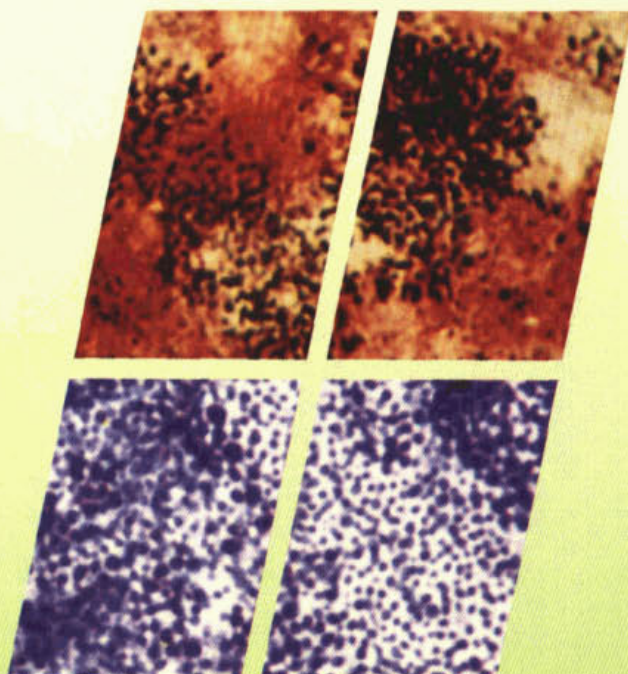


# invloed van P- en N-verwijdering op de bezinkeigenschappen van actief slib



# Invloed van P- en N-verwijdering op de bezinkeigenschappen van actief 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.

Programma PN-1992

**stowa**

## INHOUD

|                                                                                       | blz.                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| TEN GELEIDE                                                                           | 3                                 |
| SAMENVATTING                                                                          | 4                                 |
| SUMMARY                                                                               | 5                                 |
| 1 INLEIDING                                                                           | 6                                 |
| 2 METHODEN VOOR N- EN P-VERWIJDERING                                                  | 9                                 |
| 2.1 Stikstofverbindingen                                                              | 9                                 |
| 2.2 Fosfaat                                                                           | 10                                |
| 2.3 Geïntegreerde systemen                                                            | 12                                |
| 3 VERBANDEN TUSSEN N- EN P-VERWIJDERING EN DE LICHT-SLIB PROBLEMATIEK                 | 13                                |
| 3.1 Oorzaken van licht slib                                                           | 13                                |
| 3.2 Bestrijden van licht slib                                                         | 13                                |
| 3.3 Verwachtingen bij de introductie van N- en/of P-verwijdering                      | 15                                |
| 4 SLIBBEZINKEIGENSCHAPPEN IN PRAKTIJK-RWZI'S MET NUTRIËNTENVERWIJDERING               | 18                                |
| 4.1 Preprecipitatie en simultane, chemische defosfatering                             | 18                                |
| 4.2 Bezinkeigenschappen van het slib in rwzi's met biologische nutriëntenverwijdering | 19                                |
| 4.2.1 Slibvolume-indices en draadvormende organismen                                  | 20                                |
| 4.2.2 Rwzi's met voordennitrificatie                                                  | 24                                |
| 4.2.2 Voordennitrificatie plus fosfaatverwijdering via hoofdstroomproces              | 25                                |
| 4.2.3 Simultane denitrificatie                                                        | 26                                |
| 4.2.4 Simultane denitrificatie plus fosfaatverwijdering via het hoofdstroomproces     | 27                                |
| 4.2.5 Intermitterend beluchten                                                        | 27                                |
| 4.2.6 Alternierend beluchten                                                          | 28                                |
| 5 SLIBBEZINKEIGENSCHAPPEN IN PROEFINSTALLATIES                                        | 29                                |
| 6 EVALUATIE EN CONCLUSIES                                                             | 32                                |
| 7 REFERENTIES                                                                         | 37                                |
| BIJLAGE A:                                                                            | Experimenten op praktijkschaal    |
| BIJLAGE B:                                                                            | Experimenten in proefinstallaties |

## Ten geleide

In 1990 werd het STORA-onderzoek naar de verwijdering van fosfaat en stikstof op rioolwaterzuiveringsinrichtingen geïntensiveerd en versneld. Doel van het speciaal hierop gerichte spoedprogramma "PN 1992" - dat van de zuiverende waterkwaliteitsbeheerders een extra onderzoeksinspanning van zeven miljoen gulden in drie jaar vraagt - is het elimineren van onzekerheden en knelpunten in de thans operationele methoden en technieken. Dit om de zuiverende deelnemers in de STOWA tijdig een voldoende beproefd instrumentarium te bieden om te kunnen voldoen aan de effluenteisen voor die stoffen in 1995 en later.

In dit kader werd een verkennende studie uitgevoerd naar de invloed van de introductie van stikstof- en fosforverwijderingstechnologieën op de bezinkeigenschappen van actiefslib. Daarbij is gebruik gemaakt van de resultaten van experimenten op het gebied van fosfor- en stikstofverwijdering in 28 praktijkinstallaties en 13 proefinstallaties.

Als belangrijk punt komt naar voren dat de toepassing van biologische methoden voor de verwijdering van deze nutriënten de kans op het ontstaan van licht slib in sterke mate vergroot.

Het onderzoek werd door het algemeen bestuur van de STOWA - op voorstel van de Stuurgroep PNS 1992\* - opgedragen aan het Instituut voor Milieuwetenschappen TNO (projectleider ir. D.H. Eikelboom) en namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. A.E. van Giffen (voorzitter), ing. F.A. Brandse, ir. P. de Jong, ir. J. Kruit en ir. P.C. Stamperius.

Utrecht, augustus 1993

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

\* De Stuurgroep PNs 1992 die tot dit project adviseerde, bestond uit:

ir. R. den Engelse (voorzitter), ir. J. Boschloo, ir. C. Kerstens, ir. K.F. de Korte, ir. T. Meijer, ir. P.C. Stamperius, alsmede ir. A.H. Dirkzwager voor de coördinatie met het programma RWZI - 2000. Als technisch secretaris treedt op ir. P. de Jong van Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs.

## SAMENVATTING

Een verkennende studie werd uitgevoerd naar de invloed van de introductie van stikstof- en/of fosforverwijderingstechnologiën op de bezinkeigenschappen van actiefslib. De studie is gebaseerd op de resultaten van experimenten in 28 praktijkinstallaties en 13 proefinstallaties. Bij deze experimenten werden de volgende methoden voor nutriëntenverwijdering toegepast:

- chemisch : pre-precipitatie en simultane precipitatie;
- biologisch : voordennitrificatie en simultane denitrificatie, intermitterend en alternerend beluchten, fosfaatverwijdering via de waterlijn en de sliblijn. Op diverse installaties werden geïntegreerde methoden toegepast (Bio-denipho, UCT, Pho-redox);
- gecombineerde biologische-chemische methoden.

Zoals verwacht ging fosfaatverwijdering via chemische precipitatie meestal gepaard met goed bezinkbaar slib. De toepassing van biologische methoden leidde echter bij 60% van de proeven op praktijkschaal tot een stijging van de index. In 16 van de 25 rwzi's (= 64%) ontstond licht slib. Ook bij veel van de experimenten in proefinstallaties leidde de sterke groei van draadvormende bacteriën tot licht slib. Dit fenomeen vormt dus een forse bedreiging voor de haalbaarheid van de (toekomstige) effluenteisen inzake N en P.

In de meeste installaties was sprake van een zeer duidelijk seizoenseffect op de slibvolume-index. Tijdens de zomermaanden was de SVI laag, in de herfst begon deze geleidelijk te stijgen en de hoogste waarden werden in de periode maart/april bereikt. Daarna daalde de index weer. Dit patroon wordt veroorzaakt door de seizoensgebonden ontwikkeling van de draadvormende bacterie *M. parvicella*. Deze draadvormer was tijdens de wintermaanden in praktisch alle installaties met licht slib dominant aanwezig in de slibpopulatie. Incidenteel werden ook andere soorten waargenomen (de typen 1851, 0041, 0092 en 021N en actinomyceten).

Een goede verklaring voor de grote kans op het ontstaan van licht slib in installaties met nutriëntenverwijdering ontbreekt vooralsnog. In de evaluatie worden enkele hypothesen genoemd. De beschikbare informatie over de toepassingen van selectoren voor de bestrijding van licht slib in rwzi's met nutriëntenverwijdering is niet consistent. Uiteindelijk wordt geconcludeerd dat de ontwikkeling van methoden voor het bestrijden van *M. parvicella* noodzakelijk is.

## SUMMARY

The effect of the introduction of nitrogen and/or phosphorous removal technologies on the settling characteristics of activated sludge has been investigated. The study is based on experimental results in the 28 full scale and 13 pilot plants. The following methods for nutrient removal were applied.

- chemical methods : pre-precipitation and simultaneous precipitation;
- biological methods : pre-denitrification and simultaneous denitrification, intermittently and alternating aeration, phosphate removal by main stream and side stream processes. In some plants integrated technologies were applied (Biodenipho, UCT, Pho-redox);
- combined biological/chemical methods.

As expected, good settling properties were usually obtained by the application of chemical precipitation for phosphate removal. The application of biological methods, however, resulted in an increase of the sludge volume index (SVI) in 60% of the full scale plants. In 64% of the full scale plants the SVI exceeded the level of 150 ml/g. In many experiments in pilot plants, the proliferation of filamentous bacteria also resulted in bulking of the activated sludge. So this phenomenon will seriously threaten the feasibility of the (future) discharge limits for N and P.

In most plants the SVI showed a very distinct seasonal rythm. In the summer the index was low, during the autumn the SVI gradually increased and the highest level was reached in winter/early spring. Afterwards the SVI decreased again. This pattern is caused by the development of the population size of the filamentous bacterium *M. parvicella* throughout the year. In wintertime, this species was predominating the sludge population in almost all plants with bulking sludge. Other filamentous species were just incidentally observed (the Types 1851, 0041, 0092 and 021N and actynomyces).

The excessive growth of filamentous bacteria in many nutrient removal plants cannot be explained. In the literature some theories are postulated but none of these have been proved so far. Conflicting evidence is available for controlling *M. parvicella* with selectors. So, it is concluded that the development of control strategies for *M. parvicella* must have a high priority in wastewater research.

## 1 INLEIDING

Teneinde de emissie van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater en de Noordzee te reduceren zijn internationale afspraken gemaakt inzake limietconcentraties van deze elementen in effluenten van rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's). Deze grenswaarden zijn vermeld in de tabellen 1 en 2.

**Tabel 1.** Maximale fosforconcentraties in effluenten en data van inwerkingtreding.

| Grootte rwzi            | Grenswaarde (mg P/l) | Nieuwe rwzi's | Bestaande rwzi's |
|-------------------------|----------------------|---------------|------------------|
| > 100.000 i.e. 1)       | 1                    | 1-7-1990      | 1-1-1995         |
| 20.000 t/m 100.000 i.e. | 2                    | 1-7-1990      | 1-1-1995         |
| < 20.000 i.e.           | 2                    | 1-1-1995      | 1-1-1995         |

1) i.e. = inwoner equivalent

**Tabel 2.** Maximale stikstofconcentraties in effluenten en data van inwerkingtreding.

| Grootte rwzi  | Grenswaarde (mg N/l) | Nieuwe rwzi's | Bestaande rwzi's |
|---------------|----------------------|---------------|------------------|
| ≥ 20.000 i.e. | 10                   | 1-1-1992      | 1-1-1998         |
| < 20.000 i.e. | 15                   | 1-1-1992      | 1-1-1998         |

De huidige effluentkwaliteit van veel rwzi's voldoet niet aan de toekomstige eisen. De Nederlandse waterkwaliteitbeheerders hebben daarom een onderzoekprogramma gestart, gericht op het ontwikkelen van procesvoeringen waarmee wel aan de gestelde effluenteisen voldaan kan worden.

Gelet op de ervaringen in het buitenland vormt licht slib een ernstige bedreiging voor de haalbaarheid van de toekomstige effluenteisen voor stikstof en fosfor. Licht slib kan onder andere leiden tot uitspoeling van biomassa. Iedere mg zwevend stof extra correspondeert globaal met 0,025 mg P en 0,05-0,08 mg N. Bovendien neemt bij licht slib de kans toe dat gebonden fosfaat weer in oplossing gaat in de nabezinktank [11]. Tenslotte impliceert het volumineuze licht slib de noodzaak van grotere tanks bij defosfateren in de sliblijn. Dit risico kan met de volgende citaten geïllustreerd worden:

- Blackbeard *et al.*, Zuid-Afrika [2]: “extended aeration and nutrient removal plants appear to be particularly prone to bulking and foaming”.
- Kristensen *et al.*, Denemarken [12]: “from the screening (40 nutrient removal plants) it was evident that filamentous bulking will be a severe challenge to plant operators in the near future”.
- Janssen en Rensink, Nederland [11]: “de noodzaak voor een goede beheersing van de slibindex is hiermee aangegeven”.

Bij de in Nederland in uitvoering zijnde experimenten werd in eerste instantie weinig aandacht geschonken aan de mogelijkheid dat de introductie van N- en/of P-verwijderingstechnologiën tevens de groei van draadvormende micro-organismen, c.q. het ontstaan van licht slib kan stimuleren. Om deze reden is de onderhavige studie uitgevoerd waarbij de volgende aspecten aan de orde komen:

- a. een inventarisatie van de voor N-/P-verwijdering in Nederland toegepaste methoden (hoofdstuk 2);
- b. het aangeven van het mogelijke effect van deze methoden (procescondities) op de groei van draadvormende micro-organismen (hoofdstuk 3);
- c. onderzoek naar de ontwikkeling van de actief-slibkwaliteit bij (praktijk)experimenten (hoofdstukken 4 en 5). Het uitvoeren van microscopisch slibonderzoek vormde een onderdeel van deze inventarisatie;
- d. een evaluatie van de verzamelde informatie (hoofdstuk 6). Hierbij diende met name aandacht te worden geschonken aan de volgende aspecten:
  - zijn de bezinkeigenschappen van de actief-slibben beïnvloed door de getroffen maatregelen;
  - een vergelijking van de verwachte (zie b.) en de feitelijke ontwikkeling van de populatieomvang van draadvormende bacteriën;
  - het effect van een sterke groei van draadvormende bacteriën op de nagestreefde P- en N-verwijdering.

Het vergelijken van de Nederlandse ervaringen met die uit andere landen en het aandragen van mogelijke oplossingen voor gesignaleerde problemen waren niet in de opdracht opgenomen. Deze aspecten blijven in de onderhavige rapportage dus grotendeels buiten beschouwing.

## 2 METHODEN VOOR N- EN P-VERWIJDERING

Voor een gedetailleerde beschrijving van de microbiologische, de chemische en de technologische achtergronden van de in Nederland toegepaste methoden wordt verwezen naar de desbetreffende handboeken [11, 24, 26]. In dit hoofdstuk wordt volstaan met een beschrijving van de voor de vraagstelling relevante aspecten.

### 2.1 Stikstofverbindingen

Stikstofverbindingen bereiken de rwzi in een gereduceerde vorm, met name als ammonium. De verwijdering uit de waterfase verloopt veelal via een combinatie van twee microbiologische processen: nitrificatie ( $\rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ ), gevolgd door denitrificatie ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$ ). De eerstgenoemde stap vereist de aanwezigheid van zuurstof, de omzetting tot stikstofgas verloopt onder anoxische omstandigheden. De denitrificatiesnelheid wordt onder andere bepaald door de mate waarin electronendonoren beschikbaar zijn. Dit betekent dat deze omzetting sneller verloopt indien in of buiten de bacteriecellen nog niet verwerkt substraat aanwezig is.

Bij de toepassingsvormen van deze processen in rwzi's kunnen twee hoofdgroepen worden onderscheiden:

- A. Systemen waarbij door de recirculatie van nitraathoudend actiefslib de concentraties van de aanwezige verbindingen voortdurend genivelleerd worden.
  - A.1 *Voordenitrificatie*. Er zijn aparte tanks voor nitrificatie en denitrificatie. Het nitraatrijke slib wordt gerecirculeerd naar de eerste tank, waar het gemengd wordt met het influent. Deze tank wordt niet belucht ( $\Rightarrow$  anoxische omstandigheden), waardoor hierin denitrificatie plaatsvindt. Na een bepaalde verblijftijd stroomt het slibmengsel door naar de beluchte nitrificatiereactor.
  - A.2 *Simultane denitrificatie*. Bij dit proces vinden beide processen in dezelfde tank plaats. Via het regelen van de beluchtingsintensiteit worden hierin aërobe en anoxische zone's gecreëerd. De interne slibrecirculatie leidt tot afwisselend nitrificeren en denitrificeren. Deze procesvoering kan met name in omloop-systemen als carroussels en oxydatiesloten eenvoudig toegepast worden. Overigens kan worden opgemerkt dat bij lage zuurstofgehalten in de waterfase ( $< \text{circa } 1 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ) ook in het aërobe gedeelte van het circuit al aërobe en anoxische zone's in de slibvlokken onderscheiden kunnen worden.

B. Systemen waarin geen recirculatie wordt toegepast. Nitrificatie en denitrificatie zijn in de tijd van elkaar gescheiden. De toegepaste procesvoering leidt in beginsel tot het ontstaan van gradiënten. Afhankelijk van het aantal tanks, kunnen ook hierbij twee subgroepen worden onderscheiden:

- B.1: *Intermitterende denitrificatie*. Via het periodiek aan/uit schakelen van de beluchting worden in één tank afwisselend aërobe en anoxische omstandigheden gecreëerd.
- B.2: *Alternerende denitrificatie*. Hierbij zijn twee, parallel geschakelde tanks aanwezig, waarbij steeds slechts één tank wordt belucht. De andere tank fungeert dan als denitrificatieruimte. Via een tijdschakeling wordt de procesvoering in beide tanks periodiek omgedraaid. Het influent wordt veelal in de anoxische tank toegevoerd. Het Biotenitro proces is de bekendste uitvoeringsvorm van alternerend denitrificeren.

Er worden soms ook mengvormen of combinaties van voornoemde modificaties toegepast. Incidenteel wordt (overwogen om) een extra koolstofbron in de anoxische zone/tank te doseren, teneinde de denitrificatie te versnellen.

De verdeling anoxisch/aëroob wordt geregeld op basis van de concentratie van de diverse stikstofverbindingen in het actiefslib of in het effluent. Soms wordt hierbij on-line monitoring van de concentratie van  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  of van  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  toegepast.

## 2.2 Fosfaat

Bij het verwijderen van fosfaat moet onderscheid worden gemaakt tussen chemische en biologische defosfatering. Bij beide methoden kunnen twee subvormen worden onderscheiden:

### *Chemisch: preprecipitatie*

Aan het ruwe afvalwater wordt een Al- of een Fe-zout toegevoegd. De slecht oplosbare Al- of Fe-fosfaten precipiteren vervolgens grotendeels in de voorbezinktank. Simultaan neemt echter ook de CZV-verwijdering in de voorbezinktank sterk toe, waardoor de hoeveelheid primair slib stijgt en de CZV-volumebelasting in de beluchtingsruimte daalt.

*Chemisch: simultane precipitatie*

Hierbij worden de Al-, Fe- en soms ook Ca-ionen direct in de beluchtingsruimte gedoseerd. De gevormde fosfaatprecipitaten worden opgenomen in de slibvlokken waardoor de asrest van dit materiaal stijgt en de vlokken zwaarder worden. Simultaan precipiteren leidt tot een stijging van de productie van secundair slib, c.q. een daling van de slibleeftijd.

*Biologisch: hoofdstroomproces*

Biologisch defosfateren berust op het principe dat sommige soorten bacteriën in staat zijn om onder aërobe omstandigheden meer fosfaat op te nemen dan nodig is voor celsynthese en hiermee verwante processen. Deze "luxury uptake" vormt een energiereserve in de cel, waaruit wordt geput voor de opname van laagmoleculair substraat (vooral vetzuren) onder zuurstofloze omstandigheden. Gebonden fosfaat gaat hierbij weer in oplossing. Aangezien andere aërobe bacteriesoorten onder zuurstofloze omstandigheden geen substraat kunnen opnemen en de hoeveelheid beschikbaar substraat in stedelijk afvalwater beperkt is, leidt de afwisseling van anaërobe en aërobe omstandigheden tot een selectie van bacteriesoorten die tot deze luxury uptake in staat zijn. Het fosfaatgehalte van de biomassa neemt hierdoor toe en de fosfaatconcentratie in de waterfase daalt.

Deze uitgangspunten zijn bij het hoofdstroomproces (= defosfateren in de waterlijn) als volgt tot een zuiveringstechnologie vertaald. Retourslib en influent worden in een niet-beluchte tank met elkaar gemengd. Met het handhaven van anaërobe condities in deze tank worden twee doeleinden nagestreefd:

1. Substraatopname via fosfaatafgifte door bacteriesoorten die onder aërobe condities fosfaat accumuleren.
2. Productie van vetzuren en dergelijke door de hydrolyse van in het influent aanwezige macromoleculaire verbindingen.

Na een contacttijd van 1 à 2 uur stroomt het mengsel door naar een aërobe tank. Hierin wordt het opgenomen substraat verder verwerkt en opgelost fosfaat geaccumuleerd in de cellen. De fosfaatrijke biomassa wordt in de vorm van surplusslib afgevoerd.

