontleenen (de lage k_{D0} -waarden) weggenomen. In de rwzi's met propstroming kan echter het aërobe selectiemechanisme beter functioneren indien voldoende O_2 beschikbaar is. De vlokvormende bacteriën worden dus daadwerkelijk gestimuleerd.

Voldoende O_2 in de beluchtingsruimte is onder andere noodzakelijk voor het herstel van de biosorptiecapaciteit. Indien de verblijftijd in de aëratietank hiervoor niet toereikend is, kan het beoogde effect ook gerealiseerd worden via het reëren van retourslib, een maatregel die soms met succes werd toegepast (85, 250, 273).

Ook het langdurig beluchten van slib, zonder dat influent wordt toegevoerd, past in dit rijtje. Zo'n maatregel lijkt voornamelijk zinvol als het ontstaan van licht slib een direct gevolg is van een kortstondige overbelasting van de rwzi, waardoor tijdelijk onvoldoende tijd voor de verwerking van het substraat beschikbaar is. Het effect betreft primair het herstel van de biosorptiecapaciteit, het aantal draden neemt vrijwel nooit direct af tijdens zo'n periode zonder toevoer van influent. Hierbij moet misschien een uitzondering worden gemaakt voor *S. natans* (96, 107, 178).

Dit soort maatregelen zou eigenlijk ondersteund moeten worden door metingen van het ademhalingsniveau van het slib. Op deze wijze kan vastgesteld worden, hoe lang belucht moet worden om het endogene niveau te bereiken. In de praktijk wordt dit soort metingen echter vrijwel nooit uitgevoerd.

4.3 Veranderingen van de slibbelasting

Dit onderwerp is in paragraaf 3.5 al grotendeels behandeld. In aansluiting hierop kunnen nog de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- de slibbelasting speelt in de meeste praktijk-rwzi's geen doorslaggevende rol bij het wel/niet ontstaan van licht slib. De concurrentiepositie van de draadvormende organismen wordt alleen bij extreem lage ($\ll 0,05 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$) en bij zeer hoge ($> \text{circa } 0,8 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$) slibbelastingen door deze parameter aangetast;
- de slibbelasting heeft wel invloed op het type draadvormend organisme dat aanwezig is. Forse, lange draden als Type 021N, *S. natans* en *Thiothrix*, die de SVI veel sterker beïnvloeden dan bijvoorbeeld *M. parvicella* of type 0803, blijken vooral bij wat hogere slibbelastingen voor te komen;
- het voorafgaande betekent dat in het algemeen geen spectaculaire resultaten mogen worden verwacht van een verandering van de slibbelasting, c.q. de slibleeftijd. Het is wel zo dat een niet te laag drogestofgehalte meestal leidt tot een wat stabiel proces;
- de slibbelasting speelt uiteraard wel een rol, indien een wijziging hiervan ook invloed heeft op parameters die het verloop van de competitie tussen vlokvormende en draadvormende organismen bepalen, zoals bijvoorbeeld het zuurstofgehalte in de aëratietank of de slibbelasting in de selector.

Voor deze effecten wordt verwezen naar de desbetreffende paragrafen. Dit betekent dat de invloed van de slibbelasting per rwzi kan verschillen.

4.4 Destructie van draadvormende organismen met chloor

In de nu volgende paragrafen zullen enkele licht-slibbestrijdingsmethoden besproken worden, die collectief met het begrip "symptoombestrijding" aangeduid kunnen worden.

De werkwijze die hiertoe het meest frequent wordt toegepast betreft het chloren van het slib.

Chloor is een krachtig oxydatiemiddel. Het kan met een groot aantal verbindingen reageren. Blootstelling van micro-organismen aan dit produkt leidt tot een beschadiging van de cel, waardoor deze afsterft. De dosering van een grote hoeveelheid chloor aan actiefslib leidt dan ook onherroepelijk tot het doodgaan van de volledige populatie. Dit is uiteraard niet de bedoeling. Er wordt alleen een reductie van het aantal draden nagestreefd (251).

Het bestrijden van licht slib door middel van chloren is geënt op het feit dat de meeste draadvormende organismen voornamelijk in de vloeistoffase tussen de vlokken aanwezig zijn. Hun contactoppervlak is dus groter dan dat van de meeste vlokvormende organismen. Wanneer weinig chloor gedoseerd wordt, zal dit voor een belangrijk gedeelte verbruikt worden bij de reactie met de organismen die een groot contactoppervlak hebben, i.c. de draadvormende organismen, waardoor de vlok zelf alleen aan de buitenkant (licht) beschadigd wordt. Dit onder de aanname dat draad- en vlokvormende bacteriën in gelijke mate gevoelig zijn voor dit produkt. Overigens kan opgemerkt worden dat enkele belangrijke deelpopulaties uit actiefslib, met name de nitrificeerders en de Protozoën, ook voornamelijk aan de rand van de vlokken en/of in de vloeistoffase aanwezig zijn.

4.4.1 werkwijze en randvoorwaarden

Chloren als middel om licht slib te bestrijden wordt al circa 50 jaar toegepast. Vroeger werd het chloor direct in de beluchtingsruimte gedoseerd. Dit gebeurt nog wel, maar de dosering in de retourslibleiding wordt tegenwoordig meestal geprefereerd, omdat dit vaak effectiever is (232). De dosering kan beter geregeld worden waardoor ook de effluentkwaliteit minder sterk wordt beïnvloed. In beginsel zou het chloor ook in de overloop naar de nabezinktank of in een extra slibrecirculatiestroom - waarbij slib uit de aëratietank wordt gepompt en na behandeling met chloor weer wordt gerecirculeerd - toegevoegd kunnen worden (115). Dit wordt echter niet vaak toegepast.

De dosering van chloor kan met de volgende parameters beschreven worden (115):

T : de totale Cl_2 -dosering per kg slib per dag ($\text{g Cl}_2 \cdot \text{kg ds}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$);

C : de Cl_2 -concentratie op het doseerpunt ($\text{mg Cl}_2 \cdot \text{l}^{-1}$)

T_m : de Cl_2 -concentratie per eenheid van biomassa op het doseerpunt ($\text{g Cl}_2 \cdot \text{kg ds}^{-1}$);

f : de frequentie waarmee het slib aan het chloor wordt blootgesteld (dag^{-1}).

De waarde T is onafhankelijk van het gekozen doseerpunt. De actuele waarden van C, T_m en f zijn bij een bepaalde waarde van T afhankelijk van het debiet en het drogestofgehalte van de slibstroom, waarin het chloor gedoseerd wordt, en van de verblijftijd in de aëratietank van de rwzi.

In de literatuur wordt de gedoseerde hoeveelheid chloor vaak vermeld in $\text{g Cl}_2 \cdot \text{kg slib}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$. Hiertegen bestaan weinig bezwaren indien de volledige inhoud van de aëratietank eenmalig met een bepaalde hoeveelheid chloor wordt behandeld ($\rightarrow T = T_m$ en $f = 1$). De keuze van T als enige parameter om het proces te sturen is echter minder gelukkig indien een recirculatiestroom met chloor wordt behandeld. Het getuigt eigenlijk van weinig begrip voor de wijze waarop men de samenstelling van de populatie probeert te beïnvloeden. Vanuit de micro-organismen bezien is het namelijk belangrijk dat:

- a. : de hoeveelheid chloor waaraan ze op het doseerpunt blootgesteld worden (dus T_m , of eventueel C) voldoende hoog is om de draden te beschadigen, maar ook weer niet zo hoog dat de vlok volledig gestructueerd wordt;
- b. : de frequentie waarmee de behandeling herhaald wordt toereikend is om de (hernieuwde) groei van de draden in de beluchtingsruimte minstens te compenseren. De nog in leven zijnde draden/cellen groeien in beginsel gewoon door, tenzij hun concurrentiepositie op een andere wijze gelijktijdig wordt verzwakt.

Dit heeft als consequentie dat uit een onvoldoende resultaat niet zonder meer geconcludeerd mag worden dat T te laag was. Het kan best zo zijn dat bij iedere passage van het doseerpunt de draden wel vernietigd werden, zoals microscopisch vastgesteld kan worden, maar dat de frequentie van de behandeling te laag was. Een verhoging van T leidt dan alleen tot een evenredige stijging van T_m (immers: $T = f \cdot T_m$). Dit betekent dat in feite "dezelfde portie" slib met meer chloor wordt behandeld, waardoor niet alleen de draden, maar ook de vlokvormende organismen worden vernietigd. In zo'n situatie, die zich voor kan doen indien het slib lang in de aëratietank verblijft, moet niet T, maar f worden verhoogd om het beoogde resultaat te bereiken (20, 115).

Chloor reageert niet alleen met levende micro-organismen maar ook, vaak preferent, met een scala van anorganische en organische verbindingen. Dit betreft vooral reacties met:

- veel organische verbindingen die met het influent aangevoerd worden. Onder andere om deze reden wordt de dosering geprefereerd op een punt waar deze verbindingen al grotendeels verwijderd zijn (bijvoorbeeld in het retourslib);
- nitriet. Per mg NO_2^- -N wordt 5,1 mg Cl_2 verbruikt volgens de reactie:
 $\text{HOCl} + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$;
- ammoniak, waarbij monochlooramine (NH_2Cl) ontstaat. Dit produkt heeft nog steeds oxyderende eigenschappen, waardoor micro-organismen beschadigd worden bij contact. Het reageert echter minder snel en minder krachtig dan Cl_2 . Dit betekent dat twee situaties moeten worden onderscheiden (159):
 1. Bij afwezigheid van NH_3 reageert het Cl_2 momentaan met organisch materiaal, inclusief de slibpopulatie. Het produkt is zeer snel verbruikt. Het gedeelte dat niet verbruikt is bij de reactie met de draden zal met de vlok reageren. Een te hoge waarde van T_m zal dus tot een ernstige beschadiging van de vlok leiden;
 2. Bij aanwezigheid van NH_3 wordt primair NH_2Cl gevormd. Dit reageert trager, waardoor de concentratie minder kritisch wordt en de contacttijd een rol gaat spelen.

De laatste randvoorwaarde die van belang is betreft de mate van menging op het doseerpunt. De menging moet uitstekend zijn omdat anders te lang sprake is van een locale overmaat aan Cl_2 (116).

Het zal duidelijk zijn dat de toepassing van Cl_2 voor het bestrijden van draadvormende organismen gecompliceerder is dan wel wordt verondersteld. Er zijn dan ook nogal wat voorbeelden van rwzi's waar met vrij hoge waarden van T toch geen succes werd geboekt (1).

De toepassing van chloor leidt tot de vorming van gechloreerde verbindingen. Dit is vanuit milieuhygiënisch standpunt ongewenst. De vereiste hoeveelheid chloorbleekloog wordt groter naarmate meer draden aanwezig zijn. Het is dientengevolge aan te bevelen het chloren, indien redelijke alternatieven ontbreken, in een vroeg stadium toe te passen dat wil zeggen zodra een ongewenste type zich duidelijk gaat ontwikkelen. De benodigde hoeveelheid chloor is dan nog minimaal. Deze hoeveelheid kan in een vooronderzoek globaal worden vastgesteld. Hierbij worden kleine hoe-

veelheden (retour)slib behandeld met opklimmende concentraties chloor. Na een contacttijd, die overeenstemt met die welke onder praktijkomstandigheden gerealiseerd kan worden, wordt de conditie van de draden microscopisch beoordeeld. Hierbij wordt gelet o.a. op lege cellen en beschadigde draden. Dit kan eventueel gecombineerd worden met een soort vitaliteits-test (126, 140).

4.4.2 resultaten

In referentie (115) worden inzake enkele doseringsparameters de volgende waarden voorgesteld:

- $T = 2-10 \text{ g Cl}_2 \cdot \text{kg slib}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$ (beginnen met 2 g en, indien het effect onvoldoende is, de dosering langzaam opvoeren);
- $T \leq 5 \text{ g Cl}_2 \cdot \text{kg slib}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$ in rwzi's waarin nitrificatie wordt nastreeft;
- $f \geq 3 \text{ dag}^{-1}$. Dit zou betekenen dat in veel laagbelaste systemen de dosering in de retourslibleiding niet altijd optimaal is. Dit wordt mogelijk ten dele gecompenseerd door het feit dat *M. parvicella* langzaam groeit.

Dezelfde auteurs stellen dat vrijwel alle draadvormende micro-organismen met deze chloordoseringen bestreden kunnen worden, zonder dat dit leidt tot een aanmerkelijke verslechtering van de effluentkwaliteit.

In de tabellen 26 en 27 is een aantal gegevens samengevat van rwzi's waar chloren werd toegepast om licht slib te bestrijden. Het effect op de effluentkwaliteit wordt niet door alle auteurs vermeld. Overigens kan deze vraag ook niet altijd eenduidig beantwoord worden, omdat het effluent voor het chloren veel slib bevatte, waardoor een vergelijking met de uitgangssituatie niet goed mogelijk is. Daarnaast valt een tijdelijke verslechtering van de effluentkwaliteit in rwzi's met een hoge slibbelasting ook niet zo op, omdat deze niet nitrificeren en een CZV afleveren dat toch al niet zo laag is.

Wanneer de niet geheel consistente resultaten bestudeerd worden, blijkt op de meeste rwzi's het doseren van chloor een afname van het aantal draden en een daling van de SVI te veroorzaken. Een dosering tot circa $10 \text{ g Cl}_2 \cdot \text{kg slib}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$ in de retourslibleiding was in veel rwzi's inderdaad toereikend; soms kon echter ook met een aanmerkelijk lagere waarde van T worden volstaan. Op één rwzi was $8 \text{ g Cl}_2 \cdot \text{kg slib}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$ niet toereikend. In dit slib waren veel *M. parvicella* draden aanwezig, een organisme dat tamelijk resistent is tegen chloor. De gevoeligheid van de

diverse organismen komt later in deze paragraaf ter sprake. In één rwzi werd met $T = 4$ geen succes geboekt, doordat de hoge frequentie tot een zeer lage waarde van T_m leidde.

ref.	parameter ¹⁾				tijdsduur	resultaat	
	T	C	T_m	f		slibpopulatie	effluent
180	1,6				1 week	- type 021N weg - <i>M. parvicella</i> , type 0041 en <i>N. limicola</i> niet aangetast - sommige Protozoën dood	- nitrificatie intact - CZV constant
229	2	30			6 uur	- SVI daalt sterk - Protozoën dood	BZV > 100 ml.g ⁻¹
229		10			12 uur	geen effect	onveranderd
1	3,8	9,4	1,2	3,2	7 dagen continu. daarna 1 dag/week	- <i>M. parvicella</i> , type 0092 en type 0041 verdwijnen geleidelijk - Protozoën dood	- nitrificatie veel minder
11	3-4	7	1,1	3	10 dagen	- sterke afname type 021N	geen toename CZV
1*	4	1,25	0,25	16	7 dagen	- geen afname 021N	CZV constant
1	5	7,5	0,75	7	enkele dagen	- afname type 021N	
1*	8	2,5	0,5	16	7 dagen	- type 021N gereduceerd	toename CZV
181	8					- <i>M. parvicella</i> afgenomen - vlokken stuk - Protozoën dood	
198	8				2 maanden	- " <i>Cyanophyceae</i> " gereduceerd	
1*	8	7,5	1,5	5	1 dag/week	- SVI stabiliseert	CZV constant
	12	11	2,2	5	8 uur/week	- afname type 021N	CZV constant
249	0,6-11	1-20			6 dagen; 8 uur/dag	- <i>M. parvicella</i> verdwijnt pas bij $T = 11$	

Tabel 26. Chloren van retourslib.

1) T in g Cl_2 .kg slib⁻¹.dag⁻¹

C in mg Cl_2 .l⁻¹

T_m in g Cl_2 .kg slib⁻¹

f in dag⁻¹

* experimenten op dezelfde rwzi.

ref.	parameter ¹⁾				tijdsduur	resultaat	
	T	C	T _m	f		slibpopulatie	effluent
249	11-15	5			enkele dagen 12-18h/dag	- <i>S. natans</i> , <i>H. hydrossis</i> en <i>N. limicola</i> dood - type 0961 neemt toe	
1*	19	11	2,0	9	3x16 uur in 2 weken	- type 021N gereduceerd	CZV hoger
	24	7,5	1,5	16	24 uur	- abrupte daling SVI	veel slechter
24	16-35	11-27		7-9		- <i>S. natans</i> en type 1701 ver- dwijnen	CZV constant (gefiltreerd)
110		5-15				- SVI < 100 ml.g ⁻¹	
83/ 103		10-20			3 dagen	- <i>S. natans</i> , type 021N en type 0961 weg - <i>M. parvicella</i> , <i>Nocardia</i> , type 1701 en type 0041 niet afgenomen - sessile Ciliaten levend - vrije Ciliaten dood - Amoeben en Rotiferen geredu- ceerd	2 dagen troebel
227		30-40				- SVI veel lager	- TOC constant - nitrificatie intact
20 ²⁾	10			2,3		- snelle daling SVI - vlokken stuk	CZV hoger
1 ³⁾	4,5	15	3,75		1 dag	- SVI daalt niet	- troebel - nitrificatie intact

Tabel 26. Chloren van retourslib. (vervolg)

- 1) T in g Cl₂.kg slib⁻¹.dag⁻¹
C in mg Cl₂.l⁻¹
T_m in g Cl₂.kg slib⁻¹
f in dag⁻¹
 - 2) In een aparte recirculatieleiding.
 - 3) In overloop naar nabezinktank.
- * Experimenten op dezelfde rwzi.

De CZV-verwijdering werd bij T < circa 10 g Cl₂.kg slib⁻¹.dag⁻¹ meestal niet ernstig beïnvloed; inzake de nitrificatie zijn de resultaten met elkaar in tegenspraak. Het zuiveringsrendement werd wel veel slechter indien al het chloor in een relatief korte periode werd gedoseerd (→ C is hoog). Een hoge concentratie bij het doseerpunt betekent dat sprake is van een locale overdosis, waardoor de vlok ernstig beschadigd wordt. De verslechtering van de effluentkwaliteit duurde overigens meestal hooguit 1-2 weken. Het is niet goed verklaarbaar waarom in enkele rwzi's (24, 227), waarin zeer hoge chloordoseringen toegepast werden, geen verslech-

ref.	parameter ¹⁾		tijdsduur	resultaat	
	T	C		slibpopulatie	effluent
147	1,6			SVI < 100 ml.g ⁻¹	- BZV-rendement van 97 naar 90% - herstel duurt 1 week
1	2		enkele dagen	afname <i>M. parvicella</i>	- CZV stijgt - minder nitrificatie
1	2		9 dagen, 2 maal/dag	<i>M. parvicella</i> , type 1851 en type 0041 nauwelijks minder	nitrificatie weg
1	6,5	25	in een keer	drastische daling SVI	
1		25	4 dagen	geen effect	
1	10-15		in 20 minuten	geen effect	

Tabel 27. Dosering van Cl₂ direct in de beluchtingsruimte.

- 1) T in g Cl₂.kg slib⁻¹.dag⁻¹
C in mg Cl₂.l⁻¹

tering van de effluentkwaliteit werd vastgesteld. Dit houdt mogelijk verband met de contacttijd of met de aanwezigheid van veel gemakkelijk oxydeerbare verbindingen. Over deze parameters zijn echter geen gegevens beschikbaar.

Uit een vergelijking van de tabellen 26 en 27 blijkt dat dosering direct in de aëratietank sneller tot een verslechtering van de effluentkwaliteit leidt dan het chloren van retourslib. Zelfs bij zeer lage waarden van T verslechterde het zuiveringsrendement al aanzienlijk. Overigens werd in enkele rwzi's geen succes geboekt ondanks hoge chloordoseringen (onvoldoende menging?).

In één rwzi werd het chloor gedurende een dag in de overloop naar de nabezinktank gedoseerd. Dit beïnvloedde noch de SVI, noch het nitrificatie-

proces. Het effluent was enkele dagen troebel.

De draadvormende organismen blijken niet in gelijke mate gevoelig te zijn voor chloor. Enkele soorten (*S. natans* en type 021N) lijken weinig resistent, andere, type 0041 en vooral ook *M. parvicella*, overleefden in diverse rwzi's de behandeling met chloor. Ook met enkele andere organismen werden wisselende resultaten geboekt. Dat draadvormende organismen onderling verschillen qua hun gevoeligheid voor chloor, is enkele jaren geleden bevestigd in een experiment waarbij reïncultures behandeld werden met monochlooramine (tabel 28). Deze resultaten stemmen redelijk overeen met die uit de tabellen 26 en 27. De grote resistentie van *M. parvicella* is uiteraard zeer opvallend.

organisme	reductie	
	50%	90%
type 021N	10	240
<i>S. natans</i>	14	110
vlokvormer FF 34	17	130
<i>E. coli</i>	21	120
<i>Nocardia sp.</i>	32	210
type 1701	45	470
vlokvormer FF 40	69	2400
vlokvormer FD 4	83	130
<i>Thiothrix sp.</i>	93	1400
type 0041	140	570
type 0961	190	1600
<i>Zoogloea ramigera</i>	350	2200
<i>M. parvicella</i>	10 000	10 000

Tabel 28. Concentratie (mg.l^{-1}) van NH_2Cl nodig om het aantal levende cellen met 50 en 90% te reduceren (159, 160).

Ten slotte kan nog worden opgemerkt dat de Protozoën het chloren meestal niet zullen overleven. Deze populatie herstelt zich echter in het algemeen zeer snel, omdat na het chloren veel voedsel voor deze organismen beschikbaar is (brokstukken van cellen en dergelijke).

4.5 Doseren van waterstofperoxyde

Waterstofperoxyde (H_2O_2) is eveneens een oxydatiemiddel. Het reageert echter lang niet zo sterk als Cl_2 , waardoor veel meer H_2O_2 toegevoegd moet worden om de draden te beschadigen. Bovendien beschikken veel micro-organismen over het enzym katalase, waarmee H_2O_2 onschadelijk gemaakt kan worden. Het risico van een overdosering is daardoor wel kleiner. Organismen die omringd zijn door een zogenaamde schede (i.e. een soort huls om de cellen) zouden gevoeliger zijn voor H_2O_2 dan de andere draadvormende bacteriën (212, 251). Overigens wordt met dit produkt, evenals met Cl_2 , alleen een reductie van het aantal draden bereikt. Er zal dus vaak opnieuw licht slib ontstaan zodra de behandeling wordt gestaakt.

Waterstofperoxyde kan de groei van draadvormende micro-organismen op diverse manieren beïnvloeden:

- het selectief beschadigen van de draadvormende bacteriën (185);
- bij het ontleden van H_2O_2 komt O_2 vrij. Het doseren van waterstofperoxyde impliceert dus tevens het toevoegen van extra zuurstof. Dit kan soms doorslaggevend zijn bij de competitie tussen draad- en vlokvormende micro-organismen (211, 249);
- sulfiden worden snel geoxydeerd in aanwezigheid van H_2O_2 . Het produkt wordt daarom soms gedoseerd om stank te bestrijden. Sulfiden stimuleren de groei van enkele draadvormende organismen. Mogelijk is dit de verklaring voor de sterke afname van het aantal *Thiothrix* draden, nadat overgegaan was tot het continu doseren van 12 ppm H_2O_2 in de overloop naar de aëratietank (8). De contacttijd was 15 minuten, zodat het produkt in dit geval waarschijnlijk niet als extra O_2 -bron fungeerde in de aëratietank.

In de literatuur worden nogal wat voorbeelden genoemd van rwzi's waar geprobeerd is licht slib te bestrijden via het doseren van H_2O_2 (7, 45, 115, 162, 211, 249). Het produkt werd meestal in de retourslibleiding gedoseerd, in gehalten van 30-400 mg H_2O_2 per liter slib. Het succes was wisselend, een hoge concentratie leidde niet altijd tot een duidelijke vermindering van het aantal draden. Het al genoemde vermogen om H_2O_2 met katalase te splitsen, betekent dat de slibpopulatie ook een resistentie opbouwt. Bij concentraties $> 450 \text{ mg } H_2O_2 \cdot l^{-1}$ zou de vlok beschadigd worden (26).

Dit wisselend succes en de hoge kosten verbonden aan de toepassing van H_2O_2 verklaren waarom deze werkwijze niet echt ingeburgerd is. Dit ondanks het feit dat aan de toepassing van H_2O_2 niet die milieuhygiënische bezwaren verbonden zijn waarmee het gebruik van Cl_2 gepaard gaat.

4.6 Verzwaren van de vlokken

Een hoge asrest van de vlok gaat meestal gepaard met een lage waarde van de SVI (zie Bijlage B). Een hoge asrest betekent dat de vlok relatief zwaar is. Deze bezinkt daardoor beter. Van dit gegeven wordt gebruik gemaakt bij werkwijzen waarbij de soortelijke dichtheid van de vlok kunstmatig wordt verhoogd via de dosering van oplosbare Al-, Ca- of Fe-verbindingen. Deze reageren met diverse anionen, waaronder fosfaat, waarbij zeer slecht oplosbare zouten ontstaan, die opgenomen worden in de vlok. Daarnaast kunnen de kationen zich ook direct binden aan organische componenten in het slib. Vroeger werd voor dit doel vooral kalk gedoseerd, tegenwoordig meestal Fe en soms Al (136).

Ferrosulfaat is goedkoper dan ferriverbindingen. De oxydatie tot ferri kost echter wat energie.

De dosering leidt tot een aanzienlijke stijging van het fosfaatgehalte van de vlok. De werkwijze is in feite bijna identiek aan simultaan chemisch defosfateren, met dit verschil dat voor defosfateren veel meer Fe of Al toegevoegd moet worden.

Dit verhoogde P-gehalte van de vlok was voor sommige onderzoekers (222, 259) een reden te veronderstellen dat het effect van de Fe- of Al-dosering niet alleen een vlokverzwarende omvatte, maar vooral ook een betere P-voorziening van de vlokvormers. Hun concurrentiepositie zou verbeteren. Deze hypothese was gebaseerd op de waarneming dat slibben uit rwzi's met simultane defosfatering meestal weinig draadvormende organismen bevatten. Als ze al in grote aantallen aanwezig waren, betrof het steeds *M. parvicella* of *Actinomyces* (208, 259). De juistheid van deze hypothese moet echter betwijfeld worden omdat:

- het erg onwaarschijnlijk is dat fosfor-limitatie een rol speelt in rwzi's met een stedelijk influent;
- de competitie tussen vlokvormende en draadvormende organismen vooral aan de rand van de vlok wordt beslist. Daar is in elk geval voldoende P beschikbaar;
- bij diverse andere defosfateringsexperimenten recent werd vastge-

steld dat de groei van *S. natans* en van de typen 021N, 0041 en 0961 niet werd voorkomen (144, 53a).

Het lijkt waarschijnlijker dat het doseren van Al, Ca of Fe de vorm van de draden beïnvloedt, die daardoor een stuk van hun concurrentievoordeel verliezen. Substraatverwijdering via uitvlokken, gevolgd door binding aan de vlok, speelt mogelijk ook een rol. Hoe het ook zij, door de toevoeging van deze elementen wordt niet alleen de vlok verzwaard, maar neemt ook de kans op een massale groei van draadvormende organismen af.

Fe-verbindingen worden meestal aan het influent toegevoegd tot gehalten van 10-30 g Fe.m⁻³ (144, 147, 259). Incidenteel worden hogere concentraties genoemd (12, 121). Het produkt moet bij voorkeur continu worden toegevoegd (12, 121). Het duurt 2-4 weken voordat het effect duidelijk zichtbaar wordt (12, 144), c.q. het Fe-gehalte van de vlok gestegen is tot de vereiste 50 à 100 mg Fe.g slib⁻¹ (12). De asrest van het slib is dan gestegen tot circa 40%.

De werkwijze leidt tot een sterke stijging van de surplusslibproduktie (192). Dit nadeel wordt ten dele gecompenseerd door de betere ontwaterings- en indikkingseigenschappen van het slib (129).

4.7 Gebruik van flocculanten

Polyelektrolyten vormen bruggen tussen de slibvlokken. Positief geladen polymeren compenseren daarnaast de negatieve lading van de vlokken. Beide factoren dragen bij tot het ontstaan van grotere deeltjes die sneller zullen bezinken. Dit samenballen van de vlokken zou in beginsel verhinderd kunnen worden door draden die uit de vlokken steken. In de praktijk is vastgesteld dat dit niet het geval is. De dosering van flocculanten aan licht slib leidt vaak tot betere bezinkeigenschappen van de vlokken.

Het gebruik van polyelektrolyten voor het voorkomen van slibverliezen wordt in een groot aantal publicaties vermeld (14, 49, 121, 200, 211, 235, 263, 264). Er werden voornamelijk positief geladen polyacrylamiden toegepast, het gebruik van negatief geladen polymeren verlaagde de SVI niet (219). De produkten werden direct in de beluchtingsruimte of in de overloop naar de nabezinktank gedoseerd. Een gehalte van circa 1 mg.g slib⁻¹ was in veel rwzi's toereikend om de slibverliezen uit de nabezinktank drastisch te reduceren. Overigens zijn sommige flocculanten biologisch afbreekbaar, waardoor hun invloed slechts van tijdelijke aard is. Dosering van een duidelijke overmaat heeft tot gevolg dat ieder slib-

deeltje omringd wordt door het polyelektrolyt, waardoor de brugvorming tussen afzonderlijke deeltjes wordt verhinderd. De SVI daalt dan niet en kan zelfs toenemen. Om deze reden moeten slib en flocculant ook goed gemengd worden op het doseerpunt.

Het gebruik van flocculanten om slibverliezen te beperken is niet goedkoop. Ze worden daarom alleen tijdens perioden met regenwateraanvoer toegepast (1).

4.8 Overige methoden

Het Kraus procédé

Hierbij worden uitgegist slib plus een deel van het retourslib in een aparte tank belucht, teneinde de ammoniak te oxyderen tot nitraat. Het mengsel wordt vervolgens in de beluchtingsruimte gebracht. De werkwijze zou tot een stabiele, lage SVI leiden (125, 127). De methode omvat in feite een combinatie van maatregelen:

- uitgegist slib heeft een hoge asrest, waardoor de vlok wordt verzwaard;
- reaëratie van het retourslib bevordert de concurrentiepositie van de vlokvormende bacteriën;
- de aanwezigheid van nitraat kan bij O_2 -limitatie leiden tot straatverwijdering door vlokvormers via denitrificatieprocessen.

De methode wordt heel weinig toegepast. Er kan niet worden aangegeven wanneer van deze werkwijze succes mag worden verwacht.

Beluchten van het influent

Sulfiden stimuleren de groei van diverse draadvormende micro-organismen. Enkele *Thiothrix* stammen hebben gereduceerde zwavelverbindingen zelfs absoluut nodig. De sulfiden kunnen tot sulfaat geoxydeerd worden met behulp van luchtzuurstof.

In diverse publicaties wordt beluchten van influent daarom aanbevolen als een methode die soms bijdraagt aan het bestrijden van licht slib (15, 72, 146). Het op deze wijze oxyderen van H_2S en dergelijke duurt echter lang, 1-2 uur (240). Beluchten van afvalwater leidt bovendien tot een emissie van geurstoffen. De methode kan daarom nauwelijks realistisch genoemd worden. Het is praktischer de sulfiden met behulp van H_2O_2 of Cl_2 te oxyderen.

Mechanisch beschadigen van de draden

Het is in beginsel mogelijk de draden mechanisch te beschadigen door deze bloot te stellen aan hoge afschuifkrachten (turbulente omstandigheden). Dit is op diverse rwzi's getest (84, 157, 258). Hiertoe werd slib uit de aëratietank gepompt, op een bepaalde manier behandeld en weer gecirculeerd. De draden verdwenen niet, maar werden wel korter waardoor de SVI daalde. Het extra energieverbruik maakt de werkwijze niet erg aantrekkelijk. Overigens zou ook de vlok ernstig beschadigd kunnen worden.

Doseren van actieve kool

De binding van opgelost substraat aan actieve kool waardoor dit niet langer beschikbaar is voor draadvormende organismen, zou in beginsel kunnen bijdragen tot het bestrijden van licht slib. Dit is op enkele rwzi's geprobeerd, met een controversieel resultaat (1, 132).

Opnieuw starten

De werkwijze waarbij men licht slib probeerde te bestrijden via het afvoeren van al het slib en het weer starten met entmateriaal uit een andere rwzi werd in het verleden frequent toegepast. Soms werd de lege aëratietank ook nog gedesinfecteerd met chloor. De maatregel was gebaseerd op de veronderstelling dat de draadvormende organismen van elders waren aangevoerd, of dat hun aanwezigheid een soort "tijdelijke ziekte" van het slib betrof. De maatregel had, incidentele gevallen daargelaten, vrijwel nooit succes (1, 264). Zo iets is alleen zinvol indien gelijktijdig de concurrentiepositie van de draadvormende organismen wordt verslechterd.

Toevoegen van sponsjes

De introductie van materialen met een groot hechtingsoppervlak (bijvoorbeeld sponsjes van kunststofschuimen) in de beluchtingsruimte, maakt het mogelijk hierin een hoger drogestofgehalte te handhaven. Dit zou soms bijdragen tot het bestrijden van licht slib (99).

Het toevoegen van bacteriepreparaten

De laatste jaren worden in toenemende mate produkten te koop aangeboden die geschikt zouden zijn voor het bestrijden van licht slib (10, 114,

130, 205, 236). Sommige bevatten volgens de leveranciers gemuteerde, ge-adapteerde of anderszins aangepaste micro-organismen. Andere microbiële produkten als enzymen en dergelijke. Er wordt meestal voorgeschreven dat het produkt gedurende een langere tijd periodiek toegevoegd moet worden.

Deze preparaten zijn op opvallend veel rwzi's toegepast (1). De resultaten waren praktisch altijd teleurstellend. Er zijn nauwelijks gedocumenteerde voorbeelden bekend van rwzi's waar de toepassing wel succes had (162). Het is bovendien de vraag of zo'n incidenteel resultaat niet aan andere oorzaken moet worden toegeschreven.

Het is ook erg onwaarschijnlijk dat de toepassing tot succes zou kunnen leiden omdat:

- de produkten meestal gedoseerd moeten worden in hoeveelheden die in geen enkele verhouding staan tot de al aanwezige biomassa ($< 1\%$);
- meestal voorgeschreven wordt dat de dosering periodiek herhaald moet worden. Dit betekent dat hun groeisnelheid kennelijk achter blijft bij die van de andere micro-organismen in het slib. Organismen die toegevoegd worden om de draden te bestrijden zouden echter juist snel moeten kunnen groeien, waardoor ze binnen de populatie gaan domineren. De combinatie van 1. een grote invloed op de populatie en 2. de noodzaak van herhaald doseren is dus in feite tegenstrijdig. Soms wordt dan ook uitdrukkelijk gewaarschuwd tegen het gebruik van zulke preparaten (278).

Integratie van de talrijke resultaten maakt het mogelijk veel vragen over de groei en het bestrijden van draadvormende organismen in actiefslib te beantwoorden. Er is overtuigend aangetoond dat vlokvormende micro-organismen op diverse manieren selectief bevoordeeld kunnen worden. Licht slib kan daarom in veel rwzi's blijvend worden bestreden/voorkomen. Desalniettemin resteert nog een aantal essentiële vragen inzake deze selectiemechanismen. De vertaling van de beschikbare kennis in dimensioneringsgrondslagen voor selectoren kan daarom alleen onder een zeker voorbehoud plaatsvinden.

De discrepantie tussen de opzet van het fundamenteel gericht laboratoriumonderzoek en de omstandigheden tijdens de meeste experimenten op praktijkschaal is hiervan de voornaamste oorzaak. Het laboratoriumonderzoek was voornamelijk gericht op selectie onder aërobe omstandigheden. Over dit proces zijn nu veel gegevens beschikbaar. Het is echter slechts in enkele praktijk-rwzi's consequent toegepast, overigens wel met een positief resultaat. Bij de meeste praktijkexperimenten werd de inhoud van de selector daarentegen niet, of slechts in beperkte mate belucht. Er was daarom frequent sprake van anoxische/anaërobe omstandigheden. Desondanks verdwenen de draadvormende organismen uit een aantal rwzi's.

Dit onverwachte resultaat is hoofdzakelijk empirisch onderbouwd. De beschikbare kennis is niet toereikend om aan te kunnen geven wat nu precies gebeurt in zo'n anoxische/anaërobe selector. Extrapolatie van dit soort resultaten naar andere rwzi's is daarom soms niet goed mogelijk.

Daarnaast resteren nog vragen over diverse draadvormende micro-organismen. Hierbij gaat het vooral om het antwoord op de vraag welke componenten/fracties uit het influent zij benutten voor hun groei.

5.1 Groei van draadvormende micro-organismen in actiefslib

De oorzaken van de massale groei van draadvormende micro-organismen in actiefslib zijn nu vrijwel zeker bekend. Dit ondanks het feit dat slechts een beperkt aantal van de organismen, die licht slib kunnen veroorzaken, is geïsoleerd en nader onderzocht. De geïsoleerde groep omvat overigens wel de soorten die het meest frequent voorkomen.

Als vuistregel geldt dat vooral groeibeperkende omstandigheden leiden tot een massale groei van draadvormende organismen in actiefslib. Dit kan zowel een lage voedselconcentratie - in een aëratietank met volledige menging - als tekorten aan bijvoorbeeld N, O₂ of P betreffen. Deze conclusie wordt niet alleen gesteund door de resultaten van experimenten met reïncultures, maar ook door de reactie van de slibpopulatie op de installatie van een selector, het optimaliseren van de zuurstofvoorziening of het wegnemen van andere factoren die een snelle substraatopname en -verwerking door de vlokformers verhinderen. Zij kunnen onder groeibeperkende omstandigheden optimaal profijt trekken van hun specifieke morfologische en fysiologische eigenschappen. Het effect is waarschijnlijk cumulatief: de slibvolume-index wordt hoger, naarmate meer factoren groeibeperkend zijn.

Praktisch alle tot nu toe geïsoleerde draadvormende organismen zijn evenwel strikt aëroob. Dit betekent dat zij alleen voedsel kunnen opnemen indien O₂ beschikbaar is.

Daarnaast kunnen bepaalde verbindingen/fracties uit het influent draadvormende organismen extra bevoordelen. Dit betreft:

- a. een hoog percentage aan opgeloste, gemakkelijk opneembare verbindingen. Dit is gunstig voor onder andere type 021N, *S. natans* en *Thiothrix* en mogelijk ook voor de andere draadvormende bacteriën die vooral in de vloeistoffase tussen de vlokken groeien;
- b. de niet opgeloste fractie uit het influent. Er zijn duidelijke aanwijzingen dat de draadvormers die vooral in en rondom de vlokken groeien deze fractie kunnen benutten. Dit geldt in elk geval voor *M. parvicella* die slecht oplosbare, hogere vetzuren als C-bron nodig heeft;
- c. sulfiden. Deze stimuleren de groei van *Thiothrix*, *Beggiatoa*, type 021N en type 0914.

Punt a verklaart waarom lozingen van vooral agrarische industrieën vaak bijdragen tot het ontstaan van licht slib. Ook aangerot afvalwater (→ a + c) is gunstig voor veel draadvormende micro-organismen. *M. parvicella* groeit zeer frequent in oxydatiesloten en andere rwzi's zonder voorbezinktank. Dit kan samenhangen met punt b.

De kwaliteit van het influent is dus medebepalend voor de samenstelling van de populatie. Deze wordt daarnaast beïnvloed door ondermeer de slibbelasting, de O₂-voorziening en de temperatuur. Dit geldt zowel voor de

vlokvormende als voor de draadvormende organismen. Bij vrijwel iedere, in de praktijk gangbare, combinatie kunnen draadvormende organismen in beginsel groeien. Dit wil niet zeggen dat altijd licht slib zal ontstaan. De omstandigheden tijdens het mengen van influent en (retour)slib zijn daarbij vaak doorslaggevend.

Alleen bij zeer hoge slibbelastingen verliezen de draadvormers de concurrentieslag definitief. Hun maximale groeisnelheid is ontoereikend om zich bij zeer korte slibleeftijden te kunnen handhaven. De kritische slibbelasting is niet precies bekend, maar ligt waarschijnlijk tussen 0,7 en 1,0 kg BZV.kg d.s.⁻¹.dag⁻¹.

5.2 Symptoombestrijding

Hierbij wordt primair het verbeteren van de bezinkeigenschappen van het slib nagestreefd. De vlokvormers worden dus niet selectief bevoordeeld. Dit kan via het verzwaren van de vlok, de dosering van flocculanten en het chemisch vernietigen van de draden. Andere werkwijzen die tot deze groep gerekend kunnen worden, komen, uitzonderingsgevallen daargelaten, niet in aanmerking wegens onvoldoende resultaat, te hoge kosten of andere oorzaken.

Voor het verzwaren van de vlok worden meestal ijzerzouten toegepast. Deze worden aan het influent toegevoegd tot gehalten van 10-30 g Fe.m⁻³. Dit leidt tot een stijging van de asrest, waardoor de vlokken beter bezinken. Het effect wordt vaak versterkt doordat veel draadvormende organismen, om vooralsnog onduidelijke redenen, verdwijnen en niet meer terugkomen zolang de behandeling gecontinueerd wordt. De werkwijze gaat gepaard met een aanzienlijke stijging van de slibproductie. Het duurt circa twee weken voordat het effect van de dosering duidelijk zichtbaar wordt. De werkwijze is daarom niet geschikt voor het oplossen van acute problemen.

Dit laatste is alleen mogelijk via het chemisch vernietigen van de draden of door de toevoeging van flocculanten. Met de laatstgenoemde producten is overigens nog niet veel ervaring opgedaan. In enkele rwzi's werden goede resultaten geboekt met circa 1 g flocculant per kg slib. Het is de vraag of het middel bij herhaald doseren nog effectief is, omdat de bezinkeigenschappen weer zullen verslechteren indien teveel polymeerketens aan het oppervlak van de vlokken gehecht zijn. Een langdurige toepassing is daarnaast uit economische overwegingen ook niet erg aantrekkelijk. In Nederland worden deze producten dan ook alleen toegepast als bij regenwateraanvoer grote slibverliezen dreigen.

Alle draadvormende organismen kunnen in beginsel vernietigd worden met krachtige oxydatiemiddelen als Cl_2 of H_2O_2 . Bij hoge concentraties wordt de vlok echter eveneens ernstig beschadigd. Dit stelt een bovengrens aan de toe te passen concentraties. De toegevoegde hoeveelheid moet praktisch volledig verbruikt worden bij de reactie met de draadvormende organismen. Onder laboratoriumomstandigheden kan microscopisch vastgesteld worden bij welke concentratie de draden beschadigd worden. Dit hangt mede van het soort draadvormend organisme af. *M. parvicella* is veel resistenter tegen Cl_2 dan bijvoorbeeld *S. natans* of type O21N. Via het meten van de respiratie- en de nitrificatiesnelheid kan gecontroleerd worden in welke mate de vlok beschadigd wordt door de toegepaste dosering.

In de praktijk wordt voor dit doel meestal Cl_2 in de vorm van chloorbleekloog toegepast. Waterstofperoxyde is, hoewel dit middel uit milieuhygiënische overwegingen te prefereren valt, vaak minder effectief. Het doseren direct in de beluchtingsruimte veroorzaakt vrijwel altijd een verslechtering van het zuiveringsrendement. Het produkt kan daarom beter in de retourslibleiding, of in een aparte recirculatiestroom toegevoegd worden. Hierbij is een goede menging op het doseerpunt essentieel. Het Cl_2 -verbruik door diverse (an)organische verbindingen kan zonodig geminimaliseerd worden door het slib tijdelijk zonder voeding te beluchten, vòòrdat het chloor gedoseerd wordt.

In veel rwzi's werden goede resultaten geboekt met hoeveelheden van 2-10 g Cl_2 .kg slib⁻¹.dag⁻¹. Er wordt aanbevolen op een zo laag mogelijk niveau te starten, bij onvoldoende resultaat na enkele dagen chloren kan de dosering alsnog verhoogd worden. Een concentratie > 10 à 15 mg Cl_2 .l⁻¹ (= 1 à 2 g Cl_2 .kg slib⁻¹) op het doseerpunt veroorzaakt meestal een ernstige beschadiging van de vlok. Overigens zal chloren vrijwel altijd leiden tot een vermindering van de nitrificatie en het afsterven van de Protozoën.

5.3 Structurele oplossingen

Voor een gerichte aanpak moet altijd eerst vastgesteld worden welke draadvormende organismen aanwezig zijn en waarom deze in de betreffende rwzi zo massaal groeien. In rwzi's met een stedelijk influent zal de oorzaak vrijwel altijd gezocht moeten worden in het voedingspatroon en/of een ontoereikende O_2 -voorziening in de beluchtingsruimte. Incidenteel kan een hoog sulfidegehalte van het influent doorslaggevend zijn. Groeibeperking door onvoldoende N of P, hetgeen in industriële rwzi's soms het geval is, kan vastgesteld worden door de invloed van extra stikstof of

fosfor op de slibademhaling of de CZV-verwijdering te bepalen.

Een ontoereikende zuurstofvoorziening kan uitgesloten worden door consequent een O_2 -gehalte $\geq 2 \text{ mg.l}^{-1}$ in de beluchtingsruimte te handhaven. Resteert de invloed van het voedingspatroon, de factor die frequent doorslaggevend is.

Voor het permanent bestrijden van draadvormende organismen moeten omstandigheden gecreëerd worden waarbij een belangrijk gedeelte van het beschikbare voedsel daadwerkelijk wordt opgenomen door de vlokvormende bacteriën. Uit de vele experimenten op laboratorium- en praktijkschaal blijkt dat dit op verschillende manieren bewerkstelligd kan worden. Deze hebben onderling gemeen dat tijdens het mengen van slib en influent een overmaat aan voedingsstoffen aanwezig moet zijn. Op deze regel is misschien één uitzondering, waarop nog nader zal worden teruggekomen (paragraaf 5.3.2).

Het goed karakteriseren van het voedselniveau (de hoeveelheid substraat die per kg biomassa beschikbaar is) is echter niet zo eenvoudig. Elders in dit rapport is aangegeven waarom de vlokbelading hiervoor geen goede maat is. Aan het gebruik van de conventionele slibbelasting als maat voor het voedselniveau is echter ook een groot bezwaar verbonden. Deze wordt berekend door de dagelijkse BZV- of CZV-aanvoer te delen door de hoeveelheid biomassa in de selector. Een daggemiddelde waarde geeft echter een verkeerd beeld van de werkelijke substraatvoorziening in de selector, indien de totale BZV-aanvoer de rwzi in veel minder dan 24 uur bereikt. Vanuit de micro-organismen bezien is alleen het voedselniveau tijdens de aanvoer van influent van belang. In veel praktijk-rwzi's draaien de influentvijzels bij dwa circa 10 uren per dag. Bij laboratoriumproeven wordt het influent vaak continu toegevoerd. Het reële voedselniveau in de selector is daarom in laatstgenoemde systemen 2,4 maal zo klein als dat in praktijk-rwzi's met een vergelijkbare, dagelijkse slibbelasting. Dit betekent dat de slibbelasting in de selector eigenlijk per aanvoeruur berekend moet worden, indien systemen onderling worden vergeleken. In de tabellen 22 t/m 24 zijn desondanks slibbelastingen per dag vermeld, omdat gegevens over het aanvoerpatroon van het influent niet beschikbaar waren. Uitgaande van de veronderstelling dat bij de meeste van deze rwzi's sprake zal zijn van een gebruikelijk aanvoerpatroon, kan het werkelijke voedselniveau in de selector geschat worden door de opgegeven slibbelasting door 10 te delen.

Integratie van de informatie over substraatverwijderingsprocessen in een selector leidt tot een verrassend simpel model (figuur 11), dat de sleutel bevat voor de oplossing van veel licht-slibproblemen. Fysisch/chemische processen leiden tot de momentane binding van substraat. De verdere substraatopname is direct gekoppeld aan biologische processen. De snelheid van substraatverwijdering (hoek β) wordt bepaald door de samenstelling en de activiteit van de biomassa.

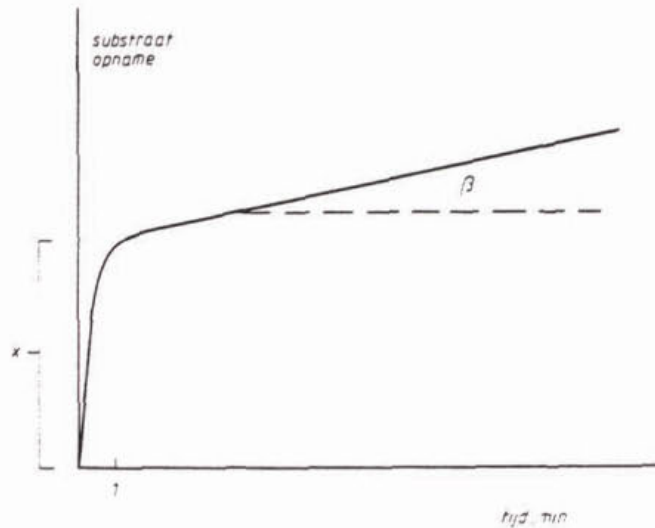


Fig. 11. Substraatopname na mengen van influent en slib.

5.3.1 selectie via momentane substraatopname

Tijdens het mengen van influent en slib wordt een bepaalde hoeveelheid substraat (X uit figuur 11) vrijwel momentaan door de vlok gebonden. Deze binding verloopt via fysisch-chemische processen; moleculaire en/of nitraatzuurstof spelen hierbij geen rol. Op basis van de beschikbare informatie kan niet goed worden aangegeven welke fractie uit het influent op deze wijze gebonden wordt. Het feit dat de momentane opname drastisch daalt indien het influent voorbezonden is, ondersteunt echter de veronderstelling dat X voornamelijk uit niet-opgeloste componenten bestaat. De grootte van X is daarnaast afhankelijk van de toegepaste slibbelasting in de selector. Bij een toename van de belasting stijgt X in absolute zin. De hoeveelheid die per gram slib wordt gebonden neemt dus toe. Het opgenomen percentage daalt echter naarmate de belasting stijgt, waardoor het effect van de selector daalt. Dit impliceert dat een optimale slibbelasting zal bestaan.

Daarnaast spelen mogelijk de mate van turbulentie en de factor tijd een rol. Een sterke turbulentie lijkt nadelig voor substraatverwijdering via adsorptie en/of invangen door de vlok. Een zekere mate van turbulentie is echter noodzakelijk voor een goede menging in een selector met een korte hydraulische verblijftijd. Kwantitatieve gegevens over de invloed van de turbulentie op de momentane opname zijn echter niet beschikbaar. Dit geldt ook voor de factor tijd. Het is niet bekend of toepassing van een selector na verloop van tijd leidt tot een toename van X.

In de praktijk is gebleken dat deze momentane substraatopname in een niet-beluchte selector soms al toereikend is om licht slib te bestrijden. De korte verblijftijd en de afwezigheid van O_2 impliceren dat andere substraatverwijderingsprocessen in deze selectoren nauwelijks een rol kunnen spelen. Dit verrassende resultaat is voornamelijk empirisch onderbouwd. De draadvormende micro-organismen verdwenen alleen bij slibbelastingen van 0,4-0,7 kg BZV.kg ds⁻¹.uur⁻¹ in de selector; hogere of lagere belastingen waren niet effectief. Er werd alleen succes geboekt bij rwzi's zonder een voorbezinktank. Er mag worden verwacht dat dit selectiemechanisme minder effectief zal zijn indien het influent voorbezonden is of indien dit vooral opgeloste componenten bevat. Het aantal praktijk-situaties, waaraan deze hypothese getoetst kon worden, is echter nog te beperkt.

Dit selectiemechanisme was effectief voor het bestrijden van type 0092 (1), type 0041 (2), type 1851 (1), *N. limicola* (1) en *M. parvicella* (2). Hierbij is het aantal rwzi's met een positief resultaat tussen haakjes geplaatst. Het aantal waarnemingen is dus nog zeer beperkt, waardoor geen definitieve conclusies getrokken kunnen worden. Hiervoor is meer kennis nodig over de fractie die op deze wijze gebonden wordt en over het soort substraat dat door de diverse organismen gebruikt kan worden. Het waargenomen effect suggereert echter dat deze organismen niet-opgeloste verbindingen uit het influent kunnen gebruiken. De meeste groeien ook vaak in en rondom de vlokken. Bij een hoge slibbelasting wordt kennelijk veel meer substraat in de vlok geconcentreerd dan deze draadvormers kunnen verwerken. De waarneming (25a) dat de karakteristieke *M. parvicella* kluwens vaak helemaal dicht groeiden met ééncellige, vlokvormende bacteriën, na de ingebruikneming van dit type selector, ondersteunt deze veronderstelling. *M. parvicella* verdween niet, maar werd opgenomen in compacte vlokken.

5.3.2 selectie onder anoxische/anaërobe omstandigheden

De substraatopname is gekoppeld aan denitrificatie- en/of biologische defosfateringsprocessen bij zuurstofloosheid. Dit zijn twee totaal verschillende processen en dus ook twee verschillende selectiemechanismen. Omdat de overgang van anoxisch naar anaëroob in een niet-beluchte selector vaak ongemerkt verloopt, wordt in dit rapport steeds over het anoxisch/anaërobe selectiemechanisme gesproken. Dit gecombineerde mechanisme is nog nauwelijks fundamenteel onderzocht. In enkele praktijk-rwzi's is empirisch vastgesteld dat het bijzonder effectief kan zijn. Het is met succes toegepast voor het bestrijden van o.a. *M. parvicella*, *Thiothrix sp.*, *S. natans*, *Beggiatoa sp.* en de typen 021N en 0961.

Aangezien praktisch alle tot nu toe geïsoleerde draadvormers strikt aëroob zijn, lijkt dit selectiemechanisme in beginsel universeel toepasbaar. Hierbij geldt uiteraard wel de voorwaarde dat de hoeveelheid beschikbaar nitraat of de activiteit van de organismen die bijdragen tot biologische defosfatering, toereikend moet zijn voor de opname van het substraat tijdens het verblijf in de selector. Dit ontbreken van concurrentie zet ook vraagtekens bij de absolute noodzaak van een hoge slibbelasting in zo'n selector. Deze kan overigens ook niet zo hoog worden opgevoerd, omdat de substraatopname via denitrificatie- of defosfateringsprocessen veel trager verloopt dan onder aërobe condities of via de momentane opname. Dit impliceert een langere verblijftijd, c.q. een lagere slibbelasting in de selector. In de praktijk werd succes geboekt met verblijftijden van 30-150 minuten. Overigens mag wel worden verwacht dat de selectie van micro-organismen die onder deze omstandigheden substraat op kunnen nemen zal leiden tot een toename van β , na verloop van tijd.

5.3.3 selectie onder aërobe omstandigheden

In aanwezigheid van O_2 worden aërobe, vlokvormende micro-organismen geselecteerd die opgelost substraat snel kunnen opnemen. Een aërobe selector leidt dus tot een stijging van β . Het opgenomen substraat wordt in de beluchtingsruimte verder verwerkt. Dit selectiemechanisme is uitvoerig onder laboratoriumomstandigheden onderzocht. De resultaten zijn getoetst en bevestigd bij enkele experimenten op praktijkschaal. De proeven onder praktijkomstandigheden roepen echter ook nieuwe vragen op, waardoor nog steeds een zekere onduidelijkheid over de noodzakelijke randvoorwaarden bestaat.

Het functioneren van dit selectiemechanisme vereist:

- een hoge slibbelasting in de selector. Dit betekent dat via momentane opnameprocessen ook niet-opgelost substraat gebonden wordt. Uit laboratoriumproeven met voorbezonken, stedelijk afvalwater als influent (136, 163) werd geconcludeerd dat de slibbelasting minimaal $20 \text{ kg CZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$ moet bedragen. Dit correspondeert met ongeveer $0,5 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{uur}^{-1}$. De resultaten in de praktijk-rwzi's bevestigen deze conclusie maar ten dele, omdat ook lagere belastingen ($0,2-0,4 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{uur}^{-1}$) toereikend leken te zijn (zie tabel 25). Dit kan op verschillende manieren worden verklaard. Alle verklaringen zijn echter speculatief, omdat concrete gegevens over de substraatopname(snelheid) in deze selectoren praktisch volledig ontbreken;
- een korte verblijftijd in de selector. In de diverse rwzi's werden verblijftijden van 5-15 minuten toegepast. De verblijftijd moet in elk geval zo lang zijn dat de al aangepaste vlokpopulatie een belangrijk gedeelte van het opgeloste substraat kan opnemen. Bij een tweetal balansstudies werden opnamepercentages van 80 à 90% gemeten (128, 163). In het effluent van het eerste compartiment van de selector moet echter nog wel wat opneembaar substraat resteren (39), als teken dat het voedselniveau voldoende hoog is opgevoerd. De koppeling van de verblijftijd aan de opname van opgelost substraat impliceert dat de verdeling opgelost/niet-opgelost in het influent medebepalend is voor de gewenste verblijftijd. Dit roept een aantal praktische problemen op, welke ondervangen kunnen worden door de selector uit verschillende compartimenten te laten bestaan;
- een toereikende zuurstofvoorziening in de selector. Bij enkele experimenten werd een ademhalingssnelheid van circa $50 \text{ mg O}_2.\text{g ds}^{-1}.\text{uur}^{-1}$ gemeten. Uitgaande van een drogestofgehalte van 3 kg.m^{-3} leidt dit tot een beluchtingscapaciteit van $150 \text{ g O}_2.\text{m}^{-3}.\text{uur}^{-1}$. In feite moet de OC nog wat hoger zijn, omdat volgens de theorie het zuurstofgehalte in de selector minimaal $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ moet bedragen. Een te laag O_2 -gehalte zou de draadvormers bevoordelen. Uit de ervaringen op enkele rwzi's, waar het O_2 -gehalte in de selector praktisch permanent nul was, zou echter geconcludeerd kunnen worden dat een te laag zuurstofgehalte in de selector toch niet zo snel doorslaggevend is;
- de verblijftijd en het zuurstofgehalte in de eigenlijke beluchtingsruimte moeten toereikend zijn om het opgeslagen substraat volledig

te verwerken. Dit is van cruciaal belang. Dit betekent dat de slib-ademhaling gedaald moet zijn tot het endogene niveau, voordat het slib de selector weer bereikt.

Samenvattend kan worden gesteld dat het aërobe selectiemechanisme met succes is toegepast voor het bestrijden van o.a. *Cyanophyceae*, *H. hydrossis*, *N. limicola*, *S. natans* en de typen 0092, 021N, 0961 en 1851. Uit ervaringen in enkele praktijk-rwzi's blijkt dat het mechanisme ook nog lijkt te functioneren indien niet volledig aan de vereiste randvoorwaarden wordt voldaan. Conditie die de vlokvormers wat extra bevoordelen zijn kennelijk vaak al doorslaggevend. Dit bevestigt de indruk dat in actiefslib sprake is van labiele evenwichten. Ook in systemen met volledige menging ontstaat niet altijd licht slib.

5.3.4 processtabiliteit

In diverse rwzi's is de SVI door de toepassing van een selector al jaren lang stabiel en laag (zie Bijlage C). Dit betekent dat het effect van een selector niet sterk wordt beïnvloed door schommelingen in de aanvoer en seizoensinvloeden.

Het zuiveringsrendement van deze rwzi's verbeterde vaak aanzienlijk doordat slibuitspoeling niet meer plaats vond. Hierdoor kon ook een hoger drogestofgehalte in de beluchtingsruimte gehandhaafd worden, hetgeen de processtabiliteit en het zuiveringsresultaat eveneens positief beïnvloedde.

Een selector vergroot in beginsel de kans dat toxische componenten uit het influent de rwzi ontregelen omdat het verdunningseffect ontbreekt. Er zijn echter nog geen voorbeelden bekend waarbij dit daadwerkelijk een probleem vormde. Anoxische selectoren lijken het meest kwetsbaar, omdat hun werking gekoppeld is aan het nitrificatieproces. Dit wordt vaak als eerste ontregeld indien toxische componenten aangevoerd worden.

5.3.5 dimensioneringsgrondslagen

Op basis van de ervaringen in diverse praktijk-rwzi's kunnen voorlopige dimensioneringsgrondslagen voor selectoren worden opgesteld.

In niet-beluchte selectoren met een korte hydraulische verblijftijd is de slibbelasting tijdens de aanvoeren van rioolwater doorslaggevend. Deze vormt daarom de basis voor het ontwerp. Naar de huidige inzichten moet de slibbelasting $0,5 \pm 0,1 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1} \cdot \text{uur}^{-1}$ bedragen. Deze waarde is ge-

baseerd op de ervaringen bij oxydatiesloten. De verblijftijd is waarschijnlijk niet erg kritisch omdat het substraat vrijwel momentaan na mengen wordt gebonden. De succesvolle slibbelastingen corresponderen met verblijftijden van circa 5 minuten onder dwa-omstandigheden (zie tabel 23).

Bij toepassing van het anoxische/anaërobe selectiemechanisme is primair de verblijftijd in de selector doorslaggevend. De slibbelasting is dus een afgeleide factor, maar moet bij voorkeur wel hoog zijn om tevens substraatopname via momentane binding te laten plaatsvinden. In de literatuur worden verblijftijden van 30-150 minuten genoemd. Dit is een zeer ruime marge, hetgeen illustreert dat de toepassingsmogelijkheden van dit selectiemechanisme nog onvoldoende zijn onderzocht. Als richtlijn geldt dat een niet-beluchte periode van circa 60 minuten in enkele praktijk-rwzi's toereikend was.

In een aërobe selector zijn slibbelasting + verblijftijd bepalend voor het effect. In diverse conventionele actief-slibinrichtingen met een voorbezinktank kon licht slib worden bestreden met slibbelastingen van $0,4 \pm 0,2 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1} \cdot \text{uur}^{-1}$ in de selector. Een verblijftijd van 10-15 minuten was voldoende om een belangrijk gedeelte van het opgeloste substraat te binden via een actief opnameproces. Een kortere verblijftijd was weliswaar in enkele rwzi's ook al toereikend, maar vergroot waarschijnlijk de kwetsbaarheid van het proces door een ontoereikende substraatopname tijdens stootbelastingen.

Om aërobe condities te kunnen handhaven moet de beluchtingscapaciteit op een zuurstofverbruik van $150-200 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{uur}^{-1}$ gedimensioneerd worden.

Over de combinaties: oxydatiesloot + aërobe selector en conventioneel actiefslib + momentane opname zijn nog erg weinig praktijkervaringen beschikbaar.

Bij een normaal aanvoerpatroon zou een slibbelasting vertaald kunnen worden in een V_T/V_S -verhouding. Uitgaande van de gegevens in de tabellen 20 en 21 leidt dit tot verhoudingen van 50 à 70 en 15 à 25 voor selectoren bij respectievelijk oxydatiesloten en laagbelaste actief-slibinrichtingen met een voorbezinktank. Dit zijn echter hooguit richtwaarden, omdat de influentconcentratie en het drogestofgehalte in het retourslib in de praktijk vaak aanmerkelijk verschillen van de waarden die in deze rekenvoorbeelden zijn gebruikt.

Over de vorm van de selector kan nog worden opgemerkt dat een verdeling in enkele, in serie geschakelde compartimenten of een tank met een laag dispersienummer duidelijke voordelen bieden. Dit betreft zowel de hoge slibbelasting vooraan in zo'n selector als de mogelijkheid om fluctuaties in de aanvoer beter op te vangen.

De slibbelasting is vaak bepalend voor het effect van een selector. De influenttoevoer is meestal nauwelijks beïnvloedbaar, hetgeen betekent dat de belasting voornamelijk via het retourslibdebet bijgesteld kan worden. Dit debiet moet daarom over een ruim traject gevarieerd kunnen worden.

5.3.6 aandachtspunten bij toekomstig onderzoek

Er resteren nogal wat belangrijke vragen over het bestrijden van licht slib via de diverse selectiemechanismen. Dit betreft vooral:

- de feitelijke werking van de anoxische en de anaërobe selectiemechanismen. Berusten deze primair op het uitschakelen van de draadvormende organismen omdat O_2 ontbreekt, of worden analoog aan het gebeuren in een aërobe selector, micro-organismen gekweekt die snel substraat kunnen opnemen. Dit heeft grote consequenties voor de benodigde verblijftijd;
- de werking van de niet-beluchte selector met een korte hydraulische verblijftijd. Welke fractie(s) uit het influent wordt (worden) gebonden door de vlok. Overigens speelt deze vraag ook bij de andere selectiemechanismen;
- de kinetiek van de substraatopname in de diverse selectoren onder praktijkomstandigheden. Hierbij is vooral de invloed van het actuele zuurstofgehalte op de substraatopname in een aërobe selector van belang;
- de kinetiek van de verwerking van het gebonden substraat in de beluchtingsruimte. Welke verblijftijd is hiervoor minimaal noodzakelijk en in hoeverre wordt deze beïnvloed door de heersende temperatuur en het zuurstofgehalte;
- welk percentage van het beschikbare substraat moet in de selector worden gebonden om de groei van draadvormende organismen te voorkomen. Hierbij is waarschijnlijk ook de verdeling opgelost/niet-opgelost substraat van belang;
- het effect van de diverse selectiemechanismen op de groei van verschillende draadvormende organismen. Over dit onderwerp is weliswaar al vrij veel informatie beschikbaar, maar enkele belangrijke soorten

zijn nog nauwelijks onderzocht. Hierbij gaat het vooral om de typen 0092, 1851, 0041 en 0803, c.q. soorten die frequent bijdragen tot het ontstaan van licht slib in rwzi's met een lage slibbelasting. Ook de invloed van een aërobe selector op de groei van *M. parvicella* is nog nauwelijks onderzocht.

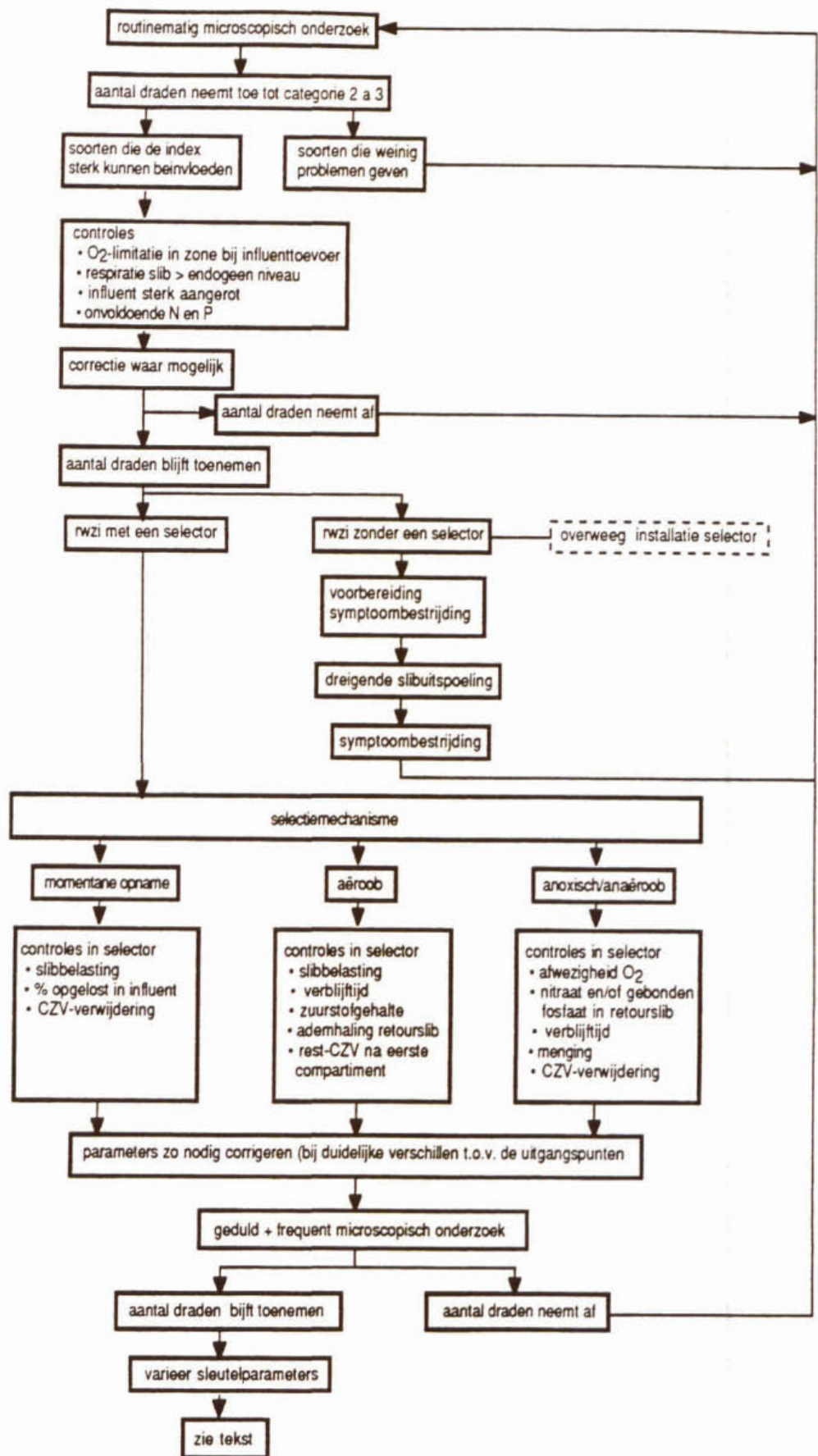
Allereerst moet opgemerkt worden dat kant en klare recepten, waarmee de groei van draadvormende organismen gegarandeerd kan worden voorkomen, niet bestaan. Er is wel bekend hoe de kans op het ontstaan van licht slib zo klein mogelijk gehouden kan worden. Op veel bestaande rwzi's kan echter maar ten dele aan de vereiste randvoorwaarden worden voldaan. Bij nieuwe rwzi's ligt dit veel eenvoudiger. Deze kunnen zodanig worden ingericht dat draadvormende organismen vrijwel geen kans krijgen. Hiertoe moet voldaan worden aan de volgende voorwaarden:

- een zo vers mogelijk influent;
- een uitgesproken propstroming in de beluchtingsruimte of een voorgeschakelde, aparte selector bij oxydatiesloten;
- voor extra zekerheid kunnen vooraan in een beluchtingsruimte met propstroming nog enkele dwarswanden worden geplaatst, waardoor een aparte selectorruimte ontstaat. Voor de dimensioneringsgrondslagen wordt naar paragraaf 5.3.5 verwezen;
- de slibbelasting van de rwzi moet kleiner zijn dan $0,4 \text{ à } 0,5 \text{ kg BZV.kg d.s.}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$;
- de beluchtingscapaciteit moet toereikend zijn om het O_2 gehalte in de aëratietank permanent op een niveau $\geq 2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ te handhaven;
- retourslibpompen met een variabel debiet.

Wanneer binnen dit conventionele concept de slibbelasting in de selector ook nog op het vereiste niveau gehandhaafd kan worden, zal praktisch nooit licht slib ontstaan. Ook volledig discontinue rwzi's en tweetraps-systemen bieden wat dit betreft een redelijke garantie. Hierbij moet alleen een voorbehoud worden gemaakt ten aanzien van de slibkwaliteit in de laagbelaste tweede trap. Er zijn voorbeelden bekend van rwzi's waarbij hierin toch nog licht slib ontstond.

Voor veel bestaande rwzi's geldt echter dat het proces voortdurend begeleid en zondig bijgestuurd moet worden om de groei van draadvormende organismen zoveel mogelijk te voorkomen.

In navolging van enkele andere auteurs (173, 244, 249) is daarom een soort stappenschema opgesteld dat gebruikt kan worden om de bedrijfszekerheid van rwzi's te vergroten (figuur 12). Het regelmatig uitvoeren van microscopisch slibonderzoek staat hierbij centraal. Het belang van deze analyse wordt in talrijke publicaties onderstreept (9, 59, 94, 116, 119, 249, 268).



Figuur 12. Procesbewaking ter voorkoming van licht slib.

Ongewenste veranderingen in de samenstelling van de slibpopulatie kunnen alleen op deze wijze tijdig gesignaleerd worden.

De frequentie waarmee de analyse uitgevoerd moet worden is direct gekoppeld aan de slibleeftijd in de betreffende rwzi. Als vuistregel geldt een frequentie van éénmaal per slibleeftijd.

Een toename van het aantal draden is niet altijd verontrustend. Soorten als *N. limicola* en de typen 0041, 0092, 0675, 0914 en 1863 groeien slechts incidenteel massaal in rwzi's met een huishoudelijk influent. Enkele van deze groep hebben bovendien nauwelijks invloed op de bezink-eigenschappen van de vlokken.

Voor de meeste draadvormende organismen geldt echter dat alert gereageerd moet worden indien hun aantal duidelijk toeneemt. De indeling van een slib in categorie 2 à 3 betekent dat een kritisch punt is bereikt.