De aanwezigheid van nitraat leidt tot substraatverwijdering via denitrificatieprocessen in de niet-beluchte tank<sup>1</sup>. Daardoor is minder laagmoleculair materiaal beschikbaar voor de P-accumulerende bacteriën. Het selectiemechanisme funktioneert dan niet goed. Het tijdens

---

<sup>1</sup> Recent is aangetoond dat de combinatie: P-accumulatie en denitrificatie ook mogelijk is. Dit proces verkeert echter nog in de onderzoeksfase.

de aërobe fase gevormde nitraat moet dus elders in het systeem grotendeels worden verwijderd, alvorens het retourslib de anaërobe tank bereikt.

#### *Biologisch: deelstroomproces*

Bij deze methode is de anaërobe fase in feite naast de eigenlijke zuiveringsinstallatie geplaatst. Een gedeelte van het retourslib (10 à 20%) wordt niet direct naar de beluchtingsruimte gerecirculeerd, maar in een aparte, anaërobe tank gebracht. Hierin wordt 10-30 mg acetaat/g droge stof gedoseerd. De voor het selectiemechanisme noodzakelijke laagmoleculaire verbindingen zijn bij dit proces (ook wel aangeduid met defosfateren in de sliblijn) dus niet afkomstig uit het influent, maar worden als een extra koolstofbron toegevoegd. In een indikker wordt het fosfaatarme slib vervolgens gescheiden van de fosfaatrijke waterfase. Het slib wordt naar de beluchtingsruimte gepompt, de waterfase veelal chemisch verder behandeld (precipitatie van de fosfaten met Fe of Al).

### **2.3 Geïntegreerde systemen**

In het voorafgaande zijn N- en P-verwijdering als in tijd en/of plaats strikt gescheiden processen behandeld. In de praktijk ontbreekt deze strikte scheiding vaak. Het meest duidelijke voorbeeld hiervan is de combinatie van simultane (de)nitrificatie plus simultane, chemische defosfatering. Echter ook bij de toepassing van voordennitrificatie en vooral bij intermitterend beluchten is de grens tussen N-verwijdering en het stimuleren van de P-verwijdering lang niet altijd even duidelijk. Beide processen zouden via de meting van de redoxpotentiaal in de niet-beluchte tank van elkaar onderscheiden kunnen worden. Bij veel experimenten werd deze potentiaal echter niet bepaald waardoor het vaak onduidelijk was of er sprake was van anoxische danwel anaërobe condities. Het ontbreken van een duidelijke scheiding vormt een handicap bij het beoordelen van het effect van de afzonderlijke maatregelen op de bezinkeigenschappen van het actiefslib.

### 3 VERBANDEN TUSSEN N- EN P-VERWIJDERING EN DE LICHT-SLIBPROBLEMATIEK

#### 3.1 Oorzaken van licht slib

In het "Handboek voorkomen en bestrijden van licht slib" [6] wordt geconcludeerd dat met name groeibeperkende omstandigheden de draadvormende bacteriën 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, O<sub>2</sub> of P betreffen. De draadvormers kunnen dan optimaal profijt trekken van hun specifieke morfologische en fysiologische eigenschappen.

Praktisch alle, tot nu toe uit actiefslib geïsoleerde draadvormende organismen kunnen echter alleen voedingsstoffen opnemen indien O<sub>2</sub> beschikbaar is.

Tevens wordt in dit handboek geconcludeerd dat de kwaliteit van het afvalwater grote invloed heeft op de samenstelling van de populatie van draadvormende organismen. 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 (o.a. Type 021N, *S. natans*, *H. hydrossis*). Om die reden vergroten 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 (*Thiothrix* sp.) extra stimuleren. Ook de niet-opgeloste fractie uit het influent lijkt echter een rol te spelen. Enigszins speculatief werd geconcludeerd dat de draadvormende organismen die vooral in en aan de rand van de vlokken groeien (o.a. *M. parvicella* en type 0092) deze fractie kunnen benutten.

#### 3.2 Bestrijden van licht slib

Inzake het bestrijden van draadvormende bacteriën wordt in het handboek gesteld dat het verzwaren van de vlokken door de toevoeging van Fe- of Al-zouten een geschikte symptoombestrijdingsmethode is. Structurele (preventieve) oplossingen vereisen het creëren van 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 vlokvormers en (de meeste?) draadvormers om het beschikbare substraat.

Aan deze uitgangpunten 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 hoge vlokbelading. Na een contacttijd van 10-15 min. wordt het mengsel vervolgens in de eigenlijke beluchtingsruimte gebracht, waar verdunning plaatsvindt. 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, waarbij vooral voldoende tijd voor de afbraak/verwerking van het opgenomen substraat belangrijk is, tot een selectie van vlokvormende bacteriën. Zo'n tank wordt daarom een selector genoemd. Eventueel kan het voorste gedeelte van een aëratietank met een uitgesproken propstromingskarakter ook als zodanig fungeren. Ook bij een volledig batchgewijze bedrijfsvoering (fill-and-draw) is periodiek sprake van een hoog voedselniveau. Dit voedingspatroon vormt de basis voor een drietal 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  $NO_3^- - O$  heeft geen invloed op de hoeveelheid die wordt vastgelegd. Dit bevestigt dat deze binding verloopt via fysisch-chemische processen, zoals adsorptie en/of invangen van de vlokken. Er zijn aanwijzingen dat vooral niet-opgeloste componenten op deze wijze worden gebonden. Het is dan ook de vraag of deze procesvoering tot succes leidt bij voorbezonken influent.
- Bij het tweede selectiemechanisme moet de inhoud van de selector belucht worden, teneinde de vlokvormers te bevoordelen die onder aërobe omstandigheden substraat snel kunnen opnemen. Dit betreft waarschijnlijk vooral de opgeloste componenten uit het influent.
- Bij het derde selectiemechanisme worden vlokvormers bevoordeeld die via denitrificatie of fosfaatafgifte substraat kunnen opnemen. Omdat veel draadvormende organismen onder anoxische/anaërobe condities geen substraat kunnen opnemen, zijn de procescondities inzake vlokbelading en verblijftijd waarschijnlijk wat minder kritisch

dan bij de andere twee selectiemechanismen. De verblijftijd in de selector moet uiteraard wel toereikend zijn om het substraat via voornoemde processen grotendeels vast te leggen in de vlok. Uit de literatuur zijn diverse voorbeelden bekend waarbij licht slib succesvol werd bestreden met verblijftijden van circa 60 minuten in de anoxische/anaërobe selector.

### 3.3 Verwachtingen bij de introductie van N- en/of P-verwijdering

Bij het beoordelen, op basis van literatuur en hetgeen in de voorafgaande paragrafen is vermeld, van de mogelijke effecten van de introductie van N- en/of P-verwijderingstechnologiën kunnen positieve en negatieve gevolgen onderscheiden worden. Onder positief wordt hierbij verstaan dat de kans op het ontstaan van licht slib kleiner lijkt te worden, negatief betekend een grotere kans op licht-slibvorming.

#### *Positieve effecten*

1. Bij simultaan, chemisch defosfateren verdwijnen de meeste soorten draadvormende bacteriën (vooral bij toepassing van Al-zouten) en wordt tevens de vlok verzwaard. Beide effecten zullen bijdragen tot betere bezinkeigenschappen van het actiefslib.
2. Bij preprecipitatie wordt tevens veel organisch materiaal uit de waterfase verwijderd. Dit leidt tot een lagere slibbelasting in de aëratietank. Met name bij rwzi's waar de beluchtingscapaciteit niet/nauwelijks toereikend is, zal preprecipitatie door het opheffen van deze O<sub>2</sub>-limitatie een positief effect op de bezinkeigenschappen kunnen hebben.
3. Anoxische/anaërobe zones of perioden worden niet alleen toegepast voor nutriëntenverwijdering, maar ook voor de licht-slibbestrijding. Er is aangetoond dat deze methode effectief is voor het bestrijden van type 021N en andere draadvormers. Er zijn echter nogal wat vragen over het te verwachten resultaat indien *M. parvicella* de slibpopulatie domineert.
4. Het alternerend of intermitterend toevoeren van influent leidt tot substraatgradiënten. Mits deze groot genoeg worden, wordt daardoor de kans op een massale groei van draadvormers verkleind.

#### *Negatieve effecten*

1. Een laag zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte (simultane denitrificatie) kan gemakkelijk tot O<sub>2</sub>-limitatie leiden, hetgeen de concurrentiepositie van veel draadvormers versterkt.

2. Een lager zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte betekent tevens een hogere aërobe slibbelasting. Zowel deze hogere slibbelasting als het minder snel aëroob regenereren van de biosorptiecapaciteit [6] vergroten de kans op het ontstaan van licht slib.
3. Hetzelfde kan worden opgemerkt ten aanzien van modificaties waarbij een gedeelte van de oorspronkelijke beluchtingsruimte als anoxische tank wordt ingericht.
4. Recirculatie leidt tot een nivellering van concentraties en versterkt daardoor de positie van draadvormers. Denitrificatie leidt altijd tot nivellering. Ook andere vormen van discontinue processen kunnen tot nivellering leiden (o.a. een alternerende bedrijfsvoering zoals bij het Biotenipho proces).
5. Hydrolyse van grotere, organische verbindingen (anaërobe condities) leidt tot de vorming van laagmoleculaire verbindingen die, indien ze de aëratietank bereiken, de groei van veel draadvormers stimuleren.
6. Bij defosfateren in de sliblijn wordt een extra koolstofbron gedoseerd. Hierdoor stijgt de overall slibbelasting van de rwzi met 5-10%. Dit kan bij volbelaste rwzi's zuurstoftekorten veroorzaken.
7. Chemische precipitatieprocessen zouden tot P-limitatie kunnen leiden.

In de tabellen 3A en 3B is het voorafgaande samengevat. Bij tabel 3A (implementatie in bestaande rwzi's) is een aantal arbitraire keuzes gemaakt. De belangrijkste betreft de aanname dat anoxische en soms ook anaërobe perioden (in omloopsystemen) ten koste zijn gegaan van de tijd die "voorheen" beschikbaar was voor aërobe processen.

**Tabel 3A.** Mogelijke gevolgen voor de slibvolume-index van de toepassing van methoden voor nutriënten-verwijdering in bestaande rwzi's.  
+ : positief; - : negatief

| Effecten /<br>omstandig-<br>heden       | Fosfor          |           |                 |          | Stikstof        |                         |                     |                  |
|-----------------------------------------|-----------------|-----------|-----------------|----------|-----------------|-------------------------|---------------------|------------------|
|                                         | Chemisch        |           | Biologisch      |          | simul-<br>taan  | voordeni-<br>trificatie | intermit-<br>terend | alter-<br>nerend |
|                                         | voor            | simultaan | waterlijn       | sliblijn |                 |                         |                     |                  |
| vlokverzwaren                           | + <sup>3)</sup> | +         |                 |          |                 |                         |                     |                  |
| aërobe slibbel. lager                   | +               |           |                 |          |                 |                         |                     |                  |
| aërobe slibbel. hoger                   |                 |           | - <sup>6)</sup> | -        | -               | -                       | -                   | -                |
| O <sub>2</sub> -limitatie <sup>4)</sup> |                 |           | - <sup>6)</sup> | -        | -               | -                       | -                   | -                |
| P-limitatie                             | -               |           |                 |          |                 |                         |                     |                  |
| C-limitatie <sup>1)</sup>               |                 |           |                 |          | -               | -                       |                     |                  |
| Substraat gradiënt                      |                 |           | + <sup>6)</sup> |          |                 |                         |                     |                  |
| bij mengen <sup>2)</sup> anoxisch       |                 |           |                 |          | + <sup>5)</sup> | +                       | + <sup>5)</sup>     | + <sup>5)</sup>  |
| bij mengen anaëroob                     |                 |           | +               |          |                 |                         |                     |                  |
| extra vetzuren                          |                 |           | -               | -        |                 |                         |                     |                  |

- 1) nivellering van concentraties door recirculeren
- 2) condities tijdens mengen van retourslib en influent
- 3) vaak doorslag van Fe/Al naar de beluchtingsruimte
- 4) incl. onvoldoende tijd voor de aërobe afbraak van opgenomen componenten
- 5) niet altijd
- 6) alleen bij discontinue bedrijfsvoeringen

**Tabel 3B.** Mogelijk gevolgen voor de SVI van de toepassing van methoden voor nutriëntenverwijdering in nieuwe rwzi's die volgens de richtlijnen uit de handboeken N- en P-verwijdering gebouwd zijn.  
+ : positief; - : negatief; 0 : nu geen effect

| Effecten /<br>omstandig-<br>heden       | Fosfor          |           |                 |          | Stikstof        |                         |                     |                  |
|-----------------------------------------|-----------------|-----------|-----------------|----------|-----------------|-------------------------|---------------------|------------------|
|                                         | Chemisch        |           | Biologisch      |          | simul-<br>taan  | voordeni-<br>trificatie | intermit-<br>terend | alter-<br>nerend |
|                                         | voor            | simultaan | waterlijn       | sliblijn |                 |                         |                     |                  |
| vlokverzwaren                           | + <sup>3)</sup> | +         |                 |          |                 |                         |                     |                  |
| aërobe slibbel. lager                   | +               |           |                 |          |                 |                         |                     |                  |
| aërobe slibbel. hoger                   |                 |           | + / 0           | -        | -               | 0                       | 0                   | 0                |
| O <sub>2</sub> -limitatie <sup>4)</sup> |                 |           | 0               | 0        | -               | +                       | +                   | +                |
| P-limitatie                             | -               |           |                 |          |                 |                         |                     |                  |
| C-limitatie <sup>1)</sup>               |                 |           |                 |          | -               | -                       |                     |                  |
| Substraat gradiënt                      |                 |           | + <sup>6)</sup> |          |                 |                         |                     |                  |
| bij mengen <sup>2)</sup> anoxisch       |                 |           |                 |          | + <sup>5)</sup> | +                       | + <sup>5)</sup>     | + <sup>5)</sup>  |
| bij mengen anaëroob                     |                 |           | +               |          |                 |                         |                     |                  |
| extra vetzuren                          |                 |           | -               | -        |                 |                         |                     |                  |

- 1) nivellering van concentraties door recirculeren
- 2) condities tijdens mengen van retourslib en influent
- 3) vaak doorslag van Fe/Al naar de beluchtingsruimte
- 4) incl. onvoldoende tijd voor de aërobe afbraak van opgenomen componenten
- 5) niet altijd
- 6) alleen bij discontinue bedrijfsvoeringen

## 4 SLIBBEZINKEIGENSCHAPPEN IN PRAKTIJK-RWZI'S MET NUTRIËNTENVERWIJDERING

In bijlage A wordt een beschrijving gegeven van een aantal experimenten die de laatste jaren zijn uitgevoerd of nog in uitvoering zijn. In dit hoofdstuk worden de resultaten samengevat.

Het betreft in totaal 23 rwzi's, waarvan vijf met preprecipitatie. Daarnaast omvat deze studie ook vijf rwzi's waar voordennitrificatie of intermitterend beluchten al waren opgenomen in het ontwerp van de installatie. Tenslotte is ook nog gekeken naar de bezinkeigenschappen van het slib in enkele rwzi's waar simultane, chemische defosfatering wordt toegepast.

### 4.1 Preprecipitatie en simultane, chemische defosfatering

In de tabellen 4 en 5 is informatie opgenomen over de slibkwaliteit in rwzi's waar fosfaat via preprecipitatie of simultane, chemische defosfatering wordt verwijderd. De filament-index (FI, schaal 0-5) is een maat voor het aantal draadvormende bacteriën. Voorheen werd hiervoor de term "categorie" gebruikt [6].

**Tabel 4.** De SVI en FI van het actiefslib in enkele rwzi's met simultane, chemische fosfaatverwijdering.

| rwzi       | Toegevoegd | SVI (ml/g) | FI  | Opmerkingen |
|------------|------------|------------|-----|-------------|
| Nijkerk    | Fe         | < 100      | 0,5 | kleine vlok |
| Elburg     | Al         | < 100      | 0   | kleine vlok |
| Harderwijk | Al         | < 100      | 0,5 | kleine vlok |
| Epe        | Al         | < 100      | 0   | kleine vlok |

**Tabel 5.** SVI (ml/g) en FI in rwzi's met preprecipitatie.

| rwzi            | Voorheen | Met preprecipitatie |      |                  |
|-----------------|----------|---------------------|------|------------------|
|                 | SVI      | SVI                 | FI   | Opmerkingen      |
| Deventer        | 125 -225 | 73± 19              | 1 1) | wormen aanwezig  |
| Raalte          | 105 ± 17 | 85± 18              | 3 1) | wormen aanwezig  |
| Tollebeek       | 83 ± 19  | 66± 21              | 1 1) | wormen aanwezig  |
| Ritthem [4,19]  | 150      | 60- 80              | 1    | wormen aanwezig? |
| Nieuwegein [23] | 100-275  | 100-275             | 4 1) |                  |

1) december 1992

Tabel 4 illustreert het bekende feit [30] dat simultane precipitie heel vaak gepaard gaat met goede bezinkeigenschappen van het actiefslib. Toepassing van deze methode blijkt tot kleine slibvlokken te leiden.

In vier van de vijf rwzi's met preprecipitatie heeft deze methode eveneens tot een lage en stabiele slibvolume-index geleid. Het is opvallend dat in minstens drie van deze rwzi's periodiek veel aquatische wormen als *Nais elingius* worden waargenomen. De aanwezigheid van deze wormen (predatoren) kan tot een afname van de slibproductie leiden. Gelet op de in de rapportage beschreven verschijnselen zijn deze organismen waarschijnlijk ook in de rwzi Ritthem tijdelijk massaal aanwezig geweest [4]. Aangezien preprecipitatie veelal tot een verlaging van de slibbelasting leidt, kan de ontwikkeling van deze predatorpopulatie mogelijk uit de betere zuurstofvoorziening in de aëratietank verklaard worden.

#### **4.2 Bezinkeigenschappen van het slib in rwzi's met biologische nutriëntenverwijdering**

In tabel 6 zijn enkele karakteristieken van de betreffende 23 rwzi's vermeld. In drie rwzi's werd de aard van het experiment na verloop van tijd veranderd. De groep omvat zeven oxidatiesloten, vier carroussels, vijf Schreibers (incl. twee met een aparte voordennitrificatieruimte), zes gecompartmenteerde rwzi's en één installatie waarbij een voordennitrificatieruimte gecombineerd is met een volledig gemengde en een gecompartmenteerde aëratietank. Bij zes rwzi's is een voorbezinktank aanwezig. In elf rwzi's worden influent en retourslib gemengd voor de beluchtingsruimte, vier van deze selectoren kunnen belucht worden. De belasting varieert van 14% tot 110% van de ontwerpcapaciteit; circa driekwart van de rwzi's is echter voor 60%-100% belast. In de meeste rwzi's is de slibbelasting  $\leq 0,05$  kg BZV/kg d.s.-dag, in zeven installaties is deze belasting zeer laag (0,02-0,03 kg BZV/kg d.s.-dag).

Er is dus sprake van een heterogene groep installaties. Diverse van de hiervoor genoemde aspecten kunnen eveneens de groei van draadvormende bacteriën beïnvloeden.

Tabel 6. Karakterisering van de rwzi's.

| Plaats         | Type          | Influent     | Selector         | % belast<br>1) | Slib-<br>belasting 2) |
|----------------|---------------|--------------|------------------|----------------|-----------------------|
| Alkmaar        | gemengd 3)    | voorbezonken |                  | 60             | 0,07                  |
| Beesd          | sloot         | ruw          |                  | 70             | 0,045                 |
| Bennekom       | sloot         | ruw          | alleen mengen 6) | 75             | 0,03                  |
| Bergambacht    | carrousel     | ruw          | niet belucht     | 80             | 0,05                  |
| Bolsward       | carrousel     | ruw          | niet belucht     | 65             | 0,03                  |
| Chaam          | sloot         | ruw          |                  | 110            | 0,045                 |
| Coevorden      | Schreiber 4)  | ruw          |                  | 95             | 0,05                  |
| Drie Ambachten | Schreiber     | voorbezonken | belucht          | 65             | 0,04                  |
| Echten         | carrousel     | ruw          | niet belucht     | 80             | 0,04                  |
| Eindhoven      | 7 compart.    | voorbezonken | belucht          | -              | 0,06-0,2              |
| Emmen          | 6 compart. 5) | voorbezonken |                  | 75             | 0,04                  |
| Heino          | sloot         | ruw          | alleen mengen 6) | 35             | 0,02                  |
| Holten         | 10 compart.   | voorbezonken | niet belucht     | 55             | 0,04                  |
| Horstermeer    | 10 compart.   | voorbezonken | belucht 7)       | ?              | 0,07                  |
| Loenen         | Schreiber     | ruw          |                  | 75             | 0,03                  |
| Lopik          | Schreiber     | ruw          |                  | 95             | 0,05                  |
| Oosthuizen     | sloot         | ruw          | alleen mengen 6) | ?              | 0,03                  |
| Putte          | 4 compart.    | ruw          |                  | 72             | 0,06                  |
| Reeuwijk-R.    | carrousel     | ruw          | niet belucht     | 100            | 0,05                  |
| Verseput       | Schreiber 4)  | ruw          |                  | 80             | 0,03                  |
| Vollenhove     | sloot         | ruw          | niet belucht     | 60             | 0,04                  |
| Westerschouwen | 5 compart.    | ruw          | belucht 7)       | 14-31          | 0,02-0,03             |
| Zetten         | sloot         | ruw          |                  | 70             | 0,05                  |

1) t.o.v. de ontwerpcapaciteit

2) in kg BZV/kg d.s.-dag

3) omvat: voordennitrificatieruimte, een aëratietank met volledige menging en een gecompartmenteerde (6) aëratietank

4) met voordennitrificatie in de middelste ring

5) met een aparte voordennitrificatieruimte (omloopreactor)

6) mengen van influent en retourslib in een tank of leiding met een korte verblijftijd

7) tijdens voordennitrificatie-experiment niet of nauwelijks belucht.