In dit stadium moet een aantal controles uitgevoerd worden, teneinde enkele mogelijke oorzaken op te heffen, c.q. uit te sluiten. Dit betreft:

- controle op de zuurstofvoorziening in de zone waar het influent wordt toegevoerd;
- het meten van het ademhalingsniveau van het actiefslib, of van het retourslib indien een selector aanwezig is. De uitkomst dient vergeleken te worden met referentiewaarden uit perioden met weinig draden. Een verhoogd niveau duidt op een ontoereikende O_2 -voorziening en/of een te korte verblijftijd van het slib in de aëratietank. Deze oorzaken kunnen binnen een bestaande situatie soms alleen via extra voorzieningen worden opgeheven (bijvoorbeeld het vergroten van de beluchtingscapaciteit of de toepassing van een aparte slibre-aëratie). Een hoger O_2 -gehalte in de beluchtingsruimte kan bovendien strijdig zijn met andere doelstellingen, zoals de wens tot simultane denitrificatie. In bepaalde gevallen moeten echter duidelijke keuzes worden gemaakt;
- de analyse van influent op sulfiden en vluchtige vetzuren. Indien deze gehalten duidelijk zijn gestegen, dient nagegaan te worden of de verblijftijd van het afvalwater in het aanvoerstelsel of de voorbezinktank kan worden beperkt. Veelal zal dit niet mogelijk zijn. Dan kan overwogen worden om tenminste de sulfiden via oxydatie met bijvoorbeeld peroxyde te verwijderen. Overigens blijkt een verhoogd sulfidegehalte vaak al uit het microscopisch beeld. De draadvormers die dit kunnen benutten (vooral *Thiothrix* sp. en type 021N) bevatten dan zwavelbolletjes in hun cellen;

- controle of voldoende N en P beschikbaar is. Dit speelt in rwzi's met een stedelijk influent uiteraard geen rol.

In rwzi's zonder selector kan vervolgens niet veel meer worden gedaan dan afwachten hoe de situatie zich verder ontwikkelt. Er kunnen alleen tijdig maatregelen worden getroffen voor symptoombestrijding, als het aantal draden blijft toenemen. Daarnaast dient uiteraard de installatie van een selector te worden overwogen.

In rwzi's met een selector kan, in aansluiting op voornoemd correctieprogramma, al vast worden nagegaan in hoeverre de actuele situatie nog correspondeert met het oorspronkelijk ontwerp van de selector. Dit omvat, afhankelijk van het type selector, controles van:

- de slibbelasting;
- de verblijftijd;
- de zuurstofvoorziening;
- het nitraatgehalte in het retourslib;
- de fosfaatverwijdering;
- de verdeling opgelost/niet-opgelost substraat in het influent;
- de substraatopname in de selector.

Verdere acties kunnen voorlopig achterwege blijven, indien geen wezenlijke veranderingen ten opzichte van de uitgangssituatie kunnen worden vastgesteld. Hierbij geldt uiteraard de voorwaarde dat de selector in het verleden bedrijfszeker functioneerde. Het herstel kan enige tijd vergen, omdat de snelheid aan de slibleeftijd is gekoppeld. Eventueel kan een beperkte symptoombestrijding worden overwogen, als men het herstel wil versnellen.

Indien het aantal draden na verloop van tijd desondanks niet daalt kan nog geprobeerd worden de substraatopname in de selector te vergroten via wijziging van de slibbelasting. Ook hierbij geldt dat men veel geduld moet hebben om het effect goed te kunnen beoordelen. In het algemeen gesproken zal een belastingverhoging vaker effectief zijn dan een verlaging. Om het effect te beoordelen moet periodiek de substraatopname (snelheid) in de selector worden bepaald. Dit brengt nogal wat werk met zich mee.

Als ook dit niet tot het gewenste resultaat leidt, resteert alleen de mogelijkheid van een nieuw vooronderzoek. Hierbij staat dan opnieuw de vraag centraal welk selectiemechanisme het meest geschikt is voor de betreffende rwzi.

De keuze voor een bepaald selectiemechanisme kan helaas nog maar ten dele gebaseerd worden op de nu beschikbare kennis. Zolang niet goed bekend is welke fracties/componenten uit het influent door bepaalde draadvormers gebruikt kunnen worden, en hoe effectief deze verbindingen in de verschillende selectoren worden gebonden, kan op twee manieren te werk worden gegaan:

- A. De meest grondige aanpak omvat een vooronderzoek waarbij de mogelijkheden van de verschillende selectiemechanismen voor de betreffende rwzi worden nagegaan.
- B. Men kan ook direct kiezen voor een selector die op andere rwzi's, met vergelijkbare bedrijfsomstandigheden, effectief is. Eventueel kan de slibbelasting in de selector, na de aanloopfase, wat gevarieerd worden om de CZV-reductie te optimaliseren.

In de praktijk zal meestal gekozen worden voor optie B. De meer fundamenteel gerichte optie A mag echter niet volledig vergeten worden, omdat de werking en/of keuze van de selectiemechanismen alleen op deze wijze verder onderbouwd kunnen worden.

1. Actief Slib Werkoverleg I t/m III. Verslagen van studiedagen waarbij de resultaten van diverse licht-slibbestrijdingsexperimenten werden geëvalueerd. 1980-1982.
2. Adams, R.M. and T. Asano. Removal mechanisms and design suggestions for activated sludge.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 50, 1978, 1931-1942.
3. Adamse, A.D. Bulking of dairy waste activated sludge.
Water Research, 2, 1968, 715-722.
4. Adriaansen, P.L. Praktische ervaringen met 2½ jaar vlokbelading ter bestrijding van de slechte slibindex op de rwzi te Bunnik.
De Klaarmeester, 1978, 5-2 tot 5-5.
5. Ammon, F. von. Molkereiabwässer und ihre Reinigung.
Berichte der ATV, 11, 1959, 236-246.
6. Andersen, G. Activated sludge control and the prevention of bulking.
Sewage Works J., 8, 1936, 785-792.
7. Anonymus. Bulking activated sludge.
Effluent Water Treat. J., 13, 1973, 152.
8. Anonymus. Controlling sludge bulking. Hydrogen peroxide cures sludge bulking in Florida wastewater treatment plant.
Water and Sewage Works, 124, 1977, 54-55.
9. Anonymus. Troubleshooting Tips. Bulking activated sludge.
Highlights, Deeds and Data, Dec. 1978, p. 2, 3, 10 and 11.
10. Anonymus. Bericht über die Verwendung von Noggies in der Kläranlage Breisach.
Abwasser Information, Firma Noggerath, 1983.
11. Anonymus. Thames Water uses chlorine to control bulking sludge.
Water Research News, December 1981, p. 6.
12. Anonymus. Praxis der Blähschlammbekämpfung mit Eisensalzen.
Wassertechnische Informationen der Kronos.
Titan-GmbH, WI 6-1-4, 1984.
13. ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1. "Blähschlamm Bildung und -bekämpfung".
Bestimmungstabelle für fadenbildende Mikro-organismen im Belebtschlamm.
Korrespondenz Abwasser, 24, 1977, 12-15.
14. Bakker, P. Het in bedrijf houden van een oxydatiesloot met een hoge slibindex door middel van het doseren van flocculanten.
De Klaarmeester, 12, 1977, nr. 5, 3-8.
15. Barnard, J.L. Solving sludge bulking problems.
Water Pollut. Contr., 77, 1978, 103-106.
16. Baumann, M., H. Lemmer and W. Popp. Microbial populations in activated sludge in relation to sewage treatment plant operation.
4th Int. Symp. on Microb. Ecology, Ljubljana, 1986.
17. Beccari, M., P. Mappeli and V. Tandoi. Relationship between bulking and physicochemical-biological properties of activated sludges.
Biotechnol. Bioengr., XXII, 1980, 969-979.
18. Benefield, L.D., C.W. Randall and P.H. King. The stimulation of filamentous micro-organisms in activated sludge by high oxygen concentrations.
Water Air Soil Pollut., 5, 1975, 113-123.
19. Bhatla, M.N. Relationship of activated sludge bulking to oxygen tension.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 39, 1967, 1978-1985.
20. Biesinger, M.G., H. Stensel, H. David and D. Jenkins. Brewery wastewater treatment without sludge bulking problems.
Proc. Ind. Waste Conf., 35, 1980, 596-609.

21. Bisogni, J.J. and A.W. Lawrence. Relationships between biological solids retention time and settling characteristics of activated sludges.
Water Research, 5, 1971, 753-763.
22. Blackbeard, J.R., G.A. Ekama and G.van R. Marais. A survey of filamentous bulking and foaming in activated sludge plants in South Africa.
Water Pollut. Contr., 85, 1986, 90-100.
23. Bland, J.A. and J.T. Staley. Observations on the biology of *Thiothrix*.
Arch. Microbiol., 117, 1978, 79-87.
24. Bode, H., D. Jenkins und B. Koopman. Der Einsatz von Chlor zur Bekämpfung von Blähschlamm.
Korrespondenz Abwasser, 29, 1982, 931-936.
25. Boon, A.G. Treatment of settled domestic sewage at high rates. Performance of conventional and contact-stabilization activated sludge plants.
Effluent Water Treatm. J., 10, 1970, 83-88.
- 25a. Brandse, F.A. Zuiveringsschap West-Overijssel.
Persoonlijke mededeling, 1987.
26. Bristow, J.L. Experience with hydrogen peroxide in an activated sludge plant.
Fed. Conv. Australian Water Wastewater Assoc., 7th Conf., 1977, 285-307.
27. Carter, J.L. and R.E. McKinney. Effects of iron on activated sludge treatment.
J. of the Env. Eng. Div., 99, 1973, 135-152.
28. Cech, J.S. and J. Chudoba. Influence of accumulation capacity of activated sludge micro-organisms on kinetics of glucose removal.
Water Research, 17, 1983, 659-666.
29. Cech, J.S. J. Chudoba and P. Grau. Determination of kinetics constants of activated sludge micro-organisms.
Wat. Sci. Techn., 17, 1984, 259-272.
30. Chambers, B. Effect of longitudinal mixing and anoxic zones on settleability of activated sludge.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 166-186.
31. Chambers, B. and E.J. Tomlinson. The cost of chemical treatment to control the bulking of activated sludge.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 264-270.
32. Chao, A.C. Influence of process loading intensity on sludge clarification and thickening characteristics.
Water Research, 13, 1979, 1213-1223.
33. Chiesa, S.C. and R.L. Irvine. Growth and control of filamentous microbes in activated sludge: An integrated hypothesis.
Water Research, 19, 1985, 471-479.
34. Chiesa, S.C., R.L. Irvine and J.F. Manning. Feast/famine growth environments and activated sludge population selection.
Biotechnol. Bioeng., 27, 1985, 562-568.
35. Chudoba, J. Inhibitory effect of refractory organic compounds produced by activated sludge micro-organisms on microbial activity and flocculation.
Water Research, 19, 1985, 197-200.

36. Chudoba, J. Control of activated sludge filamentous bulking. VI Formulation of basic principles. *Water Research*, 19, 1985, 1017-1022.
37. Chudoba, J. J. Bláha and V. Madera. Control of activated sludge filamentous bulking. III Effects of sludge loading. *Water Research*, 8, 1974, 231-237.
38. Chudoba, J., M. Dohanyos and P. Grau. Control of activated sludge filamentous bulking. IV Effect of sludge regeneration. *Water Sci. Techn.*, 14, 1982, 73-93.
39. Chudoba, J. J.S. Cech, J. Farkac and P. Grau. Control of activated sludge bulking. Experimental verification of a kinetic selection theory. *Water Research*, 19, 1985, 191-196.
40. Chudoba, J., P. Chudoba and J.S. Cech. Effect of the endogenous phase duration on the maximum substrate removal rate in mixed cultures. *Water Research*, 20, 1986, 1505-1510.
41. Chudoba, J., P. Grau and V. Ottová. Control of activated sludge filamentous bulking. II Selection of micro-organisms by means of a selector. *Water Research*, 7, 1973, 1389-1406.
42. Chudoba, J. und P. Grau. Praktische Möglichkeiten der Bekämpfung fadenförmiger Blähschlamm bildner. *Wiener Mitteilungen. Band 56*, 1985, 1-18.
43. Chudoba, J., V. Ottová and V. Madera. Control of activated sludge filamentous bulking. I Effect of the hydraulic regime or degree of mixing in an aeration tank. *Water Research*, 7, 1973, 1163-1182.
44. Coackley, P. and J. O'Neill. Sludge activity and full-scale plant control. *Wat. Pollut. Control*, 74, 1975, 404-414.
45. Cole, C.A., J.B. Stamberg and D.F. Bishop. Hydrogen peroxide cures filamentous growth in activated sludge. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 45, 1973, 829-836.
46. Cyrus, Z. and A. Sladká. Several interesting organisms present in activated sludge. *Hydrobiologia*, 35, 1970, 383-396.
47. Daigger, G.T. The design of a selector to control low-F/M filamentous bulking. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 57, 1985, 220-226.
48. Dennis, R.W. and R.L. Irvine. Effect of fill-react ratio on sequencing batch biological reactors. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 51, 1979, 255-263.
49. DHV. Overbelasting van nabezinktanks. Voorkoming van slibverliezen met poly-elektrolieten. STORA, Rijswijk 1981.
50. DHV. Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces. 1. Literatuur. 2a. Ronde nabezinktanks (ontwerpgegevens en bedrijfservaring. 2b. Ronde nabezinktanks (ruimer - en inloopconstructies). 3. Rechthoekige nabezinktanks (inventarisatie en praktijkonderzoek). STORA, Rijswijk 1981-1983.
51. Dick, R.I. and P.A. Vesiland. The sludge volume index. What is it. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 41, 1969, 1285-1291.
52. Diekmann, H. und M. Aufderheide. Entwicklung von Blähschlamm nach Schockbelastung mit organischen Säuren. *Korrespondenz Abwasser*, 27, 1980, 689-692.
53. Donaldson, W. Some notes on the operation of sewage treatment works. *Sewage Works Journal*, 4, 1932, 48-59.

- 53a. Donnert, D., K. Luther, A. Peter and F. Sarfert. Betriebsversuche zur phosphat gesteuerten Simultanfällung im Klärwerk Berlin-Marienfelde.
Korrespondenz Abwasser, 34, 1987, 51-58.
54. Eikelboom, D.H. Filamentous micro-organisms observed in activated sludge.
Water Research, 9, 1975, 365-388.
55. Eikelboom, D.H. Identification of filamentous organisms in bulking activated sludge.
Prog. Water Technol., 8, 1977, 153-161.
56. Eikelboom, D.H. Het voorkomen en bestrijden van licht slib door middel van een hoge vlokbelading.
H₂O, 13, 1980, 166-170.
57. Eikelboom, D.H. Biosorptie en bestrijden van licht slib.
STORA, Rijswijk, 1981.
58. Eikelboom, D.H. Die mikroskopische Untersuchung des belebten Schlammes unter besonderer Berücksichtigung fadenförmiger Mikroorganismen.
Stuttgarter Berichte zur Siedlungs-wasserwirtschaft, 70, 1981, 136-156.
59. Eikelboom, D.H. Microscopic sludge investigation in relation to treatment plant operation.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 47-62.
60. Eikelboom, D.H. Biosorption and prevention of bulking sludge by means of a high floc loading.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 90-110.
61. Eikelboom, D.H. Biological characteristics of oxidation ditch sludge. Proc. Int. Conf. on Oxidation Ditch Technology.
Cep. Consultants, Edinburgh, 1982, 47-56.
62. Eikelboom, D.H. and H.J.J. van Buijsen. Handleiding voor microscopisch onderzoek.
STORA, Rijswijk, 1979.
- 62a. Ekama, G.A. und G. van R. Marais. Zusätzliche biologische Phosphorelimination beim Belebungsverfahren - Erfahrungen in Südafrika.
GWf - Wasser/Abwasser, 126, 1985, 241-249.
63. Elemans, H. Biologisch onderzoek in Oost-Brabant (2).
De Klaarmeester, 20, 1985, 8-11.
64. Emmrich, M., M. Ziegler und H. Rüdén. Fadenförmige Bakterien im belebten Schlamm (Blähschlamm). I. Vorkommen fadenförmiger Bakterien in einer nach dem Belebungsverfahren (plug-flow System) arbeitenden Kläranlage.
ZBL. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B177, 1983, 436-450.
65. Eriksson, L. and A.M. Härdin. Settling properties of activated sludge related to floc structure.
Wat. Sci. Techn., 16, 1984, 55-68.
66. Eynde, E. van den, J. Geerts, B. Maes and H. Verachtert. Influence of the feeding pattern on the glucose metabolism of *Arthrobacter* sp and *Sphaerotilus natans*; Growth in chemostat culture, simulating activated sludge bulking.
European J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 17, 1983, 35-43.
67. Eynde, E. van den, J. Houtmeyers and H. Verachtert. Relation between substrate feeding pattern and development of filamentous bacteria in activated sludge.

- In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods. Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 128-146.
68. Eynde, E. van den, L. Vriens and H. Verachtert. Relation between substrate feeding pattern and development of filamentous bacteria in activated sludge processes. III. Application with industrial waste waters. European J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 15, 1982, 246-251.
 69. Eynde, E. van den, L. Vriens, M. Wynants and H. Verachtert. Transient behaviour and time aspects of intermittently and continuously fed bacterial cultures with regard to filamentous bulking of activated sludge. Appl. Microbiol. Biotechnol., 19, 1984, 44-52.
 70. Farquhar, G.J. and W.C. Boyle. Identification of filamentous micro-organisms in activated sludge. J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 43, 1971, 604-622.
 71. Farquhar, G.J. and W.C. Boyle. Occurrence of filamentous micro-organisms in activated sludge. J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 43, 1971, 779-798.
 72. Farquhar, G.J. and W.C. Boyle. Control of *Thiothrix* in activated sludge. J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 44, 1972, 14-24.
 73. Finstein, M.S. and H. Heukelekian. Filamentous micro-organisms and the bulking of activated sludge. Purdue Univ., Eng. Bull., Ext. Sci., 49, 1965, 175-181.
 74. Finstein, M.S. and H. Heukelekian. Gross dimensions of activated sludge flocs with reference to bulking. J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 39, 1967, 33-40.
 75. Flakerty, P.H. and A.C. Chao. How to use the food: micro-organisms ratio. Deeds and Data, 12, 1975, nr. 7, p. 1, 6, 7 and nr. 11, p. 2-4.
 76. Flippin, T., W.W. Eckenfelder and C.M. Goronszy. Control of sludge bulking in a carbohydrate wastewater using a biosorption contactor. Proc. 39th Ind. Waste Conf., 1985, 645-650.
 77. Forster, C.F. The surface of activated sludge particles in relation to their settling characteristics. Water Research, 2, 1968, 767-775.
 78. Forster, C.F. Activated sludge surfaces in relation to the sludge volume index. Water Research, 5, 1971, 861-870.
 79. Forster, C.F. Practical research in water pollution control. Wat. Pollut. Contr. 74, 1975, 625-634.
 80. Forster, C.F. and N.M. Choudry. Physico-chemical studies on activated sludge bioflocculation. Effl. and Wat. Treatm., 1972, 127-131.
 81. Forster, C.F. and J. Dallas-Newton. Activated sludge settlement. Some suppositions and suggestions. Wat. Pollut. Contr., 79, 1980, 338-351.
 82. Ford, D.S. and W.W. Eckenfelder. Effect of process variables on sludge floc formation and settling characteristics. J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 39, 1967, 1850-1859.
 83. Frenzel, H.J. und F. Sarfert. Erfahrungen über die Verhinderung von Blähschlamm-Bildung durch Chlorung des belebten Schlammes. GWF/Wasser-Abwasser, 112, 1971, 604-606.
 84. Gao, T.Y. und N. Wolters. Untersuchungen zur Bekämpfung von Blähschlamm mittels mechanischer Verfahren. Korrespondenz Abwasser, 29, 1982, 80-83.

85. Garrett, M.T., J. Ma, W. Yang, G. Hyare, T. Norman and Z. Ahmad. Improving the performance of Houston's Southwest Wastewater Treatment Plant.
Wat. Sci. Techn., 16, 1984, 317-329.
86. Gassen, M. Dissolved oxygen concentration, sludge loading and sludge bulking.
Wasserwirtschaft, 70, 1980, 164-168.
87. Genetelli, E.J. and H. Heukelekian. The influence of loading and chemical composition of substrate on the performance of activated sludge.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 36, 1964, 643-649.
88. Goodwin, J.A.S. and C.F. Forster. A further examination into the composition of activated sludge surfaces in relation to their settlement characteristics.
Water Research, 19, 1985, 527-533.
89. Goronszy, M.C. and D. Barnes. Sequentially operated biological systems for bulking sludge control.
Process Biochem., 15, 1980, 42-48.
90. Grau, P., J. Chudoba and M. Dohanyos. Theory and practice of accumulation regeneration approach to the control of activated sludge filamentous bulking.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 111-127.
91. Greeley, S.A. The development of the activated sludge method of sewage treatment.
Sew. Works Journ. 17, 1945, 1135-1145.
92. Green, G.P. An attempt to predict bulking in activated sludge by the development of a method to measure filamentous organisms.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 63-74.
93. Greenberg, A.E., G. Klein and W.J. Kaufman. Effect of phosphorous on the activated sludge process.
Sew. Ind. Wastes, 27, 1955, 277-282.
94. Grimestad, D.E. and R.L. Wetegrove. Biological process trouble-shooting.
Pollut. Eng., 14, 1982, 25.
95. Hasegawa, S., K. Fukui, Y. Maeda and M. Nakajima. Response to activated sludge process to stepwise shortening of biological solids retention time.
J. Ferment. Technol., 63, 1985, 357-362.
96. Haseltine, T.R. The activated sludge process at Salinas, California, with particular reference to causes and control of bulking.
Sew. Works J., 4, 1932, 461-489.
97. Haseltine, T.R. The use of hydrated lime in the activated sludge process.
Sew. Works J., 10, 1938, 1017-1042.
98. Hattings, W.H.J. Activated sludge studies. 3. Influence of nutrition on bulking.
Water and Waste Treatm. J., 10, 1963, 476-480.
99. Hegeman, W. A combination of the activated sludge process with fixed film biomass to increase the capacity of wastewater treatment plants.
Wat. Sci. Tech., 16, 1984, 119-130.
100. Heide, B.A. and A. Pasveer. Oxidation ditch: Prevention and control of filamentous sludge.
H₂O, 7, 1974, 373-377.

101. Henry, J.G. and E.E. Salenieks. Variation in sludge settleability with temperature.
Water Pollut. Res. J. of Canada, 15, 1980, 73-82.
102. Heukelekian, H. Activated sludge bulking.
Sew. Works J., 13, 1941, 39-42.
103. Heukelekian, H. Fundamental considerations in the treatment of sewage by activated sludge process.
Environmental Health, Nagpur., 5, 1963, 101-107.
104. Heukelekian, H. and R.S. Ingols. Studies on activated sludge bulking. II. Bulking induced by domestic sewage.
Sew. Works J., 12, 1940, 694.
105. Heukelekian, H. and E. Weisberg. Zoogical bulking of activated sludge.
Sew. Ind. Wastes, 28, 1956, 558-574.
106. Hirt, W.E., D.M. Cody and L.G. Griffin. Improvement in an activated sludge system.
Tappi, 63, 1980, 49-52.
107. Hodgson, H.J.N. Glenelg sewage treatment works.
J. Inst. Engrs. Australia, 7, 1935, 229.
108. Houtmeyers, J., E. van den Eynde, R. Poffe and H. Verachtert. Relations between substrate feeding pattern and development of filamentous bacteria in activated sludge processes. Part I. Influence of process parameters.
Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 9, 1980, 63-77.
109. Huber, G., K. Peters und T. Frevert. Zusammenhang zwischen der Sauerstoffzehrungskinetik, Schwefelwasserstoff und dem Auftreten von Blähschlamm in einer Kläranlage.
GWF-Wasser/Abwasser, 125, 1984, 417-423.
110. Hulzebos, W. Bestrijding van zwelslib. Ervaringen met een proefinrichting.
Water, 50, 1966, 35-37.
111. Humphries, M.D. The effect of a change in longitudinal mixing on the settleability of an activated sludge.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 261-263.
112. Hünerberg, K., F. Sarfert und H.J. Frenzel. Ein Beitrag zum Problem Blähschlamm.
GWF-Wasser/Abwasser, 111, 1970, 7-10.
113. Ingols, R.S. and H. Heukelekian. Studies on activated sludge bulking. I. Bulking of sludge by means of carbohydrates.
Sew. Works J., 11, 1939, 927-945.
114. Jähmig, C. Neue leistungsfähige Mikro-organismen optimieren biologische Kläranlagen.
Chemie-Technik, 9, 1980, 497-500.
115. Jenkins, D., J.B. Neethling, H. Bode and M.G. Richard. The use of chlorination for control of activated sludge bulking.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 187-210.
116. Jenkins, D., M.G. Richards and J.B. Neethling. Causes and control of activated sludge bulking.
Water Pollut. Contr., 83, 1984, 455-472.
118. Jewell, W.J., W.W. Eckenfelder and M.E. Cavalier. The use of pure oxygen for the biological treatment of brewery waste waters.
Proc. 26th Ind. Waste Conf., 1971, Purd. Univ., Ext. Ser., 140, 1973, 487-496.

119. Johnson, W.D. Microbiology: Operators should realize its importance in wastewater treatment.
Highlights, Deeds and Data, 16, 1979, 13-14.
120. Johnstone, D.W. Settlement characteristics and settlement-tank performance in the carrousel activated-sludge system.
Water Pollut. Contr., 78, 1979, 337-356.
121. Jones, P.H. Experiments with bulking sludge and its ability to degrade high carbonate wastes and sulphite waste liquor.
Pulp and Paper Magazine of Canada, Convention Issue 1966, T.139-T.145.
122. Jones, G.A. and B.C. Franklin. The prevention of filamentous bulking of activated sludge by operation at Halifax sewage-treatment works.
Water Pollut. Contr. 84, 1985, 329-346.
123. Kalinsky, A.A. Comparison of air and oxygen activated sludge systems.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 48, 1976, 2472-2485.
124. Khararjian, H.A. and J.H. Sherrard. Batch aerobic treatment of a colloidal wastewater.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 50, 1977, 1985-1992.
125. Knoebel, I.G. Belleville licks sludge bulking. Roughing filters and nitrification units handle shock loadings from brewery and slaughterhouses.
Wastes Engineering, 34, 1963, 396-397.
126. Koopman, B., G. Bitton, C. Logue, J.M. Bossart and J.M. Lopez. Validity of tetrazolium reduction assays for assessing toxic inhibition of filamentous bacteria in activated sludge.
In: Liu, D. and B.J. Dutka (Eds.): Toxicity screening procedures using bacterial systems. pp. 147-162.
Marcel Dekker, Inc. New York, 1984.
127. Kraus, L.S. The use of digested sludge and digester overflow to control bulking activated sludge.
Sewage Works J., 17, 1945, 1177-1194.
128. Kroiss, H. Blähschlammprobleme bei der Zuckerfabrik Leopoldsdorf.
Wiener Mitteilungen, Band 56, 1985, 81-107.
129. Kroiss, H. und N. Matsché. Versuche und praktische Erfahrungen zur Vermeidung von Blähschlamm auf der Hauptkläranlage Wien.
Wiener Mitteilungen, Band 56, 1985, 19-52.
130. Kroos, H. Biologische Abwasserreinigung mit "Gezüchteten Spezialbakterien".
Die Ernährungsindustrie, 1982, 61-62-66.
131. Krul, J.M. Experiments with *Haliscomenobacter hydrossis* in continuous culture with and without *Zoogloea ramigera*.
Water Research, 11, 1977, 197-204.
132. Kuo, K.S. Sludge bulking and foam control in an activated sludge process using powdered activated carbon.
Thesis, Pennsylvania State Univ., 1975.
133. Lau, A.O., P.F. Strom and D. Jenkins. Growth kinetics of *Sphaerotilus natans* and a floc former in pure and dual continuous culture.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 56, 1984, 41-51.
134. Lau, A.O., P.F. Strom and D. Jenkins. The competitive growth of floc-forming and filamentous bacteria: A model for activated sludge bulking.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 56, 1984, 52-61.
135. Lee, S.E., B. Koopman, H. Bode and D. Jenkins. Evaluation of alternative sludge settleability indices.
Water Research, 17, 1983, 1421-1426.

136. Lee, S.E., B.L. Koopman, D. Jenkins and R.F. Lewis. The effect of aeration basin configuration on activated sludge bulking at low organic loading.
Water Sci. Technol. (G.B.), 14, 1982, 407-427.
137. Lemmer, H. Mikrobiologische Untersuchungen zur Bildung von Schwimmschlamm auf Kläranlagen.
Thesis, München, 1985.
138. Littman, M.L. Carbon and nitrogen transformations in the purification of sewage by the activated sludge process. IV. With a culture of *Sphaerotilus*.
Sew. Works J., 12, 1940, 685-693.
139. Logan, R.P. and W.E. Budd. Effect of BOD loadings on activated sludge plant operation.
In: Eckenfelder, W.W. and J. McCabe (Eds.). Biological treatment of sewage and industrial wastes, Vol. 1, 1956, 271-272.
Reinhold Publ., New York.
140. Logue, C., B. Koopman and G. Bitton. INT-reduction assays and control of sludge bulking.
J. Environ. Div. Proc. Am. Soc. Civil Eng., 109, 1983, 915-923.
141. Lovett, D.A., B.V. Kavanagh and L.S. Herbert. Effect of sludge age and substrate composition on the settling and dewatering characteristics of activated sludge.
Water Research, 17, 1983, 1511-1515.
142. Lovett, D.A., S.M. Travers and K.R. Davey. Activated sludge treatment of abattoir wastewater. I. Influence of sludge age and feeding pattern.
Water Research, 18, 1984, 429-434.
143. Magara, Y., S. Nambu and K. Utosawa. Biochemical and physical properties of an activated sludge on settling characteristics.
Water Research, 10, 1976, 71-77.
144. Maier, W. und K. Krauth. Erfahrungen bei der Blähschlammbekämpfung auf Kläranlagen.
Korrespondenz Abwasser, 32, 1985, 245-250.
145. Matsche, N. Untersuchungen über den Abbau von frischem und angefaultem Abwasser.
Oestern. Abwasser-Rundschau, 18, 1973, 64-66.
146. Matsche, N. Blähschlamm - Ursachen und Bekämpfung.
Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer. Band 22, 1977.
147. Matsche, N.F. Control of bulking sludge. Practical experiences in Austria.
Water Sci. Technol., 14, 1982, 311-320.
148. Matsche, N. Blähschlamm, Schwimmschlamm, Schaum; Vermeidung durch Prozessmodifizierung.
ATV - Fortbildungskurs, 16-18 Oktober, 1985, Essen, BRD.
149. Matsche, N. Blähschlammbekämpfung bei der Reinigung von Zuckerfabrikabwässern.
ATV - Seminar: Blähschlamm-Bildung und -bekämpfung. Essen, 1985.
150. Matsui, S. and R. Yamamoto. The use of a color TV technique for measuring filament length and investigating sludge bulking causes.
Water Sci. Technol., 16, 1984, 69-81.
151. Merkel, G.J. Observations on the attachment of *Thiothrix* to biological surfaces in activated sludge.
Water Research, 9, 1975, 881-885.
152. Meyers, A.J. Bulking in an industrial wastewater treatment system due to *Geotrichum candidum*.
Can. J. Microbiol., 30, 1984, 966-970.
153. Mohlman, F.W. The sludge index.
Sewage Works J., 6, 1934, 119-122.

154. Mulbarger, M.C., K.L. Zacharias, F. Nazin and D. Patrick. Activated sludge reactor/final clarifier linkages. Success demands fundamental understanding.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 57, 1985, 921-928.
155. Mulder, E.G., J. Antheunisse and W.H. Crombach. Microbial aspects of pollution in the food and dairy industries.
In: G. Sykes and F.A. Skinner (Eds.). "Microbial aspects of pollution". Society of Applied Bacteriology Symposium Series no. 1, Academic Press, London, 1971.
156. Mulder, E.G. and W.L. van Veen. Investigation on the *Sphaerotilus-Leptothrix* group.
Ant. v. Leeuwenhoek, 29, 1963, 121.
157. Naeher, G. Mechanical treatment of bulking sludge in activated sludge systems.
Effluent Treat. Biochem. Ind. Conf. Pap., Process Biochem. Int. Conf., 3rd Meeting, 1979, Paper No. 11, Wheatland, Watford, England.
158. Nash, N., P.J. Krasnoff, B. Pressman and R.C. Brenner. Oxygen aeration at Newton Creek.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 49, 1977, 388-400.
159. Neethling, J.B., D. Jenkins and K.M. Johnson. Chemistry, microbiology and modeling of chlorination for activated sludge bulking control.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 57, 1985, 882-889.
160. Neethling, J.B., K.M. Johnson and D. Jenkins. Using ATP to determine the chlorine resistance of filamentous bacteria associated with activated sludge bulking.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 57, 1985, 890-894.
161. Ni, Y. The effect of anaerobic conditions on activated sludge settleability.
Proc. 38th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 1984, 683-691.
162. Nicols, W.E. Start-up and operation of a unox secondary waste treatment system.
Tappi, 61, 1978, 43-45.
163. Niekerk, A. van. Competitive growth of flocculant and filamentous micro-organisms in activated sludge systems.
Thesis Univ. of California, Berkely, 1985.
164. Nielsen, P.H. Oxidation of sulfide and thiosulphate and storage of sulphur granules in *Thiothrix* from activated sludge.
Wat. Sci. Techn., 17, 1984, 167-181.
165. Orford, H.E., H. Heukelekian and E. Isenberg. Effect of sludge loading and dissolved oxygen on the performance of the activated sludge process.
Air and Water Pollut., 5, 1961, 251-263.
166. Palm, J.C., D. Jenkins and D.S. Parker. Relationship between organic loading, dissolved oxygen concentration and sludge settleability in the completely-mixed activated sludge process.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 52, 1980, 2484-2506.
167. Parker, D.S. and M.S. Merrill. Oxygen and air activated sludge: Another view.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 48, 1976, 2511-2528.
168. Patoczka, J. and W.W. Eckenfelder. Performance of intermittently aerated systems with prereact zones.
Proc. 4th Int. Conf. on Advanced Wastewater Treatment, Krakow, 1985.
169. Peter, A. und F. Sarfert. Umrüstung des Klärwerks Berlin-Ruhleben mit dem Ziel der Weitergehenden Phosphor- und Stickstoffelimination. Stuttgarter Berichte, Band 90, 1986, 235-251.

170. Peters, G.M., G. Berwart et E.J. Nyns. Epuration par boues activées des effluents d'une usine de pâte à papier: Relations entre les paramètres de l'affluent, de l'effluent et des boues recyclées. *La Technique de l'eau*, no. 364, 1977, 33-37.
171. Pipes, W.O. Bulking of activated sludge. *Adv. in Appl. Microbiol.*, 9, 1967, 185-234.
172. Pipes, W.O. Types of activated sludge which separate poorly. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 41, 1962, 714-724.
173. Pipes, W.O. Control bulking with chemicals. *Water Wastes Engr.*, 11, 1974, 30-34 and 70-71.
174. Pipes, W.O. Microbiology of activated sludge bulking. *Adv. in Appl. Microb.*, 24, 1978, 85-127.
175. Pipes, W.O. Bulking, deflocculation and pinpoint floc. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 51, 1979, 62-70.
176. Pipes, W.O. Activated sludge bulking and settling tank performance. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 51, 1979, 2534-2537.
177. Pitman, A.R. Settling properties of extended aeration sludge. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 52, 1980, 524-535.
178. Poffé, R., J. Vanderleyden and H. Verachtert. Characterization of *Leucothrix* type bacterium causing sludge bulking during petrochemical waste-water treatment. *Eur. J. Appl. Microb. Biotechn.*, 8, 1979, 229-235.
179. Pongratz, P. Bekämpfung von Blähschlamm in der Kläranlage Bayreuth. *Korrespondenz Abwasser*, 30, 1983, 837-842.
180. Poole, J.E.P. Biological report on the use of sodium hypochlorite to control activated sludge bulking in an oxidation ditch and its implications for a future control strategy. *Welsh Water Authority, Biological Report 8/83*.
181. Poole, J.E.P. *Persoonlijke mededeling*, 1984.
182. Price, G.J. Use of an anoxic zone to improve activated-sludge settleability. In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). *Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.* Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 259-260.
183. Pujol, R. La zone de contact. Premiers résultats dans la lutte contre le foisonnement des boues activées. *T.S.M.-L'EAU*, 1984, 199-205.
184. Rachwal, A.J., D.W.M. Johnstone, M.J. Hanbury and D.J. Critchard. The application of settleability tests for the control of activated sludge plants. In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). *Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.* Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 224-244.
185. Raleigh, C., F. Caropreso and J. Brown. Attack bulking sludge with H₂O₂ and microscope. *Highlights (Deeds and Data)*, 11, 1974, 3, 7, 8.
186. Rensink, J., H. De invloed van het voedingspatroon op het ontstaan van licht slib bij verschillende slibbelastingen. *H₂O*, 7, 1974, 480-484.
187. Rensink, J.H. New approach to preventing bulking sludge. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.*, 46, 1974, 1889-1894.
188. Rensink, J.H. Cure and prevention of bulking sludge in practice. *La Tribune du Cebedeau*, Nov. 1979, 445-450.
189. Rensink, J.H. Betriebserfahrungen mit der Verhinderung und Bekämpfung fadenförmiger Mikro-organismen. Erfahrungen in den Niederlanden. *Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft*, 70, 1981, 210-227.