#### 4.2.1 Slibvolume-indices en draadvormende organismen

De toegepaste methoden en de slibvolume-indices voor en tijdens de experimenten zijn vermeld in tabel 7. Op het mogelijk verband tussen de verschillende methoden van nutriëntenverwijdering en de groei van draadvormers wordt in de volgende paragrafen nog teruggekomen.

Tabel 7. Invloed van de introductie van biologische N- en/of P-verwijderingstechnologiën op de SVI.

| Plaats         | Methode                                | SVI (ml/g) <sup>2)</sup> |                       |
|----------------|----------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
|                |                                        | voorheen                 | na modificatie        |
| Alkmaar        | voordenitrificatie                     | n.v.t. <sup>1)</sup>     | 100-400               |
| Beesd          | intermitterend beluchten               | 50-150                   | 75-300                |
| Bennekom       | simult. denitrificatie + hoofdstroom   | 175                      | 120                   |
| Bergambacht    | intermitterend beluchten               | 90                       | 60-200                |
| "              | idem + deelstroom                      |                          | 90-170                |
| Bolsward       | intermit. beluchten + chem. simult.    | 79                       | 95                    |
| Chaam          | Biodenitro + chem. simult.             | 50-120                   | 70-160                |
| Coevorden      | voordenitrificatie                     | n.v.t.                   | 75-200                |
| Drie Ambachten | intermitterend beluchten               | n.v.t.                   | 80-250                |
| Echten         | simultane denitrificatie <sup>5)</sup> | 100-200                  | 100-200               |
| Eindhoven      | voordenitrificatie + deelstroom        | n.v.t.                   | 100-200 <sup>3)</sup> |
| Emmen          | voordenitrificatie                     | n.v.t.                   | 125-175               |
| Heino          | intermitterend beluchten               | 110                      | 145                   |
| Holten         | UCT-proces                             | <100                     | <100 <sup>4)</sup>    |
| Horstermeer    | voordenitrificatie                     | 80                       | 130-200               |
| Loenen         | intermitterend beluchten               | <100                     | <100                  |
| Lopik          | intermitterend beluchten               | <100                     | <100                  |
| Oosthuizen     | simultane denitrificatie <sup>5)</sup> | 100-150                  | 100-170               |
| "              | intermitterend beluchten               |                          | 100-250               |
| Putte          | Pho-redox proces                       | 75-150                   | 75-150                |
| Reeuwijk-R.    | intermitterend beluchten               | 125-150                  | 150-200               |
| Verseput       | voordenitrificatie                     | <100                     | <100 <sup>4)</sup>    |
| Vollenhove     | simultane denitrificatie <sup>6)</sup> | ca 100                   | ca 100                |
| Westerschouwen | voordenitrificatie                     | 75-125                   | 100-250               |
| "              | Pho-redox proces                       |                          | 100-250               |
| Zetten         | intermitterend beluchten               | 75-150                   | 100-250               |

1) niet van toepassing, c.q. methode wordt toegepast sinds de bouw van de rwzi

2) jaargemiddelde of laagste-hoogste waarde

3) o.a. verband met de vlokbelading

4) opvoeren recirculatie → toename index

5) niet-beluchte zone aan invoerkant influent

6) hoog/laag schakeling

In 17 rwzi's (68%) is de index tot waarden groter dan 150 ml/g gestegen. Dit is een hoog percentage voor laagbelaste actief-slibinrichtingen met een voornamelijk stedelijk influent [6]. De vermelde lage SVI-waarden betreffen vrijwel zonder uitzondering de zomerperiode, licht slib ontstond tijdens de winter.

In alle vijf rwzi's "zonder verleden" is licht slib opgetreden, op de rwzi Eindhoven kon echter wel een verband tussen de SVI en de in de selector toegepaste vlokbelading worden vastgesteld [13].

De vergelijking van de SVI voor en na de start van de experimenten toont aan dat:

- de index in negen rwzi's hoger is geworden;
- de index in acht rwzi's gelijk is gebleven;
- de index in slechts één rwzi is gedaald.

De filament-indices en de dominante draadvormers zijn vermeld in tabel 8. *M. parvicella* was in praktisch alle rwzi's dominant aanwezig, daarnaast werden ook de typen 1851, 0041 en 021N en actinomyceten in enkele slibben in grote aantallen waargenomen. Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat geen informatie is verzameld in de periode augustus-september. Er mag worden aangenomen dat in deze warme periode van het jaar Type 0092 dominant aanwezig is geweest in diverse rwzi's.

**Tabel 8.** Maximale filament indices en dominante draadvormers.

*N.B. in sommige rwzi's was ten tijde van de monsternamen het licht slib weer verdwenen of nog niet ontstaan.*

| Plaats         | FI  | Dominante draadvormers                    | Opmerkingen             |
|----------------|-----|-------------------------------------------|-------------------------|
| Alkmaar        | 4   | <i>M. parvicella</i>                      | open vlok <sup>1)</sup> |
| Beesd          | 3   | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Bennekom       | 3   | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Bergambacht    | 3   | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Bolsward       | 3,5 | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Chaam          | 2,5 | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Coevorden      | 3   | <i>M. parvicella</i> , Typen 1851 en 0041 |                         |
| Drie Ambachten | 4   | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Echten         | 4   | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Eindhoven      | 2,5 | <i>M. parvicella</i> , Type 0041          |                         |
| Emmen          | 4   | <i>M. parvicella</i> , Type 1851          |                         |
| Heino          | 3,5 | <i>M. parvicella</i> , Typen 1851 en 0041 | niet bekend             |
| Holten         | 3   | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Horstermeer    |     |                                           |                         |
| Loenen         | 2,5 | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Lopik          | 4   | Type 021N*, <i>M. parvicella</i>          |                         |
| Oosthuizen     | 4   | <i>M. parvicella</i> , Actinomyceten      |                         |
| Putte          | 2   | geen                                      |                         |
| Reeuwijk-R.    | 4   | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Verseput       | 2,5 | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Vollenhove     |     |                                           | niet bekend             |
| Westerschouwen | 4   | <i>M. parvicella</i>                      |                         |
| Zetten         | 3,5 | <i>M. parvicella</i> , Type 1851          |                         |

- monster was niet vers

1) de open structuur kan niet uit het aantal aanwezige draden worden verklaard.

De ontwikkeling van *M. parvicella* in rwzi's met een stedelijk influent vertoont een duidelijk seizoensritme [7]. De bacterie groeit tijdens de herfst/winter, de populatie bereikt

in het voorjaar haar maximale grootte en neemt gedurende de zomer weer sterk in omvang af. Dit verklaart het uitgesproken seizoenseffect op de SVI in veel rwzi's.

Tenslotte is nog nagegaan in welke mate de index door de getroffen maatregelen beïnvloed is in rwzi's met/zonder selector (tabel 9). In de negen rwzi's met een selector is door de gewijzigde procesvoering het aantal rwzi's met licht slib gestegen van één tot zes. Dit verschil is bij de rwzi's zonder selector kleiner (één → drie). De invloed van de selector lijkt dus te dalen door de introductie van N- en/of P-verwijderingstechnologiën. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat op de rwzi's Horstermeer en Westerschouwen de beluchting in de selector (grotendeels) buiten bedrijf is gesteld tijdens de experimenten.

**Tabel 9.** Slibvolume-indices (ml/g) voor en tijdens de experimenten in rwzi's met/zonder selector.

| Plaats                 | Met selector <sup>1)</sup> |                       | Zonder selector    |                    |
|------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
|                        | voorheen                   | tijdens proef         | voorheen           | tijdens proef      |
| Beesd                  |                            |                       | 50-150             | 75-300             |
| Bergambacht            | 90                         | 60-200                |                    |                    |
| Bolsward <sup>2)</sup> | 79                         | 95                    |                    |                    |
| Chaaam <sup>2)</sup>   |                            |                       | 50-120             | 70-160             |
| Echten                 | 100-200                    | 100-200               |                    |                    |
| Heino                  | 110                        | 145                   |                    |                    |
| Holten                 | <100                       | <100                  |                    |                    |
| Horstermeer            | 80                         | 130-200 <sup>3)</sup> |                    |                    |
| Loenen                 |                            |                       | <100               | <100               |
| Lopik                  |                            |                       | <100               | <100               |
| Oosthuizen             | 100-150                    | 100-250               |                    |                    |
| Putte                  |                            |                       | 75-150             | 75-150             |
| Reeuwijk-R.            | 125-150                    | 150-200               |                    |                    |
| Verseput               |                            |                       | <100 <sup>4)</sup> | <100 <sup>4)</sup> |
| Vollenhove             |                            |                       | ca 100             | ca 100             |
| Westerschouwen         | 75-125                     | 100-250 <sup>3)</sup> |                    |                    |
| Zetten                 |                            |                       | 75-150             | 100-250            |

1) incl. drie rwzi's met alleen een zeer korte contacttijd van influent en retourslib

2) dosering van Fe voor simultane defosfatering

3) tijdens proef o.a. de beluchting in de selector buiten bedrijf of sterk gereduceerd

4) slib met een hoge asrest

In de volgende paragrafen worden de resultaten van deze studie opgesplitst naar de toegepaste methoden voor N- en/of P-verwijdering. Zoals al is opgemerkt, is de scheiding tussen beide groepen van technologiën niet altijd even duidelijk en kunnen omstandigheden gericht op N-verwijdering ook tot biologische defosfatering leiden en vice versa. In diverse rwzi's zijn bovendien verschillende methoden gelijktijdig toegepast. Om deze redenen wordt steeds aangegeven in welke mate N en P werden verwijderd en of ook P-accumu-

lerende bacteriën in het slib werden waargenomen. Bij het laatste punt moet wel worden opgemerkt dat dit veelal momentopnames betrof.

#### 4.2.2 Rwzi's met voordennitrificatie

Deze groep omvat zeven rwzi's (tabel 10). Op de rwzi Eindhoven werd tevens tijdelijk P-verwijdering via de sliblijn toegepast, op de overige zes installaties werden geen extra maatregelen getroffen om de fosfaatverwijdering te stimuleren. Desondanks was in minstens twee rwzi's sprake van een vergaande P-reductie.

Alleen in de rwzi Verseput is de index steeds laag en stabiel gebleven, in alle andere installaties is licht slib opgetreden. Op de rwzi's Horstermeer en Westerschouwen was de index in het verleden laag en initieerde de toegepaste voordennitrificatie het ontstaan van licht slib. Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat tijdens de experimenten in deze rwzi's de beluchting in de selectoren fors gereduceerd werd, waardoor in feite twee veranderingen gelijktijdig uitgevoerd werden. Hetzelfde aspect verhindert het trekken van eenduidige conclusies uit de experimenten op de rwzi Eindhoven. Bij deze proeven lijkt echter wel een verband met de vlokbelading te bestaan.

Tabel 10. Rwzi's met voordennitrificatie

| Plaats         | anoxisch (%) | r <sup>1)</sup>   | N-tot red. (%) | P-tot red. (%)         | P-bacteriën | SVI (ml/g) |                       |
|----------------|--------------|-------------------|----------------|------------------------|-------------|------------|-----------------------|
|                |              |                   |                |                        |             | voorheen   | nu                    |
| Alkmaar        | 35           | 4,2               | 80             | niet verhoogd          | veel        | -          | 100-400               |
| Coevorden      | 15           | 0,7               | 86             | 98 <sup>3)</sup>       | weinig      | -          | 75-200                |
| Eindhoven      | 35-43        | 2,5-4,4           | variabel       | variabel <sup>4)</sup> | n.b.        | -          | 100-200 <sup>5)</sup> |
| Emmen          | 45           | 2                 | 74             | 60                     | weinig      | -          | 125-175               |
| Horstermeer    | ca. 30       | 3                 | hoog           | n.b.                   | n.b.        | 80         | 130-200               |
| Verseput       | 24           | 1,4               | 82-90          | 60-82                  | veel        | < 100      | <100 <sup>6)</sup>    |
| Westerschouwen | 38           | 4,5 <sup>2)</sup> | ca. 60         | 46-57                  | n.b.        | ca 100     | 100-250               |

1) recirculatiefactor t.o.v.  $Q_{infl}$  en incl.  $Q_{retourslib}$ .

2) excl. retourslib:  $r = 1$

3) "spontaan" door hoge BZV/P-verhouding (=32)

4) P-verwijdering in sliblijn

5) o.a. verband met slibbelading in selector

6)  $r = 2,9 \rightarrow SVI = 120 \text{ ml/g}$

De lage index in de rwzi Verseput zou uit de combinatie van een klein anoxisch volume, de lage recirculatiefactor en het daadwerkelijk plaatsvinden van biologische defosfatering (→ kennelijk een lage redox in de voordennitrificatietank) verklaard zou kunnen worden. Het slib in deze rwzi heeft echter tevens een hoge asrest (30-40%), waardoor de bezinkeigenschappen pas zullen verslechteren bij erg veel draadvormende organismen in het slib. Bovendien leidt praktisch dezelfde combinatie (mogelijk excl. de aanwezigheid van P-accumulerende bacteriën) in Coevorden niet tot een lage, stabiele index.

#### 4.2.2 Voordennitrificatie plus fosfaatverwijdering via het hoofdstroomproces

Deze groep omvat slechts drie rwzi's (tabel 11); er zijn bovendien duidelijke verschillen tussen de procesomstandigheden op deze installaties (figuur 1). In alle drie de installaties vindt een vergaande stikstofverwijdering plaats. In de rwzi's Holten en Putte is bovendien sprake van een hoge fosfaatreductie (biologisch). De SVI is in deze rwzi's niet gestegen na de procesmodificaties. In de rwzi Westerschouwen is de index daarentegen aanmerkelijk verslechterd in vergelijking met het verleden. Op deze rwzi is de fosfaatreductie ook aanmerkelijk kleiner dan in de andere twee installaties.

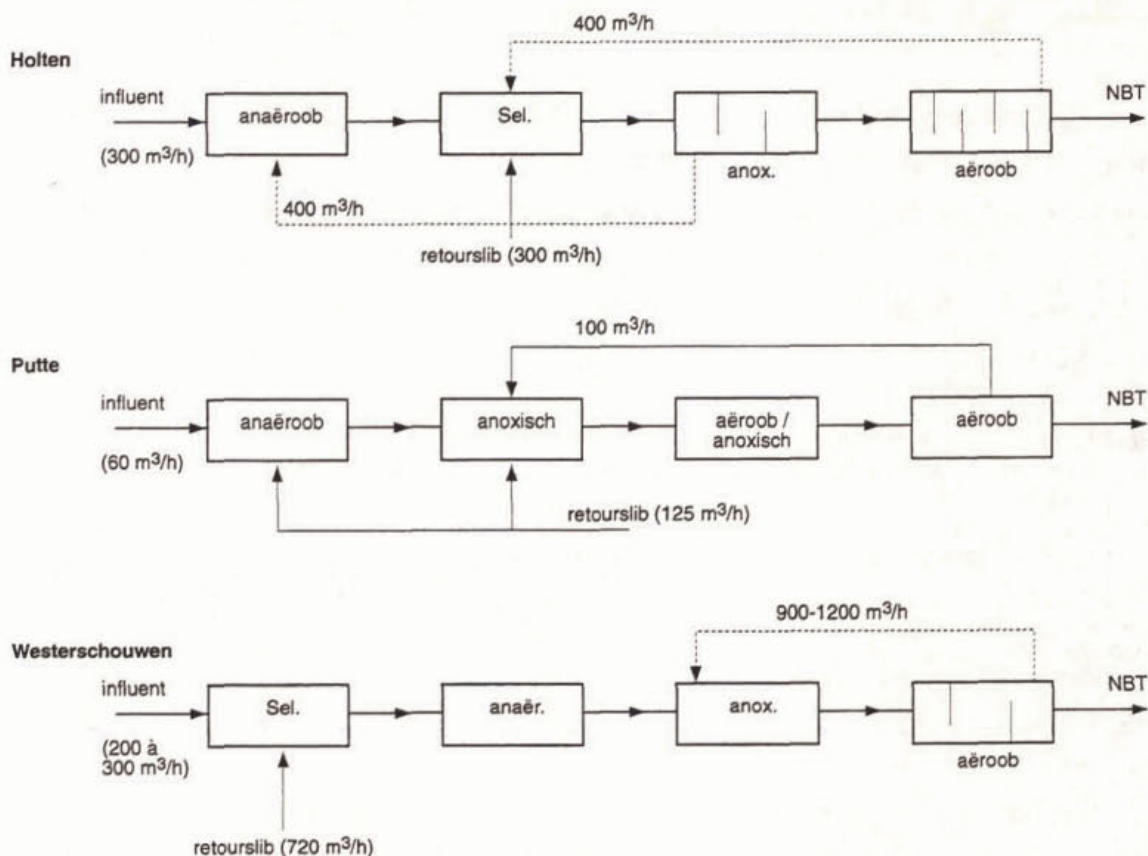
**Tabel 11.** *Rwzi's met voordennitrificatie plus fosfaatverwijdering via het hoofdstroomproces.*

| Plaats         | Anaëroob (%) | Anoxisch (%) | r                  | Verwijdering (%) |       | P-bacteriën   | SVI (ml/g) |         |
|----------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|-------|---------------|------------|---------|
|                |              |              |                    | N                | P     |               | voorheen   | nu      |
| Holten         | 10           | max. 45      | 5 <sup>1)</sup>    | 81               | 95    | veel          | <100       | <100    |
| Putte          | 25           | max. 50      | 1,05/3,8           | 78               | 82    | <sup>2)</sup> | 75-150     | 75-150  |
| Westerschouwen | ca. 15       | 21           | 8-10 <sup>3)</sup> | 72-87            | 49-79 | weinig        | 75-125     | 100-250 |

<sup>1)</sup>  $r=7,5 \rightarrow$  SVI stijgt

<sup>2)</sup> in juni 1992 veel; in december 1992 weinig

<sup>3)</sup> excl. retourslib: 4-5



**Figuur 1.** Processchema's van de rwzi's Holten, Putte en Westerschouwen. Sel = selector; NBT = nabezinktank.

#### 4.2.3 Simultane denitrificatie

In de rwzi Vollenhove werd de stikstofverwijdering geoptimaliseerd via een hoog/laag-regeling van het O<sub>2</sub>-gehalte in twee parallelle circuits met één gemeenschappelijke nabezinktank. Het N-totaalgehalte in het effluent daalde hierdoor tot waarden <10 mg N/l. Tevens steeg de P-reductie enigszins en werden fosfaataccumulerende bacteriën in het slib waargenomen. Door deze procesmodificatie veranderde de index niet (SVI= ca. 100 ml/g).

Simultane denitrificatie wordt in Nederland frequent toegepast, met name in omloop-systemen. Het is bekend dat hierin veelvuldig licht slib optreedt. Zo werd bijv. bij een studie naar het ontstaan van drijfslagen in carroussels [7] vastgesteld dat tijdens de winterperiode in 70% van deze zuiveringssystemen (erg) veel draden aanwezig waren (FI = 3-4; *M. parvicella* veelal dominant).

#### 4.2.4 Simultane denitrificatie plus fosfaatverwijdering via het hoofdstroomproces

Deze combinatie wordt alleen toegepast op de rwzi Bennekom (Tabel 12). Influent en retourslib worden in een aparte anaërobe tank met elkaar gemengd. Op de beide andere rwzi's die in deze tabel vermeld zijn werd door het uitschakelen van een beluchter voor in het circuit een zuurstofloze zone gecreëerd. Dit impliceert een veel kortere verblijftijd van de biomassa in de anaërobe zone. De P-reductie in deze rwzi's was ook geringer dan in Bennekom.

**Tabel 12.** *Rwzi's met simultane denitrificatie plus fosfaatverwijdering via het hoofdstroomproces.*  
*N.B.: In Echten en Oosthuizen een soort "simultaan hoofdstroomproces".*

| Plaats     | N-tot red.<br>(%) | P-verwijdering |           |         | SVI (ml/g) |         |
|------------|-------------------|----------------|-----------|---------|------------|---------|
|            |                   | anaëroob       | P-red (%) | P-bact. | voorheen   | nu      |
| Bennekom   | 91                | aparte tank    | 91        | veel    | 175        | 120     |
| Echten     | 64-89             | voorin circuit | 58-75     | veel    | 100-200    | 100-200 |
| Oosthuizen | 89                | voorin circuit | 68        | weinig  | 100-150    | 100-170 |

Op de laatstgenoemde rwzi is de index na procesmodificatie gedaald tot waarden <150 ml/g. Op de beide andere rwzi's is de SVI niet wezenlijk veranderd en is periodiek sprake van licht slib.