190. Rensink, J.H., H.J.G.W. Donker and T.S.J. Ywema. The influence of feed pattern on sludge bulking.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 147-165.
191. Rensink, J.H., K. Jellema en T. Ywema. De invloed van de substraatgradiënt op de vorming van licht slib.
H₂O, 10, 1977, 338-340.
192. Rensink, J.H., J. Leentvaar en H.J. Donker. Gecombineerde licht-slibbestrijding en fosfaatverwijdering door ijzer(II)sulfaatdoserings.
H₂O, 12, 1979, 150-152.
193. Rensink, J.H., J.W. Voetberg en T.S.J. Ywema. Die Verhinderung der Entwicklung von Blähschlamm bei der vollbiologischen Reinigung von Abwasser der Pommesfritusindustrie.
GWF-Wasser/Abwasser, 118, 1977, 75-79.
194. Richard, M., O. Hao and D. Jenkins. Growth kinetics of *Sphaerothilus* species and their significance in activated sludge bulking.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 15, 1985, 68-81.
195. Richard, M.G., D. Jenkins, O. Hao and G. Shimizu. Identification and characterization of filamentous organisms in bulking activated sludge.
Progress Report to NSF and SEEHRL Report 82-2. University of California, Berkely, 1982.
196. Richard, M.G., G.P. Shimizu and D. Jenkins. The growth physiology of the filamentous organisms Type 021N and its significance to activated sludge bulking.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 57, 1985, 1152-1162.
197. Rideau, J.P. et J.N. Morfaux. Les accidents de decantation dus au "bulking" des boues activées dans le traitement biologique des effluents d'industries agricoles et alimentaires.
La Technique de l'eau, no. 339, 1975, 19-25 et no. 340, 1975, 17-27.
198. Rozich, A.F., R.M. Sykes, G.B. Walkenshaw and D.R. Rodgers. Control of algal filamentous bulking at the Southerly wastewater treatment plant.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 54, 1982, 231-237.
199. Rudolph, K.U. und U. Schwägler. Laboruntersuchungen und Feldstudien zur Blähschlammverhinderung bei Belebungsanlagen.
GWF-Wasser/Abwasser, 122, 1981, 506-512.
201. Salcher, O., G. Scheff, E. Senghas, I. Trick and F. Lingens. The nutritional pattern of filamentous bacteria isolated from bulking sludge.
Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. C3, 1982, 450-456.
202. Sarfert, F. Betriebserfahrungen mit der Bekämpfung fadenförmiger Mikro-organismen durch Chlor bei den Berliner Entwässerungswerke.
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 70, 1981, 247-251.
203. Sarfert, F. Blähschlammbekämpfung in grossen Kläranlagen.
ATV - Seminar: Blähschlamm-Bildung und -bekämpfung. Essen, 1985.
205. Saunders, F. An effective control of filamentous micro-organisms growth in wastewater treatment plants.
Water and Waste Treatment, January 1985, 22+24.
206. Scheer, G. Blähschlamminduktion durch ultrafiltriertes Abwasser.
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 54, 1976, 67-71.
207. Scheff, G., O. Salcher and F. Lingens. *Trichococcus flocculiformis* gen. nov. sp. nov. A new gram-positive filamentous bacterium isolated from bulking sludge.
Appl. Microbiol. Biotechnol., 19, 1984, 114-119.

208. Schmid, L. Pilot plant demonstration of a lime biological treatment phosphorus removal method.
EPA-RZ-73-159, Washington, 1973.
209. Schmiedt, F. Über das Aufblähen des belebten Schlammes.
Technisches Gemeindeblatt, 35, 1932, 169-172.
210. Schulze-Rettmer, R., F. Yawari. Über die Mechanismen der Eliminierung von organischen Substanzen aus dem Abwasser durch belebten Schlamm.
Z.f. Wasser und Abwasser Forsch., 11, 1978, 205-209.
211. Schwartz, H.G., T. Popouchak and K. Becker. Control of sludge bulking in the brewing industry.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 52, 1980, 2977-2993.
212. Schwarzer, H., N. Reuss und W. Schindler. Blähschlamm bekämpfung mit Wasserstoffperoxid.
Korrespondenz Abwasser, 27, 1980, 834-837.
213. Seiler, H. und M. Busse. Die Flora-analyse in biologischen Kläranlagen und deren Aussage.
Z.f. Wasser-Abwasser Forsch., 11, 1978, 111-117.
214. Seyfried, C.F. Purification of starch industry wastewater.
Proc. 23rd Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Ext. Ser., 132, 1968, 1103-1119.
215. Sezgin, M. Variation of sludge volume index with activated sludge characteristics.
Water Research, 16, 1982, 83-88.
216. Sezgin, M., D. Jenkins and J.C. Palm. Floc size, filament length and settling properties of prototype activated sludge plants.
Prog. Wat. Tech., 12, 1980, 171-182.
217. Sezgin, M., D. Jenkins and D.S. Parker. A unified theory of filamentous activated sludge bulking.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 50, 1978, 362-381.
218. Shimizu, T., K. Wakimura, K. Tanemura and K. Ichikawa. Factors affecting sludge bulking in the activated sludge process.
J. Ferment. Technol., 58, 1980, 275-286.
219. Singer, P.C., W.O. Pipes and E.R. Hermann. Flocculation of bulked activated sludge with polyelectrolytes.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 40, 1968, R1-R9.
220. Slijkhuis, H. The physiology of the filamentous bacterium *Microthrix parvicella*.
Thesis, Landbou Hogeschool Wageningen, 1983.
221. Somers, J.A. Een verband tussen slibindex en slibgehalte in actief-slibinstallaties.
De Ingenieur, 78, nr. 14, 1966, 61-65.
222. Spazierer, G. und W. Stalzer. Blähschlammprobleme bei der gemeinsamen Reinigung von Abwasser der Lebensmittelindustrie und Kommunalabwasser im Burgenland.
Wiener Mitteilungen, Band 56, 1985, 53-80.
223. Stratham, M. and D. Langton. The use of adenosine triphosphate measurements in the control of the activated sludge process by the solids retention time method.
Process Biochem., 10, 1975, 25-28.
224. Steiner, A.E., D.A. McLaren and C.F. Forster. The nature of activated sludge flocs.
Water Research, 10, 1976, 25-30.
225. Stewart, M.J. Activated sludge process variations.
Water Sewage Works, 111, 1964, 295-297.

226. Stobbe, G. Über das Verhalten von belebtem Schlamm in aufsteigender Wasserbewegung.
Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Hochschule Hannover, Heft 18, 1964.
227. Strom, P.F. and M.S. Finstein. Nitrification in a chlorinated activated sludge culture.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 49, 1977, 584-592.
228. Strom, P.F. and D. Jenkins. Identification and significance of filamentous micro-organisms in activated sludge.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 56, 1984, 449-459.
229. Svardal, K., N. Matsche und F. Streichsbier. Bildung und Bekämpfung von Blähschlamm bei der Reinigung von Zuckerfabriksabwasser.
Forum Staedte-Hyg., 33, 1982, 263-266.
230. Sykes, R.F., A.F. Rozich and T.A. Tiefert. Algal and bacterial filamentous bulking of activated sludge.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 51, 1979, 2829-2840.
231. Tanaka, H., N. Kurano, S. Ueda, Sa. Ueda, M. Okazaki and Y. Miura. Model system of bulking and flocculation in mixed culture of *Sphaerotilus* sp. and *Pseudomonas* sp. for dissolved oxygen deficiency and high loading.
Water Research, 19, 1985, 563-571.
232. Tapleshay, J.A. Control of sludge index by chlorination of return sludge.
Sew. Works J., 17, 1945, 1210-1226.
233. Theophilou, J., O. Wolfbauer und F. Moser. Zur Frage des Sauerstoffverbrauches des Belebtschlammverfahrens.
GWf-Wasser/Abwasser, 119, 1978, 135-140.
234. Theophilou, J., O. Wolfbauer und F. Moser. Die Adsorptionsfähigkeit des belebten Schlammes und ihre Darstellung in einem formalkinetischen Modell des Belebtschlammverfahrens.
GWf-Wasser/Abwasser, 120, 1979, 119-125.
235. Thomanetz, E. und D. Bardthe. Untersuchungen über die Bekämpfungsmöglichkeiten von Blähschlamm mit synthetischen Flockungshilfsmitteln.
Korrespondenz Abwasser, 24, 1977, 15-17.
236. Tillinghast, J.T. Blähschlamm bekämpfung und Erhöhung der Nutzleistung von Kläranlagen.
Korrespondenz Abwasser, 24, 1977, 20-25.
237. Tomlinson, E.J. Bulking - A survey of activated sludge plants.
Water Research Centre, Stevenage, TR35, November 1976.
238. Tomlinson, E.J. Betriebserfahrungen mit der Verhinderung und Bekämpfung fadenförmiger Bakterien. Erfahrungen in England.
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 70, 1981, 193-209.
239. Tomlinson, E.J. The emergence of the bulking problem and the current situation in the UK.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 17-28.
240. Tomlinson, E.J. and A.M. Bruce. Problems of septicity in biological treatment.
Effl. and Water Treatm. J., 19, 1979, 627-639.
241. Tomlinson, E.J. and B. Chambers. The use of anoxic zones to control the settleability of activated sludge.
Paper presented at the Colloque International "Traitement combiné des eaux usées domestiques et industrielles". Liege, 16-19 Mai 1978.

242. Tomlinson, E.J. and B. Chambers. The effect of longitudinal mixing on the settleability of activated sludge.
Water Research Centre, TR122, Stevenage, 1979.
243. Tomlinson, E.J. and B. Chambers. Methods for prevention of bulking in activated sludge.
Wat. Pollut. Contr., 78, 1979, 524-538.
244. Tomlinson, E.J. and B. Chambers. Control strategies for bulking sludge.
Water Sci. Technol. 16, 1984, 15-34.
245. Travers, S.M. and D.A. Lowett. Activated sludge treatment of abattoir wastewater. II. Influence of dissolved oxygen concentration.
Water Research, 18, 1984, 435-439.
246. Trick, I. Untersuchung fadenförmiger Bakterien in Reinkulturen.
ATV - Seminar: Blähschlamm Bildung und -bekämpfung. Essen, 1985.
247. Trick, I. and F. Lingens. Characterization of *Herpetosiphon spec.* - A gliding filamentous bacterium from bulking sludge.
Appl. Microbiol. Biotechnol., 19, 1984, 191-198.
248. Trick, I., O. Salcher and F. Lingens. Characterization of filament forming *Bacillus* strains isolated from bulking sludge.
Appl. Microbiol. Biotechnol., 19, 1984, 120-124.
249. Tuft, R.G. Evaluation of control measures for filamentous bulking of activated sludge.
Proc. Fed. Conv. Aust. Water Wastewater Assoc., 1983.
250. Ullrich, A.H. and M.W. Smith. Operation experience with activated sludge-biosorption at Austin Texas.
Sew. and Ind. Wastes, 29, 1957, 400-413.
251. Unz, R.F. Micro-organisms contributing to filamentous bulking.
Wat. Pol. Contr. Ass. of Pens. Mag., 1978, 20-25.
252. Veen, W.L. van. Bacteriology of activated sludge, in particular the filamentous bacteria.
Ant. van Leeuwenhoek, 39, 1973, 189-205.
253. Veen, W.L. van, D. van der Kooy, E.C.W.A. Geuze and A.W. van der Vlies. Investigation on the sheathed bacterium *Haliscomenobacter hydrossis* gen. n., sp. n., isolated from activated sludge.
Ant. van Leeuwenhoek, 39, 1973, 207-216.
254. Veen, W.L. van, J.M. Krul and C.J.E.A. Bulder. Some growth parameters of *Haliscomenobacter hydrossis* (syn. *Streptothrix hyalina*). A bacterium occurring in bulking activated sludge.
Water Research, 16, 1982, 531-534.
255. Verachtert, H., E. van den Eynde, R. Poffe and J. Houtmeyers. Relation between substrate feeding pattern and development of filamentous bacteria in activated sludge processes. II. Influence of substrates present in the influent.
European J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 9, 1980, 137-149.
256. Verachtert, H., W. Vissers, J. van der Leyden en R. Roffe. Een ongewoon geval van ontwikkeling van draadvormende micro-organismen in een actief-slib installatie.
H₂O, 8, 1975, 226-228.
257. Vöelkel, K.G., D.W. Martin and R.W. Deering. Joint treatment of municipal and pulp mill effluent.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 46, 1974, 635-656.
258. Wagner, F. Verhinderung und Bekämpfung von Blähschlamm mit Separatoren. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 70, 1981, 252-259.

259. Wagner, F. Ursachen, Verhinderung und Bekämpfung der Blähschlamm-
bildung in Belebungsanlagen.
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 76, 1982,
1-220.
260. Wagner, F. Beispielhafte erfolgreiche Bekämpfung des Blähschlammes.
Berichte der ATV, 35, 1983, 69-89.
261. Wagner, F. Sanierung von Molkereikläranlagen durch verbesserte
Abwasserreinigungsverfahren.
Deutsche Milchwirtschaft, 21, 1985, 79-81.
262. Walker, A.P. Quantitative filament counting - A quick method for
prediction and monitoring of filamentous bulking.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated
sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 245-250.
263. Walker, E. and G. Wheale. Controlling activated sludge bulking with
a cationic polymer. Environ. Technol. Lett., 2, 1981, 129-140.
264. Waller, C.B. and B.J.E. Hurley. Some experiences in the control of
bulking activated sludge.
In: Chambers, B. and E.J. Tomlinson (Eds.). Bulking of activated
sludge. Preventative and remedial methods.
Ellis Horwood Publ., Chichester, 1982, 211-223.
265. Wheeler, M.L., D. Jenkins and M.G. Richard. The use of a "selector"
for bulking control at Hamilton, Ohio, U.S.A., water pollution
control facility.
Water Sci. Technol., 16, 1984, 35-53.
266. White, M.J.D. Design and control of secondary settlement tanks.
Wat. Pollut. Control, 75, 1976, 459-467.
267. White, M., B. Tomlinson and B. Chambers. The effect of plant con-
figuration on sludge bulking.
Prog. Water Technol., 12, 1980, 183-188.
268. Whittle, T.E. An operator's Guide to filamentous bulking.
Highlights, Deeds and Data, 15, 1978, nr. 8, p. 1, 5, 8.
269. Wiesner, W.G. Hoogheemraadschap "West-Brabant". Persoonlijke medede-
ling, 1986.
270. Williams, T.M., R.F. Unz and K. Beard. Microbiology of filamentous
bulking of industrial and domestic activated sludge.
In: LaGrega, M.D. and D.A. Long (Eds.): "Toxic and hazardous
Wastes". Proc. 16th Midatlantic Industrial Waste Conference.
Technomic Publ. Co., Inc., Lancaster, 1984, pp. 64-77.
271. Williams, T.M. and R.F. Unz. Filamentous sulphur bacteria of ac-
tivated sludge: Characterization of *Thiothrix*, *Beggiatoa* and
Eikelboom Type 021 N strains.
Appl. and Environ. Microbiol., 49, 1985, 887-898.
272. Williams, T.M., R.F. Unz. Isolation and characterization of fila-
mentous bacteria present in bulking activated sludge.
Appl. Microbiol. Biotechnol., 22, 1985, 273-282.
273. Wilson, T.E., G. Lukafik and D. Ogle. Treatment of a filamentous in-
dustrial waste in a municipal step aeration plant.
Prog. Wat. Techn., 12, 1980, 189-199.
274. Wood, R.F. and R.I. Dick. Some effects of sludge characteristics on
dissolved air flotation.
Proc. 7th Intern. Conf. on Wat. Poll. Res., Paris, 1974.
275. Wu, Y.C., S.L. Arnold and K.C. Ou. Ecological study of activated
sludge settling property in the completely mixed system.
Water Research, 18, 1984, 1535-1543.
276. Wu, Y.C., O. Hao and K.C. Ou. Improvements of activated sludge
filterability.
J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 57, 1985, 1019-1021.

277. Wu, Y.C., H.N. Hsieh, D.F. Carey and K.C. Ou. Control of activated sludge bulking.
Journ. Env. Eng., 110, 1984, 472-491.
278. Young, J.C. The use of enzymes and biocatalytic additives for wastewater treatment processes.
Highlights, Deeds and Data, May 1976, 1, 4, 5, 6.
279. Ziegler, M., M. Emmrich, H. Krüger und H. Rüden. Auftreten fadenförmiger Bakterien im belebten Schlamm (Blähschlamm) und physikalisch-chemische Daten von Abwasser in einer Berliner Kläranlage.
GWF-Wasser/Abwasser, 124, 1983, 435-445.

BIJLAGEN
=====

BIJLAGE A: DRAADVORMENDE MICRO-ORGANISMEN IN ACTIEFSLIB

		blz.
1	INLEIDING	A-2
2	IN VIVO DETERMINATIE VAN DRAADVORMENDE ORGANISMEN	A-3
3	FREQUENTIE VAN VOORKOMEN BIJ VERSCHILLENDE SLIBBELASTINGEN	A-4
4	DE INVLOED VAN DE INFLUENTKWALITEIT OP DE POPULATIESAMENSTELLING	A-7
5	ONDERZOEK MET REINCULTURES VAN DRAADVORMENDE ORGANISMEN	A-10
5.1	<i>Thiothrix</i> , type 021N en <i>Leucothrix</i>	A-11
5.2	Type 0041	A-13
5.3	<i>S. natans</i> en type 1701	A-13
5.4	<i>M. parvicella</i>	A-14
5.5	<i>H. hydrossis</i>	A-14

1 INLEIDING

De draadvormende bacterie *Sphaerotilus natans* is tientallen jaren lang gezien als de voornaamste oorzaak van licht slib. De eerste publicaties waarin melding werd gemaakt van andere organismen dateren uit de zeventiger jaren (46, 70, 71, 112, 252). Bij een inventariserende studie uit die periode werd vastgesteld dat in Nederland circa 25 verschillende soorten, voornamelijk bacteriën, in actiefslib konden worden waargenomen (54). Vrijwel al deze draadvormende organismen waren nooit eerder waargenomen, hetgeen betekende dat niets bekend was over hun eigenschappen. De meesten kregen dan ook geen naam, maar een nummer.

Om een identificatie direct in actiefslib mogelijk te maken werden determinatieschema's samengesteld, gebaseerd op morfologische (morphos = vorm) kenmerken van de verschillende draadvormende organismen, hun reactie op een tweetal kleuringen en een test om vast te stellen of ze zwavelverbindingen kunnen oxyderen (55, 62). Deze schema's worden nu door vrijwel iedereen toegepast die het verschijnsel licht slib bestudeert.

Het aantal draadvormende organismen dat in actiefslib is waargenomen, of hieruit is geïsoleerd, is intussen gestegen tot circa 35. Het blijft verbazingwekkend dat zo'n grote groep organismen zo lang over het hoofd gezien is. In andere milieu's (o.a. riviersedimenten en anaërobe zuiveringsinrichtingen) blijken overigens ook onbekende, draadvormende organismen aanwezig te zijn en soms problemen te veroorzaken (licht slib in anaërobe upflow reactoren).

2 IN VIVO DETERMINATIE VAN DRAADVORMENDE ORGANISMEN

De gepubliceerde determinatieschema's blijken goed te voldoen. Vrijwel alle draadvormende organismen in actiefslib kunnen hiermee zonder al te veel problemen geïdentificeerd worden (272). Incidenteel worden organismen waargenomen die niet in de STORA-handleiding zijn vermeld (64, 195), maar deze behoren volgens Richard et al. (195) vooral tot de geslachten *Flexibacter* en/of *Flavobacterium*. Deze organismen spelen in het licht-slibprobleem nauwelijks een rol.

In enkele publicaties worden gegevens vermeld die voor een correcte identificatie van belang kunnen zijn. Dit betreft:

- type 021N bevat in vivo soms toch vrij veel zwavelgranules en kan dan gemakkelijk verwisseld worden met *Thiothrix* (164, 272). Overigens verdwijnen de zwavelgranules bij opslag, ook indien het monster slib in een koelkast wordt bewaard (23). De opgeslagen zwavel wordt namelijk geoxydeerd;
- type 0675 kleurt soms grijsblauw met de Neisser kleuring en kan dan gemakkelijk verwisseld worden met type 0092 (195). Volgens Jenkins et al. (116) zou dit een gevolg kunnen zijn van N- en/of P-limitatie. Het organisme gaat dan exopolymeren vormen en wordt zwak Neisser-positief. Hetzelfde geldt voor type 0041 en *Haliscomenobacter hydrossis*;
- de typen 021N en 0961 en *Thiothrix* bevatten soms ook Neisser-positieve granules (195);
- de mate van aanwezige "aangroei" (ééncelligen die aan de draden zijn gehecht) zegt soms iets over de conditie van het organisme. *S. natans* en type 1701 hebben alleen veel aangroei indien de groei van deze organismen stagneert of zeer traag verloopt (195).

3 FREQUENTIE VAN VOORKOMEN BIJ VERSCHILLENDE SLIBBELASTINGEN

De draadvormende micro-organismen komen niet alle even frequent in actief-slib voor. In tabel A-1 worden de uitkomsten van een inventariserende studie in Nederland vergeleken met de uitkomsten van soortgelijke onderzoeken van slibben uit rwzi's in West-Duitsland (259), Zuid-Afrika (22) en de USA (194, 228). Als toelichting hierop moet nog het volgende worden opgemerkt:

- de resultaten zijn onderling niet geheel vergelijkbaar, omdat bij enkele onderzoeken (referenties 194, 228 en 259) geen onderscheid is gemaakt tussen industriële rwzi's en installaties voor de zuivering van voornamelijk huishoudelijk afvalwater;
- een echte vergelijking is ook moeilijk omdat de frequentie van voorkomen in Nederlandse rwzi's is gebaseerd op waarnemingen die vaak een periode van meerdere jaren bestreken. Gedurende zo'n lange periode kan in een bepaalde rwzi de populatie van draadvormende organismen (in aantal en in samenstelling) fluctueren. Dit maakt de kans op het waarnemen van een organisme in een bepaalde rwzi groter. Zo betekent b.v. het percentage van 86% voor *M. parvicella* niet dat dit organisme permanent in 86% van de oxydatiesloten in grote aantallen aanwezig was, maar dat dit organisme in 86% van de oxydatiesloten minimaal één keer licht slib veroorzaakte gedurende een periode van enkele jaren. Het hoge percentage illustreert wel dat *M. parvicella* tot de normale populatie in oxydatiesloten behoort (61). De andere onderzoeken uit de tabel betreffen voornamelijk inventariserende studies, waarbij gedurende een korte periode steeds één monster actiefslib uit een rwzi werd geanalyseerd;
- het komt regelmatig voor dat in licht slib gelijktijdig twee of meer draadvormende organismen in grote aantallen aanwezig zijn. Een sommering van de percentages uit tabel A.1 leidt dus altijd tot een waarde > 100%.

Ondanks dit voorbehoud kunnen uit tabel A.1 enkele interessante conclusies getrokken worden:

- a. Het aantal "onbekende" organismen - d.w.z. organismen die niet in Nederlandse rwzi's zijn waargenomen en die dus ook niet in de eerste publicaties (54, 55, 62) over dit onderwerp zijn vermeld - is opvallend klein ($\leq 10\%$). Dit betekent dat overal ter wereld dezelfde micro-organismen verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van licht slib.

naam of nummer van het organisme	% van het aantal rwzi's waarin het organisme in grote aantallen is waargenomen							
<i>Microthrix parvicella</i>	86	52	13	40	22	28	12	1
type 0041	28	14	6,6	20	17	15	26	18
type 0092	26	7,1		6,7	1,4	43	23	2
type 021N	18	31	67	20	30	2	26	18
<i>Haliscomenobacter hydrossis</i>	18	19	60	13	11	2	17	3
type 0581	11	2,3	6,6		0,7	2	10	2
type 0803	10	9,5		13	5,0	11	3	9
type 1851	9,1	12	6,6		1,4	23	6	6
<i>Nostocoida limicola</i>	8,4	24	13	13	8,6	4	1	6
type 0914	3,8	6,9		6,7	1,4	17		
type 0675	3,0	2,3				21		
"Cyanophyceae"	3,0							
type 1701	2,3	2,3	47		5,8	4	35	33
<i>Sphaerotilus natans</i>	2,3	2,3	53	6,7	12		16	7
<i>Nocardia</i> spp.	2,3	7,1		20	12	15	35	29
type 0321	1,5							
<i>Beggiatoa</i> spp.	1,5		6,6				0	
type 0192	1,5							
type 0411	0,8		20		1,4			
<i>Flexibacter</i> spp.	0,8				1,4			
type 1091	0,8							
type 1702	0,8					4	1	
type 1111		2,3						
type 0961		4,6			3,6	2	1	4
type 1852		2,3	6,6					
type 1863		2,3	27		1,4		4	
<i>Thiothrix</i> spp.		9,5	20		2,2	2	4	8
type 0211			6,6					
schimmels					0,7		0	1
<i>Bacillus</i> spp.							1	
onbekend	3,8		6,6	6,7	10	0	9	
n rwzi	131	42	15	15	139	56	78	79
type rwzi ¹⁾	I	II	III	I	2)	I	2)	2)
referentie	Nederlandse rwzi's			259	22	228	194	

Tabel A.1 Frequentie van voorkomen van de diverse draadvormende organismen.

¹⁾ I: oxydatiesloten e.d.

II: conventionele rwzi's met (gedeeltelijke) nitrificatie

III: " " zonder nitrificatie (slibleeftijd
dus < circa 5 dagen).

²⁾ Weinig oxydatiesloten, dus vooral II en III.

- b. Van de 30 soorten draadvormende organismen, die tot nu toe in situ in actiefslib zijn waargenomen, komt circa de helft regelmatig (> 10% in tabel A.1) in grote aantallen voor.
- c. Een vergelijking van de resultaten uit Nederlandse rwzi's illustreert heel duidelijk de invloed van de slibbelasting op de populatiesamenstelling. Een stijging van de slibbelasting gaat gepaard met een procentuele daling en/of het volledig verdwijnen van vooral *M. parvicella*, type 0041, type 0092 en type 0803. Bij hoge slibbelastingen zijn vooral type 021N, *H. hydrossis*, type 1701, *S. natans*, type 0411, type 1863 en *Thiothrix* spp. als dominerende organismen aanwezig. Enkele organismen (vooral type 1851 en *N. limicola*) worden over het gehele belastingstraject waargenomen in ongeveer gelijke percentages.
- d. De resultaten van de analyses van slibben uit laagbelaste rwzi's uit Nederland en West-Duitsland (259) corresponderen onderling redelijk (exclusief *Nocardia*, zie punt f). In Zuid-Afrikaanse "extended aeration plants" (22) wordt echter een wat gewijzigde populatiesamenstelling waargenomen. De verschillen kunnen ten dele verklaard worden uit de wat hogere temperatuur in dat land. In Nederlandse rwzi's wordt *M. parvicella* gedurende de zomermaanden ook vaak verdrongen door type 0092. De aanwezigheid van dit organisme in oxydatiesloten (met een niet-industrieel influent) is meestal een indicatie voor een vergaande mineralisatie. Ook bij andere onderzoeken werd vastgesteld dat *M. parvicella* vooral tijdens de winterperiode dominant aanwezig was (47, 64). Slijkhuis stelde vast dat de groei van *M. parvicella* onder laboratoriumomstandigheden bij 8°C nog niet volledig stagneerde (220). Het is daarnaast opvallend dat type 021N en *H. hydrossis* in deze Zuid-Afrikaanse rwzi's praktisch volledig ontbraken. Type 0675 (21% t.o.v. 3% in Nederlandse oxydatiesloten) is sterk verwant aan type 0041 en wordt hiervan alleen op basis van de celdiameter onderscheiden. Het is bepaald niet uitgesloten dat beide typen in feite identiek zijn en dat de diameter van de cellen bepaald wordt door de heersende temperatuur.
- e. De hoge, respectievelijk lage percentages voor type 1701 en *M. parvicella* in de beide Amerikaanse onderzoeken tonen aan dat deze slibmonsters voornamelijk uit hoogbelaste rwzi's afkomstig waren.
- f. *Nocardia* spp. scoren laag in Nederlandse rwzi's. Dit gegeven is belangrijk, omdat *Nocardia* niet zozeer licht slib veroorzaakt, maar vooral verantwoordelijk wordt geacht voor het ontstaan van taaie, dikke drijfslagen op nabezinktanks en/of de beluchtingsruimte (137).

4 DE INVLOED VAN DE INFLUENTKWALITEIT OP DE POPULATIESAMENSTELLING

Tomlinson en Bruce (240) beschrijven een experiment waarbij twee proef-rwzi's gevoed werden met stedelijk afvalwater. Eén rwzi kreeg zo vers mogelijk influent, de andere enkele dagen oud afvalwater ("aangerot"). In beide rwzi's ontwikkelde zich licht slib, maar de populatiesamenstelling was verschillend. Het verse afvalwater stimuleerde de groei van *M. parvicella*, *S. natans* en *H. hydrossis*; in de rwzi met aangerot influent werd het licht slib veroorzaakt door *Thiotrix* en de typen 0041 en 1701. Dit voorbeeld illustreert dat de populatiesamenstelling van draadvormende organismen mede bepaald wordt door de kwaliteit van het influent.

De kwaliteit van het afvalwater, dat in de beluchtingsruimte wordt gebracht, wordt vooral bepaald door:

- industriële lozingen;
- de verblijftijd van het afvalwater in het rioolstelsel;
- het wel/niet aanwezig zijn van een voorbezinktank.

De invloed van deze laatste factor betreft zowel de verblijftijd in deze tank, als de fractie uit het influent die in de voorbezinktank sedimenteert.

Een lange verblijftijd van het afvalwater in het rioolstelsel en/of de voorbezinktank gaat gepaard met anaërobe condities in het water. Onder zulke omstandigheden zullen complexe verbindingen gehydrolyseerd worden, waarbij o.a. laagmoleculaire verbindingen als organische zuren en H_2S ontstaan. Deze verbindingen stimuleren in elk geval de groei van *Thiothrix*, type 021N, "*Cyanophyceae*" en *Beggiatoa* (36, 52, 72, 109, 116, 230).

De rol van de fractie die in de voorbezinktank sedimenteert is tot nu toe nog nauwelijks onderzocht. Uiteraard bezinken nogal wat anorganische componenten die anders de vlok zouden verzwaren. Daarnaast bezinken echter ook koolstofverbindingen. In de meeste publicaties over licht slib wordt de groei van draadvormende organismen voortdurend in verband gebracht met de opgeloste verbindingen uit het influent. De niet-opgeloste componenten zouden voornamelijk de vlokvormende organismen ten goede komen, omdat deze verbindingen via fysisch-chemische processen (adsorptie aan en/of invangen door de vlokken) uit de waterfase worden verwijderd (2). De aanwezigheid van een voorbezinktank zou daarom de vlokvormende bacteriën benadelen. Het is de vraag of deze veronderstelling correct is. Er zijn nogal wat draadvormende organismen die vooral in en rondom de vlokken groeien. *M. parvicella* en type 1701 behoren tot deze groep. Beide organismen zijn in staat complexe verbin-

dingen als koolstofbron te gebruiken (195, 220). *M. parvicella* groeit zelfs voornamelijk op verbindingen die slecht oplosbaar zijn.

De aandacht voor de invloed van de influentkwaliteit op het ontstaan van licht slib, is in de loop der tijd vooral gericht geweest op het effect van industriële lozingen. Dat deze lozingen de kans op het ontstaan van licht slib aanmerkelijk vergroten wordt in hoofdstuk 2 van dit rapport toegelicht. In deze bijlage wordt alleen ingegaan op de invloed van zulke lozingen op de populatiesamenstelling.

In industriële rwzi's worden slechts incidenteel draadvormende micro-organismen waargenomen die niet voorkomen in installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. Dit impliceert dat het vaak erg moeilijk is om de aanwezigheid van bepaalde draadvormende organismen, in een rwzi met een gemengde aanvoer, ondubbelzinnig te relateren aan industriële lozingen. Enkele onderzoekers hebben de populatiesamenstelling in rwzi's met voornamelijk huishoudelijk influent vergeleken met die in rwzi's waarvan het influent voor minimaal 20% van industriële lozingen afkomstig was. De voornaamste conclusies van deze onderzoeken zijn samengevat in tabel A.2. De waarde van deze gegevens is zeer betrekkelijk, omdat de conclusies veelal gebaseerd zijn op een beperkt aantal monsters slib. Eigenlijk zou men voor dit soort onderzoek de populatiesamenstelling in 100% industriële rwzi's moeten vergelijken met die in installaties voor typisch huishoudelijk afvalwater. In tabel A.3 wordt de populatiesamenstelling in enkele industriële rwzi's gegeven. Ook deze resultaten zijn gebaseerd op een te beperkt aantal monsters slib, waarbij bovendien geen rekening is gehouden met de belasting van de rwzi's.

Desalniettemin kunnen uit het voorafgaande wel enkele conclusies getrokken worden:

- de groei van *M. parvicella* lijkt nauwelijks door industriële lozingen gestimuleerd te worden. Dit organisme groeit dus zeer specifiek op componenten die in huishoudelijk afvalwater aanwezig zijn;
- de groei van type 021N, *H. hydrossis*, type 0041 en vooral ook type 1701 wordt door zeer veel verschillende soorten afvalwater gestimuleerd. Dit werd ook bij andere onderzoeken vastgesteld (194, 272);
- de typen 0041 en 0092 veroorzaken in rwzi's met huishoudelijk afvalwater vrijwel nooit grote licht-slibproblemen. De aanvoer van industrieel afvalwater kan de groei van deze organismen echter zodanig stimuleren dat wel ernstige bezinkingsproblemen ontstaan.

naam of nummer van het organisme	bedrijfstak waarvan minimaal 20% van het influent afkomstig was							
	zuivel	brouwerij	papierindustrie	vleesindustrie	destructie	groenten en fruit	distilleerderij	chemische industrie
type 021N		1,2		1	2	1,2	2	1
type 0041		1	2*		2*	1,2*		1,2
<i>Nocardia</i>	1		1,2			1,2*		1
<i>S. natans</i>		2		1		2		
<i>H. hydrossis</i>	2		1	2		1		1
<i>N. limicola</i>	2				2*	2	2	
type 1701		1,2	1,2	1	2	1,2	2	2
type 0961							2	
<i>Thiothrix</i>	2							
type 0092	1,2*	1	1,2			1		
type 0803								2
<i>M. parvicella</i>								1

Tabel A.2 Referenties waarin de aanwezigheid van een bepaald organisme in verband wordt gebracht met een specifieke industriële lozing.

1 = Strom et al. (228)

2 = Wagner (259)

Een * betekent dat de groei zeer sterk werd gestimuleerd.

bedrijfstak	dominerende draadvormende organismen
zuivelindustrie	<i>H. hydrossis</i> , typen 0092, 021N en 0041
vleesindustrie	<i>H. hydrossis</i> , typen 0092 en 021N, <i>M. parvicella</i> , <i>Nocardia</i>
aardappelverwerking	typen 0092, 021N en 1701, <i>S. natans</i>
conservenindustrie	typen 0041, 0092 en 021N, <i>N. limicola</i>
suikerindustrie	<i>S. natans</i> , type 021N

Tabel A.3 Dominerende draadvormende organismen in enkele groepen van industriële rwzi's (55).

In aansluiting op de eerste publicaties over onbekende, draadvormende organismen in actiefslib is in diverse laboratoria onderzoek gestart gericht op de isolatie en beschrijving van deze organismen. Hierbij deden (en doen) zich enkele problemen voor. Op min of meer conventionele voedingsbodems konden veel draadvormende organismen geïsoleerd worden (175, 195, 201, 246, 252). Enkele van deze isolaten vertoonden een duidelijke, morfologische gelijkheid met draadvormende organismen in actiefslib (*S. natans* en type 1701). Het merendeel van de geïsoleerde stammen leek echter totaal niet op de organismen die in licht slib aanwezig waren. Nader onderzoek van enkele geïsoleerde stammen leidde tot een indeling bij de *Streptococce* (207), de *Bacilli* (248) en het geslacht *Herpetosiphon* (247). Andere kunnen waarschijnlijk geklassificeerd worden in het geslacht *Flexibacter* (195, 252). Vertegenwoordigers van dit geslacht worden regelmatig in zeer kleine aantallen in actiefslib waargenomen. In sommige publicaties wordt, om de grote morfologische verschillen tussen de geïsoleerde stammen en de draadvormende organismen in het slib te kunnen verklaren, de mogelijkheid geopperd dat de vorm van een organisme misschien wel verandert na isolatie uit het actief-slibmilieu. Hoewel dit incidenteel ook wel het geval kan zijn, heeft recent onderzoek uitgewezen dat de meeste dominerende organismen uit licht slib alleen op speciale voedingsbodems geïsoleerd kunnen worden. Al deze isolaten zien er in een reïncultuur praktisch net zo uit als in het actiefslib. Draadvormende organismen die uit actiefslib kunnen worden geïsoleerd, maar die geen rol spelen bij licht slib, blijven in dit rapport verder buiten beschouwing.

In tabel A.4 wordt een overzicht gegeven van de draadvormende organismen die tot nu toe uit licht slib zijn geïsoleerd, in relatie tot hun frequentie van voorkomen. Een aantal relevante organismen (o.a. de typen 0675, 1851, 0914, 0581, 1863, 0092) is dus nog niet geïsoleerd. Andere zijn volgens de auteurs wel geïsoleerd, maar nog nauwelijks nader onderzocht.

In het laatste gedeelte van deze bijlage zal een beknopt overzicht worden gegeven van de beschikbare informatie inzake de fysiologie van *M. parvicella*, *H. hydrossis*, *Thiothrix* spp., *S. natans*, *Leucothrix* spp. en de typen 1701, 021N en 0041. Diverse kinetische groeiparameters zijn in het hoofdrapport besproken.

	fre- quen- tie ¹⁾	geïso- leerd	referen- tie		fre- quen- tie ¹⁾	geïso- leerd	referen- tie
<u>gram-negatief;</u> <u>schede aanwezig</u>				<u>dunne, kronkelige</u> <u>draden; septa niet</u> <u>zichtbaar⁴⁾</u>			
<i>S. natans</i>	+	+	o.a. 105	<i>M. parvicella</i>	++	+	220,252
<i>H. hydrossis</i>	++	+	253	type 0581	±		54
type 0321	±		54	type 0192	±		54
type 1701	++	+	194	<u>idem, septa goed</u> <u>zichtbaar⁴⁾</u>			
type 1702	±		54	type 1863	+		54
type 1852	±		62	type 0411	+	?	62
<u>gram-positief,</u> <u>schede aanwezig</u>				type 0211	±		62
type 004	++	+	54,272	<i>Streptococcus spp.</i>	±	+	67,207
type 0675	+		54	<u>korte, "rechte"</u> <u>draden</u>			
type 1851	+		54	type 0803	++	?	54,272
<u>organismen die</u> <u>zwavel opslaan</u>				type 0092	++		54
<i>Thiothrix spp.</i> ²⁾	+	+	271	type 1091	±		54
<i>Beggiatoa spp.</i>	±	+	271	<u>draden met echte</u> <u>vertakkingen</u>			
type 021N	++	+	271	<u>schimmels</u>	±	+	54
type 0914	+		54	<i>Nocardia amarae</i>	++	+	228
<u>forse draden,</u> <u>septas goed</u> <u>zichtbaar</u>				<i>Rhodococcus</i>	++	+	137
<i>Bacillus</i>	±	+	248	<i>rhodochrous</i>			
<i>Leucothrix spp.</i>	±	+	178	<i>Gordona aurantica</i>	±	+	137
<i>N. limicola</i>	+	?	62,252	<u>bewegelijke orga-</u> <u>nismen</u>			
<u>"Cyanophyceae"</u> ³⁾			46,62,230	<i>Saprospira spp.</i>	±		228
type 0961	+	?	54,195	<i>Herpetosiphon spp.</i>	±	+	247
				<i>Lineola longa</i>	±		46
				<i>Flexibacter spp.</i>	±	+	54

Tabel A.4 Draadvormende micro-organismen (waargenomen en/of geïsoleerd)
inactief slib.

- 1) ++: frequent;
+: regelmatig;
±: (zeer) zelden

- 2) soms een schede aanwezig
3) inclusief kleurloze soorten

- 4) fasecontrast, 1000x

- ?: slechts eenmaal geïsoleerd; nog geen gegevens over hun fysiologie beschikbaar.

5.1 Thiothrix, type 021N en Leucothrix

Deze organismen worden gezamenlijk besproken omdat ze qua vorm sterk op elkaar lijken. De fysiologie van deze groep wordt uitvoerig behandeld in enkele publicaties van Williams en Unz (270, 271, 272). Een aantal kenmerken is samengevat in tabel A.5.

aantal isolaten	<i>Thiothrix</i> type 021N <i>Leucothrix S. natans</i> type 1701 type 0041					
	6	9	3	9	9	9
gram-negatief	100	100	100	100	100	0 ¹⁾
opslag reservestoffen						
PHB	100	100	100	100	100	100
volutine	100	100	100	0	0	0
zwavel	100	100	0	0	0	0
schede aanwezig	67	0	0	100	100	100
vorming rosetten	100	28(18) ³⁾	67	0	0	0
oxidasen aanwezig	100	100	100	100	100	100
katalase aanwezig	67	6(18) ³⁾	100	100	100	100
anaërobe groei	0	0	0	0	0	0
denitrificatie	0	0	0	0	0	-
S ²⁻ stimuleert groei	100	100	0	0	0	-
S ²⁻ obligaat nodig	33	0	0	0	0	-
NO ₃ ⁻ als N-bron	83	22 ²⁾	0	100	88	-
ureum als N-bron	83	78	100	100	56	-
groei op rijke media	0	0	100	100	100	-
hydrolyse van:						
gelatine	83	100	0	78	100	-
caseïne	33	0	0	89	100	-
zetmeel	0	0	0	50	67	-
tween 80	0	0	0	-	-	-
groei op ⁴⁾ :						
organische zuren (17)	5-10 ⁵⁾	8-12 ⁵⁾	10-11 ⁵⁾	10-13 ⁵⁾	4-11 ⁵⁾	-
koolhydraten (34)	0-10	8-14	15-16	15-24	3-8	-
alcoholen (7)	0-3	0-3	1	2-5	0-4	-
aminozuren (14)	0-2	3-6	5	8-10	2-12	-

Tabel A.5 Percentage van het aantal stammen dat de betreffende eigenschap bezit (270, 271, 272).

1) Gram-variabel

2) Volgens referentie 195 wel goede groei met NO₃⁻

3) Tussen haakjes: aantal geteste stammen

4) Tussen haakjes: aantal C-bronnen

5) In het onderste gedeelte van de tabel worden geen percentages gegeven, maar het aantal C-bronnen dat benut kan worden.

Het zijn gram-negatieve organismen die alleen onder aërobe omstandigheden kunnen groeien. Ook de NO_3^- kunnen ze niet benutten (denitrificatie). Ze kunnen alle PHB (= poly- β -hydroxybutyraat) en volutine als reservestoffen opslaan; *Thiothrix* en type 021N slaan daarnaast ook zwavel in de cellen op. De meeste stammen kunnen complexe substraten niet als C-bron benutten. Type 021N en *Leucothrix* kunnen een scala van laagmoleculaire, organische verbindingen als koolstofbron gebruiken. *Leucothrix* is voor het eerst geïsoleerd uit een rwzi waarvan het influent voornamelijk terephtaalzuur en isophtaalzuur bevatte (256). De *Thiothrix* stammen groeien voornamelijk op organische zuren.

Leucothrix verschilt op enkele cruciale punten (geen zwaveloxydatie, wel groei op voedselrijke media) van type 021N en *Thiothrix*. De laatstgenoemde twee zijn wel sterk verwant, zoals al eerder was verondersteld (164, 174), maar duidelijk niet identiek. Twee van de zes *Thiothrix* stammen hebben gereduceerde zwavelverbindingen obligaat nodig om te kunnen groeien. Dit geldt niet voor type 021N en de overige *Thiothrix* stammen. H_2S , thiosulfaat e.d. stimuleren hun groei echter wel. Deze organismen zijn dus mixotroof.

De combinatie: H_2S + organische zuren + geen groei op veel complexe verbindingen, verklaart ten dele hun groei in rwzi's met een aangerot influent.

5.2 Type 0041

Van dit organisme is eigenlijk alleen nog maar bekend dat het PHB als reservevoedsel op kan slaan en dat het alleen onder aërobe omstandigheden kan groeien.

5.3 S. natans en type 1701

Deze twee gram-negatieve schedevormers zijn sterk verwant, maar kunnen in slib duidelijk van elkaar worden onderscheiden op basis van de diameter van de cellen. Ze worden gekenmerkt door een aërobe stofwisseling. Lage zuurstofconcentraties remmen echter hun groeisnelheid slechts in beperkte mate (194). Beide kunnen PHB als reservevoedsel opslaan, maar *S. natans* slaat onder N-limiterende omstandigheden veel meer PHB op als type 1701 (194). NO_3^- -N is voor beiden een goede stikstofbron, NH_4^+ -N alleen voor *S. natans*. Zowel *S. natans* als type 1701 kunnen vele, verschillende koolstofbronnen gebruiken, waarbij wel moet worden opgemerkt dat type 1701 wat beter toegerust lijkt voor de groei op complexe substraten. Dit zou de goede groei in veel industriële rwzi's kunnen verklaren (195).

Tenslotte moet nog worden opgemerkt dat type 1701 zeer sterk reageert op een

verhoging van de temperatuur. Een temperatuurstijging van 7°C leidt tot een verdubbeling van de μ_{\max} -waarde (194). Dit kan een aanzienlijk concurrentievoordeel betekenen.

5.4 M. parvicella

M. parvicella is voor het eerst geïsoleerd door Van Veen (252) en later uitvoerig bestudeerd door Slijkhuis (220). Ook deze draadvormende bacterie kan alleen onder aërobe omstandigheden groeien, waarbij wel moet worden opgemerkt dat het organisme zich in proef-rwzi's niet kon handhaven bij hoge (> 5 mg O₂/l) zuurstofconcentraties. Slijkhuis veronderstelt dat dit verband houdt met de wat merkwaardige stofwisseling van *M. parvicella*. Het organisme heeft namelijk gereduceerde N- en S-verbindingen nodig om te kunnen groeien. Deze verbindingen worden snel geoxydeerd bij hoge O₂-concentraties. Voor zijn koolstofvoorziening moet *M. parvicella* kunnen beschikken over hogere vetzuren (oliezuur, palmitinezuur); lagere vetzuren kunnen alleen in combinatie met hogere vetzuren worden benut. Deze zeer specifieke substraatbehoefte kan zowel een voordeel als een nadeel betekenen in een gemengde populatie.

Een overschot aan substraat leidt tot de snelle opslag van reservstoffen (tot 35% van het drooggewicht) in de cel. Dit materiaal wordt later gebruikt voor de energievoorziening en voor de synthese van celmateriaal.

Het beschikbare substraat wordt zeer efficiënt omgezet in celmateriaal ($C_{\text{biomassa}} : C_{\text{CO}_2} = 2,6 : 1$).

M. parvicella slaat daarnaast ook fosfaten op in de cel (P-gehalte van de cellen : 3,3%).

5.5 H. hydrossis (253)

Dit organisme groeit eveneens alleen onder aërobe omstandigheden. Als koolstofbron kunnen diverse (poly)sacchariden (o.a. glucose, zetmeel, lactose) en gelatine worden gebruikt. Het organisme groeit niet op organische zuren en glycerol. De cel kan reservstoffen opslaan, maar niet in de vorm van PHB. NO₃ en NH₄ kunnen dienen als N-bron, maar met organische N-verbindingen groeit *H. hydrossis* duidelijk beter. De relatief hoge celopbrengst kan een concurrentievoordeel betekenen in de competitie met sneller groeiende soorten micro-organismen.

Onder laboratoriumomstandigheden gaan de cellen dood bij een pH < 6,4.

BIJLAGE B: FACTOREN DIE DE BEZINKING VAN ACTIEF-SLIBVLOKKEN BEPALEN

		<u>blz.</u>
1	INLEIDING	B-2
2	DE INVLOED VAN DE FYSISCH-CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE VLOK	B-3
2.1	De vorm van de vlok	B-3
2.2	De grootte van de vlok	B-3
2.3	De dichtheid van de vlok	B-3
2.4	De oppervlaktelading van de vlok	B-4
2.5	Evaluatie	B-5
3	DE INVLOED VAN DRAADVORMENDE ORGANISMEN	B-6
3.1	Kwantificeren door middel van tellen en meten	B-6
3.2	Het schatten van de mate van draadvorming	B-7
3.3	De invloed van de vorm en de lengte van de draadvormende organismen	B-8

1 INLEIDING

Het bezinkproces in de nabezinktank van een actief-slibinstallatie is zeer complex en wordt slechts ten dele begrepen (50). De scheiding van biomassa en effluent wordt enerzijds bepaald door de hydraulische processen in de tank en anderzijds door de bezinkeigenschappen van de slibvlokken. Deze hydraulische processen vallen buiten de doelstelling van dit rapport. In referentie 50 wordt uitgebreid op dit onderwerp ingegaan.

Oorspronkelijk werd de Mohlman Index (153) gebruikt als een maat om de bezinkeigenschappen van de vlokken vast te stellen. De uitkomsten van deze analyse correleerden echter vaak slecht met het feitelijk bezinkgedrag van het slib in de nabezinktank (51); o.a. omdat de bezinking mede bepaald wordt door het drogestofgehalte van het slib (221). De tegenwoordig vrijwel algemeen toegepaste verdunningsindex (226) is een aanmerkelijk beter hulpmiddel om de bezinkeigenschappen van de biomassa vast te stellen. Ook de geroerde index (266) geeft een goede indruk van het bezinkgedrag in de nabezinktank. Overigens verschillen de uitkomsten van deze drie testen onderling heel weinig, indien een slib uitstekende bezinkeigenschappen heeft.

Welke factoren zijn nu in belangrijke mate bepalend voor de bezinkeigenschappen van de slibvlokken? De literatuur is over dit onderwerp niet volledig eensluidend. Globaal kunnen twee opinies worden onderscheiden (65):

- de bezinkeigenschappen worden vooral bepaald door de fysisch-chemische eigenschappen van de vlok (lading, gehalte aan biopolymeren, enz.);
- het aantal en de lengte van de draadvormende micro-organismen zijn primair bepalend voor de grootte van de SVI.

2 DE INVLOED VAN DE FYSISCH-CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE VLOK

Van de fysisch-chemische eigenschappen zijn vooral de vorm, de grootte, de dichtheid en de oppervlaktelading van de slibvlokken van belang.

2.1 De vorm van de vlok

De invloed van deze factor is nog nauwelijks onderzocht. Desondanks mag worden verwacht dat min of meer afgeronde vlokken, zoals vaak in oxydatiesloten aanwezig zijn, duidelijk beter bezinken en samendrukbaar zijn dan de vlokken uit rwzi's met een hoge slibbelasting, die vaak een uitgesproken onregelmatige vorm hebben (62). Een langwerpige vorm van de vlok gaat ook gepaard met een hogere waarde van de SVI (65).

2.2 De grootte van de vlok

In de meeste rwzi's hebben de vlokken een diameter van 100-300 μm . Hoewel in de literatuur soms ook wordt gesteld dat de grootte van de vlok geen invloed heeft op de SVI (74), is het merendeel van de onderzoekers van mening dat de SVI lager is naarmate de vlokken groter zijn (80, 206). Deflocculatie van de biomassa gaat dan ook gepaard met een stijging van de SVI (197, 218).

2.3 De dichtheid van de vlok

Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de compactheid van de vlok (i.e. de mate waarin de cellen dicht gestapeld zijn) en de aanwezigheid van bestanddelen die de vlok verzwaren.

Een open structuur van een vlok, c.q. een vlok die weinig compact is, gaat gepaard met een hogere waarde van de SVI, ondanks het feit dat dit soort open vlokken dikwijls relatief groot is (143). De aanwezigheid van bepaalde draadvormende organismen (o.a. *M. parvicella* en type 1701) leidt vaak tot het ontstaan van open vlokken (agglomeraten).

Een hoog gehalte aan relatief zware bestanddelen (= een hoge asrest) zal gepaard gaan met goede bezinkeigenschappen van het slib. Slibben met een asrest > 35 à 40% bezinken vrijwel altijd uitstekend, praktisch onafhankelijk van het aantal draadvormende organismen. Wagner (259) kwam tot dezelfde conclusie.

2.4 De oppervlaktelading van de vlok

Het oppervlak van actief-slibvlokken is negatief geladen. De grootte van deze lading wordt bepaald door het aantal aanwezige ionogene groepen en de fysiologische conditie van de bacteriecellen die de vlok vormen. Een hoog gehalte aan exocellulaire polysacchariden (slijmkapsels om de cellen) betekent, dat ook veel van deze ionogene groepen aanwezig zijn. Bacteriën vormen deze slijmkapsels vooral onder omstandigheden waarbij de voeding een overmaat aan koolstofverbindingen bevat.

Ionogene groepen dragen bij tot de binding van water door de vlok. Deze wordt hierdoor volumineuzer. Bovendien daalt de dichtheid van de vlok. Beide factoren veroorzaken een verslechtering van de bezinkeigenschappen van de vlok.

Diverse onderzoekers (o.a. 65, 81, 224) stellen dat de bezinkeigenschappen primair bepaald worden door de lading, en daarmee samenhangende factoren, van de vlokken. Zij baseren hun opvatting op het feit dat in de loop der jaren een verband is aangetoond tussen de SVI en:

- de oppervlaktelading van de vlokken (77, 224). In referentie 32 wordt deze relatie echter tegengesproken;
- de elektroforetische bewegelijkheid van de vlokken (81, 143, 183). Er werd echter geen verband tussen beide parameters gevonden, indien met slibben uit verschillende rwzi's gewerkt werd (17, 65);
- het gehalte aan polysacchariden van de vlok (78);
- het gehalte aan biopolymeren (= ECP) in het slib. Hierbij wordt onder "ECP" de fractie polysacchariden verstaan, die met behulp van een bepaalde methode uit slib geëxtraheerd kon worden. De rol van deze biopolymeren is overigens niet helemaal duidelijk. Sommige onderzoekers (35, 88) concluderen dat een hoog gehalte aan ECP gepaard gaat met een hoge waarde van de SVI. Volgens anderen bevordert ECP de flocculatie, waardoor de bezinkeigenschappen juist zouden verbeteren (17);
- het gehalte aan gebonden water. Dit zou kunnen oplopen tot 400% van het drogestofgehalte van de vlok (105).

De conclusies van de diverse onderzoekers waren vrijwel steeds gebaseerd op laboratoriumproeven, met een kunstmatig samengesteld influent. Bovendien was de SVI van de slibben meestal $< 200 \text{ ml.g}^{-1}$.

2.5 Evaluatie

De vraag of waarde moet worden toegekend aan deze parameters en of ze daadwerkelijk een rol spelen bij het licht-slibvraagstuk in praktijk-rwzi's moet, de invloed van het asgehalte uitgezonderd, vrijwel zeker ontkennend beantwoord worden. Dit kan misschien het beste geïllustreerd worden met de door Beccari et al. (17) gepresenteerde gegevens. Deze auteurs vonden een redelijk verband tussen het ECP-gehalte van het slib en de SVI, zolang deze laatste parameter relatief laag was ($< 150 \text{ à } 200 \text{ ml.g}^{-1}$). Het verband werd echter uiterst dubieus, nadat *S. natans* zich massaal in de proef-rwzi ontwikkelde (\rightarrow zeer hoge SVI). Deze waarneming is waarschijnlijk illustratief voor de invloed van de fysisch-chemische eigenschappen van de vlok op de bezinkeigenschappen van het slib. De bezinkeigenschappen worden bijna altijd primair bepaald door de mate van draadvorming in het slib; andere factoren, zoals de lading van de vlok of de vloggrootte, zijn van secundair belang. Incidenteel spelen ze echter wel een rol, vooral in slibben uit rwzi's met een hoge slibbelasting (279).

3 DE INVLOED VAN DRAADVORMENDE ORGANISMEN

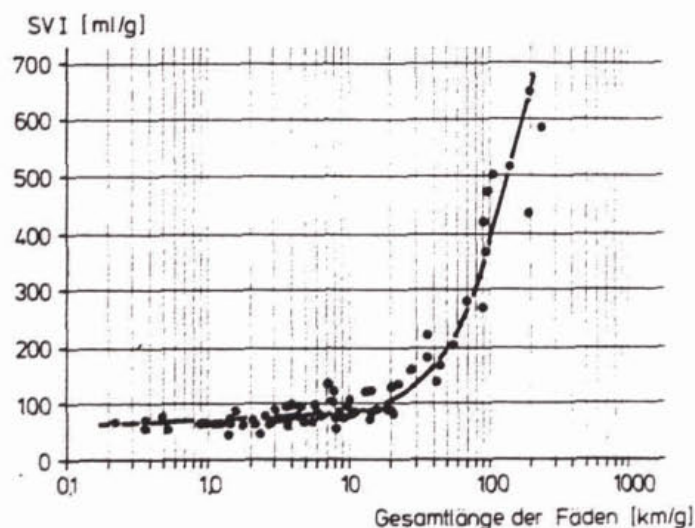
Hoewel een duidelijk verband tussen de mate van draadvorming en de hoogte van de SVI reeds lang werd verondersteld (73, 175), is het pas de laatste jaren gelukt deze relatie redelijk te kwantificeren. Hiervoor zijn diverse methoden toegepast.

3.1 Kwantificeren door middel van tellen en meten

Er wordt in de literatuur een aantal methoden beschreven, waarmee het aantal draden, en de daarmee corresponderende lengte, door middel van tellen en meten bepaald kan worden (92, 117, 150, 216, 249, 262). Bij de meeste onderzoeken werd een redelijk tot goed verband tussen het aantal en de lengte van de draden enerzijds en de hoogte van de SVI anderzijds vastgesteld. Met de methode die in Berkely (166, 216) ontwikkeld is, wordt de Total Extended Filament Length (= TEFL) in een slib bepaald. In eerste instantie werd de TEFL uitgezet tegen de originele Mohlman SVI. Er was hierbij wel een verband tussen de SVI en de TEFL waarneembaar, maar de spreiding in de uitkomsten was nog vrij groot. Ook het verband met de geroerde index was matig. De relatie werd veel duidelijker, zodra de TEFL werd uitgezet tegen de verdunningsindex (24, 135, 150); zie figuur B.1. Een SVI van 150 ml.g^{-1} correspondeert, voor dit slib uit een laboratorium rwzi (met *S. natans* als dominerend, draadvormend organisme) met een TEFL van circa $30 \text{ km.g droge stof}^{-1}$. Dit lijkt een respectabel getal, maar de biomassa bestaat dan pas voor hooguit 1% uit draadvormende organismen (166). Matsui (150) automatiseerde de zeer arbeidsintensieve werkwijze zoveel mogelijk, en bepaalde vervolgens de TEFL in een aantal slibben uit praktijk-rwzi's. Bij dat onderzoek correspondeerde een SVI van 150 ml.g^{-1} met een TEFL = 10 km.g^{-1} . Het soort organisme dat aanwezig is bepaalt uiteraard de relatie TEFL/SVI (zie ook paragraaf 3.3 van deze bijlage).

Figuur B.1 illustreert dat een duidelijke toename van het aantal draadvormende organismen in eerste instantie niet door metingen van de SVI gesignaleerd kan worden. De SVI blijft op een niveau van $50 \text{ à } 100 \text{ ml.g}^{-1}$, tot een TEFL van circa 10 km.g^{-1} bereikt is (135, 166, 215, 216). Een verdere toename van het aantal draden leidt vrij abrupt tot een drastische verslechtering van de bezinkeigenschappen van het slib. Op het moment dat de SVI duidelijk begint te stijgen is het dus eigenlijk al te laat. Het aantal draadvormende organismen is dan reeds hoog (58, 262). De ontwikkeling van licht

slib kan daarom alleen door het regelmatig uitvoeren van microscopisch slib-
onderzoek tijdig gesignaleerd worden (59).



Figuur B.1 De invloed van de TEFL op de verdunningsindex (verdund) (135).

3.2 Het schatten van de mate van draadvorming

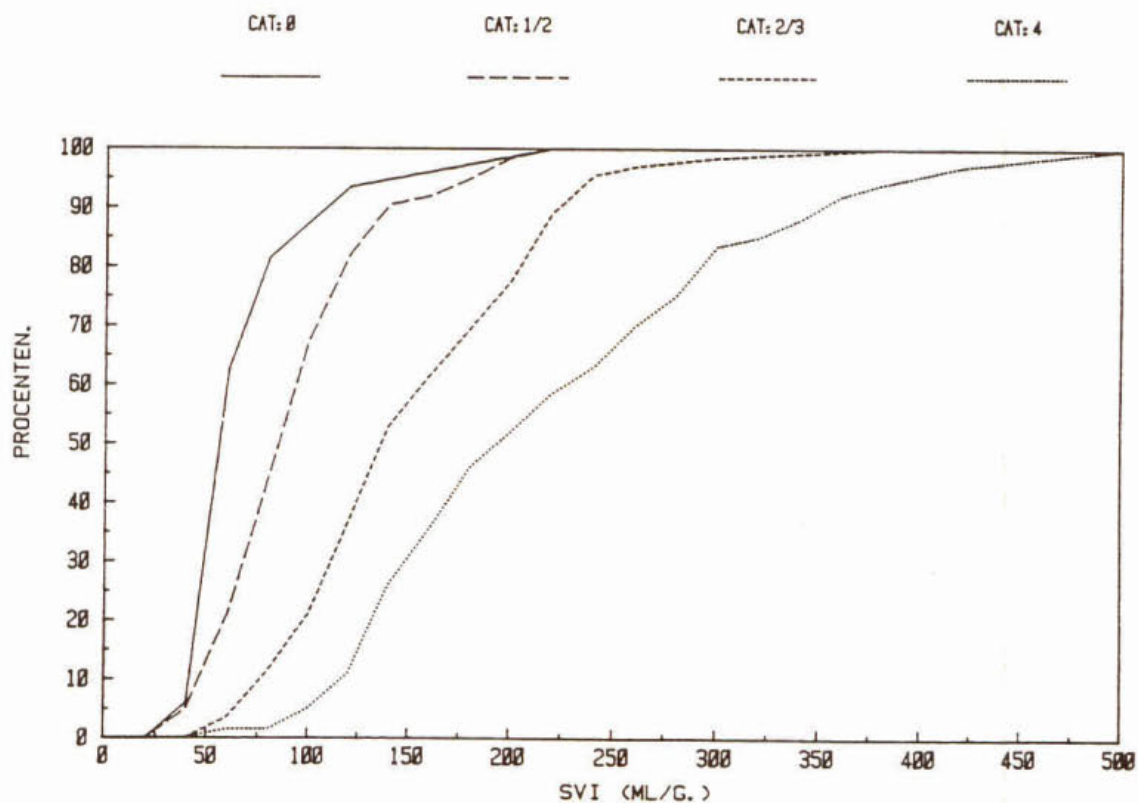
Methoden waarbij draadvormende organismen geteld en gemeten moeten worden zijn arbeidsintensief en vereisen vaak de aanschaf van kostbare apparatuur. Zelfs de door Matsui geautomatiseerde TEFL-bepaling (150) vergt nog circa 2 uur per monster. Dit is veel te lang voor een routinebepaling, die zo nodig dagelijks uitgevoerd moet kunnen worden.

De in de STORA-handleiding voor microscopisch slibonderzoek (62) beschreven werkwijze vergt enkele minuten per monster en is daarom veel beter geschikt voor het routinematig registreren van de mate van draadvorming. Het aantal draden wordt bij deze werkwijze niet geteld, maar de mate waarin het microscopisch beeld gevuld is met draden wordt gebruikt als maat voor het aantal draadvormende organismen. Door het microscopisch beeld te vergelijken met enkele referentiefoto's, met een toenemend aantal draden, kan het betreffende slib ingedeeld worden in de categorie die, qua mate van draadvorming, hiermee het beste correspondeert. Wagner (259) paste deze werkwijze toe bij een onderzoek van enkele honderden slibben uit praktijk-rwzi's en stelde daarbij het in tabel B.1 weergegeven verband vast.

Bij een onderzoek van slibben uit Nederlandse oxydatiesloten werd eveneens vastgesteld dat een hoge waarde van de categorie meestal gepaard ging met een hoge waarde van de SVI (figuur B.2). Dit bevestigt heel duidelijk de conclusie uit de vorige paragraaf, dat licht slib vrijwel altijd veroorzaakt wordt door een massale groei van draadvormende organismen.

categorie	SVI (ml.g ⁻¹)	
	50% percentiel	84% percentiel
0	61	85
1	68	99
2	99	143
3	134	197
4	264	430
5	694	1075

Tabel B.1 De invloed van de mate van draadvorming op de SVI (259).
 Categorie 0-5: Mate van draadvorming, oplopend van afwezig (= 0) tot zeer veel (= 5).



Figuur B.2 De invloed van de mate van draadvorming op de SVI bij slibben uit oxydatiesloten.

3.2 De invloed van de vorm en de lengte van de draadvormende organismen

Uit figuur B.2 blijkt dat de aanwezigheid van veel draadvormende organismen niet altijd gepaard gaat met een hoge waarde van de SVI. Circa 25% van de monsters had een SVI ≤ 150 ml.g⁻¹, terwijl ze qua mate van draadvorming toch

werden ingedeeld in de hoogste categorie. In een aantal gevallen kon dit worden verklaard uit het hoge asgehalte van de desbetreffende slibben. In de resterende slibben waren draadvormende organismen aanwezig die de SVI nauwelijks, of alleen indien ze in extreem grote aantallen aanwezig waren, beïnvloedden. Dit houdt verband met de vorm, de lengte en de "plaats" van de draden (in de vlok, langs de vlok, enz.). Robuste, rechte, lange draden (b.v. type 021N) hebben een grotere invloed op de SVI dan dunne, kronkelige draden die een soort kluwens vormen (b.v. *M. parvicella*). Zo correspondeerde bij *S. natans* en *M. parvicella* een SVI van circa 500 ml.g^{-1} met een TEFL van 130 km.g^{-1} , respectievelijk 400 km.g^{-1} (249). In tabel B.2 worden de (gemiddelde) SVI-waarden gegeven in relatie tot het draadvormend organisme dat in grote aantallen aanwezig was.

organismen	SVI (ml.g^{-1})	
	50% percentiel	84% percentiel
type 021N	353	628
type 0041 ¹⁾	346	592
type 0961	295	487
<i>S. natans</i>	269	473
<i>M. parvicella</i>	256	415
type 1701	196	272
<i>H. hydrossis</i>	192	246
<i>Nocardia</i>	167	232
type 0803	153	228

Tabel B.2 SVI-waarden van de slibben waarin de betreffende organismen in grote aantallen aanwezig waren (259).

¹⁾ Groeit alleen massaal in rwzi's met een industrieel influent.

De invloed van de overige draadvormende organismen op de SVI wordt in tabel B.3 vermeld. Enkele draadvormende organismen hebben vrijwel geen invloed op de bezinkeigenschappen van het actiefslib. *Beggiatoa spp.* en *Flexibacter spp.* vormen meestal korte draden die bovendien bewegelijk zijn en daardoor de stapeling van de vlokken slechts in beperkte mate beïnvloeden. De typen 1863 en 0211 vormen zeer korte, flexibele draden. *N. limicola* tenslotte, vormt voornamelijk kluwens die zich net als een vlok gedragen.

mate waarin de SVI beïnvloed wordt		
groot	matig	gering/nihil
<i>Thiothrix</i> spp.	type 0092 ¹⁾	<i>N. limicola</i>
type 1851	type 0581	type 1863
" <i>Cyanophyceae</i> "	type 0675	<i>Beggiatoa</i> spp.
schimmels	type 0411	type 0211
	type 0914	<i>Flexibacter</i> spp.

Tabel B.3 Invloed van een aantal organismen op de SVI (zie ook tabel B.2).

¹⁾ In sommige industriële rwzi's wel een grote invloed.

BIJLAGE C: TOEPASSINGEN VAN DE SELECTORMECHANISMEN OP PRAKTIJK-RWZI'S

	<u>blz.</u>
1 INLEIDING	C-2
2 OXYDATIESLOTEN	C-4
2.1 Rwzi Blaricum	C-4
2.2 Rwzi Bunnik	C-4
2.3 Rwzi Carquefou	C-6
2.4 Rwzi Dalfsen	C-7
2.5 Rwzi Echten	C-8
2.6 Rwzi Haulerwijk	C-9
2.7 Rwzi Heino	C-10
2.8 Rwzi Hengevelde	C-11
2.9 Rwzi Kaatsheuvel	C-12
2.10 Rwzi Ommen	C-13
2.11 Rwzi Vollenhove	C-14
2.12 Rwzi Zwartsluis	C-15
3 ANDERE ACTIEF-SLIBINRICHTINGEN	C-17
3.1 Rwzi Amsterdam-Noord	C-17
3.2 Rwzi Bath	C-18
3.3 Rwzi Bayreuth	C-24
3.4 Rwzi Berlin-Ruhleben	C-24
3.5 Rwzi Columbus	C-26
3.6 Rwzi Dedemsvaart	C-27
3.7 Rwzi Deventer	C-28
3.8 Rwzi Dongemond	C-29
3.9 Rwzi Duphar	C-32
3.10 Rwzi Halifax	C-33
3.11 Rwzi Hamilton	C-35
3.12 Rwzi Holten	C-36
3.13 Rwzi Horstermeer	C-37
3.14 Rwzi Huizen	C-38
3.15 Rwzi Kampen	C-40
3.16 Rwzi Katwoude	C-40
3.17 Rwzi Leopoldsdorf	C-41
3.18 Rwzi Molsheim	C-43
3.19 Rwzi Raalte	C-44
3.20 Rwzi Tiel	C-45
3.21 Diverse rwzi's	C-46

1 INLEIDING

In het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van een selector kunnen twee hoofdlijnen worden onderscheiden:

- onderzoek onder laboratoriumomstandigheden. Dit was/is vooral gericht op de werking van het selector-mechanisme onder aërobe omstandigheden. In hoofdstuk 3 van het hoofdrapport is uitgebreid op dit onderwerp ingegaan;
- onderzoek onder praktijkomstandigheden. Dit is vrijwel direct gestart nadat de eerste succesvolle pogingen om licht slib te bestrijden via het creëren van een propstroming, of het installeren van een contact-tank, gepubliceerd werden. Deze proeven zijn veelal uitgevoerd zonder dat voldoende kennis over de werking van de selector-mechanismen beschikbaar was. Dit betekent dat, achteraf bezien, de inrichting van de selector niet altijd even gelukkig is geweest. Het sterk empirische karakter van de experimenten impliceert dat vrij veel relevante gegevens niet bepaald zijn. Een interpretatie van de verkregen resultaten is daardoor niet altijd goed mogelijk. Een aantal van deze parameters zou overigens alsnog bepaald kunnen worden. De uitgevoerde experimenten zijn echter desondanks waardevol, omdat hierdoor het laboratoriumonderzoek en de praktijk aan elkaar gekoppeld worden.

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de ervaringen met een selector in een groot aantal praktijk-rwz's. Het begrip selector is hierbij ruim geïnterpreteerd; het wordt ook gebruikt voor omstandigheden die in feite nooit kunnen leiden tot een wezenlijke beïnvloeding van de slibpopulatie. De vermelde vlokbeladingen en slibbelastingen in de selectoren zijn meestal niet gemeten, maar geschat op basis van BZV-aanvoer, mengverhoudingen van influent en slib en de verblijftijd in de selector. De bespreking van de diverse "case studies" wordt afgesloten met een evaluatie. In hoofdstuk 4 van het hoofdrapport zijn de resultaten integraal behandeld. De daarbij verkregen conclusies zijn verwerkt in de evaluaties.

Er wordt steeds gestart met een korte karakterisering van de betreffende rwzi. Hierbij worden ook de mate van nitrificatie en het nitraatgehalte in het effluent vermeld. Dit laatste vormt een indicatie voor het nitraatgehalte in het retourslib. Op deze wijze kan globaal worden ingeschat of de omstandigheden in de selector aëroob, anoxisch of anaëroob waren. Fosfaatreducties in de rwzi's zijn alleen vermeld indien deze groter waren dan 30 à 40%.

In deze bijlage worden de volgende afkortingen gebruikt:

AS	:	actief-slibinrichtingen met een voorbezinktank en een aparte, anaërobe slibstabilisatie
ds	:	droge stof
dwa	:	droog-weer-aanvoer
effl.:		effluent
I	:	influent
i.e.:		inwoner equivalent
OC	:	zuurstoftoevoervermogen (oxygenation capacity)
OS	:	oxydatiesloot
ϕ	:	debiet ($m^3 \cdot \text{uur}^{-1}$)
RS	:	retourslib
rwa	:	regen-weer-aanvoer
rwzi	:	rioolwaterzuiveringsinrichting
S	:	selector
V_S	:	volume van de selector
V_T	:	volume van de aëratietank

2 OXYDATIESLOTEN

2.1 Rwzi Blaricum (1)

type	:	OS
capaciteit	:	30 000 i.e.
% industrie	:	gering
slibbelasting	:	0,05 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	>90%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	6,9 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelde 1986; standaardafwijking 5,8 mg.l ⁻¹)

Bij deze oxydatiesloot is direct bij de bouw een aparte selector geïnstalleerd. Deze bestaat uit een ronde tank, waarin influent en retourslib gemengd worden. Het mengsel doorstroomt de tank verticaal. De inhoud wordt niet belucht. De V_T/V_S -verhouding is 40. De hydraulische verblijftijd varieert van 4 (rwa) tot 10 (dwa) minuten. De vlokbelading en de slibbelasting bedragen respectievelijk circa 20 g BZV.kg d.s.⁻¹ en 1-3 kg BZV.kg d.s.⁻¹.dag⁻¹.