#### 4.2.5 Intermitterend beluchten

Deze groep omvat 10 rwzi's (zie tabel 13), waarvan één met tevens biologische P-verwijdering (Bergambacht). Op de rwzi Bolsward wordt intermitterend beluchten gecombineerd met simultane, chemische defosfatering. In het slib uit deze rwzi waren in januari/februari 1993 veel *M. parvicella* draden aanwezig en verhinderde alleen de zware vlok het ontstaan van licht slib.

In zeven van de negen rwzi's met "een verleden" is de index gestegen nadat gestart is met intermitterend beluchten. Alleen in Loenen en Lopik (Schreibers met een hoge P-reductie) zijn de bezinkeigenschappen van het actiefslib niet wezenlijk veranderd. Het is overigens opvallend dat er in december 1992 en februari 1993 nauwelijks P-accumulerende bacteriën in de slibben uit deze rwzi's werden waargenomen. Gelet op de P-reductie in de andere rwzi's en het al dan niet aanwezig zijn van P-accumulerende bacteriën in het slib, ontbreekt

een duidelijk verband tussen biologisch defosfateren en de SVI in rwzi's waarin intermitterend beluchten wordt toegepast.

Tabel 13. *Rwzi's met intermitterend beluchten*

| Plaats                    | Niet belucht<br>(h/dag) | N-red <sup>3)</sup><br>(%) | P-red <sup>3)</sup><br>(%) | P-bac-<br>teriën | SVI (ml/g) |         |
|---------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|------------|---------|
|                           |                         |                            |                            |                  | voorheen   | nu      |
| Beesd                     | max. 8                  | hoog                       | 70                         | weinig           | 50-150     | 75-300  |
| Bergambacht <sup>1)</sup> | 7,2-11,3                | hoog                       | hoog                       | veel             | 90         | 90-170  |
| Bolsward <sup>2)</sup>    | 12                      | hoog                       | hoog                       | vrij veel        | 79         | 95      |
| Drie Ambachten            | variabel                | 49                         | 58                         | afwezig          | –          | 80-250  |
| Heino                     | variabel                | 92                         | niet hoger                 | soms             | 110        | 145     |
| Loenen                    | 11                      | 90                         | 81                         | weinig           | <100       | <100    |
| Lopik                     | 6-9                     | 78                         | 82                         | afwezig          | <100       | <100    |
| Oosthuizen                | 12                      | 81                         | 81                         | soms             | 100-150    | 100-250 |
| Reeuwijk-R.               | n.b.                    | hoog                       | hoog                       | veel             | 125-150    | 150-200 |
| Zetten                    | max. 8                  | hoog                       | 70-80                      | weinig           | 75-150     | 100-250 |

<sup>1)</sup> Tevens P-verwijdering via een sliblijnproces in fase 3

<sup>2)</sup> Tevens simultane, chemische defosfatering

<sup>3)</sup> Hoog betekent dat aan de gestelde effluenteisen inzake N en P wordt voldaan.

#### 4.2.6 Alternerend beluchten

Deze procesvoering wordt alleen op de rwzi Chaam toegepast (Bionitro proces). Het wordt gecombineerd met simultaan, chemisch defosfateren. Ondanks deze vlokverzwarende is de index sinds de modificatie tot maximaal 160 ml/g gestegen. De hoge indexwaarden lijken echter niet door de aanwezigheid van veel draadvormende bacteriën veroorzaakt te worden (december 1992: FI=2,5; *M. parvicella* dominant), maar door de uitgesproken open structuur van de slibvlokken.

## 5 SLIBBEZINKEIGENSCHAPPEN IN PROEFINSTALLATIES

In bijlage B wordt een serie experimenten bij in totaal 13 rwzi's samengevat. De belangrijkste procesomstandigheden en de slibvolume-indices zijn vermeld in tabel 14. Op een enkele uitzondering na werden de proefinstallaties gevoed met voorbezonden influent.

Tabel 14. Experimenten in proefinstallaties.

| Plaats           | Methode |      | Selec-<br>tor 3) | Belas-<br>ting 4) | r 5)  | Anox.<br>vol. (%) | Temp.<br>(°C) | SVI<br>(ml/g) |
|------------------|---------|------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|---------------|
|                  | N 1)    | P 2) |                  |                   |       |                   |               |               |
| Alkmaar          | 1       | 3    | —                | 0,045             | 25    | 45                | 18-22         | 100-150       |
| Ede              | 2       | 2    | —                | 0,042             | —     | —                 | 14-20         | 125           |
| "                | 1       | 3    | —                | 0,043             | 25    | 40                | 14-20         | 130           |
| Ede-B            | 2       | 2+4  | —                | 0,043             | —     | —                 | 17-23         | 115           |
| "                | 1       | 3    | —                | 0,040             | 25    | 40                | 17-23         | 100           |
| Eindhoven        | 1       | 3    | B                | 0,1-0,2           | 1-3   | 25 6)             | 8-23          | 110-160       |
| Enschede         | 2       | 2    | An               | 0,04-0,06         | —     | —                 | 11-13         | 215           |
| "                | 1       | 1    | B/An             | 0,04-0,06         | 11-22 | 50                | 11-13         | 240           |
| Hengelo          | 2       | 2    | An               | 0,04-0,05         | —     | —                 | hoog          | ca. 120       |
| "                | 1       | 1    | 7)               | 0,04-0,05         | 8     | 50                | hoog          | ca. 140       |
| Kr. Veer         | 1       | 3    | B                | 0,10              | 14    | —                 | 13-23         | 100-250       |
| Limmel           | 2       | 2    | —                | 0,05              | —     | —                 | 14-20         | 120-210       |
| "                | 2       | 2+4  | —                | 0,05              | —     | —                 | 12-16         | 140-180       |
| "                | 1       | 1    | —                | 0,05              | 10    | 50                | 14-20         | 140-220       |
| "                | 1       | 1+4  | —                | 0,05              | 10    | 50                | 12-16         | 150-220       |
| Nieuwgraaf       | 1       | 1    | —                | 0,05              | 25    | 40                | 12-13         | 110-150       |
| "                | 1       | 1    | —                | 0,06              | 25    | 40                | 17            | 150-170       |
| "                | 1       | 3    | B                | 0,05              | 25    | 40                | 12-13         | 110-150       |
| "                | 1       | 3    | B                | 0,07              | 25    | 40                | 17            | 150-220       |
| Roermond         | 1       | 1    | —/An/B           | 0,04-0,05         | 9/15  | 38                | 12-22         | 175-225       |
| "                | 1       | 1+4  | —                | 0,04-0,05         | 15    | 38                | 22-25         | 140-175       |
| "                | 2       | 2    | —/An             | 0,04-0,05         | —     | —                 | 12-20         | 150-200       |
| "                | 2       | 2+4  | —                | 0,04-0,05         | —     | —                 | 20-25         | 125-140       |
| St. Oedenrode 9) | 1       | —    | B                | 0,05              | 35    | 50                | 15-20         | ca. 110       |
| "                | 1       | —    | An               | 0,05              | 35    | 50                | 15-20         | ca. 110       |
| Tilburg          | 2       | 2    | An               | 0,08              | —     | —                 | 12-16         | 220           |
| "                | 1       | 3    | An               | 0,08              | 15    | 15                | 12-16         | 210           |
| "                | 1       | 3    | B                | 0,08              | 15    | 15                | 14-17         | 150           |
| "                | 1 8)    | —    | —                | 0,08              | 30    | 15                | 14-17         | 150-250       |
| "                | 1       | 4    | B                | 0,08              | 3     | 15                | 20-25         | ca. 130       |
| "                | 1       | 4    | An               | 0,08              | 3     | 15                | 15-20         | ca. 130       |
| Venlo            | 1       | 1    | —                | 0,052             | 20/10 | 40                | 21            | 125           |
| "                | 1       | 3    | —                | 0,059             | 20/10 | 40                | 21            | 145           |

1) 1=voordenitrificatie of simultaan; 2=Biodenifho

2) 1=hoofdstroom; 2=Biodenifho; 3=zijstroom; 4=chemisch (simultaan)

3) B=belucht; An=Anoxisch of anaëroob

4) in kg BZV/kg d.s.-dag

5) recirculatiefactor

6) enkele perioden een hogere of lagere recirculatie

7) tussen de anaërobe en de anoxische tank een belucht, gecompartmenteerd tankje.

8) voeding met het effluent van de A-trap

9) voeding met ruw influent

Bij deze experimenten werd veelal stikstofverwijdering via voordennitrificatie of simultane denitrificatie plus fosfaatverwijdering via de water- of sliblijn vergeleken met het Biotenipho proces. Voor de N-/P-verwijdering wordt verwezen naar de desbetreffende rapportages. Hier wordt volstaan met de opmerking dat bij diverse experimenten niet aan de P-eis werd voldaan door een te hoog gehalte aan zwevend stof in het effluent (tientallen mg d.s./l). Drijfslaagvorming op de nabezinktanks en onvoldoende voorzieningen om deze te ruimen speelden hierbij een grote rol.

Hoewel tabel 14 toont dat bij deze experimenten nogal wat varianten zijn onderzocht, zijn de resultaten slechts in beperkte mate bruikbaar door de allesoverheersende invloed van de temperatuur. Experimenten in de winterperiode gingen stevast gepaard met hoge waarden van de SVI, een stijging van de temperatuur tot waarden groter dan ca. 15°C resulteerde praktisch altijd in een daling van de index. De proeven op Nieuwgraaf vormen de enige uitzondering op dit patroon. In deze proefinstallaties steeg de index in de zomer. Dit kan worden verklaard uit de groei van *Thiothrix* draden in het slib (zuurstoftekort?). In alle andere installaties werd, indien microscopisch onderzoek werd uitgevoerd, steeds *M. parvicella* in grote aantallen in het slib waargenomen tijdens perioden met een hoge index. In de zomerperiode werd de populatie van draadvormers daarentegen gedomineerd door de typen 0092 en 0041. Deze soorten (met name Type 0092) hebben slechts een beperkte invloed op de index in rwzi's met een stedelijk influent.

Naast deze grote invloed van de temperatuur kunnen nog enkele andere aspecten worden genoemd:

- bij diverse experimenten werd vastgesteld dat de index (wat) daalde vanaf het moment dat overgeschakeld werd op beluchten van de inhoud van de selector. Gelet op het feit dat de meeste installaties gevoed werden met voorbezonden afvalwater is dit in overeenstemming met de theorie [6]. De substraatverwijdering in een voorgeschakelde, aërobe selector leidde wel tot een tekort aan koolstofverbindingen voor de denitrificatie en/of biologische P-verwijdering;
- de slibvolume-indices waren in het algemeen wat hoger bij slibbelastingen > ca. 0,05 BZV/kg d.s.-dag;
- ook een hoog percentage industrieel afvalwater ging gepaard met een hogere SVI;
- bij vergelijkende experimenten was de index in de Biotenipho installatie veelal 10 à 20% lager dan in de straat met voordennitrificatie of simultane denitrificatie;

- bij diverse experimenten werd uiteindelijk tevens simultane, chemische precipitatie toegepast (Me/P: 0,1-0,8). Ondanks deze lage dosering ging dit vrijwel steeds gepaard met een daling van de index.

## 6 EVALUATIE EN CONCLUSIES

Deze verkennende studie is uitgevoerd om de mogelijke effecten van de introductie van N- en/of P-verwijderingstechnologiën op de bezinkeigenschappen van actiefslib in kaart te brengen. De resultaten zijn samengevat in tabel 15.

Zoals verwacht gaat de toepassing van simultaan, chemisch defosfateren gepaard met een lage index, zelfs indien vrij veel draadvormende bacteriën aanwezig zijn. Ook preprecipitatie leidde in vier van de vijf beschouwde rwzi's tot goed bezinkbaar slib.

**Tabel 15** Invloed van de procesmodificaties op de SVI.  
N.B.: Inclusief enkele rwzi's met nutriëntenverwijdering sinds de start van de installatie.

| Methode                                  | n rwzi's         | SVI   |        |       | n rwzi's met licht slib |
|------------------------------------------|------------------|-------|--------|-------|-------------------------|
|                                          |                  | lager | gelijk | hoger |                         |
| simultaan, chemisch                      | 4                | -     | -      | -     | 0                       |
| preprecipitatie                          | 5                | 4     | 1      |       | 1                       |
| voordenitrificatie <sup>1)</sup>         | 7 <sup>3)</sup>  |       | 1      | 2     | 6                       |
| idem + hoofdstroomproces                 | 3                |       | 2      | 1     | 1                       |
| simultane denitrificatie                 | 1                |       | 1      |       | 0                       |
| idem + hoofdstroomproces <sup>5)</sup>   | 3                | 1     | 1      | 1     | 2                       |
| intermitterend beluchten <sup>1+2)</sup> | 10 <sup>4)</sup> |       | 2      | 7     | 6                       |
| alternerend beluchten <sup>2)</sup>      | 1                |       |        | 1     | 1                       |

1) incl. één rwzi met P-verwijdering in de sliblijn

2) incl. één rwzi met tevens simultane, chemische defosfatering

3) omvat vier rwzi's "zonder verleden"

4) omvat één rwzi's "zonder verleden"

5) omvat twee rwzi's zonder een aparte anaërobe tank

De experimenten waarbij biologische methoden voor N- en/of P-verwijdering werden toegepast, geven echter een veel minder gunstig beeld te zien. Bij 60% van de experimenten onder praktijkomstandigheden is de SVI gestegen. In 16 van de 25 rwzi's (→ 64%) werd de index-waarde van 150 ml/g (fors) overschreden en ontstond dus licht slib. De aanwezigheid van een selector verhinderde deze ongunstige ontwikkeling niet. Deze hoge percentages zijn in overeenstemming met de buitenlandse onderzoeken waarnaar in de inleiding wordt gerefereerd.

Ook bij de experimenten op semi-technische schaal ontstond frequent licht slib; bij veel van deze proeven waren index-waarden > 150 ml/g eerder regel dan uitzondering. Dit betreft niet alleen de gesimuleerde omloopsystemen, maar ook, net als in praktijk-rwzi's, de proefinstallaties met voordenitrificatie en de Biodenipho modificatie. Als aanvulling op een recente studie over het laatstgenoemde systeem [17] kan worden opgemerkt dat ook in de praktijk in Biodenipho installaties regelmatig licht slib ontstaat.

In de meeste rwzi's is sprake van een zeer duidelijk seizoenseffect op de slibvolume-index. Tijdens de zomermaanden is de SVI laag, in de herfst begint deze geleidelijk te stijgen en de hoogste waarden worden veelal in de periode maart/april bereikt. Daarna daalt de index weer. Dit patroon wordt veroorzaakt door de seizoensgebonden ontwikkeling van de draadvormende bacterie *M. parvicella*. Deze draadvormer was tijdens de wintermaanden in praktisch alle installaties dominant aanwezig in de slibpopulatie.

De beschikbare kennis is niet toereikend om de grote invloed van de temperatuur op de groei van deze draadvormer in de gemengde slibpopulatie te kunnen verklaren.

Naast *M. parvicella* werden incidenteel ook de Typen 1851, 0041, 021N en actinomyceten waargenomen. Gelet op de resultaten in de proefinstallaties en eerder uitgevoerde studies [6], zal tijdens de zomermaanden tevens het Type 0092 een rol kunnen spelen. Desondanks mag geconcludeerd worden dat in Nederland met name *M. parvicella* verantwoordelijk is voor het hoge percentage rwzi's met licht slib.

In paragraaf 3.3 zijn mogelijk positieve en negatieve gevolgen van nutriëntenverwijderingstechnologiën op de slibvolume-index besproken. De resultaten tonen dat de negatieve effecten sterk overheersen. Vooraf werd bijvoorbeeld verondersteld dat het mengen van influent en (retour)slib onder anaërobe/anoxische omstandigheden mogelijk tot een betere index zou leiden. Deze veronderstelling was gebaseerd op het feit dat veel draadvormers onder deze omstandigheden geen substraat kunnen opnemen [6]. Het daarbij gemaakte voorbehoud ten aanzien van *M. parvicella* wordt door de resultaten van deze studie bevestigd.

Hoewel het duidelijk is dat de negatieve effecten overheersen, wil dit niet zeggen dat uit de resultaten duidelijke conclusies getrokken kunnen worden inzake "sleutelparameters". De overheersende invloed van de temperatuur – en dus niet, zoals vooraf werd verondersteld, de grote verscheidenheid aan beschouwde installaties – vormt bovendien een forse handicap bij het zoeken naar verbanden tussen afzonderlijke parameters en de SVI.

Zo is bijvoorbeeld op verschillende rwzi's aangetoond dat het verhogen van de recirculatie tot een stijging van de SVI leidt. Dit is conform de verwachtingen. Binnen de groep rwzi's met voordennitrificatie ontbreekt echter een duidelijk verband tussen de toegepaste recirculatiefactor en de index.

De toepassing van intermitterend of alternerend beluchten impliceert lange anaërobe/anoxische perioden. Dit zou de substraatopnamesnelheid negatief kunnen beïnvloeden. Er

werd onder andere vastgesteld dat dit vaak gepaard ging met veranderingen in de populatie van protozoën (minder ciliaten en meer flagellaten en amoeben) en een toename van het aantal losse bacteriecellen. Een verband tussen de tijdsduur van de niet beluchte periode en de index kon echter niet worden vastgesteld.

De toepassing van voordennitrificatie, simultane denitrificatie en intermitterend beluchten blijkt zeer vaak gepaard te gaan met het ontstaan van licht slib. Het beeld lijkt wat gunstiger indien tevens de biologische P-verwijdering via het hoofdstroomproces goed functioneerde. In diverse praktijkinstallaties (Holten, Bennekom, Putte en mogelijk ook Verseput) ging deze combinatie gepaard met een slib met goede bezinkeigenschappen. Substraatverwijdering door fosfaat-accumulerende bacteriën zou dit effect kunnen verklaren. Helaas worden deze waarnemingen op geen enkele manier bevestigd door de experimenten in de proefinstallaties.

In hoofdstuk 4 is aangegeven dat de aanwezigheid van een selector veelal niet verhindert dat de introductie van N-/P-verwijderingsmethoden tot het ontstaan van licht slib leidt. Dit betekent dat de condities in de aëratietank/denitrificatietank kennelijk zwaarder wegen dan de substraatopname in de selector. Ook bij diverse proeven op semi-technische schaal werd vastgesteld dat een vergaande substraatverwijdering in de selector desondanks gepaard ging met licht slib. Dit zou kunnen betekenen dat het betreffende substraat kennelijk niet irreversibel wordt gebonden in de selector en later alsnog voor de draadvormers beschikbaar komt.

Een duidelijke verklaring voor het feit dat de introductie van technologieën gericht op nutriëntenverwijdering de groei van *M. parvicella* zo sterk stimuleert, ontbreekt.

Er kan worden gedacht aan de reeds genoemde zuurstoflimitatie, waardoor de voedingsstoffen langer voor de draadvormers beschikbaar blijven.

Een tweede mogelijkheid betreft de door sommige onderzoekers geopperde hypothese dat *M. parvicella*, net als denitrificerende bacteriën, onder anoxische omstandigheden substraat zou kunnen opnemen. Het bewijs voor deze veronderstelling is echter nooit geleverd.

Een derde theorie betreft de veronderstelling dat denitrificerende omstandigheden gepaard gaan met de productie van stikstofverbindingen die de activiteit van veel vlokvormers tijdelijk zouden remmen. Ook deze stellingname is echter vooralsnog niet bewezen.

Deze lijst met theoriën kan nog wel worden uitgebreid. Het is echter duidelijk dat onderzoek, gericht op het ontwikkelen van bestrijdingsmethoden voor *M. parvicella*, dringend gewenst is.

De laatste vraag van deze studie betreft de invloed van N- en/of P-verwijdering op de effluentkwaliteit en dan met name het gehalte aan zwevend stof in het gezuiverde water. In veel van de rapportages over de proeven op *semi-technische schaal* wordt expliciet vermeld dat slibverliezen optraden (tientallen mg aan zwevend stof in het effluent). Vooral de P-eis van maximaal 1 mg P/l werd hierdoor frequent overschreden. Drijfslagvorming op de nabezinktanks vormde de belangrijkste oorzaak van deze slibverliezen. Er is een duidelijk verband tussen de groei van *M. parvicella* en het ontstaan van drijfslagen [7]. Over de mate waarin het licht slib tot slibuitspoeling uit de praktijkinstallaties heeft geleid, is door de meeste waterkwaliteitsbeheerders geen informatie verstrekt. Er mag worden aangenomen dat vooral rwa-omstandigheden frequent met slibverliezen gepaard zullen gaan, indien de index groter is dan circa 150 ml/g. Er wordt daarom geconcludeerd dat licht slib een ernstige bedreiging vormt voor de haalbaarheid van de (toekomstige) effluenteisen inzake N en P.