De rwzi is sinds 1982 in bedrijf. Ondanks de aanwezigheid van de selector is de SVI gedurende de wintermaanden te hoog (150 à 200 ml.g⁻¹), door een sterke ontwikkeling van *M. parvicella*.

Evaluatie

Deze anoxisch/anaërobe selector beïnvloedt de slibpopulatie nauwelijks. Het jaarlijkse verloop van de SVI is karakteristiek voor een oxydatiesloot. Het geringe effect is vrijwel zeker het gevolg van de te lage slibbelasting in de selector.

2.2 Rwzi Bunnik (4)

type	:	OS
capaciteit	:	32 000 i.e.
% industrie	:	70 (limonadefabriek)
slibbelasting	:	0,05-0,06 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	>90%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	nihil
P-eliminatie	:	circa 85%

De beluchtingsruimte van deze onder oxydatieslootcondities bedreven rwzi bestaat uit enkele vierkante tanks met puntbeluchters.

Influent en retourslib werden oorspronkelijk rechtstreeks in de beluchtingsruimte gebracht. De SVI was in deze periode permanent hoog ($>300 \text{ ml.g}^{-1}$, type 0041 en *N. limicola*); hetgeen zelfs onder dwa-omstandigheden tot aanmerkelijke slibverliezen leidde.

Vanaf 1977 wordt het retourslib vooraan in de beluchte, langwerpige zandvang gebracht, waardoor deze als een soort selector ging fungeren. De V_T/V_S -verhouding is 85.

De in de zandvang aanwezige beluchtingscapaciteit is echter ontoereikend om in de zuurstofvraag te voorzien, waardoor het zuurstofgehalte in de selector praktisch permanent nul is. Influent en retourslib worden gemengd in een verhouding van 1:1, hetgeen leidt tot een vlokbelading en een slibbelasting van respectievelijk circa $50 \text{ g BZV.kg d.s.}^{-1}$ en $5-7 \text{ kg BZV.kg d.s.}^{-1}.\text{dag}^{-1}$. De verblijftijd in de selector bedraagt circa 5 min. (dwa-condities).

Het aantal draadvormende organismen daalde na deze procesmodificatie aanmerkelijk. De SVI stabiliseerde zich op een niveau van $80-120 \text{ ml.g}^{-1}$. Een verhoging van de vlokbelading leidde tot een verhoging van de SVI. Bij biosorptiemetingen werd vastgesteld dat het slib (= slib A uit tabel 11 in het hoofdrapport) uit deze rwzi in staat was het beschikbare substraat snel op te nemen.

De laatste jaren is de SVI, ondanks de aanwezigheid van de selector, weer langzaam gestegen tot $180 \text{ à } 200 \text{ ml.g}^{-1}$. Dit houdt mogelijk verband met de toegenomen slibbelasting van de rwzi.

Overigens wordt de beluchting in de aëratietanks gedurende 2 uur uitgeschakeld zodra het zuurstofgehalte op een niveau van $2 \text{ mg O}_2.\text{l}^{-1}$ gekomen is. Deze werkwijze wordt toegepast om het gevormde nitraat via denitrificatie te verwijderen. De lange zuurstofloze perioden hebben daarnaast ook geleid tot het op gang komen van biologische defosfatering.

Evaluatie

De rwzi Bunnik is een van de eerste rwzi's in de wereld, waar een selector met succes werd toegepast voor het bestrijden van een massale groei van draadvormende organismen. Het eerste jaar na de ingebruikneming van de selector is uitvoerig geëxperimenteerd om de optimale vlokbelading vast te stellen. Het gunstige resultaat houdt waarschijnlijk ook verband met het soort afvalwater (veel opgeloste, gemakkelijk afbreekbare componenten) dat

in deze rwzi wordt behandeld. Het is overigens opvallend dat dit gunstige resultaat werd gerealiseerd ondanks de, volgens de theorie, ontoereikende O_2 -voorziening in de selector.

Er kan niet goed worden aangegeven op welke wijze het periodiek uitschakelen van de beluchting invloed heeft op het resultaat. Gedurende deze perioden fungeert de beluchtingsruimte in feite zelf ook als een selector; de condities hierin zijn eerst anoxisch en later anaëroob. Er zijn dan eigenlijk 2 selectoren in serie geschakeld. Deze bedrijfsvoering zou echter ten koste kunnen gaan van de tijd die voor de micro-organismen beschikbaar is om het opgenomen substraat te verwerken. Misschien is dit de verklaring voor de stijging van de SVI gedurende de laatste jaren.

2.3 Rwzi Carquefou (183)

type	:	OS
capaciteit	:	600 i.e.
% industrie	:	afvalwater van een ziekenhuis (100%)
slibbelasting	:	$0,02-0,06 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
nitrificatie		
NO_3^- -N in effl.	}	worden niet vermeld

Deze kleine oxydatiesloot is sinds 1976 in bedrijf. De SVI was in het verleden permanent hoog ($250 \text{ à } 300 \text{ ml.g}^{-1}$) doordat in het slib zeer veel draden (typen 0092 en 0041) aanwezig waren. De slibbelasting bedroeg in deze periode $0,06 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$.

In de loop van 1982 is een voormalig chloringsbassin ingericht tot selector. De V_T/V_S verhouding is 70. Influent en retourslib worden overdag gemengd in een verhouding van 6:4, hetgeen gepaard gaat met een vlokbelading van $100-200 \text{ mg CZV.g ds}^{-1}$. Een schatting van de slibbelasting leidt tot $2-4 \text{ kg BZV.kg d.s.}^{-1}.\text{dag}^{-1}$. Deze mengverhouding is gekozen op basis van een vooronderzoek, waarbij conform de aanbevelingen uit referentie 57 is nagegaan, op welke wijze een maximale biosorptie gerealiseerd kon worden. Overigens is de aanvoer van rioolwater gedurende de nacht zeer gering. De vlokbelading is dan ook veel lager. De hydraulische verblijftijd in de selector varieert van $10 \text{ à } 20 \text{ min. tot } 30 \text{ à } 40 \text{ min.}$ (respectievelijk dag en nacht). De auteur van het artikel vermeldt niet of de inhoud van de selector belucht wordt.

De SVI is na de installatie van de selector gedaald tot $<50 \text{ ml.g}^{-1}$. Het duurde circa 5 maanden voordat dit lage niveau werd bereikt. De aanmerke-

lijke verbetering van de bezinkeigenschappen van het slib maakt het mogelijk een hoger drogestofgehalte in het circuit te handhaven. Dit leidde tot een daling van de slibbelasting (van 0,06 naar 0,02 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹) en een sterke stijging van de asrest (van 15 naar 35%).

Het is daarnaast opmerkelijk dat na de daling van de SVI weer een zuurstofgehalte van 2 à 3 mg.l⁻¹ in de beluchtingsruimte gehandhaafd kan worden. In het verleden was dit gehalte een groot gedeelte van de dag praktisch nul, ondanks het continu aanstaan van de rotor.

Evaluatie

In deze rwzi zijn de licht-slibproblemen verdwenen na de ingebruikneming van een selector. Het effect van deze contactruimte is vrijwel zeker nog versterkt doordat simultaan met de daling van de SVI de slibbelasting daalde, de asrest toenam en de zuurstofoverdracht verbeterde. Een en ander vergde nauwelijks investeringen (< f 5.000,-).

2.4 Rwzi Dalfsen (25a)

type	:	OS
capaciteit	:	18 000 i.e.
% industrie	:	20% (diverse bedrijven)
slibbelasting	:	0,039 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	95%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	15,4 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking 10,6 mg.l ⁻¹)

Bij deze 2,5 m diepe oxydatiesloot (beluchting via mammoetrotoeren) is direct bij de bouw van de rwzi een selector geïnstalleerd. Deze bestaat uit een vierkante tank (11 m³) plus een lange transportleiding (inhoud: 16 m³) naar de beluchtingsruimte. De V_T/V_S-verhouding bedraagt 164. De inhoud wordt niet belucht. Influent en retourslib worden bij dwa-omstandigheden gemengd in een verhouding van circa 1:1, hetgeen leidt tot een vlokbelading en een slibbelasting van respectievelijk ongeveer 65 BZV.kg ds⁻¹ en 10 kg BZV.kg d.s.⁻¹.dag⁻¹. De verblijftijd in de selector varieert van 1,6 (rwa) tot 4,1 (dwa) minuten.

De rwzi is sinds 1982 in bedrijf. De SVI vertoont de laatste jaren een stijgende lijn, ondanks de aanwezigheid van de selector. In 1985 bedroeg deze 143±40 ml.g⁻¹. *M. parvicella* is verantwoordelijk voor de hoge waarden van de

SVI. Het inzetten van de maximale beluchtingscapaciteit was niet toereikend om deze ontwikkeling te keren.

Evaluatie

De slibbelasting in de anoxische selector is te hoog om de groei van *M. parvicella* te voorkomen.

2.5 Rwzi Echten (1)

type	:	OS
capaciteit	:	100 000 i.e.
% industrie	:	50 (conserven, zuivel, slachterij)
slibbelasting	:	0,048 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	80-90%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	0,4 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelde 1982)

De slibvolume-index was in deze rwzi vrijwel permanent hoog (150-250 ml.g⁻¹), hetgeen gepaard ging met aanmerkelijke slibverliezen. De hoge SVI-waarden werden veroorzaakt door een sterke groei van type 021 N en *M. parvicella* (categorie 3 à 4).

In de zomer van 1982 is de Dorr-zandvanger tijdelijk ingericht als selector. De inhoud werd niet belucht. De hydraulische verblijftijd in de selector bedroeg onder dwa-condities circa 14 minuten. Bij regenval werd de selector buiten bedrijf gesteld.

Het experiment heeft circa 3 maanden geduurd. De vlokbelading varieerde in deze periode van 15-40 g BZV.kg ds⁻¹. De slibbelasting bedroeg 1-1,5 kg BZV.kg d.s.⁻¹.dag⁻¹. De opgenomen percentages fluctueerden tussen 60 en 90% en namen in de loop van de tijd niet toe. De SVI daalde tijdelijk van 200 ml.g⁻¹ tot ongeveer 140 ml.g⁻¹. Dit ging gepaard met een duidelijke vermindering van het aantal type 021 N draden. Deze kwamen weer terug nadat de vlokbelading verlaagd was.

De proef is beëindigd omdat de toegepaste bedrijfsvoering niet langdurig gecontinueerd kon worden. Het resultaat werd ook onvoldoende geacht.

Teneinde slibverliezen te voorkomen werd in 1985 een derde nabezinktank bijgebouwd met een diameter van 56,3 m. Met het ingebruiknemen van deze tank werd de oppervlaktebelasting van de nabezinktanks verlaagd van 1,0 m³/m².h naar 0,6 m³/m².h.

De retourslibstroom van de nieuwe tank wordt na de vijzels bij de influent-

stroom gevoegd, onder andere vanwege de selectorfunctie van de Dorr zandvanger die na de menging van het influent en het retourslib wordt gepasseerd.

Het beoogde doel van de selector werd in 1986 nog niet geheel bereikt, slibverliezen deden zich echter niet meer voor.

De maandgemiddelde SVI-waarde doorliep de volgende reeks: 145, 155, 155, 160, 190, 175, 120, 115, 125, 170, 165, 165 ml/g.

In de aanwezige draadvormige bacteriën is qua soort geen wezenlijke verandering opgetreden.

De typen 021N of *M. parvicella* bleven dominant. De categorie-indeling was 2 à 3. In 1987 verloren de genoemde typen hun dominantie.

Enige gemiddelde cijfers met betrekking tot de selector in 1986:

Influentaancoer 19.250 m³/etmaal, 5600 kg BZV/etmaal in ca acht bedrijfsuren van de influentvizzels.

Retourslibaanvoer 785 m³/uur drogestofgehalte circa 6,5 g/l, contacttijden 6 of 10 minuten.

Vlokbeladingsniveaus 140 g BZV/kg drogestof en 70 g BZV/kg droge stof (laatstgenoemde waarden afhankelijk van kleine respectievelijk grote aanvoervijzel in bedrijf).

Evaluatie

Het is opvallend dat, ondanks de provisorische uitvoering van het experiment (o.a. kortsluiten van de selector bij rwa), het aantal type 021 N draden aanmerkelijk verminderde. Overigens is een proefduur van 3 maanden in feite te kort om het mogelijk effect goed te kunnen beoordelen. Dit blijkt ook uit de resultaten vanaf 1985. De hogere vlokbeladingen leiden tot slibbelastingen van 4-8 kg BZV.kg d.s.⁻¹.dag⁻¹. Het duurde langer dan een jaar voordat het aantal draden duidelijk verminderde.

2.6 Rwzi Haulerwijk (1)

type	:	OS
capaciteit	:	16 500 i.e.
% industrie	:	80 (kippenlacterij)
slibbelasting	:	0,054-0,138 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	70-90%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	5-10 mg.l ⁻¹

Deze rwzi bestaat uit twee aparte circuits, die beide onder oxydatiesloot-conditions worden bedreven. De SVI was in het verleden permanent hoog ($\geq 300 \text{ ml.g}^{-1}$) door de massale groei van o.a. *M. parvicella*, type 1851 en type 0041. Via de dosering van FeCl_3 werd geprobeerd de slibverliezen zoveel mogelijk te voorkomen.

In 1981 werd een rechthoekige selector (hydraulische verblijftijd: 5 min, $V_T/V_S = 205$) geïnstalleerd, waarin influent en actiefslib in een verhouding van 1:2 met elkaar gemengd worden. Dit correspondeert met een vlokbelading en een slibbelasting van respectievelijk 30-100 g BZV.kg ds^{-1} en 4-12 kg BZV.kg $\text{ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$. De inhoud van de selector wordt niet belucht. De SVI is sindsdien gedaald tot een niveau van 150-200 ml.g^{-1} . De laagste waarden worden 's zomers gemeten. Type 1851 is praktisch verdwenen uit het slib, *M. parvicella* is nog steeds aanwezig (categorie 3 à 4). Slibverliezen vinden niet meer plaats.

N.B.: Deze wijze van licht-slibbestrijden bleek aanmerkelijk goedkoper dan het doseren van FeCl_3

Evaluatie

Het is opvallend dat de ingebruikneming van de selector voornamelijk de groei van type 1851 beïnvloed lijkt te hebben. *M. parvicella* is nog steeds in grote aantallen aanwezig (vooral tijdens de winter).

2.7 Rwzi Heino (25a)

type	:	OS
capaciteit	:	12 500 i.e.
% industrie	:	30-60 (zuivel)
slibbelasting	:	0,027 kg BZV.kg $\text{ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
nitrificatie	:	95%
NO_3^- -N in effl.	:	22,4 mg.l^{-1} (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking 14,3 mg.l^{-1})

Bij deze 2,5 m diepe oxydatiesloot is direct bij de bouw een selector geïnstalleerd. Deze bestaat uit een aparte, rechthoekige tank die voorzien is van geleideschotten, waardoor sprake is van een propstroming in de tank. De inhoud wordt niet belucht. De V_T/V_S -verhouding bedraagt 242. Onder dwa-omstandigheden worden influent en retourslib gemengd in een verhouding 2:1, hetgeen leidt tot een vlokbelading van $110 \pm 50 \text{ g BZV.kg ds}^{-1}$ en een slibbe-

lasting van circa 15 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. De verblijftijd in de selector varieert van 1,4 (rwa) tot 3,4 (dwa) minuten.

De SVI was in de jaren 1979-1981, ondanks de aanwezigheid van de selector, periodiek te hoog (tot 200 ml.g⁻¹). Een verlaging tot circa 110 ml.g⁻¹ werd bereikt door:

- een vermindering van de piekbelastingen veroorzaakt door de aangesloten zuivelfabriek;
- optimalisatie van de beluchtingsenergie;
- verhoging van het drogestofgehalte in het circuit (→ lagere slibbelasting).

De SVI schommelt de laatste jaren tussen 100 en 140 ml.g⁻¹. *M. parvicella* en type 0041 zijn als dominerende draadvormende organismen aanwezig.

Evaluatie

De hydraulische verblijftijd in deze anoxische selector is buitengewoon kort (maximaal ruim drie minuten), hetgeen tot een hoge slibbelasting leidt. Dit is vrijwel zeker de verklaring voor het feit dat de groei van draadvormende organismen niet kon worden voorkomen door de aanwezigheid van de selector. De huidige, niet al te hoge SVI-waarden lijken vooral een gevolg te zijn van de hiervoor genomen maatregelen, de lage slibbelasting in het bijzonder, en niet zozeer verband te houden met de aanwezigheid van de selector.

Het is daarnaast opvallend dat *M. parvicella* als dominerend draadvormend organisme aanwezig is. De groei van deze bacterie wordt vrijwel zeker niet gestimuleerd door het zuivelafvalwater. De draadvormende organismen die vaak geassocieerd worden met de behandeling van dit soort afvalwater ontbreken echter in dit slib.

2.8 Rwzi Hengevelde (1)

type	:	OS
capaciteit	:	3000 i.e.
% industrie	:	15 (diverse bedrijfjes)
slibbelasting*	:	0,032 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie*	:	65%
NO ₃ ⁻ -N in effl.*	:	< 5 mg.l ⁻¹

* 1985

In deze kleine oxydatiesloot schommelde de SVI in het verleden rond een niveau van circa 250 ml.g⁻¹. De hoge SVI-waarde werd veroorzaakt door

M. parvicella (categorie 4).

Enkele jaren geleden is een aanwezige slingeroot (\rightarrow propstroming) omgebouwd tot een provisorische selector. De V_T/V_S -verhouding bedraagt 26. De inhoud wordt niet belucht. De hydraulische verblijftijd varieert van 7 tot 10 minuten. Bij laboratoriumproeven werd vastgesteld dat het slib onder aërobe condities in staat was 60-70% van het beschikbare CZV (10 min. contacttijd) op te nemen. Influent en retourslib worden in een verhouding van circa 1:1 met elkaar gemengd. De slibbelasting bedraagt 1-2 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹.

De SVI is na de ingebruikneming van de selector wel wat verbeterd (110-220 ml.g⁻¹), maar periodiek zijn nog zeer veel *M. parvicella* draden aanwezig.

Evaluatie

De groei van draadvormende organismen wordt in deze rwzi slechts in geringe mate beperkt door de selector. De slibbelasting in de slingeroot lijkt daarvoor ook te laag.

2.9 Rwzi Kaatsheuvel (269)

type	:	OS
capaciteit	:	30 000 i.e.
% industrie	:	gering
slibbelasting	:	0,050 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	>90%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	circa 5 mg.l ⁻¹

Op deze rwzi is direct bij de bouw in 1978 een kleine, vierkante contactruimte ingericht. De V_T/V_S -verhouding bedraagt 160. De hydraulische verblijftijd in de selector bedraagt onder dwa-condities 5 minuten. Influent en retourslib worden meestal gemengd in een verhouding van 1:1. Dit leidt tot een slibbelasting van 10-15 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹.

De inhoud van de selector wordt niet belucht. De constructie van de selector is zodanig, dat vrijwel zeker sprake is van een onvolledige menging van slib en influent (\rightarrow kortsluitstromingen). De SVI varieert van 100 ml.g⁻¹ (zomer) tot > 200 ml.g⁻¹ (winter). De hoge SVI-waarden worden veroorzaakt door *M. parvicella*.

In de jaren 1983-1984 is de inhoud van de selector belucht, teneinde een betere menging te verkrijgen. Een en ander beïnvloedde het jaarlijkse ver-

loop van de SVI nauwelijks.

Evaluatie

Het jaarlijkse verloop van de SVI is karakteristiek voor veel oxydatiesloten. De aanwezige contactruimte lijkt dit patroon nauwelijks te beïnvloeden. Bij de evaluatie moet onderscheid worden gemaakt tussen de jaren met en die zonder beluchting van de selector.

Er mag nauwelijks enig effect van deze selector worden verwacht, indien de inhoud niet wordt belucht. De constructie is zodanig dat influent en retourlib in feite nauwelijks met elkaar worden gemengd. Het is echter opvallend dat beluchten van de inhoud van de selector niet leidde tot een duidelijke vermindering van het aantal *M. parvicella* draden. Door dit beluchten werden niet alleen aërobe condities gecreëerd, maar werden influent en retourlib tevens goed met elkaar gemengd. Dit beïnvloedde de groei van *M. parvicella* echter niet.

2.10 Rwzi Ommen (25a)

type	:	OS
capaciteit	:	10 000 i.e.
% industrie	:	20 (diverse bedrijven)
slibbelasting	:	0,046 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	>90%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	24,1 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking 9,6 mg.l ⁻¹)

In deze Mabeg-modificatie van de oxydatiesloot (vierkante beluchtingsruimte met puntbeluchters) werden influent en retourlib oorspronkelijk direct in de beluchtingsruimte gebracht. De SVI steeg, naarmate de belasting toenam tot de ontwerpcapaciteit, van circa 100 ml.g⁻¹ tot een niveau van ongeveer 250 ml.g⁻¹ (*M. parvicella*). In 1979 werd achter de zandvang een selectorruimte gebouwd in de hoek van de beide voorste beluchtingstanks. Door het aanbrengen van enkele geleideschotten werd hierin een propstroming gerealiseerd. De inhoud wordt niet belucht. De V_T/V_S -verhouding bedraagt 86. Onder dwa-omstandigheden worden influent en retourlib in een verhouding van 3:2 met elkaar gemengd. Dit resulteert in een vlokbelading van circa 50 mg BZV.g ds⁻¹ en een slibbelasting van 6 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. De verblijftijd in de selector varieert van 3,5 (rwa) tot 5 (dwa) minuten.

De index daalde vervolgens tot een niveau van circa 160 ml.g^{-1} . Een verdere daling van de SVI tot 110 ml.g^{-1} werd bereikt door een verhoging van de beschikbare beluchtingscapaciteit. *M. parvicella* is nog steeds aanwezig (categorie 2 à 3), maar niet meer zo massaal als voorheen. Bij biosorptiemetingen werd vastgesteld dat het slib onder aërobe omstandigheden meestal aanmerkelijk minder dan 50% van het beschikbare CZV opnam (contacttijd: 7,5 minuten).

Evaluatie

Een slibbelasting van circa $0,05 \text{ BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$ gaat in zeer veel oxydatiesloten gepaard met een sterke groei van *M. parvicella*. Tot 1979 veroorzaakte deze bacterie ook in de rwzi Ommen hoge SVI-waarden. De anoxische selector lijkt in deze rwzi een duidelijk positief effect op de SVI te hebben.

2.11 Rwzi Vollenhove (25a)

type	:	OS
capaciteit	:	20 000 i.e.
% industrie	:	25 (zuivel, visverwerkend bedrijf)
slibbelasting	:	$0,020 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
nitrificatie	:	>90%
NO_3^- -N in effl.	:	$4,5 \text{ mg.l}^{-1}$ (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking $5,3 \text{ mg.l}^{-1}$)

De beluchtingsruimte van deze 2,5 m diepe oxydatiesloot bestaat uit twee gescheiden circuits. Beide circuits zijn voorzien van een selector. Deze bestaat uit een kleine tank (4 m^3), waarin influent en retourslib onder dwacondities in een verhouding 1:1 met elkaar gemengd worden, plus een 50 m lange transportleiding (inhoud: 10 m^3) naar de beluchtingsruimte. De selector is niet voorzien van beluchtingsapparatuur. De V_T/V_S -verhouding is 180.

De eerste jaren na de bouw van de rwzi was slechts één circuit in bedrijf. De slibvolumeindex was eerst laag en stabiel, maar steeg in latere jaren naarmate de belasting toenam. In 1980 bedroeg de SVI $310 \pm 130 \text{ ml.g}^{-1}$. Een verhoging van het slibgehalte in het circuit en het optimaliseren van de zuurstofvoorziening leidden tot een geringe daling van de SVI. In de loop van 1981 werd het tweede circuit in bedrijf gesteld. Hierdoor daalde de slibbelasting en nam de contacttijd in de selector toe. Deze varieert nu van 2 (rwa) tot 6 (dwa) minuten. De slibvolumeindex is sindsdien laag en stabiel

($90 \pm 20 \text{ ml.g}^{-1}$). De vlokbelading bedraagt $35 \pm 18 \text{ mg BZV.g ds}^{-1}$, de slibbelasting circa $4 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$.

In de rwzi wordt via nitrificatie + denitrificatie in de beluchtingsruimte een vergaande N-verwijdering bereikt. De aangevoerde kjeldahl-stikstof wordt praktisch volledig genitrificeerd. De denitrificatie verloopt 's zomers ook praktisch volledig; gedurende de winterperiode bevat het effluent nog $5-15 \text{ mg.l}^{-1}$ aan NO_3^- -N. Dit betekent dat alleen in de winter nog wat nitraat in het retourslib aanwezig zal zijn. De condities in de selector variëren diensgevolge van anoxisch (winter) tot praktisch anaëroob (zomer). Deze anaërobe omstandigheden initiëren overigens niet het op gang komen van biologische fosfaatverwijdering.

Evaluatie

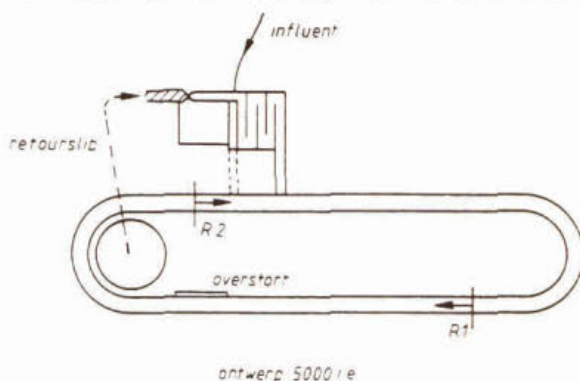
Zowel de selector als de lage, totale slibbelasting kunnen bijdragen tot de huidige, goede bezinkeigenschappen van het slib. Het is in dit verband opvallend dat rond 1980, toen de slibbelasting circa $0,05 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$ bedroeg, de groei van draadvormende organismen niet kon worden voorkomen door de aanwezigheid van de anoxische selector.

2.12 Rwzi Zwartsluis (25a)

type	:	OS
capaciteit	:	5000 i.e.
% industrie	:	gering
slibbelasting	:	$0,050 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
nitrificatie	:	>90%
NO_3^- -N in effl.	:	$12,8 \text{ mg.l}^{-1}$ (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking $13,6 \text{ mg.l}^{-1}$)

In deze rwzi werden influent en retourslib oorspronkelijk rechtstreeks in de beluchtingsruimte gebracht. In de periode 1975-1980 varieerde de SVI van 160 tot 290 ml.g^{-1} . Ondanks een verlaging van het slibgehalte tot circa $1,5 \text{ g.l}^{-1}$ vonden periodiek slibverliezen met het effluent plaats. Hoge SVI-waarden werden meestal veroorzaakt door *M. parvicella*. In 1980 was echter *S. natans* als dominerende draadvormer aanwezig. Dit is zeer ongebruikelijk voor een oxydatieslootslib met een niet-industrieel influent (ontoereikende O_2 -voorziening?).

Op 1 december 1981 is bij deze rwzi een selector in bedrijf gesteld (figuur C.1). De V_T/V_S -verhouding bedraagt 47. De inhoud van de selector wordt niet belucht, waardoor alleen nitraat als zuurstofbron beschikbaar is. Overigens bevat het retourslib gedurende de zomermaanden, door de vergaande denitrificatie in de beluchtingsruimte, slechts weinig nitraat. Influent en retourslib worden onder dwa-omstandigheden gemengd in een verhouding van circa 2,5:1, hetgeen leidt tot een vlokbelading van 60 ± 20 g BZV.kg ds⁻¹ en een slibbelasting van circa 5 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. De hydraulische verblijftijd varieert van 5,7 (rwa) tot 7,3 (dwa) minuten.



Figuur C.1 Selector bij de rwzi Zwartsluis.

De SVI is sindsdien laag en stabiel (90 ± 20 ml.g⁻¹). De draadvormende organismen zijn praktisch verdwenen. In de beluchtingsruimte kan nu weer een slibgehalte van 4 g.l⁻¹ gehandhaafd worden. Uit een vergelijking met een praktisch identieke rwzi, maar zonder een selector, blijkt dat de installatie van een contacttank heeft geleid tot:

- een lagere SVI;
- een betere BZV-verwijdering;
- een hogere N-eliminatie (via nitrificatie en denitrificatie);
- minder kans op een overtreding van de lozingseis voor zwevende stof.

Evaluatie

De installatie van deze anoxische selector heeft op deze rwzi vrijwel zeker bijgedragen tot de aanmerkelijk betere bezinkeigenschappen van het slib. Het positieve effect wordt waarschijnlijk versterkt doordat nu weer een drogestofgehalte van 4 g.l⁻¹ gehandhaafd kan worden.

3 ANDERE ACTIEF-SLIBINRICHTINGEN

3.1 Rwzi Amsterdam-Noord (1)

type	:	AS
capaciteit	:	130 000 i.e.
% industrie	:	20 (diverse bedrijven)
slibbelasting	:	0,2-0,3 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	onvolledig
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	< 5 mg.l ⁻¹ .

De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit vier gescheiden, langwerpige tanks (lengte \cong 10 x breedte). Influent en retourslib worden vooraan in deze tanks gebracht. Op deze wijze wordt een propstroming gerealiseerd.

De geïnstalleerde OC is niet toereikend voor de huidige belasting van de rwzi. Het zuurstofgehalte voorin de tank is vrijwel permanent praktisch nul, achteraan in de tank is dit een groot gedeelte van de dag $< 2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$.

Circa 50% van de aangevoerde Kjeldahl-stikstof wordt genitrificeerd tot nitraat. Het lage zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte impliceert echter dat simultaan denitrificatie plaatsvindt, waardoor het nitraatgehalte in het retourslib zeer laag is ($< 5 \text{ mg.l}^{-1}$).

De slibvolumeindex bedraagt gemiddeld 120 ml.g^{-1} . Enkele malen per jaar stijgt de SVI, door de sterke groei van *M. parvicella* en type 021 N, tot circa 200 ml.g^{-1} .

Bij wijze van experiment is in één van de vier straten een contactruimte gecreëerd door het plaatsen van een dwarswand in de beluchtingsruimte. De inhoud van deze rechthoekige contacttank met volledige menging wordt belucht. Hiertoe is echter geen extra beluchtingsapparatuur geïnstalleerd, maar wordt gebruik gemaakt van de al aanwezige Inka-beluchters. In feite is er dus qua zuurstofvoorziening geen verschil tussen de straat met de contactruimte en de overige straten. De hydraulische verblijftijd in de selector bedraagt circa 5 minuten. De V_T/V_S -verhouding is ongeveer 30. Onder duidelijk aërobe condities is sprake van een biosorptie van 40%.

Het creëren van een van de rest van de beluchtingsruimte gescheiden contactruimte heeft de bezinkeigenschappen van het slib niet beïnvloed. De SVI van het slib uit deze straat verschilt niet wezenlijk van die van de slibben uit de straten zonder zo'n contactruimte.

Evaluatie

In deze rwzi lijkt sprake te zijn van een duidelijke propstroming. Zo'n stromingspatroon is in veel rwzi's in beginsel toereikend om een sterke groei van draadvormende organismen te voorkomen, omdat het voorste gedeelte van de aëratietank als een soort selector kan fungeren. Indien de SVI desondanks (periodiek) te hoog is, houdt dit verband met bijvoorbeeld een ontoereikende O_2 -voorziening of een verkeerde mengverhouding van influent en retourslib. Het plaatsen van een extra dwarswand in de beluchtingsruimte, teneinde een ruimtelijk begrensde contactruimte te creëren, lijkt in zo'n geval niet veel zin te hebben.

3.2 Rwzi Bath (269)

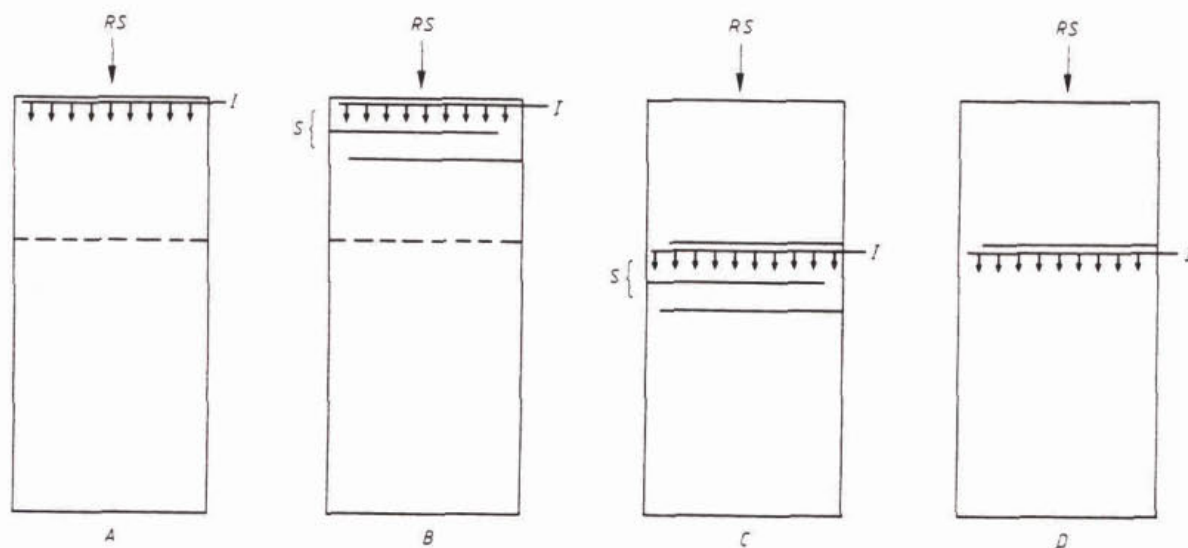
type	:	AS
capaciteit	:	400 000 i.e.
% industrie	:	50-60 (petrochemische en voedingsindustrie)
slibbelasting	:	0,15 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	onvolledig
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	in winter vrijwel nihil

Het influent van deze rwzi wordt aangevoerd via een lang stelsel van persleidingen. Dit afvalwater is onder dwa-condities twee tot drie dagen onderweg voordat het de installatie bereikt en is daardoor sterk aangerot. Bij deze anaërobe afbraak ontstaan o.a. organische zuren en H₂S. Dit leidt tot een influent waarvan het CZV (na voorbezinking) voor circa 2/3 uit organische zuren bestaat. Daarnaast kan dit afvalwater ook nog enkele tientallen mg.l⁻¹ H₂S bevatten. Diverse draadvormende bacteriën (o.a. type 021 N, *Thiotrix* en *S. natans*) groeien uitstekend op dit soort afvalwater. Tijdens rwa-condities spoelen alle aanvoerriolen schoon, waardoor de rwzi piekbelastingen tot 10⁶ i.e. te verwerken krijgt. De geïnstalleerde OC was ontoereikend om deze stootbelastingen op te vangen. Zulke perioden met een zeer laag O_2 -gehalte in de beluchtingsruimten stimuleren ook de groei van draadvormende organismen.

De rwzi is in mei 1983 in bedrijf genomen. Gedurende de eerste maanden werden influent en retourslib vooraan in de acht beluchtingsruimten gebracht (figuur C.2, modificatie A).

Het zuurstofgehalte in het voorste compartiment was frequent < 0,2 mg O_2 .l⁻¹ doordat de geïnstalleerde beluchtingscapaciteit onvoldoende was. Het tweede gedeelte van de beluchtingsruimte was wel aëroob. Zulke omstandigheden be-

vorderen de groei van micro-organismen die extra fosfaat op kunnen slaan (biologisch defosfateren). Dit proces kwam dan ook "spontaan" op gang.



Figuur C.2 Procesmodificaties in de rwzi Bath.

In B en C is een selector aanwezig in de beluchtingsruimte. Bij C en D vindt reaëratie van het retourslib plaats.

In dezelfde periode verslechterde de SVI aanmerkelijk door een massale groei van type 021 N. Rond november 1983 was de SVI gestegen tot een niveau van 250 à 300 ml.g⁻¹. De viscositeit van het slib was simultaan aanmerkelijk toegenomen. Aangezien een verband met de biologische defosfatering werd verondersteld, werd overgeschakeld op een bedrijfsvoering waarbij in het eerste compartiment reaëratie van het retourslib plaatsvond. Bovendien werd de maximale beluchtingscapaciteit continu ingezet. Deze combinatie leidde tot het verdwijnen van de biologische defosfatering. De SVI verbeterde echter niet, maar werd gedurende de volgende maanden juist steeds hoger. In maart-april 1984 was deze gestegen tot 800 à 1200 ml.g⁻¹. Bij het microscopisch onderzoek werd vastgesteld dat het slib uit een dicht netwerk van type 021 N draden bestond. Hier en daar konden in dit netwerk nog enkele normale slibvlokken worden waargenomen.