#### *Selectoren voor licht-slibbestrijding*

In deze evaluatie is niet ingegaan op de toepassing van selectoren voor het bestrijden van licht slib, c.q. het voorkomen van de groei van *M. parvicella* in rwzi's met nutriëntenverwijdering. De belangrijkste reden hiervoor is dat de resultaten van talrijke proeven met selectoren in Nederland en daarbuiten elkaar tegenspreken, waardoor hieruit geen duidelijke conclusies getrokken kunnen worden. De indruk bestaat dat het effect van de op gangbare grondslag (vlokbelading 50-150 mg COD/g droge stof; contacttijd 10 à 15 min.) gedimensioneerde selectoren afneemt indien nutriëntenverwijderingsprocessen toegepast worden. De in tabel 9 vermelde informatie wijst ook in deze richting. Daarnaast speelt het probleem dat de toepassing van aërobe selectoren strijdig lijkt met nutriëntenverwijdering, omdat in zo'n selector het substraat door de "verkeerde" organismen opgenomen wordt. Dit betekent dat andere dimensioneringsgrondslagen voor selectoren bij rwzi's met nutriëntenverwijdering ontwikkeld moeten worden. Onderzoek hierna is uitdrukkelijk gewenst teneinde te voorkomen dat weer teruggegrepen wordt naar verouderde en milieuhygiënisch ongewenste methoden als het doseren van chloor.

### Conclusies

1. In 60% van de praktijkinstallaties is de index gestegen door de toepassing van biologische methoden voor N- en/of P-verwijdering.
2. Bij 16 van de 25 experimenten op praktijkschaal (=64%) ontstond licht slib.
3. De toepassing van voordennitrificatie en simultane denitrificatie en van intermitterend/alternerend beluchten vergroot de kans op het ontstaan van licht in sterke mate.
4. Er zijn aanwijzingen dat de combinatie met een hoofdstroomproces voor P-verwijdering wel tot een goed bezinkbaar slib leidt. De beschikbare informatie is echter niet consistent, waardoor afdoende bewijs ontbreekt.
5. De toepassing van chemische defosfateringsmethoden leidt meestal wel tot goed bezinkbaar slib.
6. Vooralsnog vormt licht slib een ernstige bedreiging voor de (toekomstige) effluenteisen inzake N en P.
7. De draadvormende bacterie *M. parvicella* is primair verantwoordelijk voor het ontstaan van licht slib in rwzi's met nutriëntenverwijdering. De ontwikkeling van deze bacterie vertoont een seizoensritme, met de maximale populatieomvang in de winter. De ontwikkeling van de SVI vertoont in veel rwzi's een identiek patroon.
8. Er zijn geen goede bestrijdingsmethoden voor *M. parvicella* beschikbaar. Onderzoek om deze te ontwikkelen, is daarom gewenst.

## 7 REFERENTIES

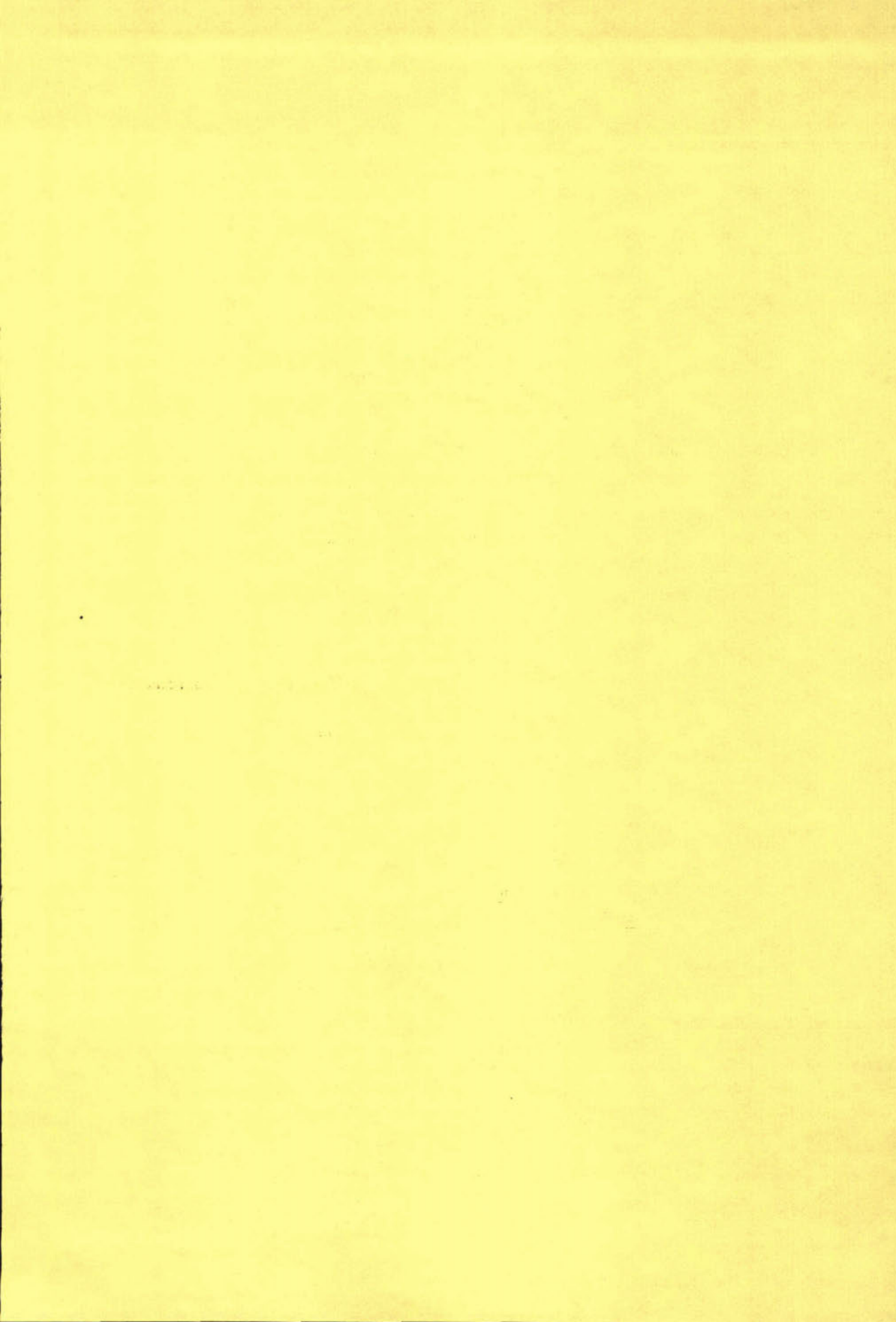
1. Both, G. en R. Neef  
Optimalisatie van de stikstofverwijdering met behulp van een 'on-line' regeling.  
NVA Symposium Vergaande stikstofverwijdering uit afvalwater, Amsterdam,  
November 1991.
2. Blackbeard, J.R., G.R. Ekama and G.v.R. Marais.  
A survey of filamentous bulking and foaming in activated-sludge plants in South  
Africa.  
Water Pollut. Contr. 85, 1986, 90-100.
3. Brandse, F.  
Aanpassing van de propstroominstallatie te Holten ten behoeve van stikstofver-  
wijdering.  
NVA Symposium Vergaande stikstofverwijdering uit afvalwater, Amsterdam,  
November 1991.
4. DHV BV en Waterschap Walcheren  
Onderzoek preprecipitatie rwzi Walcheren te Ritthem  
Werkrapport fase C, februari 1991.
5. Draaijer, H., A.H.M. Buunen-van Bergen, E. van 't Oever and A.A.J.C. Schellen  
Full scale experiences with nutrient removal at two WTP's in the Netherlands.  
Proc. Int. Conf. Sewage into 2000, Part 2, Amsterdam 1992, p. 145-159.
6. Eikelboom, D.H.  
Handboek "Voorkomen en bestrijden van licht slib"  
STORA, 1988.
7. Eikelboom, D.H.  
Schuim- en drijf laagvorming op zuiveringsinrichtingen.  
STORA, 1992.

8. Gaastra, S.B.  
Presentatie van een voor-denitrificatiesysteem: rwzi Alkmaar.  
NVA Symposium Vergaande stikstofverwijdering uit afvalwater, Amsterdam,  
November 1991.
9. Grontmij en Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden.  
Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste actiefslibinstallatie (Berg-  
ambacht). Oriënterend onderzoek (fase 1).  
Werkdocument RWZI 2000 90-03W.
10. Hoogheemraadschap van Schieland  
Biologisch defosfateren in de sliblijn van de awzi Kralingseveer.  
Rotterdam, 1992.
11. Janssen, P.M.J. en J.H. Rensink  
Handleiding biologische fosfaatverwijdering.  
STORA, rapport 1991-07.
12. Kristensen, G.H.  
Persoonlijke mededeling, 1991
13. Kruit, J.  
Praktijkproef rwzi Eindhoven. Vergelijking biologische N- en P-eliminatie en  
chemische P-eliminatie.  
Concept eindrapport, 1992.
14. Kruit, J. en L.J.A.M. Jacobs  
Pilot-plant onderzoek naar biologische N- en P-verwijdering op de rwzi Eindhoven.  
Werkdocument RWZI 2000 91-01W.
15. Leeuw, E.J. and P. de Jong  
Pilot plant research on biological phosphate and nitrogen removal at seven waste  
water treatment plants. Proc. Int. Conf. on Sewage into 2000, Part 2, Amsterdam,  
1992, p. 129-144.

16. Leeuw, E.F., A. Kah en H.J. Bakhuizen  
Stikstof- en fosfaatverwijdering. Pilot plant onderzoek rwzi Ede.  
Programma PN-1992, STORA, 1991.
17. Petri, C.P. en P. de Jong  
Verkenning Bio-denitro/Bio-denipho.  
Serie RWZI 2000, 1990.
18. Piron, D.  
Beproeving redoxmeting rwzi's Beesd en Zetten.  
Eindrapport. Zuiveringsschap Rivierenland, 1992.
19. Roest, H.F. van der, L.A. Willemse, M. Rijk en L. Kasse.  
Preprecipitatie nieuw leven ingeblazen.  
H<sub>2</sub>O, 24, 1991, 644-649.
20. Schellen, A.A.J.C. en H. Draaijer  
Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste actief-slibinstallatie (rwzi Bergambacht).  
Concept eindrapportage, 1992.
21. TAUW Infra Consult B.V.  
Biologisch defosfateren rwzi Oosthuizen.  
Tussenrapport, september 1990; tussenrapport november 1990; tussenrapport januari 1991; concept eindrapport september 1992.
22. TAUW Infra Consult B.V. en Waterschap Regge en Dinkel  
Fosfaatstripexperimenten op kleine praktijkschaal (Almelo-Vissedijk).  
Eindrapport, 1992.
23. Uijterlinde, C.A.  
Preprecipitatie rwzi Nieuwegein.  
De klaarmeester, 92, Nr. 6, 14-19.
24. Visser, P.  
Handboek P-verwijdering.  
STOWA, Utrecht, 1993.

25. Vlieg-Holtvoort, F.E.  
Optimalisatie van de fosfaatverwijdering op rwzi Echten  
Eindrapport, Zuiveringsschap Drenthe, 1992.
  
26. Voors, E.  
Handboek P-verwijdering  
STOWA, Utrecht, 1993.
  
27. Waterschap Schouwen-Duiveland.  
Voordenitrificatie rwzi "De Verseput".  
Zierikzee, 1992.
  
28. Wijcherson, M.H.  
Vergaande stikstofverwijdering op een conventionele laagbelaste oxydatiesloot  
(Heino) met behulp van een voortstuwer en een redox meter.  
Intern verslag Zuiveringsschap West-Overijssel, 1992.
  
29. Wijcherson, M.H. en H. Bol  
Vergaande stikstofverwijdering op de rwzi Vollenhove, door middel van een aantal  
eenvoudige wijzigingen in de procesvoering.  
De klaarmeester, 1992, Nr. 4, p. 3-10.
  
30. Witteveen en Bos  
Werking en neveneffecten van simultane defosfatering in actief-slibsystemen.  
STOWA, rapport 1991-02.
  
31. Witteveen en Bos en Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland.  
Pilot-onderzoek biologische defosfatering en stikstofverwijdering rwzi Nieuwgraaf.  
Eindrapport, 1991.
  
32. Witteveen en Bos en Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in  
Kennemerland en West-Friesland.  
Pilot-onderzoek biologische defosfatering en stikstofverwijdering rwzi Alkmaar.  
Eindrapport, 1992.

33. Witteveen en Bos en Zuiveringschap Limburg  
Pilot-onderzoek biologische fosfaatverwijdering en vergaande stikstofverwijdering op de rwzi Venlo.  
Eindrapport, 1992.
34. Witteveen en Bos en Zuiveringsschap Limburg.  
Pilot-onderzoek biologische fosfaatverwijdering en vergaande stikstofverwijdering op de rwzi Roermond.  
Eindrapport, 1992.
35. Witteveen en Bos en Waterschap Regge en Dinkel  
Pilot-onderzoek biologische fosfaatverwijdering en vergaande stikstofverwijdering op de rwzi Enschede-West.  
Eindrapport, 1992.
36. Zuiveringsschap Veluwe  
Biologische defosfatering rwzi Bennekom.  
Programma PN-1992, STOWA, 1992.



**BIJLAGE A:        EXPERIMENTEN OP PRAKTIJKSCHAAL**

|                       | pagina |
|-----------------------|--------|
| Toelichting           | 2      |
| rwzi Alkmaar          | 3      |
| ” Beesd               | 6      |
| ” Bennekom            | 8      |
| ” Bergambacht         | 10     |
| ” Bolsward            | 13     |
| ” Chaam               | 15     |
| ” Coevorden           | 17     |
| ” Deventer            | 19     |
| ” De Drie Ambachten   | 20     |
| ” Echten              | 22     |
| ” Eindhoven           | 25     |
| ” Emmen               | 29     |
| ” Heino               | 31     |
| ” Holten              | 33     |
| ” Horstermeer         | 35     |
| ” Loenen              | 36     |
| ” Lopik               | 37     |
| ” Nieuwegein          | 38     |
| ” Oosthuizen          | 40     |
| ” Putte               | 43     |
| ” Raalte              | 45     |
| ” Reeuwijk Randenburg | 46     |
| ” Ritthem             | 48     |
| ” Tollebeek           | 49     |
| ” De Verseput         | 50     |
| ” Vollenhove          | 51     |
| ” Westerschouwen      | 52     |
| ” Zetten              | 56     |

## Toelichting

In deze bijlage wordt een korte beschrijving gegeven van een aantal in uitvoering zijnde of al afgeronde experimenten op praktijkschaal. Het zwaartepunt ligt hierbij op de invloed van de doorgevoerde veranderingen op de slibvolume-index, c.q. het microscopisch beeld.

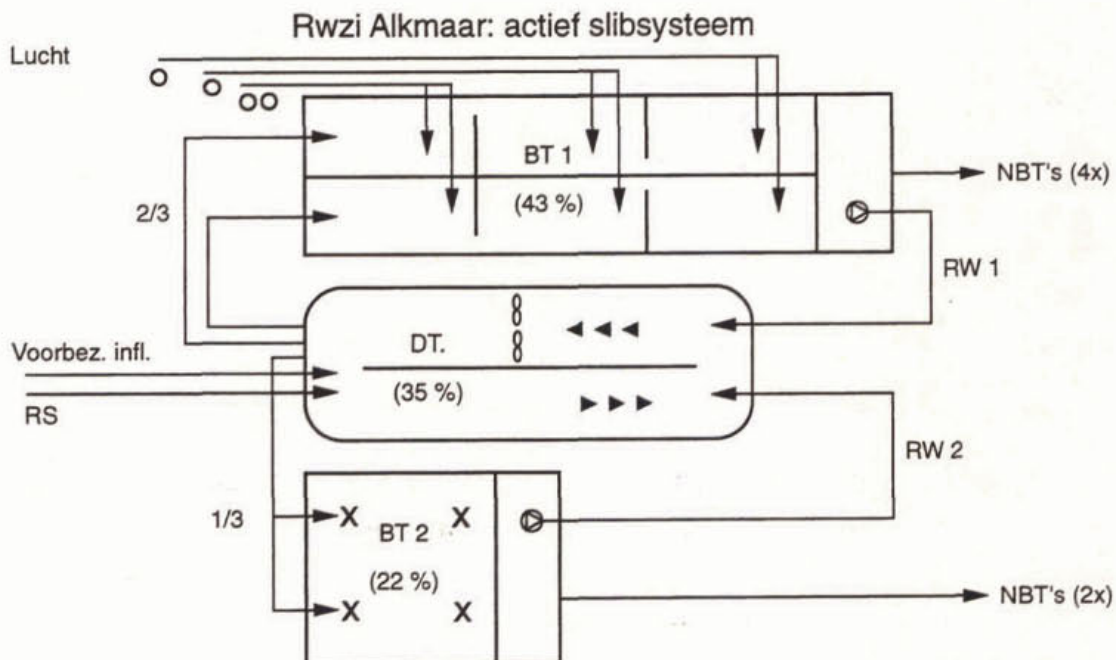
Bij het beschrijven van het microscopisch beeld worden de volgende aspecten vermeld:

- de filament-index (= FI). Deze index – voorheen de “categorie” genoemd – is een maat voor het aantal draadvormende bacteriën. De schaal loopt van 0 tot 5 (= geen-zeer veel draden);
- het aantal ciliaten, flagellaten en amoeben (schaal 1-3: geen-zeer veel cellen aanwezig). Deze Protozoa worden vermeld, omdat zuurstoftekorten leiden tot een verschuiving binnen de populatie; bij O<sub>2</sub>-limitatie gaan flagellaten en amoeben in plaats van ciliaten domineren;
- het aantal losse cellen (= niet-vlokgebonden bacteriecellen). Ook hierbij wordt een schaal van nul tot drie gebruikt. In laagbelaste actief-slibinrichtingen zijn normaliter nauwelijks losse cellen aanwezig. Zuurstoftekort leidt tot een toename van het aantal losse cellen;
- het aantal cellen (eveneens een schaal van 0 tot 3) met “luxury P-opslag”. Dit betreft dus cellen van bacteriën die via extra P-accumulatie bijdragen tot biologische fosfaat-verwijdering. Met de Neisser kleuring worden met fosfaat gevulde cellen blauwzwart gekleurd.

Tevens worden bij deze test de P-granulen in *M. parvicella* gekleurd.

## RWZI Alkmaar [8]

- Gemengd systeem (figuur A.1) met voordennitrificatie. De installatie is in haar huidige vorm in bedrijf sinds 1989.
- Ontwerpgrootte: 140.000 i.e., belasting: 85.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,07 kg BZV/kg d.s.-dag (incl. slib in de denitrificatietank).  
0,025 kg Nkj/kg d.s.-dag.



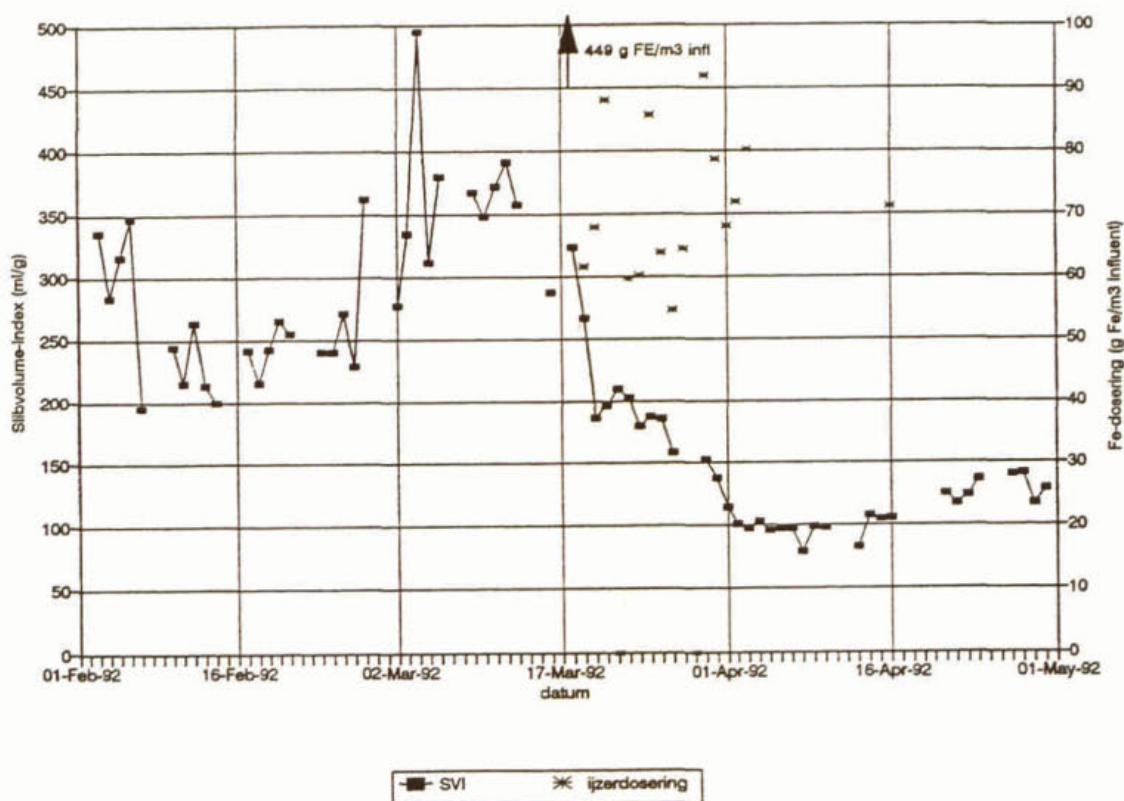
**Figuur A.1** Processchema rwzi Alkmaar.  
BT1 en BT2: beluchtingstanks  
D.T.: denitrificatietank

- De recirculatiefactor (retourslib plus de slibstroom uit de aëratietanks) bedraagt 4,2 ten opzichte van het influentdebiet.
- Het slib uit de propstroomer en dat uit de tank met volledige menging wordt dus met elkaar gemengd in de denitrificatietank.
- Geen duidelijk verhoogde P-reductie, de  $N_{\text{tot}}$ -verwijdering bedraagt ca. 80%.