In april/mei 1984 werden, min of meer gelijktijdig, de volgende maatregelen genomen:

1. De beluchtingsapparatuur werd gereviseerd, waardoor de OC werd verhoogd. Het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte kon daarna weer op een niveau van 2 mg O₂.l⁻¹ gehandhaafd worden.
2. De invloed van het reaëren van het retourslib werd nader onderzocht. Hiertoe werd in 4 straten reaëratie toegepast (modificatie D); in de overige 4 straten werd het influent weer in het eerste compartiment gebracht.

3. In 2 van de 8 straten werd een selector geïnstalleerd (modificaties B en C). De V_T/V_S -verhouding was 22. De vlokbelading bedroeg circa 30 g BZV.kg ds^{-1} en de slibbelasting in de selector 2-4 kg BZV.kg $ds^{-1} \cdot dag^{-1}$. De hydraulische verblijftijd in de selector bedroeg onder dwa-condities 8 minuten. Bij laboratoriummetingen werd vastgesteld dat onder deze omstandigheden, en bij aanwezigheid van voldoende O_2 , ongeveer 70% van het beschikbare substraat werd opgenomen door de vlok. De inhoud van de twee contactruimten werd overigens niet extra belucht, waardoor het zuurstofgehalte in deze selectoren vrijwel permanent erg laag ($< 0,5 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$) was.
4. Er werd een grote effluentrecirculatie geïnstalleerd ($1,5 \times \phi$ influent) teneinde de emissie van geurstoffen zoveel mogelijk te beperken. Deze maatregel leidde uiteraard tot een sterke verdunning van het influent.

De eigenschappen van de slibben in de vier tanks zonder reaëratie, inclusief de tank met de selector, veranderden in de daaropvolgende maanden (mei en juni 1984) nauwelijks. In de tanks met reaëratie nam het aantal draden enigszins af (van categorie 4 à 4⁺ naar categorie 3 à 4), de SVI daalde overeenkomstig. De aanwezigheid van een selector leek ook in deze tanks geen invloed te hebben op de bezinkeigenschappen van het slib.

Overigens werd bij biosorptiemetingen vastgesteld dat het CZV van de waterfase nauwelijks daalde tijdens het verblijf in de selectoren. Dit betekende dat het substraat niet werd opgenomen door de vlok.

In juli 1984 veranderde het microscopisch beeld in een tijdbestek van ongeveer 2 weken (= één maal de slibleeftijd!) totaal.

Type 021 N verdween praktisch volledig, de SVI daalde daardoor tot 100 à 150 $ml \cdot g^{-1}$. Deze ontwikkeling startte in de tanks met reaëratie van het retour-slib, de overige straten volgden met een vertraging van ongeveer één week. Het was opvallend dat dit abrupte verdwijnen van type 021 N gepaard ging met een massale groei van *Zoogloea* kolonies rondom de slibvlokken; een successie die ook bij laboratoriumexperimenten werd waargenomen (163).

De SVI is in het daaropvolgende jaar vrijwel steeds $< 150 \text{ ml} \cdot g^{-1}$ gebleven, waarbij nog kan worden opgemerkt dat deze in de straten met reaëratie meestal wat lager was dan in de tanks zonder reaëratie van het retour-slib. Type 021N was nog steeds aanwezig, maar in geringe aantallen. Gedurende de wintermaanden verdwenen de duidelijk herkenbare *Zoogloea* kolonies weer. Dit leidde echter niet tot een hernieuwde ontwikkeling van type 021 N.

Evaluatie

De beschikbare gegevens zijn niet toereikend om de ontwikkeling van de bezinkeigenschappen van het slib in deze rwzi volledig te verklaren. Vooral het ontbreken van informatie over het verloop van de ademhalingssnelheid van het slib (hetgeen als maat voor het herstel van de biosorptiecapaciteit kan worden gebruikt) maakt een ondubbelzinnige interpretatie vrijwel onmogelijk. Ook het feit dat een aantal maatregelen simultaan is uitgevoerd, draagt bij tot deze onduidelijkheid. Desondanks kunnen wel enkele belangwekkende conclusies getrokken worden.

Het was opvallend dat type 021 N zich gedurende de eerste maanden na de ingebruikneming van de rwzi massaal kon ontwikkelen, ondanks het feit dat in deze periode sprake was van biologisch defosfateren. Dit illustreert dat het verhinderen van de groei van draadvormende organismen via het anaërobe selectormechanisme niet altijd mogelijk is, c.q. bepaald wordt door de samenstelling van het afvalwater. Het influent van de rwzi Bath bevat enkele honderden milligrammen per liter aan laagmoleculaire organische zuren en relatief weinig fosfaat. De hoeveelheid fosfaat is veel te laag om deze organische zuren via biologische defosfatering te verwijderen tijdens het verblijf in de anaërobe zone.

De werkelijke zuurstofvoorziening heeft vrijwel zeker een cruciale rol gespeeld in deze rwzi. Gedurende het eerste jaar na de ingebruikneming was de OC aanmerkelijk lager dan was voorzien in het ontwerp van de rwzi. Het zuurstofgehalte was permanent laag in het gedeelte van de beluchtingsruimte waar influent en retourslib toegevoerd werden. Na piekbelastingen was het O_2 -gehalte in de hele beluchtingsruimte vaak enkele dagen $< 0,5 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$. Zulke omstandigheden bevorderen de groei van onder andere type 021 N. Op deze wijze kan een neerwaartse spiraal ontstaan zoals die in paragraaf 3.4 is geschetst.

In deze periode is incidenteel de ademhalingssnelheid van het slib bepaald. Hierbij werden waarden van $25-50 \text{ mg } O_2 \cdot g \text{ ds}^{-1} \cdot \text{uur}^{-1}$ gemeten. Dit zijn hoge waarden, hetgeen betekent dat in de vlok nog veel, niet verwerkt substraat aanwezig was. Onder de heersende, zuurstoflimiterende omstandigheden was de verblijftijd in de beluchtingsruimte kennelijk niet toereikend voor de afbraak van opgenomen voedingsstoffen. Een onvolledige regeneratie van de biosorptiecapaciteit betekent dat de vlok bij het opnieuw belasten met rioolwater niet in staat is de aanwezige verbindingen snel op te nemen. Deze blijven daardoor te lang beschikbaar voor de draadvormende bacteriën.

De installatie van een selector zonder extra beluchtingsapparatuur veranderde eigenlijk niets aan deze situatie. Een verschuiving binnen de vlokpopulatie in de richting van micro-organismen die het substraat snel op kunnen nemen, kan waarschijnlijk alleen onder aërobe omstandigheden plaatsvinden.

Het effect van de extra effluentrecirculatie kan niet goed worden beoordeeld. Een duidelijke substraatgradiënt in de beluchtingsruimte leidt vaak tot het verdwijnen van de draadvormende organismen. Zo'n gradiënt wordt afgevlakt door een grotere effluentrecirculatie.

De revisering van het beluchtingssysteem plus het inzetten van alle reserve beluchtingscapaciteit, hetgeen resulteerde in een hogere OC, speelde waarschijnlijk een doorslaggevende rol bij de sterke afname van type 021 N in de zomer van 1984. In de beluchtingsruimte kon daarna weer een zuurstofgehalte van $2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ gehandhaafd worden. Een hoger zuurstofgehalte bevordert zowel de opnamesnelheid als de verwerkingssnelheid van het substraat. Het is bovendien vrijwel zeker niet toevallig dat type 021 N juist in de maand juli verdween. 's Zomers is de temperatuur hoger, waardoor de biosorptiecapaciteit sneller geregenereerd zal worden. Gedurende deze vakantiemaand is bovendien aanzienlijk meer tijd voor de verwerking van het opgenomen substraat beschikbaar, omdat de slibbelasting lager is dan in de andere maanden van het jaar. Het lijkt erg waarschijnlijk dat deze combinatie van factoren geleid heeft tot een slib met een hoge biosorptiecapaciteit, waardoor de draadvormende organismen de concurrentieslag verloren. Ook het feit dat de sterke vermindering van type 021 N startte in de straten met reaëratie van het retourslib - wat eveneens bijdraagt tot het herstel van de substraatopnamecapaciteit - wijst in deze richting.

3.3 Rwzi Bayreuth (109, 179)

type : AS
capaciteit : 300 000 i.e.
% industrie : aanzienlijk (o.a. brouwerij en zuivelindustrie)
slibbelasting* : $0,2 \text{ kg BZV} \cdot \text{kg ds}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$
nitrificatie* : > 90%
 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in effl.* : $10\text{-}20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$

* in perioden zonder licht slib.

De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit een aantal rechthoekige (10x80 m) tanks. In het verleden werd een verdeelde afvalwatertoevoer (step

loading) toegepast. Het afvalwater verbleef bovendien bijna 6 uur in de voorbezinktanks. Dit ging gepaard met grote licht-slibproblemen, vooral gedurende de zomermaanden. Een sterke groei van *Thiothrix*, *S. natans*, *Beggiatoa* en de typen 021 N en 0961 veroorzaakte een stijging van de SVI tot $> 1000 \text{ ml.g}^{-1}$. Door de grote slibverliezen daalde het slibgehalte in de aëratietanks tot $0,5 \text{ g.l}^{-1}$; de nitrificatie verdween volledig. De slechte bezinkeigenschappen leidden bovendien tot lange verblijftijden van het slib in de nabezinktanks. Het retourslib werd daardoor volledig anaëroob ($1,7 \text{ mg H}_2\text{S.l}^{-1}$).

In juni 1982 werden gelijktijdig de volgende maatregelen genomen:

- de verblijftijd in de voorbezinktanks werd teruggebracht van 5,5 naar 1,7 uur;
- er werd gestopt met de verdeelde afvalwatertoevoer. Al het influent werd in het vervolg samen met het retourslib in het voorste (5,2 m) gedeelte van de beluchtingsruimten gebracht;
- de zuurstoftoevoer in het voorste gedeelte van de aëratietanks werd drastisch gereduceerd, teneinde een zuurstofloze selector te creëren. In deze zone werd net voldoende belucht voor menging van slib en influent. In de publicaties wordt de lengte van deze zuurstofloze zone niet vermeld;
- de snelheid van het roerwerk in de nabezinktank werd opgevoerd;
- het surplusslib werd niet meer in de voorbezinktank gebracht, maar direct in de slibgisting.

De SVI daalde vervolgens van 600 ml.g^{-1} tot circa 100 ml.g^{-1} . Het aantal draden nam sterk af (tot categorie 1). Deze ontwikkeling vergde overigens 6 maanden. In dezelfde periode kwam de nitrificatie weer op gang, hetgeen betekent dat de condities in de selector langzaam verschoven van anaëroob naar anoxisch.

Het was daarnaast opvallend dat het ademhalingspatroon van het slib in de aëratietank na verloop van tijd begon te veranderen. Het niveau van de endogene ademhaling (circa $5 \text{ mg O}_2.\text{g ds}^{-1}.\text{uur}^{-1}$) werd één maand nadat de selector in gebruik was genomen pas aan het einde van de aëratietank bereikt. Dit betekent dat de verwerking van het opgenomen substraat nog net binnen de beluchtingsruimte plaatsvond. Enkele maanden later werd het endogene niveau echter al halverwege de aëratietank bereikt, de verwerkingssnelheid van het substraat was dus aanmerkelijk toegenomen. Op deze wijze werd een duidelijke scheiding tussen de exogene en de endogene fase gecreëerd, noodzake-

lijk om de groei van draadvormende organismen te voorkomen (zie paragraaf 3.3 uit het hoofdrapport).

In november 1982 werd weer overgeschakeld op een verdeelde afvalwatertoevoer. Dit beïnvloedde in eerste instantie noch de SVI noch het verloop van het ademhalingspatroon in de aëratietank. Er werd echter niet regelmatig gecontroleerd of het aantal draden weer toenam. Na circa één maand veroorzaakte een storing van de slibretourpompen echter een ophoping (gedurende 4 dagen) van het slib in de nabezinktanks. De terugvoer van dit anaërobe slib werd gevolgd door een snelle verslechtering van de bezinkeigenschappen van het slib en een stijging van de SVI tot 400 ml.g^{-1} . De duidelijke scheiding tussen de exogene en de endogene ademhaling verdween eveneens.

In januari werd weer gestopt met de step loading, waarna de SVI opnieuw daalde tot 100 ml.g^{-1} .

Evaluatie

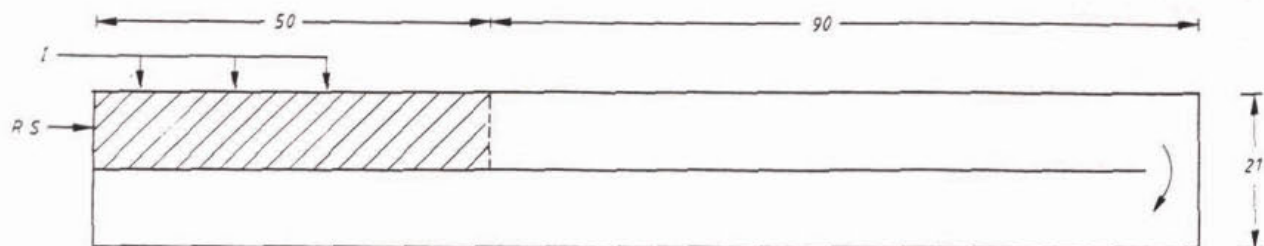
De auteurs van deze publicaties concluderen dat de licht-slibproblemen in deze rwzi primair veroorzaakt werden door de verdeelde afvalwatertoevoer, hetgeen de menging in de aëratietanks sterk vergroot. Langdurige anaërobe condities in de nabezinktank en/of de voorbezinktank versterken daarnaast de concurrentiepositie van sommige draadvormende organismen.

3.4 Rwzi Berlin-Ruhleben (169)

type : AS
capaciteit : 1.200.000
% industrie : 30
slibbelasting : $0,15-0,25 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
nitrificatie :
 NO_3^- -N in effl. :

In de rwzi Ruhleben was in het verleden sprake van chronische licht-slibproblemen (112, 203). Het ontwerp en de belasting waren echter zodanig dat toepassing van het selectorprincipe niet goed mogelijk was.

Enkele jaren geleden is de rwzi uitgebreid met 4 straten. Bij wijze van experiment werd in drie van deze aëratietanks step loading (over de volledige 280 m) toegepast. In de resterende tank werd al het influent in het voorste gedeelte van de beluchtingsruimte gebracht (figuur C.3). Het retourslib werd in alle tanks aan de kop van de tank toegevoerd.



Figuur C.3 Beluchttingsruimte in de rwzi Ruhleben.

: Selector (deze is niet door een wand van het resterende gedeelte van de aëratietank gescheiden).

De inhoud van het selectorgedeelte werd in beperkte mate belucht teneinde bezinking van het slib te verhinderen en slib en influent in voldoende mate te mengen. Het zuurstofgehalte in dit gedeelte van de aëratietank was echter steeds $\ll 0,5 \text{ mg.l}^{-1}$. De hydraulische verblijftijd in de selector was circa 100 minuten. De V_T/V_S -verhouding was bijna 6.

In de drie straten met een verdeelde afvalwatertoevoer ontstond licht slib. Een sterke groei van vooral type 021 N en type 0961 (categorie 3 à 4) leidde tot een SVI van $150\text{-}200 \text{ ml.g}^{-1}$. In de straat met de selector waren dezelfde draadvormende organismen aanwezig, maar hun aantal bleef zeer beperkt (categorie 1 à 2). De SVI van dit slib varieerde van 50 tot 70 ml.g^{-1} . De toegepaste werkwijze had tevens tot gevolg dat in deze straat een vergaande denitrificatie plaatsvond. Bovendien nam de P-eliminatie aanzienlijk toe, hetgeen waarschijnlijk aan biologische defosfatering toegeschreven moet worden. Dit houdt in dat de condities in de selector eerder anaëroob dan anoxisch waren.

Na dit positieve resultaat wordt sinds 1985 het influent ook in de overige straten in het voorste gedeelte van de aëratietanks toegevoerd. Dit heeft geresulteerd in een lage, stabiele SVI in alle straten.

Evaluatie

Het influent van deze rwzi is meestal sterk aangerot. Dit is mede de verklaring voor de chronische licht-slibproblemen in het verleden. Een in feite buitengewoon simpele werkwijze, waarvoor geen extra bouwkundige voorzieningen vereist waren, heeft geleid tot een effectieve bestrijding van het licht slib.

3.5 Rwzi Columbus (198)

type	:	AS
capaciteit	:	circa 10^6 i.e. ($185\ 000\ \text{m}^3.\text{dag}^{-1}$)
% industrie	:	50 (brouwerij)
slibbelasting	:	$0,2-0,4\ \text{kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
nitrificatie	:	wordt niet vermeld
NO_3^- -N in effl.	:	wordt niet vermeld

De rwzi is in bedrijf sinds 1968. Vanaf 1971 was periodiek (einde van de zomer/begin van de herfst) sprake van licht slib. De SVI steeg dan tot 200 à 300 ml.g^{-1} door sterke groei van een draadvormend organisme dat op een blauwwier leek. Er werd vastgesteld dat in dit jaargetijde het gehalte aan vluchtige vetzuren in het influent ongeveer $125\ \text{mg.l}^{-1}$ bedroeg. Gedurende de wintermaanden was dit gehalte $< 10\ \text{mg.l}^{-1}$. De sterke stijging in de nazomer werd veroorzaakt door anaërobe afbraakprocessen in het aanvoerriool (verblijftijd circa 24 uur).

Tot 1979 werd chloren van het retourslib toegepast om licht slib te bestrijden.

De beluchtingsruimte van de rwzi omvat een aantal parallelle straten. Iedere straat bestaat uit acht in serie geschakelde compartimenten. Alle compartimenten worden belucht. Influent en retourslib worden in het eerste compartiment gebracht. Deze duidelijke propstroming was desondanks niet toereikend om het ontstaan van licht slib te voorkomen.

Uit een onderzoek werd geconcludeerd dat dit verband hield met de ontoereikende O_2 -voorziening in het eerste compartiment. Dit was praktisch voortdurend zuurstofloos.

De tijdelijke overschakeling op een verdeelde afvalwatertoevoer leidde weliswaar tot een stijging van de O_2 -concentratie in het eerste compartiment, maar was (uiteraard!) niet de meest geschikte methode om de groei van het draadvormend organisme te voorkomen. De massale groei van dit organisme startte onder deze omstandigheden zelfs vroeger in het jaar.

Het propstromingskarakter werd daarom weer hersteld. Simultaan werd de OC in de eerste compartimenten uitgebreid, waardoor hierin een zuurstofgehalte van minimaal $0,8\ \text{mg O}_2.\text{l}^{-1}$ gehandhaafd kon worden. Deze combinatie ging gepaard met lage SVI-waarden in de daaropvolgende jaren. Bij microscopisch onderzoek werd vastgesteld dat deze procesvoering zelfs effectiever was, dat wil zeggen gepaard ging met een geringer aantal draden in het slib, dan de in het verleden toegepaste chloren van het retourslib.

Evaluatie

De gang van zaken op deze rwzi illustreert heel duidelijk de werking/toepassing van het aërobe selectormechanisme. Een in het verleden ontoereikende O_2 -voorziening in het eerste compartiment verhinderde vrijwel zeker een snelle opname van het opgeloste substraat door de vlokken. Dit leidt erg vaak tot het ontstaan van licht slib. Het feit dat dit alleen in de nazomermaanden plaatsvond, is waarschijnlijk een gevolg van een toename van de opgeloste fractie in het influent in de loop van de zomermaanden.

De overschakeling op een verdeelde afvalwatertoevoer, waardoor een situatie met een min of meer volledige menging ontstond, stimuleerde uiteraard de groei van draadvormende organismen alleen maar. Uiteindelijk kon deze groei effectief worden voorkomen door het propstromingskarakter te herstellen en voldoende OC in het eerste compartiment te installeren. Deze combinatie leidt tot een selectie van vlokvormende bacteriën die in staat zijn het beschikbare, opgeloste substraat snel op te nemen.

3.6 Rwzi Dedemsvaart (25a)

type	:	AS
capaciteit	:	45 000 i.e.
% industrie	:	40 (zuivel)
slibbelasting	:	0,08 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	circa 90% (in winter onvolledig)
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	17 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelde 1985, standaardafwijking 8,3 mg.l ⁻¹).

De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit twee langwerpige tanks (lengte 58 m, breedte 4 m) met bellenbeluchting. Influent (vaak sterk aangerot) en retourslib worden vooraan in de beluchtingsruimten gebracht. De SVI was in het verleden vaak > 500 ml.g⁻¹ door de massale groei van onder andere "*Cyanophyceae*", *H. hydrossis*, *N. limicola* en type 021N.

In 1980 werd door het plaatsen van een extra wand het voorste gedeelte van de beluchtingsruimte ingericht als selector. De inhoud van de selector wordt belucht; het zuurstofgehalte is echter vrijwel steeds < 0,5 mg O₂.l⁻¹. De V_T/V_S-verhouding bedraagt 30. Influent (inclusief gerecirculeerd effluent) en retourslib worden onder dwa-condities gemengd in een verhouding 3:2, hetgeen leidt tot een vlokbelading van ongeveer 30 g BZV.kg ds⁻¹ en een slibbelasting van 4-6 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. De hydraulische verblijftijd in de

selector varieert van 2,5 (rwa) tot 4 (dwa) minuten. De oorspronkelijk aanwezige draadvormende organismen zijn vernietigd met chloor, voor de ingebruikneming van de selector.

De SVI is sinds 1980 steeds redelijk stabiel en laag ($90 \pm 40 \text{ ml.g}^{-1}$). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat incidenteel Cl_2 wordt gedoseerd, indien uit het microscopisch onderzoek blijkt dat type 021N weer toeneemt.

Ook in deze rwzi wordt een hoog (6 g.l^{-1}) slibgehalte gehandhaafd, om de slibbelasting zo laag mogelijk te houden.

In 1987 leidde het te hoge drogestofgehalte ($6,5 \text{ g.l}^{-1}$) in de aëratietank tot slibuitspoeling. Het slibgehalte werd daarom verlaagd tot 4 g.l^{-1} . Er ontstond vervolgens na enkele weken licht slib. Dit werd bestreden door ijzeraluminiumsulfaat toe te voegen aan de voorbezinktank ($500\text{-}1000 \text{ kg/dag}$), waardoor naast een betere fosfaatverwijdering ook het rendement van de voorbezinktank sterk toenam. De SVI daalde daarna tot 80 ml.g^{-1} .

Evaluatie

De bezinkeigenschappen van het slib zijn aanmerkelijk verbeterd na de ingebruikneming van de selector. De incidentele groei van type 021N zou misschien voorkomen kunnen worden door het zuurstofgehalte in de selector te verhogen.

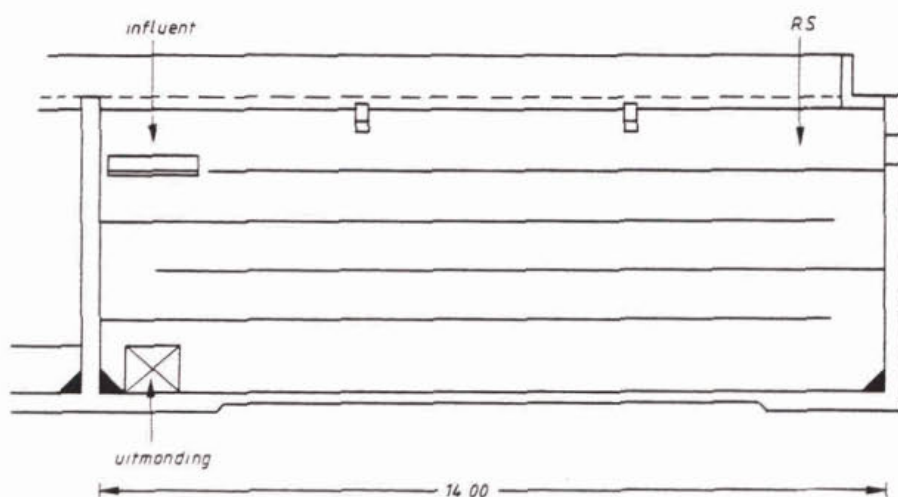
3.7 Rwzi Deventer (25a)

type	:	AS
capaciteit	:	120 000 i.e.
% industrie	:	20 (diversen)
slibbelasting	:	$0,13 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
nitrificatie	:	circa 85% ('s winters onvolledig)
NO_3^- -N in effl.	:	$12,6 \text{ mg.l}^{-1}$ (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking $6,1 \text{ mg.l}^{-1}$)

De beluchtingsruimten van deze rwzi bestaan uit vierkante tanks met puntbeluchters. De SVI varieerde in het verleden van 125 tot 250 à 300 ml.g^{-1} (*M. parvicella* en incidenteel type 021N).

In 1977 werd in één van de vier straten een selector geïnstalleerd (figuur C.4). Deze werd geconstrueerd langs de binnenwand van de beluchtingsruimte. De selector bestaat uit een verticaal doorstroomd labyrinth (→ propstro-

ming). De inhoud wordt niet belucht. De V_T/V_S -verhouding bedraagt 31. Influent en retourslib worden onder dwa-condities gemengd in een verhouding van circa 2:1, hetgeen leidt tot een vlokbelading van ongeveer 45 g BZV.kg ds⁻¹. en een slibbelasting van 4-6 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. De hydraulische verblijftijd in de selector varieert van 2 (rwa) tot 8 (dwa) minuten.



Figuur C.4 Selector in de beluchtingsruimte te Deventer.

De SVI in de straat met de selector daalde vervolgens tot een niveau van $130 \pm 25 \text{ ml.g}^{-1}$ en bleef permanent $30-40 \text{ ml.g}^{-1}$ onder de SVI-waarden van de slibben uit de straten zonder zo'n contactruimte. *M. parvicella* was nog steeds aanwezig, maar in minder grote aantallen dan in de controlestraten (categorie 2 à 3 in plaats van categorie 3 à 4).

In 1982 zijn ook de overige drie straten voorzien van zo'n selector. Slibverliezen vinden nu vrijwel niet meer plaats.

Evaluatie

De ingebruikneming van een anoxische selector heeft geleid tot een duidelijke vermindering van het aantal *M. parvicella* draden en het vrijwel verdwijnen van type 021N.

3.8 Rwzi Dongemond (269)

type	:	AS
capaciteit	:	108 000 i.e.
% industrie	:	50 (diversen)
slibbelasting	:	0,15 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹

nitrificatie : 's winters gering
 NO_3^- -N in effl. : $0-5 \text{ mg.l}^{-1}$ (winter) tot $20-30 \text{ mg.l}^{-1}$ (zomer)

In deze rwzi is het eerste gedeelte van de aëratietank ingericht als selector (figuur C.5).



Figuur C.5 Beluchtingsruimte plus selector in de rwzi Dongemond.

De V_T/V_S -verhouding is 26. De inhoud van de selector wordt belucht; het O_2 -gehalte is echter vrijwel permanent $< 0,5 \text{ mg O}_2.\text{l}^{-1}$. Influent en retourslib worden in een verhouding van gemiddeld 3:5 met elkaar gemengd (dwa-condities). De hydraulische verblijftijd in de selector bedraagt circa 9 minuten. De slibbelasting is circa $2 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$.

De rwzi is sinds 1980 in bedrijf. De eerste vier jaren was de SVI laag (circa 75 ml.g^{-1}). In deze periode was de rwzi nog niet volledig belast. Vanaf 1984 is de belasting door aansluiting van enkele persleidingen met 20% toegenomen, waardoor het huidige niveau van $0,15 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$ werd bereikt. In hetzelfde jaar werd het aantal beluchtingseenheden met 30% gereduceerd om zoveel mogelijk nitraat via denitrificatie te verwijderen. Een en ander beïnvloedde de SVI in eerste instantie niet. In december 1985 steeg de SVI echter door een massale groei van type 021N tot $> 500 \text{ ml.g}^{-1}$. Dit ging gepaard met een sterke stijging van de viscositeit, waardoor men in de neerwaartse spiraal terecht kwam die in paragraaf 3.4 beschreven wordt.

Een verhoging van het zuurstofgehalte ging gepaard met het geleidelijk verminderen van het aantal type 021N draden en het langzaam dalen van de SVI. Het lage, stabiele niveau van voor 1985 (circa 70 ml.g^{-1}) werd echter niet meer bereikt, ondanks het feit dat de hiervoor genoemde reductie van het aantal beluchtingseenheden weer werd opgeheven. De index schommelt de laatste jaren rond een niveau van 140 ml.g^{-1} . Enkele malen per jaar ontstaat licht slib doordat type 021N zich weer massaal ontwikkelt.

De zuurstofvoorziening in het eerste been lijkt een cruciale rol te spelen in deze rwzi. Tot 1985 werd gestuurd op een O_2 -gehalte van 1 mg.l^{-1} aan het einde van het eerste been. Vanaf 1985 is dit gewijzigd. Tijdens perioden met een redelijke SVI (circa 140 ml.g^{-1}) wordt gestuurd op een O_2 -gehalte van $1,5 \text{ mg } O_2.l^{-1}$ halverwege het eerste been. Zodra licht slib ontstaat wordt dit verhoogd tot $3,5 \text{ mg } O_2.l^{-1}$. De draadvormende organismen verdwijnen vervolgens geleidelijk.

Overigens wordt in het tweede been een laag zuurstofgehalte aangehouden, teneinde zoveel mogelijk te denitrificeren. Het zuurstofgehalte in het derde been is daarentegen permanent hoog.

Evaluatie

De oorzaak van de massale groei van type 021N in deze rwzi, die qua vormgeving en slibbelasting in beginsel geschikt lijkt om het ontstaan van licht slib te voorkomen, kan op basis van beschikbare informatie niet volledig worden verklaard.

De volgende factoren kunnen hierbij een rol spelen:

- de licht-slibproblemen zijn begonnen nadat de slibbelasting met 20% werd verhoogd. Dit zou kunnen betekenen dat vanaf 1985 periodiek onvoldoende tijd voor de afbraak van het opgenomen substraat beschikbaar is. Een onvolledige regeneratie van de biosorptiecapaciteit bevordert de groei van draadvormende organismen. Eigenlijk zou regelmatig het ademhalingsniveau van het slib aan het einde van het derde been of van het retourslib gemeten moeten worden om te controleren in welke mate het opgenomen substraat verwerkt is. Deze informatie zou moeten fungeren als basis voor de zuurstofvoorziening in de beluchtingsruimte;
- een laag zuurstofgehalte in 2/3 van de beluchtingsruimte impliceert dat slechts een gedeelte van de aërobe organismen uit de vlok optimaal kan functioneren qua substraatopname en/of substraatverwerking;
- een laag zuurstofgehalte in het eerste been brengt bovendien type 021N in een gunstige concurrentiepositie in dat gedeelte van de rwzi waar nog vrij substraat beschikbaar is. Het is in dit verband opvallend dat een verhoging van het O_2 -gehalte in het eerste been leidt tot het geleidelijk verdwijnen van de draden;
- het is de vraag of de selector ook als zodanig functioneert. Selectie van aërobe micro-organismen, die snel substraat op kunnen nemen, zal volgens de theorie alleen plaatsvinden indien een hoge slibbelasting

in de selector gepaard gaat met duidelijk aërobe condities in deze ruimte.

3.9 Rwzi Duphar (1)

type : AS
capaciteit : 68 000 i.e.
% industrie : 100 (chemisch)
slibbelasting : 0,08-0,14 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹

Het influent van deze industriële rwzi bevat veel lactulose en bereikt de rwzi vaak in een sterk aangerotte toestand (→ veel organische zuren). Het bevat onvoldoende N en P. De dosering van deze nutriënten is gekoppeld aan de zuurstofvraag in de beluchtingsruimte.

Het influent wordt in aan aparte rechthoekige selector, die uit twee compartimenten bestaat, gemengd met het retourslib (figuur C.6). Het mengsel wordt niet belucht. Het retourslib bevat meestal weinig nitraat, zodat het milieu in de selector frequent praktisch anaëroob is. De V_T/V_S -verhouding is 55. De hydraulische verblijftijd in de selector bedraagt 9 minuten.

De SVI van het slib is incidenteel (vaak in het voorjaar) zeer hoog. Dit wordt veroorzaakt door een massale groei van type 021N. De viscositeit van het actiefslib is in zulke perioden aanmerkelijk verhoogd. Zeer hoge SVI-waarden gaan gepaard met een lage asrest (8%) van het slib, hetgeen duidt op een onvolledige mineralisatie. Bij biosorptiemetingen, tijdens een periode met een hoge SVI, werd vastgesteld dat het slib niet in staat was het beschikbare substraat snel op te nemen.

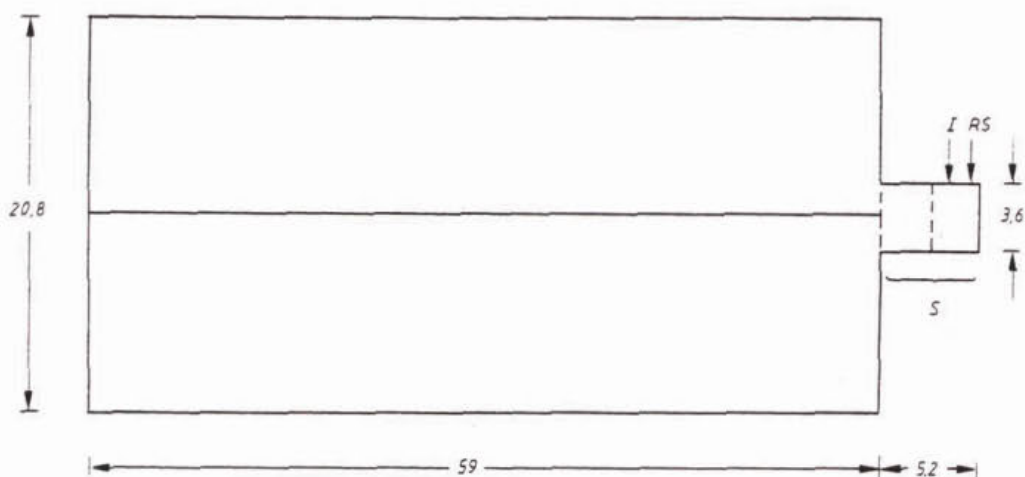
De laatste jaren is vastgesteld dat de sterke ontwikkeling van type 021N kon worden voorkomen door de slibbelasting op een niveau < 0,10 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹ te handhaven.

Evaluatie

In een anaërobe contactruimte met te weinig P en een te korte verblijftijd voor biologische defosfatering werkt het selectormechanisme uiteraard niet. Er mag dus nauwelijks enig effect van de contactruimte op de bezinkeigenschappen van het slib worden verwacht. Het lijkt waarschijnlijker dat het eerste gedeelte van de aëratietank meestal als selector fungeert. Het is in dit verband vrijwel zeker niet toevallig dat een sterke ontwikkeling van

type 021N niet plaatsvindt, indien sprake is van de volgende combinatie van omstandigheden:

- een hoog drogestofgehalte in de aërietank (→ een lage slibbelasting);
- een niet te lage asrest van het slib (→ voldoende afbraak van opgenomen substraat);
- hogere temperaturen gedurende de zomerperiode (→ biomassa actiever, c.q. snellere verwerking van het substraat).



Figuur C.6 Beluchtingsruimte van de rwzi Duphar.
Afmetingen in meters.

Deze factoren, die met elkaar verband houden, zeggen iets over het substraataanbod en/of de verwerking van de voedingsstoffen.

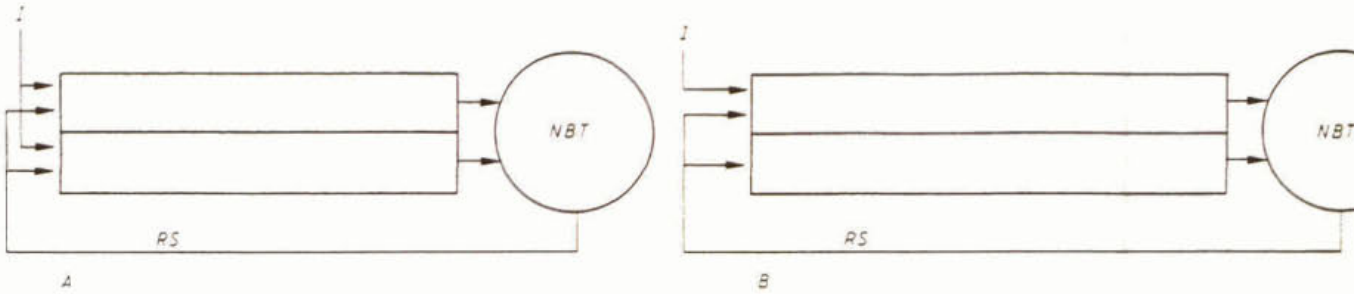
Zolang het slib in staat is het beschikbare substraat al vooraan in de aërietank op te nemen zal type 021N geen kans krijgen zich massaal te ontwikkelen.