### Slibvolume-index

Zie bijvoorbeeld figuur A.2. In BT2 is de index structureel hoger dan in BT1. In 1992 bedroeg het verschil gemiddeld 17%. De laatste jaren fluctueerde de SVI tussen 75 à 125 ml/g tijdens de zomermaanden en 200-400 ml/g gedurende de winter. In april '92 is

tijdelijk ijzer gedoseerd (Fe/P: 3-4,5), teneinde de index te verlagen. Er zijn regelmatig problemen met drijfslagvorming op de nabezinktanks. Dit gaat gepaard met een toename van het zwevend-stofgehalte in het effluent (gemiddeld 28 mg d.s./l).



Figuur A.2 Verloop van de SVI op de rwzi Alkmaar.

#### Microscopisch onderzoek

|                        | Datum       |             |                                            |                      |
|------------------------|-------------|-------------|--------------------------------------------|----------------------|
|                        | 20-8-'91 a) | 5-12-'91 a) | 16-1-'92 a)                                | jan. '93             |
| Filament index         | 1,5         | 1           | 3,5                                        | 4                    |
| Dominante draadvormers | geen        | geen        | <i>M. parvicella</i><br><i>N. limicola</i> | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 1,5         | 1,5         | 3                                          | 2                    |
| Flagellaten            | 0           | 0           | 1                                          | 0                    |
| Amoeben                | 0,5         | 0           | 0                                          | 0                    |
| Losse cellen           | 0,5         | 0,5         | n.b.                                       | 1                    |
| Luxury P-opslag        | 0,5         | 1           | 3                                          | 1,5                  |
| Opmerkingen            |             |             |                                            |                      |

a) bepaald door Uitwaterende Sluizen.

## **Conclusies**

1. Ondanks voordennitrificatie met een relatief lage recirculatiefactor tijdens de wintermaanden steeds een hoge SVI.
2. Het is opvallend dat de aanwezigheid van bacteriesoorten die P kunnen accumuleren niet gepaard gaat met een duidelijk verhoogde fosfaatreductie.

## RWZI Beesd [18]

- Oxydatiesloot
- Ontwerpgrootte: 7500 i.e., belasting: 5000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,045 kg BZV/kg d.s.-dag  
0,011 kg Nkj/kg d.s.-dag

### Veranderingen

Intermitterende beluchting via sturing op de redoxpotentiaal. Periode: juli '90-juli '92, met een onderbreking van januari '91 - juni '91 in verband met het optreden van licht slib. Er werd twee maal per dag gedurende maximaal vier uur niet belucht, van november '91 tot maart '92 werd in deze perioden bezinking van slib voorkomen via een voortstuwer.

Het N-tot-gehalte in het effluent daalde tot waarden < 10 mg N/l, de P-reductie steeg 10% tot circa 70%. Vanaf september '92 is overgeschakeld op een totale redoxregeling, met voortstuwing in de niet-beluchte perioden.

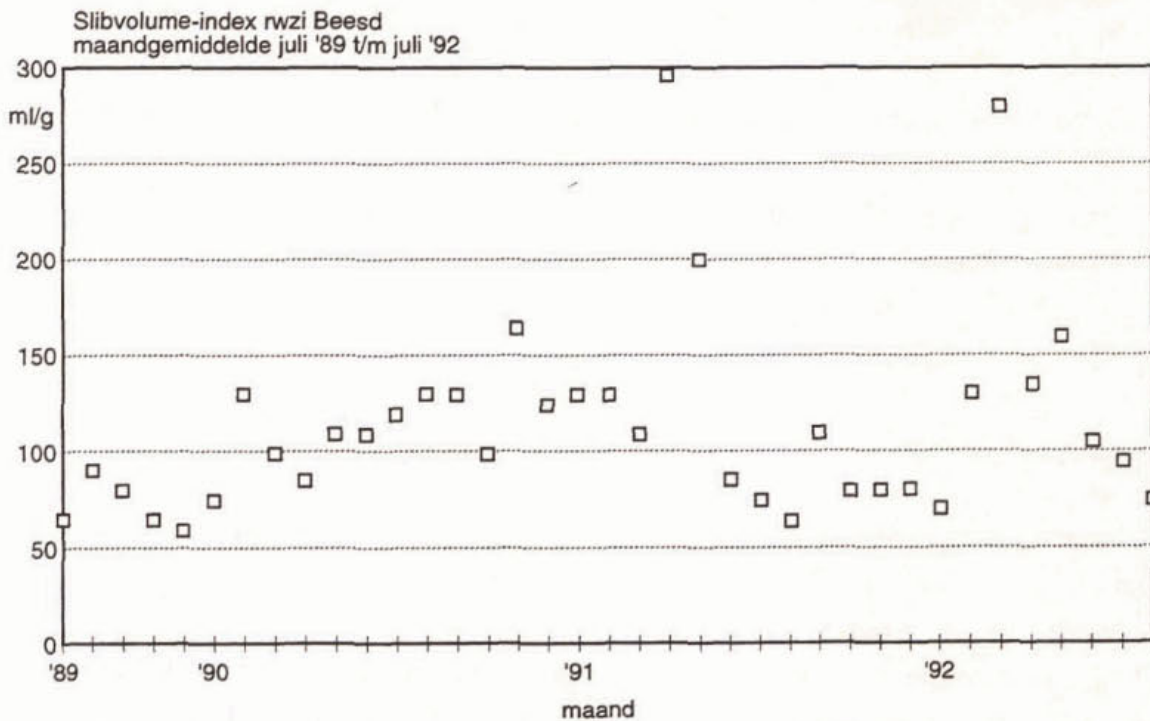
### Slibvolume-index

Zie figuur A.3. De modificatie ging gepaard met het ontstaan van licht slib tijdens de winterperioden (*M. parvicella* dominant). Dit heeft echter niet geleid tot slibverliezen.

### Microscopisch onderzoek

|                        | Datum                |           |                      |
|------------------------|----------------------|-----------|----------------------|
|                        | 2-6-'92              | 21-12-'92 | 11-2-'93             |
| Filament index         | 2                    | 2         | 3                    |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> | geen      | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 2                    | 1         | 2                    |
| Flagellaten            | 0                    | 1         | 0                    |
| Amoeben                | 0                    | 0,5       | 0,5                  |
| Losse cellen           | 0,5                  | 0,5       | 0                    |
| Luxury P-opslag        | 0,5 ? a)             | 0,5 ? a)  | 0                    |
| Opmerkingen            |                      |           |                      |

a) Acinetobacter-achtige cellen die echter niet kleuren bij de Neisser test.



*Figuur A.3 Slibvolume-index rwzi Beesd. Maandgemiddelde juli '89 t/m juli '92.*

### Conclusies

1. Sinds de start van het intermitterend beluchten is de index tijdens de wintermaanden hoger dan voorheen.
2. Gelet op de duidelijk verhoogde P-reductie is het aantal P-accumulerende cellen in het slib gering.

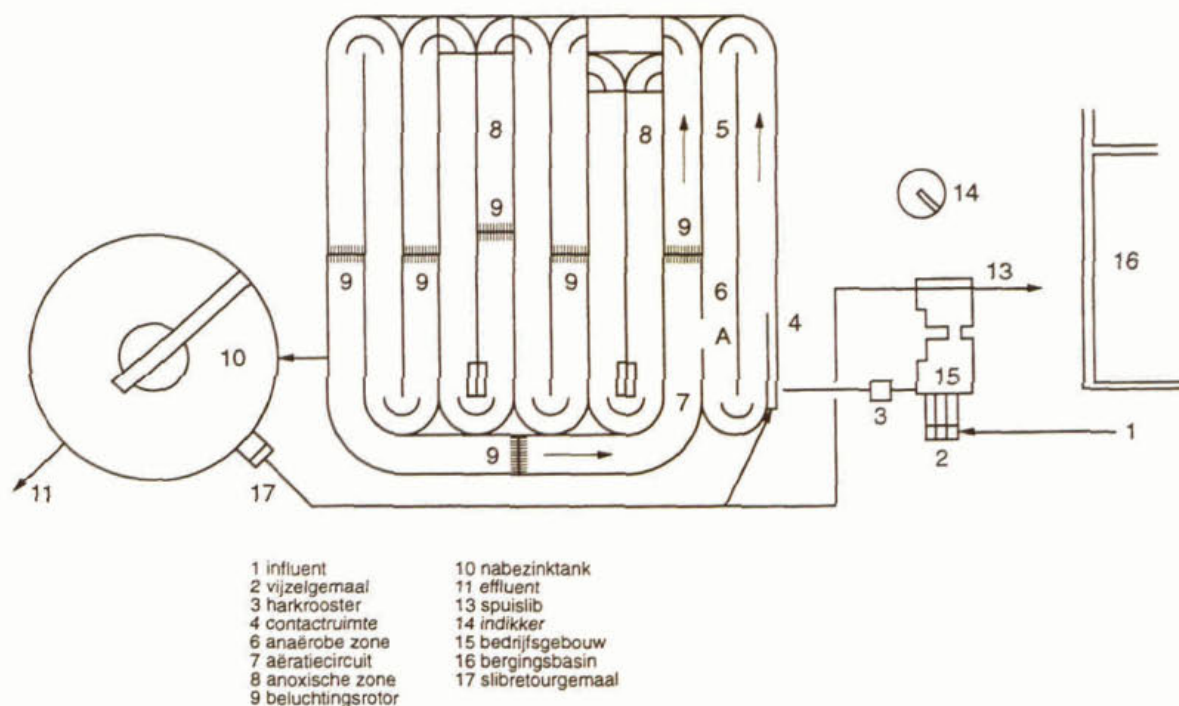
## RWZI Bennekom [36]

- Oxydatiesloot met mengzone voor influent en retourslib (waterverblijftijd bij dwa: 3 -5 min).
- Ontwerpgrootte: 22.000 i.e., belasting: 17.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,03 kg BZV/kg d.s.-dag  
0,009 kg Nkj/kg d.s.-dag

### Veranderingen

De rwzi was oorspronkelijk uitgevoerd als een oxydatiesloot met borstelbeluchting en discontinue bezinking van slib (→ effluent) in twee afsluitbare benen van de beluchtingsruimte. In 1989 is de rwzi verbouwd.

De nieuwe configuratie is in figuur A.4 weergegeven. Het afvalwater en het retourslib passeren nu eerst een mengzone en een anaërobe tank. Het mengsel komt vervolgens in de beluchtingsruimte waarin aërobe en anoxische zone's aanwezig zijn. De  $P_{tot}$ - en  $N_{tot}$ -reductie bedroegen in 1992 respectievelijk 81% en 91%.



**Figuur A.4** Schematisch overzicht rwzi Bennekom (nieuwe situatie).

**Slibvolume-index**

| Jaar       | 1984-1986 | 1987-1989 <sup>1)</sup> | 1991 | 1992 |
|------------|-----------|-------------------------|------|------|
| SVI (ml/g) | 175       | 117                     | 115  | 120  |

<sup>1)</sup> dosering van Al om index te verlagen

**Microscopisch beeld**

|                        | Datum                |                             |
|------------------------|----------------------|-----------------------------|
|                        | 2-6-'92              | dec '92                     |
| Filament index         | 2,5                  | 3                           |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i>        |
| Ciliaten               | 0,5                  | n.b.                        |
| Flagellaten            | 0                    | n.b.                        |
| Amoeben                | 0                    | n.b.                        |
| Losse cellen           | 1,5                  | n.b.                        |
| Luxury P-opslag        | 2 a)                 | 1                           |
| Opmerkingen            |                      | enkele dagen<br>oud monster |

a) diverse typen cellen

**Conclusies**

- Sinds de modificatie is de index voortdurend < 150 ml/g. *M. parvicella* is nog wel aanwezig, maar ontwikkelt zich kennelijk niet meer massaal.
- Het slib bevat vrij veel P-accumulerende cellen.

## RWZI Bergambacht [9, 20]

- Carrousel met een niet-beluchte selector.
- Ontwerpgrootte: 7000 i.e., belasting: 5500 i.e.
- Slibbelastingen: 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,013 kg Nkj/kg d.s.-dag.

### Veranderingen

In fase 1 (oktober '89 - mei '90) is alleen intermitterend belucht, tijdens fase 3 (mei '91-juni '92) was tevens een deelstroomproces voor P-verwijdering in bedrijf. Gedurende niet-beluchte perioden werd bezinken van slib door middel van een voortstuwer voorkomen.

### Procesomstandigheden en slibvolume-indices

Zie de tabellen A.1 en A.2. In het jaar voorafgaande aan de proeven bedroeg de slibvolume-index gemiddeld 90 ml/g. Tijdens fase 1 steeg de index tijdens het koude jaar-getijde tot ruim 200 ml/g. Dit werd toegeschreven aan het gedeeltelijk dichtslibben van de selector. Deze is vervolgens schoongemaakt. Ook tijdens fase 3 was de SVI echter praktisch altijd > 90 ml/g (zie figuur A.5) en was opnieuw een duidelijk seizoensritme waarneembaar.

Inzake de N-/P-verwijdering kan worden opgemerkt dat:

- tijdens fase 1 het Ntot-gehalte van het effluent daalde tot waarden < 10 mg/l. Aan het einde van deze fase nam bovendien het aantal fosfaataccumulerende bacteriën duidelijk toe.
- tijdens fase 3 alleen gedurende de wintermaanden niet helemaal aan de eis van maximaal 10 mg N/l kon worden voldaan. De P-afgiftecapaciteit steeg tot bijna 5 mg P/g d.s.

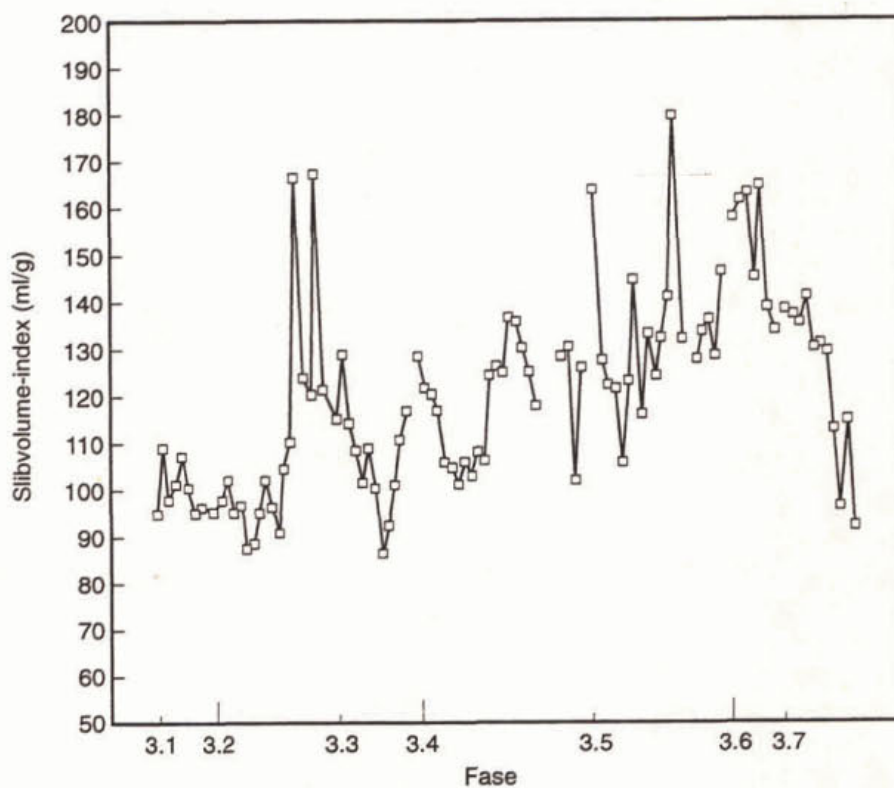
**Tabel A.1** Procesomstandigheden en slibvolume-indices tijdens fase 1.

| Parameter         | Subfasen          |     |     |     |     |     |      |
|-------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                   | 1.1 <sup>a)</sup> | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7  |
| proefduur (dagen) | 6                 | 27  | 30  | 30  | 17  | 34  | 35   |
| beluchting uit    |                   |     |     |     |     |     |      |
| • frequentie/dag  | -                 | 3   | 3   | 4   | 4   | 4   | 4    |
| • uren/dag        | -                 | 6   | 6   | 8   | 8,4 | 9,2 | 10,4 |
| temperatuur (°C)  | 17                | 16  | 10  | 9   | 11  | 11  | 11   |
| SVI (ml/g)        | 66                | 70  | 90  | 126 | 132 | 152 | 212  |

<sup>a)</sup> beluchting nog continu aan.

**Tabel A.2** Procesomstandigheden en slibvolume-indices tijdens fase 3.

| Parameter                   | Subfase |      |      |      |     |     |     |
|-----------------------------|---------|------|------|------|-----|-----|-----|
|                             | 3.1     | 3.2  | 3.3  | 3.4  | 3.5 | 3.6 | 3.7 |
| proefduur (dagen)           | 40      | 60   | 40   | 89   | 72  | 21  | 48  |
| % aëroob                    | 49      | 50   | 53   | 50   | 67  | 67  | 69  |
| % anoxisch                  | 44      | 34   | 30   | 27   | 27  | 30  | 20  |
| % anaëroob                  | 7       | 16   | 17   | 23   | 6   | 3   | 11  |
| totaal niet belucht (h/dag) | 11,3    | 11,3 | 11,3 | 11,5 | 7,2 | 7,2 | 7,4 |
| temperatuur (°C)            | 16      | 20   | 18   | 12   | 10  | 13  | 18  |
| SVI (ml/g)                  | 100     | 109  | 107  | 119  | 134 | 152 | 124 |

**Figuur A.5** Verloop van de slibvolume-index tijdens fase 3.

**Microscopisch beeld**

|                        | Datum                |
|------------------------|----------------------|
|                        | juni '92             |
| Filament index         | 3                    |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 1,5                  |
| Flagellaten            | 0                    |
| Amoeben                | 0                    |
| Losse cellen           | 0                    |
| Luxury P-opslag        | 1 a)                 |
| Opmerkingen            |                      |

a) verschillende typen cellen

**Conclusies**

- Tijdens het 2<sup>e</sup> onderzoeksjaar (intermitterend beluchten plus P-verwijdering in de sliblijn) is de index in de winter wel weer gestegen, maar is geen licht-slibprobleem ontstaan.
- In juni '92 (einde fase III) waren vrij veel P-accumulerende cellen in het slib aanwezig.

## RWZI Bolsward

- Carrousel met een selector (slingergoot, niet belucht).
- Ontwerpgrootte: 45.000 i.e, gemiddelde belasting over 1991: 29.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,03 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,007 kg Nkj/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

Sinds augustus 1991 wordt intermitterende beluchting toegepast (2 uur beluchten, 2 uur niet beluchten; continue toevoer van influent). Er zijn geen voortstuwers geplaatst  $\Rightarrow$  het slib bezinkt tijdens de niet-beluchte perioden. Sinds juli 1991 wordt  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  gedoseerd (Fe/P mol-verhouding = 1,33). In 1992 bedroegen de gehalten aan N-totaal en P-totaal in het effluent respectievelijk 5,1 mg N/l en < 1 mg P/l.

## Slibvolume-index

| Jaar       | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 |
|------------|------|------|------|------|
| SVI (ml/g) | 94   | 79   | 81   | 95   |

## Microscopisch beeld

|                        | Datum                |                      |                                   |
|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|
|                        | juni '92             | jan. '93             | febr. '93                         |
| Filament index         | 2,5                  | 3,5                  | 3,5                               |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i><br>Type 0041 |
| Ciliaten               | 0,5                  | n.b.                 | 0,5                               |
| Flagellaten            | 0                    | n.b.                 | 0                                 |
| Amoeben                | 0                    | n.b.                 | 0,5                               |
| Losse cellen           | 0                    | 0                    | 0,5                               |
| Luxury P-opslag        | 1 a)                 | n.b.                 | 1                                 |
| Opmerkingen            |                      |                      |                                   |

a) Verschillende typen cellen.

### Conclusies

1. Door de toepassing van simultane, chemische defosfatering leidt de groei van *M. parvicella* niet tot een forse stijging van de index.
2. Hoewel chemisch gedefosfateerd wordt, bevat het slib ook nogal wat P-accumulerende cellen.

## RWZI Chaam

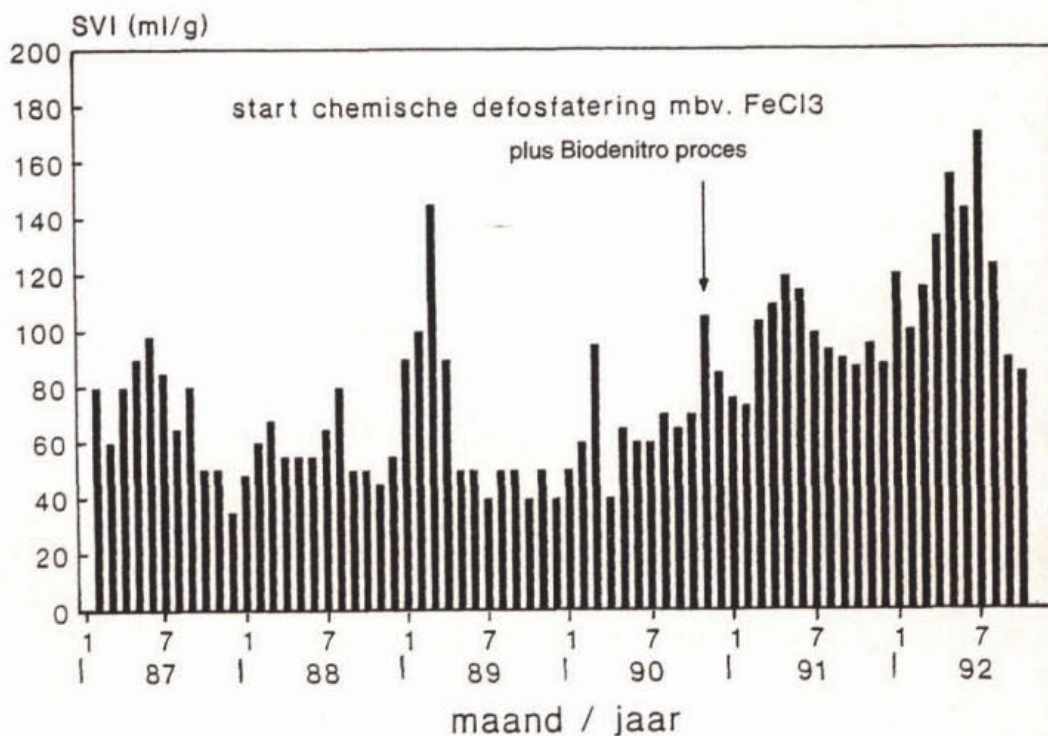
- Oxydatiesloot, bestaande uit twee gescheiden circuits met één gemeenschappelijke nabezinktank.
- Ontwerpgrootte: 6250 i.e., huidige belasting (1992): 7300 i.e.  
Tijdens de zomermaanden is de belasting aanmerkelijk hoger dan in de winter.
- Slibbelastingen: 0,048 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,012 kg Nkj/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

In 1991 is gestart met een Biodenitro bedrijfsvoering (alternerend beluchten) en wordt aanvullend chemisch gefosfateerd (simultaan). Dit heeft geleid tot een toename van de N- en P-reductie tot respectievelijk 79% en 96%.

## Slibvolume-index

Zie figuur A.6.



**Figuur A.6** Ontwikkeling van de slibvolume-index op de rwzi Chaam.

**Microscopisch beeld**

|                        | Datum                         |                              |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                        | 9-6-'92                       | 21-12-'92                    |
| Filament index         | 2,5                           | 2,5                          |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i>          | <i>M. parvicella</i>         |
| Ciliaten               | 2                             | 2                            |
| Flagellaten            | 0                             | 0                            |
| Amoeben                | 0,5                           | 0                            |
| Losse cellen           | 0                             | 0                            |
| Luxury P-opslag        | 0,5 a)                        | 0                            |
| Opmerkingen            | opvallend open<br>slibvlokken | opvallend open<br>slibvlokke |

a) Klompjes grote cellen.

**Conclusies**

1. Ondanks de chemische defosfatering is de maximale slibvolume-index sinds de start van de Biotenitro procesvoering gestegen van 100 mg/l tot circa 160 ml/g/
2. De SVI bereikt haar maximale waarde in de periode met de hoogste belasting (zomer).
3. Gelet op het betrekkelijk geringe aantal draden, heeft de vlok een opvallend open structuur.

## RWZI Coevorden

- Schreiber installatie
- Ontwerpgrootte: 25.000 i.e., gemiddelde belasting over 1991: 24.000 i.e. (circa  $\frac{1}{3}$  van industriële herkomst.
- Slibbelastingen: ca. 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,01 kg Nkj/kg d.s.-dag.

## N-verwijdering

- Voordenitrificatie sinds de bouw van de rwzi in de centrale ring. Inhoud van dit bekken: 1090 m<sup>3</sup>; influentdebiet (dwa): 450 m<sup>3</sup>/h; retour-slibdebiet: 300 m<sup>3</sup>/h; water-verblijftijd: 1  $\frac{1}{2}$  uur; geen extra recirculatie.
- Mogelijk ook simultane denitrificatie in de beluchtingsruimte. Set points O<sub>2</sub>-regeling: 1,5 en 2,0 mg O<sub>2</sub>/l.
- De N<sub>tot</sub>-reductie bedroeg in 1992 86%.

## P-verwijdering

“Spontaan” een verwijderingspercentage van 98% (1992). De BZV/P-verhouding is echter hoog (32).

## Slibvolume-index

Zie figuur A.7. De SVI fluctueerde in 1992 tussen 75 ml/g (zomer) en 200 ml/g (winter). Hoge indices leiden soms tot slibuitspoeling.

## Microscopisch beeld

|                        | Datum            |                                |
|------------------------|------------------|--------------------------------|
|                        | 9-6-'92          | 17-2-'93                       |
| Filament index         | 3                | 2,5                            |
| Dominante draadvormers | T 1851<br>T 0041 | <i>M. parvicella</i><br>T 0041 |
| Ciliaten               | 2                | 0                              |
| Flagellaten            | 1                | 1,5                            |
| Amoeben                | 0                | 0                              |
| Losse cellen           | 0                | 1                              |
| Luxury P-opslag        | 0,5              | n.b.                           |
| Opmerkingen            |                  |                                |

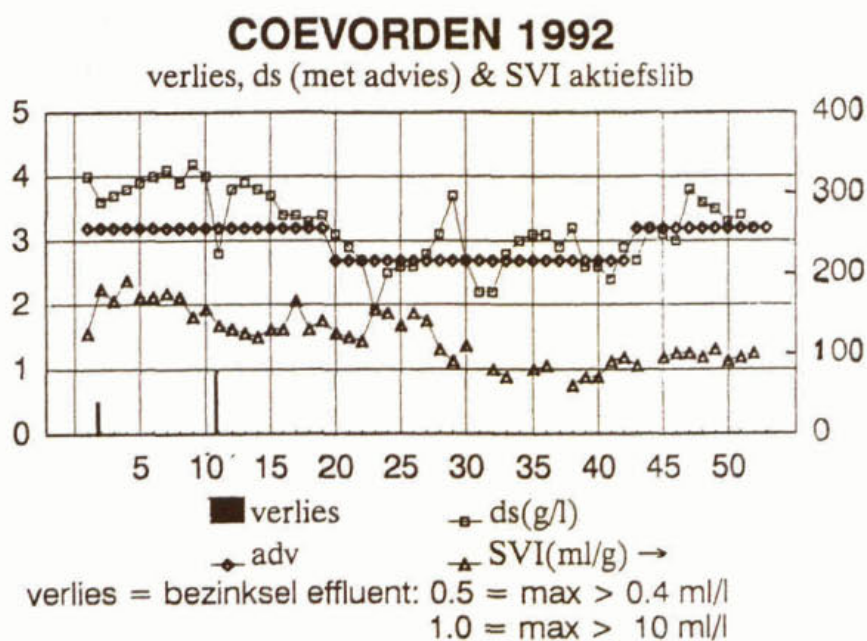


Fig. A.7 SVI (-Δ-) in 1992.

## Conclusie

- Ondanks de lage recirculatiefactor ( $< 1$ ) licht slib tijdens de eerste maanden van 1992.

## RWZI Deventer

- Laagbelast actiefslibstelsysteem met een niet-beluchte selector. Voeding met voorbezonden afvalwater.
- Ontwerpgrootte: 120.000 i.e., huidige belasting: 77.000 i.e.
- Slibbelastingen (1992): 0,06 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,033 kg Nkj/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

In mei 1990 is gestart met preprecipitatie (ferrichloridesulfaat; ME/P= 0,8-0,9). Doordat hierdoor tevens de BZV-verwijdering in de voorbezinktank fors toenam, daalde de slibbelasting van 0,12 kg BZV/kg d.s.-dag tot het hierboven genoemde niveau. Bij dwa is nu praktisch het gehele jaar volledige nitrificatie mogelijk.

## Slibvolume-indices

| Jaar       | 1988   | 1989   | 1990   | 1991   | 1992  |
|------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| SVI (ml/g) | 162±36 | 171±45 | 145±50 | 119±51 | 73±19 |

## Microscopisch beeld

- Voorheen: FI 3 à 4, *M. parvicella* dominant.
- Monster dec. '92: FI = 1, in sommige straten veel Metazoa (wormen) aanwezig.

## Conclusie

- Preprecipitatie heeft geleid tot een lage, stabiele fase.

## RWZI De Drie Ambachten [5]

- Schreiber (zonder centrale ring), met een beluchte selector. Voeding met voorbezonden afvalwater.
- Ontwerpcapaciteit: 77.500 i.e., huidige belasting: 50.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,055 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,027 kg Nkj/kg d.s.-dag.

### N- en P-verwijdering

Intermitterend beluchten (sinds de start van de rwzi in 1991). Tot 20-12-1992 is de beluchting gestuurd via een zogenaamde O<sub>2</sub>-minimator. Hierbij wordt via troebelheidsmetingen het traject: aëroob - anoxisch - anaëroob - opnieuw beluchten, enz. doorlopen. In september '92 is de beluchting tijdelijk gestuurd via on-line NH<sub>4</sub>-monitoring. Vanaf 21-12-1992 is overgeschakeld op een beluchttingsregime van 2 uur aan en 2 uur uit. Sinds 26 januari 1993 wordt AlCl<sub>3</sub> gedoseerd om de vlok te verzwaren.

Verwijderingspercentages in 1992: N<sub>tot</sub> = 49% en P<sub>tot</sub> = 58%

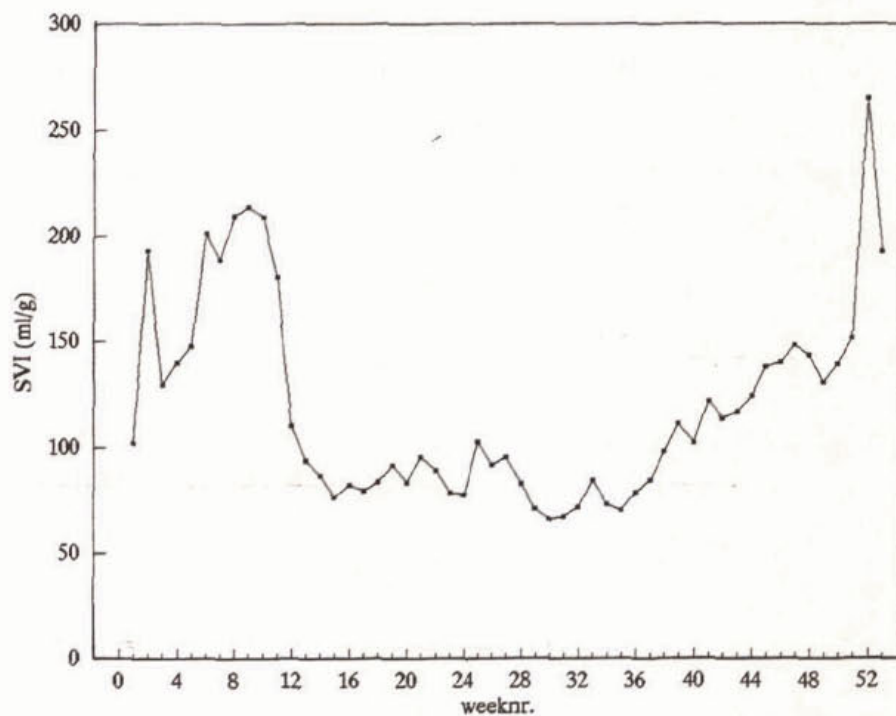
### Slibvolume-index

Zie figuur A.8. Eind december '92 was de index weer gestegen tot boven 150 ml/g. Als dit niveau wordt overschreden stijgt het droge-stofgehalte in het effluent tot, exclusief dagen met grote slibverliezen, 30 à 70 mg d.s./l. Drijfslaagvorming is een belangrijke oorzaak van deze slibverliezen.

### Microscopisch beeld

|                        | Datum                |                      |                      |                      |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                        | 19-12-'91            | 9-6-'91              | 8-9-'92              | 23-12-'92            |
| Filament index         | 4                    | 3                    | 3,5                  | 4                    |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 0                    | 1                    | 0                    | 2                    |
| Flagellaten            | 1                    | 2                    | 3                    | 0                    |
| Amoeben                | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| Losse cellen           | 3                    | 0,5                  | 1                    | 1                    |
| Luxury P-opslag        | 0,5                  | 0                    | 0                    | 0                    |
| Opmerkingen            |                      |                      |                      |                      |

N.B. Op 11/2/'93 nog steeds FI = 3 en *M. parvicella* dominant



**Figuur A.8** Slibvolume-index van de rwzi De Drie Ambachten (1992).

### Conclusie

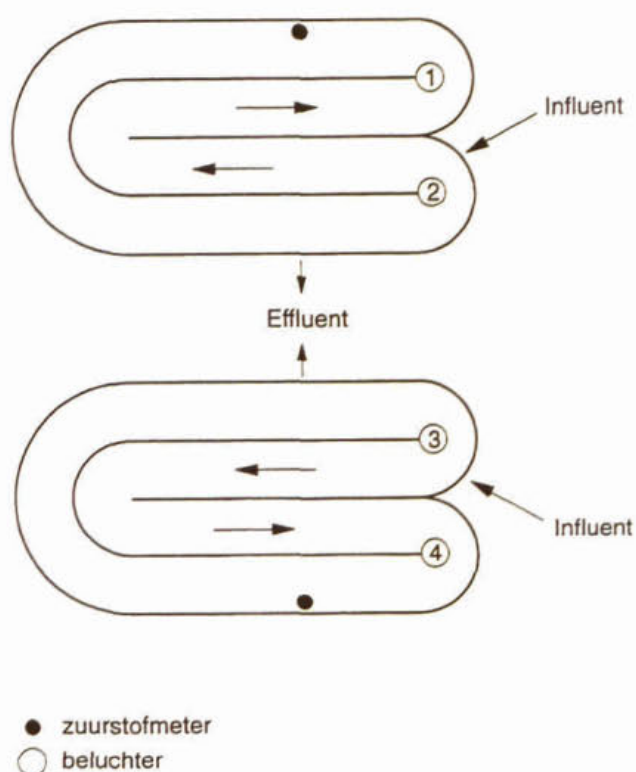
- In deze rwzi is ook tijdens de zomermaanden nog een omvangrijke populatie van *M. parvicella* aanwezig. Gelet op de slibbelasting, is dit opmerkelijk. Dit is waarschijnlijk het gevolg van O<sub>2</sub>-tekorten door het intermitterend beluchten.

## RWZI Echten [25]

- Carrousel met een niet-beluchte selector (waterverblijftijd bij dwa: 8 min.).
- Ontwerpgrootte: 100.000 i.e.; gemiddelde belasting over 1992: 83.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,04 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,013 kg Nkj/kg d.s.-dag.

### Veranderingen

Via een PLC-sturing zijn in de periode 1-11-'90 tot 1-4-'92 zes verschillende beluchtingsregime's getest, teneinde de P-verwijdering te vergroten en de N-reductie te optimaliseren. (zie figuur A.9 en tabel A.3).



Figuur A.9 Schema beluchting.

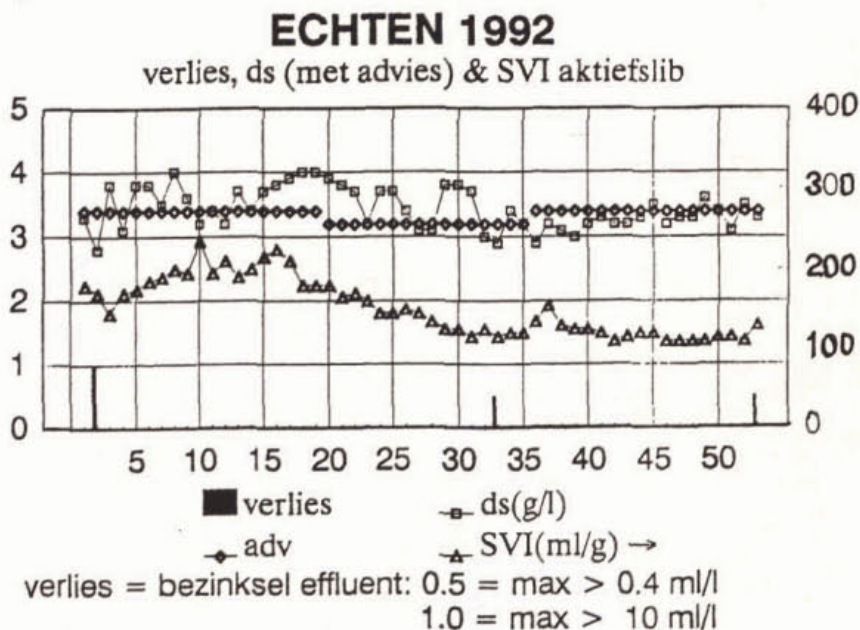
Tabel A.3 Overzicht van de onderzoeksperioden op de rwzi Echten.

| periode               | belangrijkste kenmerk                  | beluchters<br>hoog/uit | tijd bel.<br>hoog/uit |
|-----------------------|----------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 01-11-90 tot 31-01-91 | tijdens speruren alle beluchters uit   | 1, 2, 3 en 4           | 9.00 - 12.00 h        |
| 01-02-91 tot 08-05-91 | per circuit een beluchter hoog         | 2 en 3                 | 9.00 - 12.00 h        |
| 09-05-91 tot 08-05-91 | per circuit een beluchter hoog         | 2 en 3                 | 12.00 - 15.00 h       |
| 29-07-91 tot 30-10-91 | bij dwa per circuit een beluchter hoog | 2 en 3                 | 12.00 - 18.00 h       |
| 01-11-91 tot 31-01-92 | bij dwa alle beluchters 2 uur hoog     | 1, 2, 3 en 4           | 11.00 - 16.00 h       |
| 01-02-92 tot 01-04-92 | bij dwa per circuit een beluchter hoog | 2 en 3                 | 0.00 - 24.00 h        |

Tijdens alle perioden waren de beluchters 2 en 3 (dus op de plaats waar het mengsel uit de contacttank in het circuit komt) dagelijks een aantal uren buiten bedrijf. Dit ging gepaard met een  $P_{\text{tot}}$ -reductie van 58-75%. De  $N_{\text{tot}}$ -verwijdering varieerde van 64-89%.

#### Slibvolume-index

Zie b.v. figuur A.10. De index vertoont ieder jaar een seizoensritme met een index rond 200 ml/g in de wintermaanden.



Figuur A.10 Slibvolume-index.

**Microscopisch beeld**

|                        | Datum                |                      |
|------------------------|----------------------|----------------------|
|                        | 9-6-'92              | 23-2-'93             |
| Filament index         | 3,5                  | 4                    |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 1,5                  | 1                    |
| Flagellaten            | 0                    | 0,5                  |
| Amoeben                | 0                    | 1                    |
| Losse cellen           | 1                    | 2                    |
| Luxury P-opslag        | 1,5 <sup>1)</sup>    | n.b.                 |
| Opmerkingen            |                      |                      |

<sup>1)</sup> Grote cellen

**Conclusie**

- Mogelijke effecten van de experimentele condities op de SVI worden overschaduwd door de in volbelaste carrousels gebruikelijke seizoensinvloed op de index.

## Praktijkproef Eindhoven [13]

Uit een vooronderzoek op pilot-schaal [14] werd geconcludeerd dat aan de gestelde eisen inzake P- en N-verwijdering en de stabiliteit van de SVI kon worden voldaan bij de volgende procescondities:

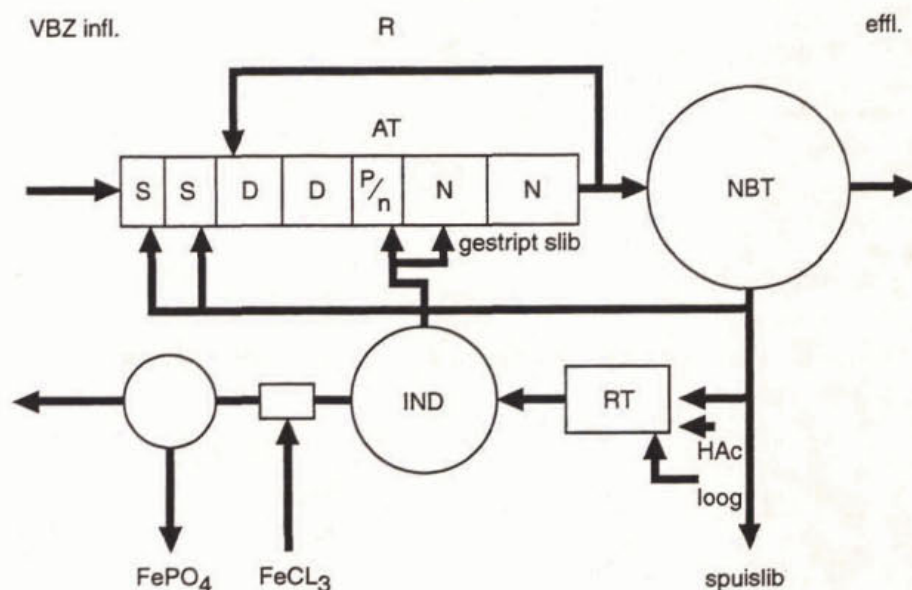
- slibbelasting: 0,25-0,30 kg CZV/kg d.s.-dag;
- een gecompartmenteerde, beluchte selector met een vlokbelading van 100-120 mg CZV/g d.s. en een contacttijd van 20-40 min.;
- voordennitrificatie (25-30% van het volume van de aëratietank; recirculatiefactor: 2);
- P-verwijdering in een deelstroomproces (12,5% van het retourslib).