3.10 Rwzi Halifax (122)

type : AS
 capaciteit : wordt niet vermeld
 % industrie : aanzienlijk
 slibbelasting : $0,16 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
 nitrificatie : wordt niet vermeld (slibleeftijd: 7,5 dag)

De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit 16 parallelle straten. Per twee straten is één nabezinktank aanwezig. Influent en retourslib werden tot 1981 vooraan in iedere straat toegevoerd (figuur C.7, werkwijze A). Dit leidde, ondanks de langwerpige vorm van de beluchtingsruimten, tot praktisch

chronische licht-slibproblemen. In 1980 was de SVI gedurende 50% van de tijd groter dan 200 ml.g^{-1} .



Figuur C.7 Rwzi Halifax.
 A : oorspronkelijke werkwijze
 B : na procesmodificatie

De bedrijfsvoerder van de rwzi veronderstelde dat het optreden van licht slib mogelijk een gevolg was van een te lage vlokbelading vooraan in de aëratietanks. Teneinde deze te verhogen werd overgeschakeld op een werkwijze waarbij het influent niet meer verdeeld werd over alle straten, maar slechts over de helft (figuur C.7, werkwijze B). De vlokbelading werd hierdoor verhoogd van 74 tot $143 \text{ mg CVZ.g ds}^{-1}$ (35 , respectievelijk $68 \text{ mg BZV.g ds}^{-1}$). In de resterende straten vond dus alleen reëratie van het retourslib plaats. De SVI daalde na deze ingreep aanmerkelijk. De waarde van 200 ml.g^{-1} werd nog slechts incidenteel overschreden. Het aantal draden daalde van categorie 3 à 4 tot categorie 0-1.

Uit een ondersteunend laboratoriumonderzoek werd geconcludeerd dat in deze rwzi een vlokbelading van circa $100 \text{ mg CZV.g ds}^{-1}$ een kritische grens vormde. De draadvormende organismen konden zich alleen ontwikkelen indien de vlokbelading langdurig onder dit niveau lag. Uit dit onderzoek werd tevens geconcludeerd dat bij hogere slibbelastingen van de rwzi ook een hogere vlokbelading in de selector moet worden toegepast om de groei van draadvormende organismen te voorkomen.

Overigens had de procesmodificatie tot gevolg dat de hydraulische verblijftijd van het afvalwater in de aëratietanks gehalveerd werd (tot 4 uur). Dit vergroot de kans dat de BZV-verwijdering daalt tijdens stootbelastingen.

De veel betere bezinkeigenschappen van het slib leidden tot aanmerkelijke besparingen. Dit betrof zowel lagere kosten voor de slibverwerking ($\text{£}67\,000/\text{jaar}$; prijspeil 1981) als het verdwijnen van de noodzaak om extra nabezink-tanks te bouwen.

Evaluatie

De auteurs van deze publicatie schrijven het bereikte effect praktisch volledig toe aan de verhoging van de vlokbelading in de helft van de aëratietanks. De mogelijkheid dat daarnaast het voortdurende reaëren van de helft van het retourslib ook een belangrijke rol heeft gespeeld lijkt echter reëel. Herbeluchting leidt tot een vergroting van de biosorptiecapaciteit hetgeen essentieel is indien men draadvormende bacteriën via het aërobe selectormechanisme wil bestrijden. Informatie over het O_2 -gehalte in het eerste gedeelte van de beluchtingstanks ontbreekt overigens in het artikel.

3.11 Rwzi Hamilton (265)

type	:	AS
capaciteit	:	circa 200 000 i.e.
% industrie	:	circa 50 (papierindustrie)
slibbelasting	:	0,2-0,4 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	volledig
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	wordt niet vermeld

De rwzi omvat drie onderling gescheiden aëratietanks. In één van deze drie straten worden influent en retourslib al sinds de bouw van de rwzi met elkaar gemengd, alvorens ze in de langwerpige beluchtingsruimte worden gebracht. Dit mengen vindt plaats in een toevoerkanaal waarin een beluchtingsstelsel aanwezig is. De hydraulische verblijftijd van het mengsel in dit kanaal varieert van 8 tot 14 minuten. Het slib uit deze straat heeft meestal goede bezinkeigenschappen (SVI = 50-100 ml.g⁻¹; incidenteel 200 à 250 ml.g⁻¹).

In de andere twee straten werden influent en retourslib direct in de rechthoekige beluchtingsruimten gebracht (volledig gemengde systemen). Dit leidde tot een SVI van 250-500 ml.g⁻¹. In het slib waren zeer veel draden aanwezig, vooral *N. limicola*, type 1851, type 0041 en type 0675.

In oktober 1982 is bij deze laatste straten een toevoerkanaal ingericht als selector. De inhoud wordt belucht (zuurstofgehalte: 2-5 mg O_2 .l⁻¹). De investeringen vergden een bedrag van slechts \$3000.-. De hydraulische verblijftijd bedraagt maximaal 4 minuten. De V_T/V_S -verhouding en de vlokbelading worden in de publicatie niet vermeld. Er werd vastgesteld dat tijdens de passage van de selector 25-30% van het opgeloste CZV werd opgenomen door de vlok. Deze opname vond overigens binnen 1 minuut plaats. Het zuurstofver-

bruik hield geen gelijke trend met deze CZV-verwijdering, hetgeen duidt op adsorptie aan de vlok en/of opslag in de cellen.

De SVI daalde in de maanden na de installatie van de selector van circa 350 ml.g^{-1} tot ongeveer 50 ml.g^{-1} . Het duurde 6 à 7 maanden voordat dit niveau werd bereikt.

N. limicola en type 1851 verdwenen praktisch volledig. De overige soorten waren nog wel aanwezig, maar in geringere aantallen als voorheen.

Evaluatie

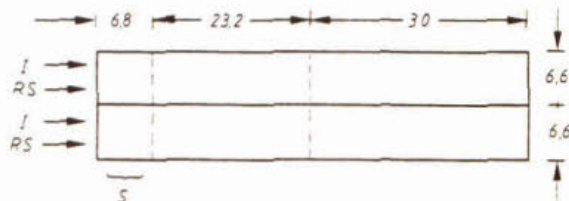
Een opname van maximaal 30% van het opgeloste CZV was in veel andere rwzi's volstrekt ontoereikend om de samenstelling van de slibpopulatie wezenlijk te beïnvloeden. Het is dientengevolge toch niet goed verklaarbaar waarom de SVI in deze rwzi zo sterk daalde na de ingebruikneming van de selector.

3.12 Rwzi Holten (25a)

type	:	AS
capaciteit	:	54 000 i.e.
% industrie	:	75 (slachterij)
slibbelasting	:	$0,033 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$
nitrificatie	:	's winters 75%, 's zomers >90%
NO_3^- -N in effl.	:	15 mg.l^{-1} (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking $8,4 \text{ mg.l}^{-1}$)

De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit 2 langwerpige tanks, die voorzien zijn van bellenbeluchting. Influent en retourslib worden vooraan in de beluchtingsruimte gebracht. In het verleden steeg de SVI, ondanks de langwerpige vorm van de aëratietanks periodiek tot circa 200 ml.g^{-1} (type 021N).

In 1982 werd door het plaatsen van een dwarswand het voorste gedeelte van de beluchtingsruimte omgebouwd tot een selector met volledige menging (figuur C.8).



Figuur C.8 Beluchtingsruimte in de rwzi Holten.
Afmetingen in meters.

De inhoud wordt belucht, maar het zuurstofgehalte is altijd zeer laag ($< 0,5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$). Influent en retourslib worden met elkaar gemengd in een verhouding van 10:3, hetgeen leidt tot een vlokbelading van ongeveer $85 \text{ g BZV} \cdot \text{kg ds}^{-1}$ en een slibbelasting van $1-3 \text{ kg BZV} \cdot \text{kg ds}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$. De V_T/V_S -verhouding bedraagt 8. De hydraulische verblijftijd in de selector varieert van 13 (rwa) tot 17 (dwa) minuten. In de rwzi wordt overigens een hoog slibgehalte ($5,4 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) gehandhaafd, om een zo laag mogelijke slibbelasting te realiseren.

De SVI is sindsdien steeds laag en stabiel ($80 \pm 20 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$). Type 021N is nog wel aanwezig, maar slechts in geringe aantallen.

Evaluatie

De selector lijkt een positief effect te hebben op de bezinkeigenschappen van het slib.

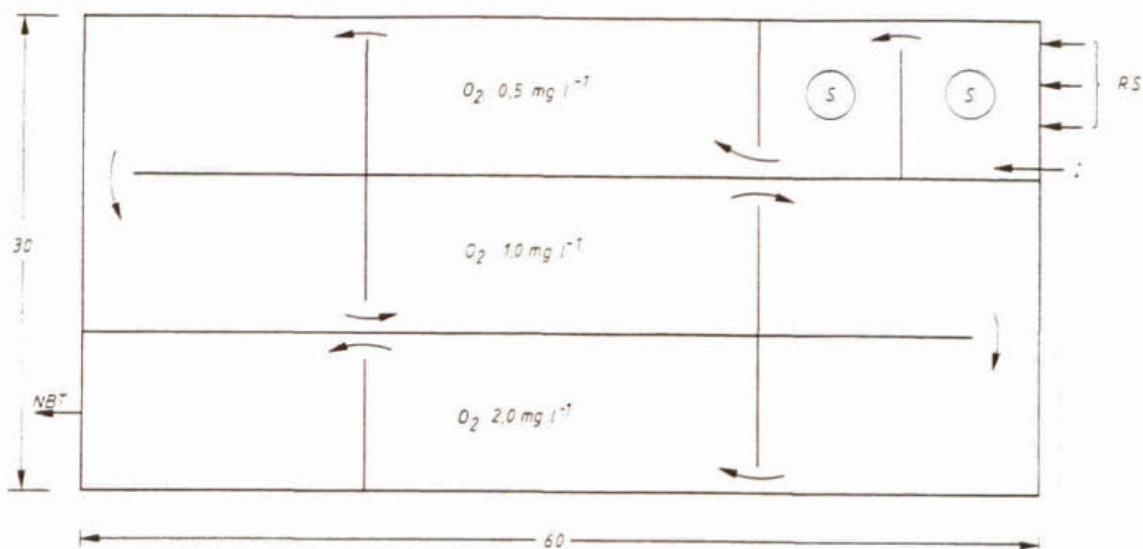
3.13 Rwzi Horstermeer (1)

type	:	AS
capaciteit	:	160 000 i.e.
% industrie	:	25 (diverse bedrijven)
slibbelasting	:	$0,082 \text{ kg BZV} \cdot \text{kg ds}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$
nitrificatie	:	$>90\%$
NO_3^- -N in effl.	:	$20,9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (jaargemiddelde 1986; standaardafwijking $10,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$)

Het voorste gedeelte van de langwerpige beluchtingsruimte is bij de bouw van de rwzi ingericht als selector (figuur C.9). De inhoud van de volledig gemengde selector wordt belucht, maar het O_2 -gehalte is vrijwel permanent $< 0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. De V_T/V_S -verhouding is 8.

De hydraulische verblijftijd in de selector varieert van 4 tot 9 minuten. Het rioolwater dat in deze rwzi wordt behandeld wordt aangevoerd via lange transportleidingen en is dientengevolge sterk aangerot. De slibbelasting in de selector is $1-2 \text{ kg BZV} \cdot \text{kg ds}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$.

De rwzi is in bedrijf sinds 1985. In het voorjaar van 1986 is de SVI door een sterke groei van *M. parvicella* gestegen tot circa $250 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$. In deze periode was het gehalte aan nitraat in het retourslib tijdelijk zeer laag. De SVI is na maart 1986 gedaald tot $50 \text{ à } 100 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$ en is sindsdien praktisch op dit niveau gebleven.



Figuur C.9 Beluchtingsruimte in de rwzi Horstermeer.
Afmetingen in meters.

Evaluatie

De rwzi is nog te kort in bedrijf om de invloed van de aanwezige selectorcompartimenten goed te kunnen beoordelen. Het is wel opvallend dat *M. parvicella* zich in het voorjaar van 1986 massaal kon ontwikkelen. Mogelijk speelde de lage slibbelasting hierbij een rol. Het is echter ook niet uitgesloten dat in deze periode onvoldoende zuurstof (moleculaire O_2 en/of NO_3^- - O) beschikbaar was.

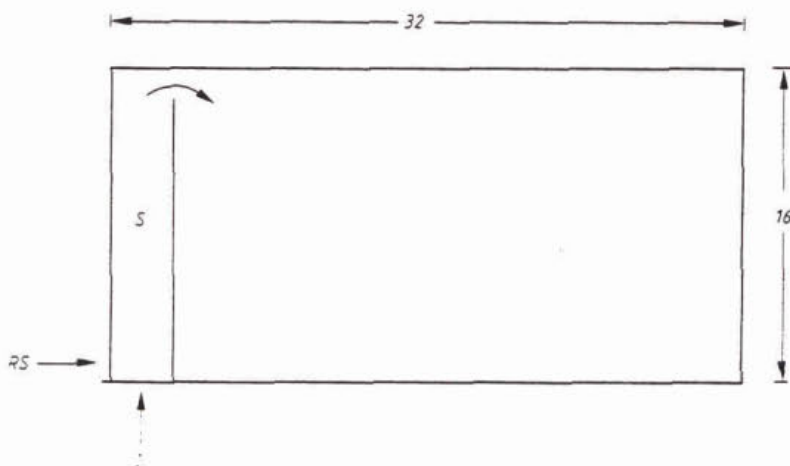
3.14 Rwzi Huizen (1)

type	:	AS
capaciteit	:	80 000 i.e.
% industrie	:	30 (visverwerking)
slibbelasting	:	0,10-0,15 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	alleen 's zomers
NO_3^- -N in effl.	:	12,8 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelde 1986; standaardafwijking 7,8 mg.l ⁻¹)

De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit twee rechthoekige tanks met puntbeluchters. De slibvolumeindex is een groot gedeelte van het jaar 150-200 ml.g⁻¹. Enkele maanden per jaar is de index echter veel hoger (gemiddeld 350 ml.g⁻¹, maximaal circa 500 ml.g⁻¹). Tijdens deze perioden zijn o.a. type 021N, *M. parvicella* en *N. limicola* massaal in het slib aanwezig. Denitrificatie leidt op deze rwzi tot grote drijfslagproblemen op de nabe-

zinktank. De nitrificatie wordt daarom zoveel mogelijk geremd via een laag zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte.

In 1979 is in één van de twee aëratietanks een selector ingebouwd (figuur C.10). De V_T/V_S -verhouding bedroeg 10. De inhoud werd niet belucht. De hydraulische verblijftijd varieerde van 8 tot 15 minuten. De vlokbelading en de slibbelasting waren respectievelijk $30 \text{ g BZV.kg ds}^{-1}$ en $2\text{-}3 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$. De slibbelasting fluctueerde zeer sterk. De biosorptie varieerde van 10-100% (gemiddeld 60%). Bij laboratoriumproeven werd vastgesteld dat beluchten niet leidde tot een grotere biosorptie.



Figuur C.10 Beluchtingsruimte van de rwzi Huizen.
Afmetingen in meters.

Het experiment heeft circa drie jaar geduurd. Helaas waren beide aëratietanks gedurende deze periode door diverse oorzaken langdurig niet echt onderling vergelijkbaar qua slibbelasting, zuurstofvoorziening e.d.

De SVI van het slib uit de straat met de selector was vrijwel steeds lager dan die van het slib uit de andere tank. De selector verhinderde een massale groei van type O21N; de groei van *M. parvicella* en *N. limicola* leek niet beïnvloed te worden door de aanwezigheid van de contactruimte. De SVI was echter periodiek nog steeds te hoog, hoewel extreem hoge waarden niet meer voorkwamen.

Het experiment is na de drie jaren beëindigd.

Evaluatie

Het onvoldoende resultaat kan diverse oorzaken hebben. De periodiek lage slibbelasting in de selector en de grote variaties hiervan zullen de werking van de selector in negatieve zin beïnvloed hebben. Het is eigenlijk opvallend dat type O21N desondanks praktisch verdween uit het slib. Daarnaast zal

het lage O_2 -gehalte in de aëratietank de substraatverwerking vertraagd hebben.

3.15 Rwzi Kampen (25a)

type	:	AS
capaciteit	:	75 000 i.e.
% industrie	:	40 (zuivel)
slibbelasting	:	0,06 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	circa 90%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	21,4 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking 8,2 mg.l ⁻¹)

De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit twee langwerpige tanks (69,5x8,6 m) die voorzien zijn van bellenbeluchting. Influent en retourslib (mengverhouding bij dwa: 1:1) worden vooraan in deze tanks gebracht. De vlokbelading bedraagt circa 25 g BZV.kg ds⁻¹, de slibbelasting 3 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹.

De rwzi is in bedrijf sinds 1980. De SVI was de eerste jaren, op een enkele uitzondering na, vrijwel steeds < 100 ml.g⁻¹. Desondanks werd, mede gelet op de positieve ervaringen met een selector in andere rwzi's, in 1982 het voorste gedeelte van de aëratietanks ingericht als selectorruimte door een extra dwarswand te plaatsen (figuur C.11). De V_T/V_S -verhouding bedraagt 25. De inhoud van de selector wordt belucht, maar het zuurstofgehalte is vrijwel permanent < 0,5 mg.l⁻¹. De hydraulische verblijftijd in de selector varieert van 3,9 (rwa) tot 5,3 (dwa) minuten.

De SVI is steeds laag en stabiel (70±20 ml.g⁻¹).

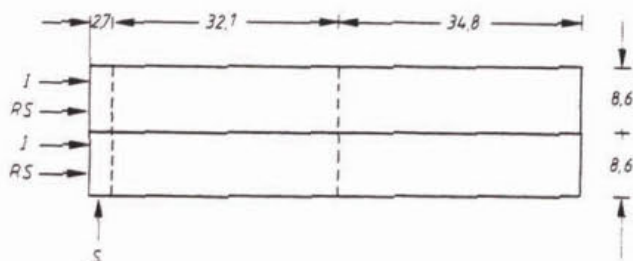
Evaluatie

De SVI is voortdurend laag geweest, ook in de jaren toen nog geen selector aanwezig was. Dit betekent dat het effect van deze contactruimte niet goed aangegeven kan worden. Een groot percentage zuivelafvalwater vergroot de kans op het ontstaan van licht slib echter aanmerkelijk.

3.16 Rwzi Katwoude (1)

type	:	AS
capaciteit	:	50 000 i.e.
% industrie	:	30

slibbelasting
 nitrificatie } worden niet vermeld
 NO₃⁻-N in effl.



Figuur C.11 Beluchtingsruimte van de rwzi Kampen.
 Afmetingen in meters.

In deze rwzi worden influent en retourslib vooraan in de uitgesproken langwerpige beluchtingsruimte gebracht. Desondanks was de SVI in 1981 veel te hoog. Een massale groei van type 021N (categorie 4) leidde tot een SVI = 400 ml.g⁻¹.

Er werd vastgesteld dat dit waarschijnlijk een gevolg was van de te lage vlokbelading in het voorste gedeelte van de aëratietank. Door het zeer grote retour-slibdebiet (circa 2,5x ϕ influent) bedroeg deze vlokbelading slechts 14 g CZV.kg ds⁻¹.

Bij wijze van experiment werd overgeschakeld op een bedrijfsvoering waarbij het influent niet continu maar stootsgewijs in de beluchtingsruimte werd gebracht. Het influent werd hiertoe gebufferd in het rioolstelsel. De vlokbelading steeg hierdoor tot 260 g CZV.kg ds⁻¹. Type 021N verdween binnen één week en de SVI daalde aanmerkelijk. Overigens had deze werkwijze tevens tot gevolg dat tijdens de perioden zonder influenttoevoer uitsluitend reaëratie van het retourslib plaatsvond.

Dit bevordert de werking van het selectormechanisme.

Evaluatie

Het voorafgaande illustreert dat de toepassing van deze wijze van licht-slibbestrijden niet altijd gepaard hoeft te gaan met extra bouwkundige voorzieningen.

3.17 Rwzi Leopoldsdorf (128)

type : AS
 capaciteit : circa 400 000 i.e. (15 t BZV.dag⁻¹)*
 % industrie : 100 (suikerfabriek)

slibbelasting : circa $0,25 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$

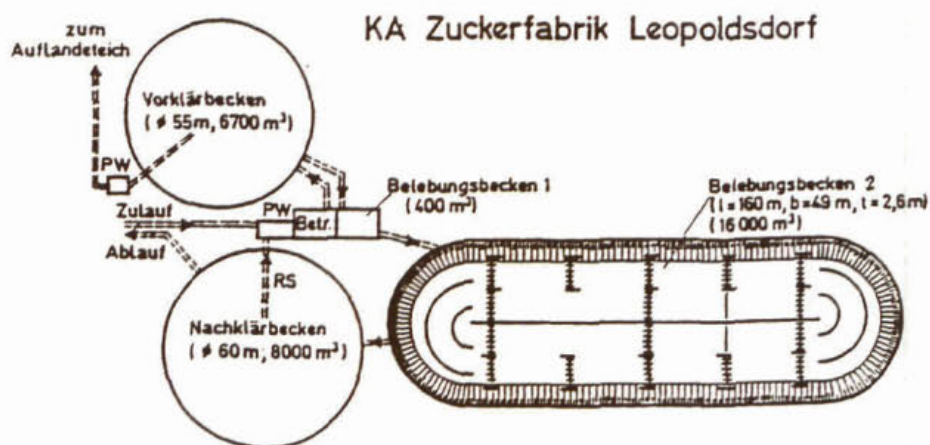
nitrificatie : vrijwel nihil

* afloop voorbezinktank.

Voorafgaand aan de bouw van deze rwzi werd rond 1973 een uitvoerig vooronderzoek uitgevoerd. Hierbij werd vastgesteld dat het ontstaan van licht slib (*S. natans*) waarschijnlijk kon worden voorkomen door toepassing van een aërobe selector. Daarnaast dienden N en P te worden toegevoegd aan dit industriële afvalwater.

De rwzi (figuur C.12) is sinds 1975 in bedrijf. Influent en retourslib worden gemengd in een aparte, beluchte tank met een inhoud van 400 m^3 . De V_T/V_S -verhouding bedraagt 40. De hydraulische verblijftijd in de selector is circa 10 minuten. De vlokbelading is ongeveer $30 \text{ g BZV.kg ds}^{-1}$, de slibbelasting $7,5 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$. Deze procesvoering heeft geleid tot een lage, stabiele SVI ($< 50 \text{ ml.g}^{-1}$).

Bij balansstudies werd vastgesteld dat ruim 70% van het aangevoerde BZV al in de selector werd opgenomen door de vlok. Het zuurstofverbruik correspondeerde echter niet met deze reductie van 70%, hetgeen betekende dat het opgenomen substraat voor een belangrijk gedeelte pas in de eigenlijke beluchtingsruimte werd afgebroken. Er is dus sprake van een ruimtelijke scheiding van voedselopname en verdere verwerking hiervan.



Figuur C.12 Rwzi Leopoldsdorf.

Evaluatie

De behandeling van afvalwater van suikerfabrieken gaat frequent gepaard met

licht-slibproblemen. De installatie van een aërobe selector heeft op deze rwzi geleid tot een slib met goede bezinkeigenschappen.

3.18 Rwzi Molsheim (183)

type : AS
capaciteit : 70 000 i.e.
% industrie : 60 (brouwerij)
slibbelasting : circa 0,15 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹
nitrificatie : wordt niet vermeld

De SVI van het slib in deze rwzi was in het verleden permanent hoog (200-500 ml.g⁻¹), door de sterke groei van type 0092. Er werd overwogen een tweede nabezinktank te bouwen, teneinde de slibverliezen drastisch te reduceren.

In november 1982 werd een beluchte zandvang ingericht als contactruimte. De V_T/V_S -verhouding is ruim 31. De inhoud wordt belucht, het zuurstofgehalte van het mengsel wordt echter niet door de auteur vermeld. De vlokbelading bedraagt maximaal 150 g CZV.kg ds⁻¹. De slibbelasting is 5-7 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. De verblijftijd in de selector varieert van 15 tot 30 minuten. De selector is alleen tussen 05.30 en 21.00 uur als zodanig in bedrijf.

De SVI is in de maand volgend op de inbedrijfneming van de selector snel gedaald van 500 naar 200 ml.g⁻¹. In de daaropvolgende maanden daalde de index verder tot een waarde < 100 ml.g⁻¹. Het aantal type 0092 draden werd drastisch gereduceerd. Het asgehalte van het slib steeg geleidelijk van 20% tot 37%. Dit draagt ongetwijfeld ook bij tot de huidige lage en stabiele SVI. Er werd na verloop van tijd vastgesteld dat de biosorptie door het slib groter was dan tijdens de start van het experiment. Dit duidt op een verschuiving binnen de vlokpopulatie.

Het gunstige verloop van het experiment had tot gevolg dat de bouw van een tweede nabezinktank niet langer noodzakelijk was. De investeringen voor de selector waren klein (< F 5000,-). Bovendien leiden de aanmerkelijk betere slibindikking en -ontwatering tot aanzienlijke besparingen. Het slibgistingproces verliep na de verlaging van de SVI ook veel beter (hogere gasproductie).

Evaluatie

De toepassing van het selectormechanisme heeft in deze rwzi geleid tot een

aanmerkelijke verbetering van de bezinkeigenschappen van het actiefslib. Dit experiment is vooral ook belangwekkend omdat de licht-slibproblemen veroorzaakt werden door type 0092. Er zijn nauwelijks andere voorbeelden bekend van rwzi's waarin men de groei van type 0092 probeerde te bestrijden door de introductie van een selector.

3.19 Rwzi Raalte (25a)

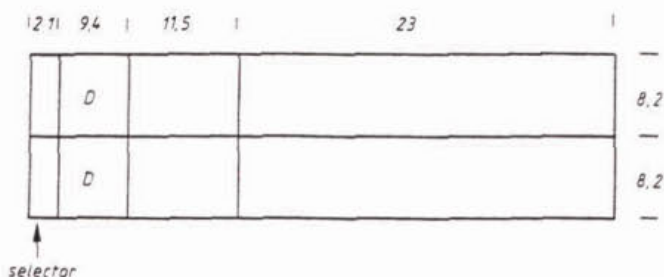
type	:	AS
capaciteit	:	51 000 i.e.
% industrie	:	40 (zuivel, slachterij)
slibbelasting	:	0,10 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	70-80% ('s winters lager)
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	11,6 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelde 1985; standaardafwijking 4,8 mg.l ⁻¹)

De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit 2 langwerpige tanks (lengte 46 m, breedte 8,2 m) die voorzien zijn van bellenbeluchting. De rwzi is sinds 1977 in bedrijf. De eerste jaren na de inbedrijfstelling was de BZV-belasting aanmerkelijk kleiner dan de ontwerpcapaciteit (circa 20 000 i.e. in plaats van 51 000 i.e.). Het aangevoerde rioolwater was in deze periode sterk verdund, omdat veel bronneringswater op het rioolstelsel werd geloosd. Dit ging gepaard met zeer hoge SVI-waarden door een massale groei van type 021N. Er werd vastgesteld dat de SVI aanmerkelijk daalde indien influent en retourslib in een aparte tank met elkaar gemengd werden.

In 1982 werd de beluchtingsruimte door het plaatsen van enkele dwarswanden in compartimenten verdeeld (figuur C.13). Het eerste compartiment fungeert als selectorruimte. Influent en retourslib worden gemengd in een verhouding van 2:1 (dwa-condities), hetgeen leidt tot een vlokbelading van circa 25 g BZV.kg ds⁻¹. De slibbelasting bedraagt 1,5-3 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. De V_T/V_S -verhouding bedraagt 21 indien de denitrificatieruimte, die alleen 's zomers als zodanig functioneert, tot de aëratietank gerekend wordt en 3 indien deze ruimte als extra selector wordt beschouwd.

De inhoud van de selector wordt belucht, maar het zuurstofgehalte is vrijwel permanent < 0,5 mg.l⁻¹. De hydraulische verblijftijd in de selector varieert van 4 (rwa) tot 12 (dwa) minuten.

In het tweede compartiment wordt het zuurstofgehalte 's zomers zo laag mogelijk gehouden, teneinde een gedeelte van het aanwezige nitraat via denitrificatie te verwijderen.



Figuur C.13 Beluchtingsruimte van de rwzi Raalte.
 Afmetingen in meters. D = Denitrificatie (alleen 's zomers).

Deze maatregelen hebben geresulteerd in een SVI die sinds 1982 laag en stabiel is ($80 \pm 20 \text{ ml.g}^{-1}$).

Evaluatie

Rwzi's waarvan een belangrijk gedeelte van het influent afkomstig is van zuivelfabrieken en/of slachterijen hebben vaak te kampen met hoge SVI-waarden. Een sterk verdund influent betekent dat nauwelijks sprake zal zijn van een substraatgradiënt in de beluchtingsruimte. Ook dit bevordert de kans op het ontstaan van licht slib. De hoge SVI-waarden in het verleden lijken dus in overeenstemming te zijn met de theorie.

De bezinkeigenschappen van het slib zijn aanmerkelijk verbeterd nadat de beluchtingsruimte in compartimenten is verdeeld. In de winterperiode fungeert alleen het eerste compartiment als selectorruimte. Het zuurstofgehalte in deze ruimte is zo laag dat het milieu eerder anoxisch dan aëroob genoemd mag worden. Gedurende de zomermaanden wordt het selectorvolume in feite aanmerkelijk vergroot, omdat dan in het tweede compartiment denitrificatie wordt nagestreefd. Deze bedrijfsvoering heeft geleid tot een slib met goede bezinkeigenschappen.

3.20 Rwzi Tiel (1)

type	:	AS
capaciteit	:	65 000 i.e.
% industrie	:	circa 30 (conserven en andere bedrijven)
slibbelasting	:	0,10-0,15 kg BZV.kg ds ⁻¹ .dag ⁻¹
nitrificatie	:	circa 70%
NO ₃ ⁻ -N in effl.	:	4-6 mg.l ⁻¹ (jaargemiddelden 1983-1986)

De rwzi Tiel is sinds 1983 in bedrijf. De beluchtingsruimte bestaat uit tweemaal vier in serie geschakelde compartimenten. Het eerste compartiment (inhoud: 260 m³, rechthoekig) fungeert als selector. De V_T/V_S -verhouding is circa 11. De inhoud van de contactruimte wordt belucht, maar het zuurstofgehalte is praktisch altijd zeer laag ($< 0,5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$). Onder dwa-condities is de verblijftijd in de selector 15 minuten. De vlokbelading bedraagt 10-40 g BZV.kg ds⁻¹, de slibbelasting circa 2 kg BZV.kg ds⁻¹.dag⁻¹. Het influent van de rwzi is meestal sterk aangerot. Het wordt met het retourslib gemengd, voordat het in de selector komt.

De eerste anderhalf jaar heeft de rwzi zonder problemen gefunctioneerd. De SVI was in deze periode gemiddeld 70 ml.g⁻¹. In oktober 1984 steeg de index door de sterke groei van type 021N tot een waarde $>> 400 \text{ ml.g}^{-1}$. De viscositeit van het slib/watermengsel nam hierdoor sterk toe.

De SVI is hoog gebleven tot juli 1985. In de tussenliggende periode is op diverse wijzen geprobeerd het licht slib te bestrijden. Het effect van de meeste maatregelen was beperkt. In juni 1985 werd het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte verhoogd van 0,5-1,5 mg O₂.l⁻¹ tot 1-1,5 mg O₂.l⁻¹. Gelijktijdig werd de effluentrecirculatie opgevoerd. Circa één maand later nam het aantal type 021N-draden drastisch af. De SVI daalde tot een waarde $< 100 \text{ ml.g}^{-1}$. Het O₂-gehalte is daarna weer tot het uitgangsniveau teruggebracht. Type 021N heeft zich sindsdien nog enkele malen massaal kunnen ontwikkelen. De bacterie is echter steeds weer verdwenen nadat het zuurstofgehalte werd verhoogd.

Evaluatie

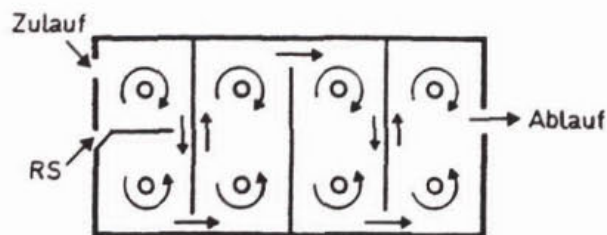
De gang van zaken op deze rwzi lijkt sterk op die in de rwzi Dongemond. In beide rwzi's lijkt het licht slib vooral veroorzaakt te worden door een te laag zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte. Het selectormechanisme kan daardoor niet goed functioneren.

3.21 Diverse rwzi's

In een aantal publicaties wordt summier ingegaan op de mogelijkheden om licht slib te bestrijden via het mengen van influent en (retour)slib.

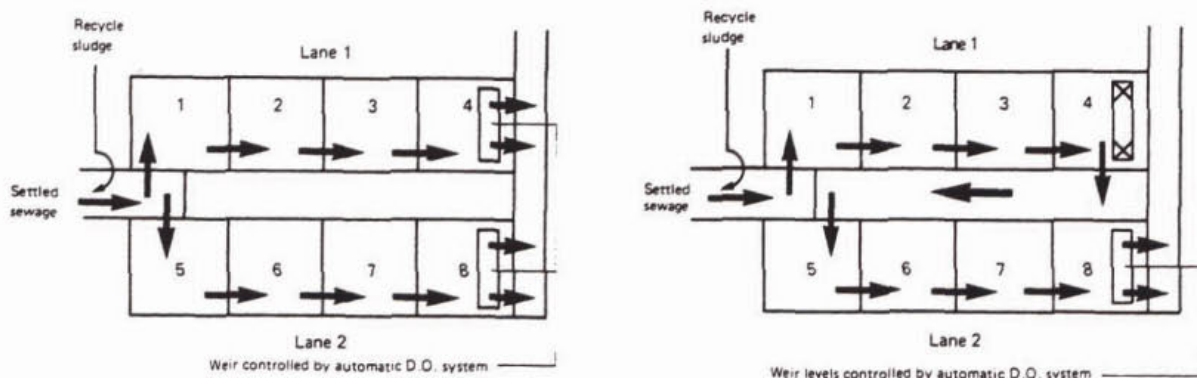
In de rwzi Wien-Simmering ($2,2 \cdot 10^6$ i.e.) is in de aëratietanks sprake van een propstroming (figuur C.14). Desondanks moet vrijwel permanent FeSO₄.7H₂O gedoseerd worden om het ontstaan van licht slib te voorkomen (129, 147). De

slibbelasting van de rwzi is $0,6 \text{ kg BZV.kg ds}^{-1}.\text{dag}^{-1}$. Er is vastgesteld dat de biosorptiecapaciteit van het slib laag is. Het CZV-niveau van het effluent wordt pas in het derde compartiment bereikt, hetgeen betekent dat de beschikbare voedingsstoffen traag worden opgenomen. Overigens zou naast de relatief hoge belasting ook zuurstoflimitatie een rol kunnen spelen. Tijdens de daguren komt het O_2 -gehalte pas na de vierde rotor boven $0 \text{ mg O}_2.\text{l}^{-1}$.



Figuur C.14 Aëratietank in de rwzi Wien-Simmering.

De beluchtingsruimte van de rwzi Blackwell Hams (111) bestond oorspronkelijk uit twee parallelle straten (figuur C.15). Het slib bezonk in het voorjaar van 1980 slecht.



Figuur C.15 Beluchtingsruimte van de rwzi Blackwell Hams
 A : 2 straten parallel
 B : 2 straten in serie

De belasting van de rwzi was in deze periode slechts 50% van de ontwerpcapaciteit. De beschikbare OC in de diverse compartimenten was daardoor aanmerkelijk groter dan nodig was voor de behandeling van het afvalwater. Het was diensgevolge mogelijk over te schakelen op een bedrijfsvoering waarbij

beide straten in serie geschakeld werden (modificatie B), zonder dat dit leidde tot zuurstofloze compartimenten. De bezinkeigenschappen verbeterden in de daaropvolgende maanden (circa 5x de slibleeftijd) aanmerkelijk.

De serieschakeling versterkte het propstromingskarakter van de beluchtingsruimte.

Op de Thingley rwzi leidde de ingebruikneming van een anoxisch eerste compartiment, dat primair bedoeld was voor denitrificatie, tot een daling van de SVI (182). De hydraulische verblijftijd in dit compartiment bedroeg ongeveer één uur.

Een vergelijkbaar effect werd vastgesteld in een carrousel, nadat de influenttoevoer verlegd was naar een anoxische zone in de beluchtingsruimte (184). De verblijftijd in deze anoxische zone bedroeg circa 5 minuten. In dezelfde rwzi was reeds eerder vastgesteld dat het toevoeren van het influent op twee plaatsen in de beluchtingsruimte tot hogere SVI-waarden leidde dan wanneer het influent op een punt werd toegevoerd (120).