De gewenste resultaten werden gerealiseerd bij een watertemperatuur van 17-19°C.

Naar aanleiding van deze resultaten is een proef op praktijkschaal (7500 i.e.) uitgevoerd, waarbij met elkaar werden vergeleken:

- De hiervoor genoemde configuratie (zie figuur A.11), met als belangrijkste verschil dat de selector uit twee in plaats van vier compartimenten bestond;
- Simultane, chemische defosfatering met  $\text{FeCl}_3$  in een niet gecompartmenteerde straat.

De experimenten zijn uitgevoerd in de periode juli 1991 tot juli 1992.



**Figuur A.11** Processchema

*S = selector, D = denitrificatieruimte, P/N = alternatieve denitrificatie, N = nitrificatieruimte, AT = aëratietank, R = recirculatie, RT = P-release tank, IND = indikker, NBT = nabezinktank.*

### Procesomstandigheden en enkele resultaten

De belangrijkste procesomstandigheden zijn samengevat in de tabellen A.4 en A.5.

Voor de resultaten van de N- en de P-verwijdering wordt verwezen naar het desbetreffende rapport [13], hier wordt volstaan met de opmerkingen dat de installatie tijdens fase B niet nitrificeerde door langdurige regenval in het begin van de periode en een daling van de watertemperatuur en dat de resultaten van de biologische P-verwijdering een zeer wisselend beeld vertonen.

Het verloop van de slibvolume-index in beide straten is weergegeven in de figuren A.12 en A.13.

**Tabel A.4** Procesomstandigheden in de straat met biologische P- en N-verwijdering.

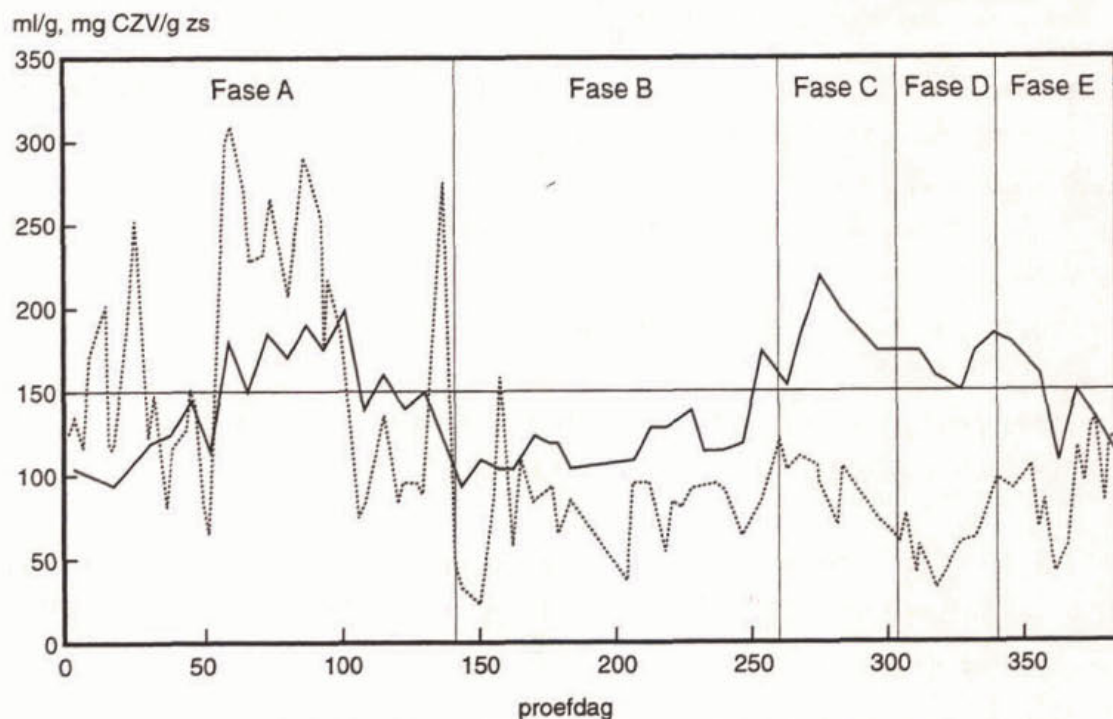
|                             | Fase     |         |         |         |         |
|-----------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
|                             | A        | B       | C       | D       | E       |
| dagnummer                   | 1-137    | 138-253 | 254-296 | 297-332 | 333-382 |
| deelstroomproces            | aan/uit  | uit     | aan     | aan     | uit     |
| temperatuur (°C)            | 17-21    | 11-14   | 10-13   | 13-16   | 18-20   |
| HVT bij DWA (h)             | 6,9      | 6,9     | 9,2     | 8,6     | 8,6     |
| contacttijdselector (min.)  | 40       | 35      | 45      | 45      | 45      |
| vlokbelading <sup>1)</sup>  | 60-350   | 80      | 100     | 60      | 100     |
| % anoxisch/anaëroob         | 35       | 35-43   | 43      | 43      | 35      |
| recirculatiefactor          | 2,5      | 2,5     | 3,3     | 4,1     | 4,4     |
| slibbelasting <sup>2)</sup> | 0,15-0,6 | 0,23    | 0,20    | 0,18    | 0,18    |

1) g CZV/kg d.s.

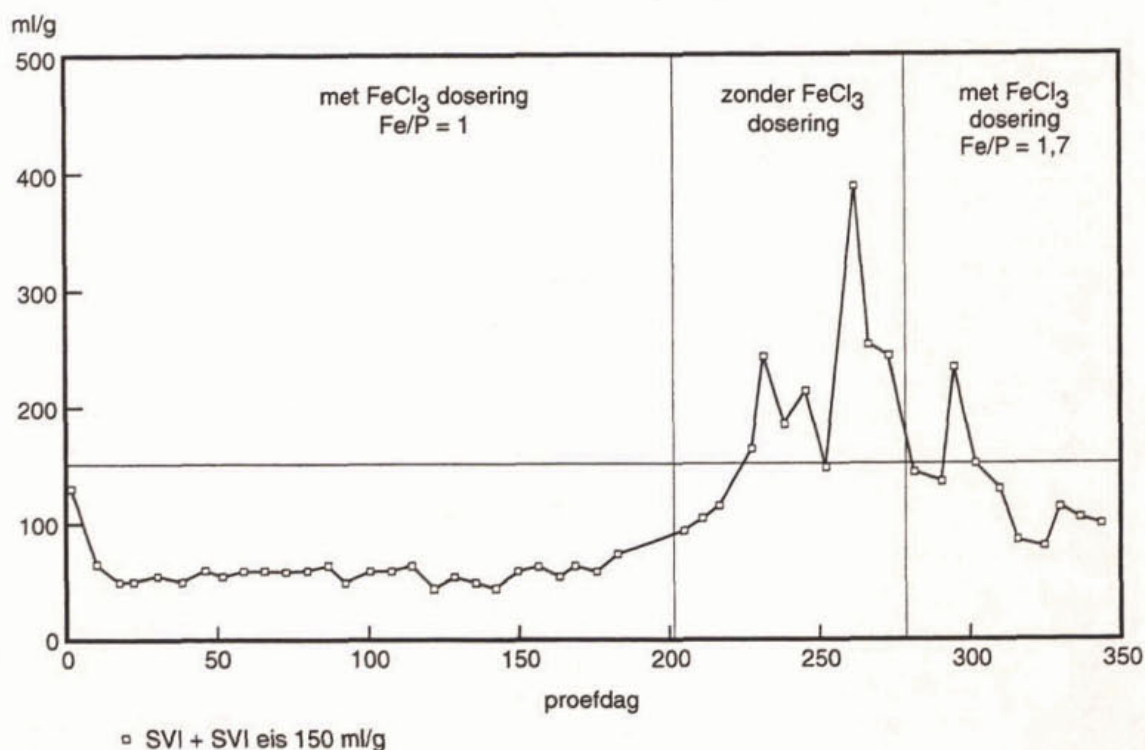
2) kg CZV/ kg d.s.-dag

**Tabel A.5** Procesomstandigheden in de straat met tijdelijk chemische defosfatering.

|                  | FeCl <sub>3</sub> -dosering |         |         |
|------------------|-----------------------------|---------|---------|
|                  | ja                          | neen    | ja      |
| dagnummer        | 1-150                       | 204-275 | 276-349 |
| temperatuur (°C) | 17-21                       | 11-13   | 10-19   |
| HVT bij DWA (h)  | 6,9                         | 6,9     | 6,9     |
| slibbelasting    | 0,25                        | 0,28    | 0,28    |
| Fe/P-verhouding  | 1,1                         | -       | 1,7     |



**Figuur A.12** Verloop van de vlokbelading en de SVI in de straat met biologische P- en N-verwijdering.  
 — : SVI      ..... : vlokbelading



**Figuur A.13** Verloop van de SVI in de straat met simultane, chemische defosfatering.

In het rapport worden de volgende conclusies getrokken:

“Door het niet-optimale propstroommodel van de selector is de SVI gevoelig voor een juiste vlokbelading. Bij een vlokbelading van ca. 100 mg CZV/g d.s. is de SVI 100-120 ml/g in de fasen B en E.

In de fase C stijgt de SVI naar een maximale waarde van 220 ml/g. Dit kan veroorzaakt zijn door:

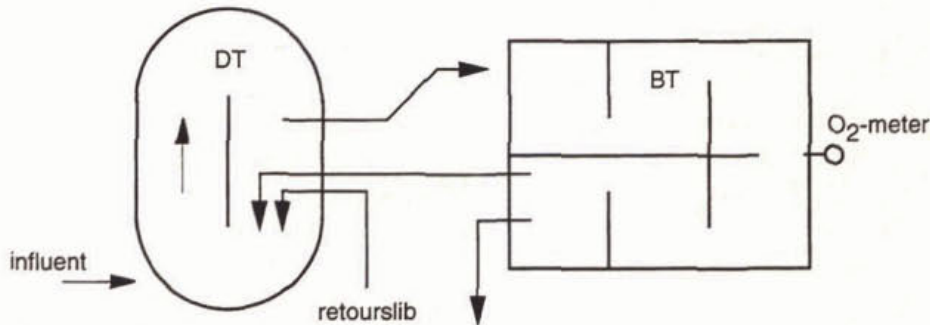
- a. HAC-dosering in het deelstroomproces.
- b. Grotere, onbeluchte slibfractie.
- c. Slibmineralisatie (lage slibbelasting plus hoge zuurstofconcentratie).
- d. Doorslag van aangerot slib uit de voorbezinktank.

In fase E was het deelstroomproces *niet in bedrijf* en daalde de index naar ca. 110 ml/g. Een eenduidig effect van de veranderingen in de procescondities op de SVI kan daarom niet worden vastgesteld.”

Zoals verwacht leidde de simultane defosfatering met  $\text{FeCl}_3$  tot een lage, stabiel index.

## RWZI Emmen

- Een omloopreactor voor denitrificatie, gevolgd door een gecompartmenteerde aëratietank (Figuur A.14). Voeding met voorbezonden influent.



Figuur A.14 Processchema rwzi Emmen.

- Ontwerpgrootte: 175.000 i.e., aangesloten: 132.000 i.e. (circa  $\frac{1}{3}$  van industriële herkomst).
- Slibbelastingen: 0,04 kg BZV/kg d.s.-dag (inclusief het slib in het denitrificatiebekken)  
0,014 kg Nkj/ kg d.s.-dag).

## N-verwijdering

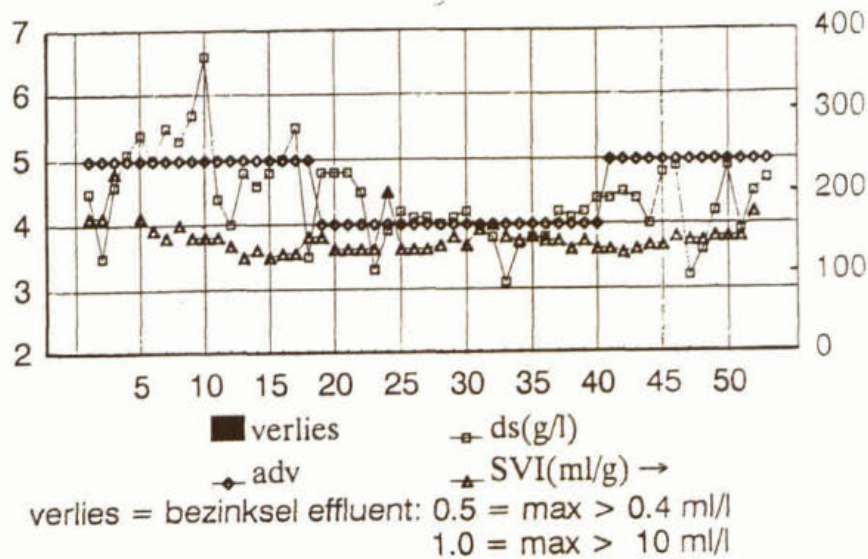
- Voordenitrificatie. Inhoud bekken: 9600 m<sup>3</sup>. Influentdebiet (dwa): 3000 m<sup>3</sup>/h. Recirculatie (incl. 21% retourslib): 5700 m<sup>3</sup>/h (maximaal mogelijk 8200 m<sup>3</sup>/h).  
Watervverblijftijd: 60 à 70 min.
- Soms ook simultane denitrificatie in het laatste compartiment van de aëratietank.
- Rendement (1991): 74%.

## P-verwijdering

Niet bewust gestimuleerd, soms spontaan een afname van het fosforgehalte in het effluent tot  $[P_{\text{tot}}] \leq 1 \text{ mg/l}$ . In 1991 bedroeg het verwijderingsrendement gemiddeld 60%.

### Slibvolume-index

De SVI fluctueert tussen 125 en 175 ml/g (Fig. A. 15)



• **Figuur A.15** Slibvolume-index (1992) in de rwzi Emmen.

### Microscopisch beeld

|                        | Datum                             |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                        | 9-6-'92                           | 2-3-'93                           |
| Filament index         | 3                                 | 4                                 |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i><br>Type 1851 | <i>M. parvicella</i><br>Type 1851 |
| Ciliaten               | 2                                 | 2                                 |
| Flagellaten            | 0                                 | 0                                 |
| Amoeben                | 1                                 | 0                                 |
| Losse cellen           | 0                                 | 0                                 |
| Luxury P-opslag        | 0                                 | 0,5                               |
| Opmerkingen            |                                   |                                   |

### Conclusie

- In deze rwzi is de index weliswaar wat aan de hoge kant, maar de aanwezigheid van draadvormers leidt slechts incidenteel tot het ontstaan van licht slib. Gelet op de populatiesamenstelling in andere rwzi's, is de aanwezigheid van Type 1851 in deze rwzi opvallend.

## RWZI Heino [28]

- Oxydatiesloot met een mengtank voor influent en retourslib (waterverblijftijd: circa 1 min.).
- Ontwerpgrootte: 1.500 i.e., huidige belasting: 4.000 i.e. (op basis van 54 g BZV/i.e.; 10 g/N/i.e. → 8.000 i.e.)
- Slibbelastingen: 0,02 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,007 kg Nkj/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

Intermitterende beluchting sinds januari 1992. Na een beluchte periode van 2,5 uur worden de mammoetrotoren uitgeschakeld en komt een voortstuwer in bedrijf. De rotoren worden weer ingeschakeld zodra de redoxpotentiaal gedaald is tot -100 mV. Als deze waarde na drie uur nog niet is bereikt, wordt de beluchting in elk geval weer in bedrijf gesteld. Sinds maart '92 wordt tevens het influent intermitterend toegevoerd (75% van de aanvoer in niet-beluchte perioden). Deze procesvoering heeft geleid tot een  $N_{\text{tot}}$ -reductie van 92% ( $N_{\text{tot}} = 5 \pm 2,5$  mg N/l in het effluent). De fosfaatverwijdering is niet toegenomen.

## Slibvolume-index

- voor modificatie: 110 ml/g (jaargemiddelde 1991)
- na modificatie: 145 ml/g (jan. '92 - sept. '92).

## Microscopisch beeld

|                        | Datum                  |                                        |
|------------------------|------------------------|----------------------------------------|
|                        | 1-6-'92                | 22-12-'92                              |
| Filament index         | 3,5                    | 3,5                                    |
| Dominante draadvormers | Type 1851<br>Type 0041 | <i>M. parvicella</i><br>Type 1851/0041 |
| Ciliaten               | 0,5                    | 2                                      |
| Flagellaten            | 0                      | 0                                      |
| Amoeben                | 0                      | 0                                      |
| Losse cellen           | 0,5                    | 0                                      |
| Luxury P-opslag        | 1                      | 0                                      |
| Opmerkingen            |                        |                                        |

## **Conclusie**

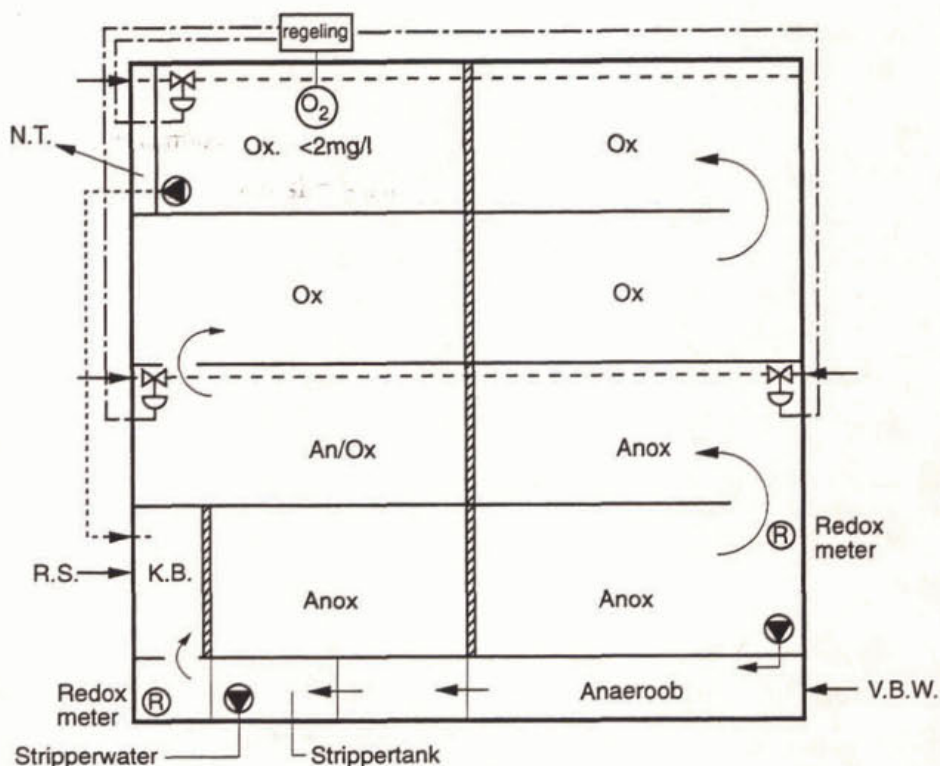
- Intermitterend beluchten heeft geleid tot een stijging van de index.

## RWZI Holten [3]

- Laagbelast actief-slibstelsysteem met een propstroomconfiguratie. In 1990 overgeschakeld op de UCT-procesvoering.
- Ontwerpgrootte: 54.000 i.e., belasting: 30.000 i.e.
- Slibbelastingen: ca. 0,04 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,016 kg Nkj/kg d.s.-dag.

### Veranderingen

- In 1982 is het voorste gedeelte van de beide straten ingericht als selector, gevolgd door een anoxische zone (zonder extra recirculatie).
- Vanaf 1990 is overgeschakeld op de UCT-procesvoering, in april '91 is tevens een selector gecreëerd. De huidige configuratie is weergegeven in figuur A.16.



**Figuur A.16** Processchema op de rwzi Holten.

V.B.W. = voorbezonden afvalwater, R.S. = retourslib, N.T. = nabezinktank, K.B. = contactbak (= selector).

- De waterverblijftijd in de selector varieert bij dwa van circa 3 min. (wel recirculatie van nitraatrijk slib) tot circa 5 min. (geen recirculatie). In februari 1992 is vastgesteld dat bij

dwa 92% van de aangevoerde BZV al uit de waterfase is verdwenen op het moment dat het slib de selector bereikt.

### Slibvolume-index

Ontwikkeling van de SVI in de loop van de tijd:

- voor 1982: 120 - 160 ml/g;
- introductie selector, gevolgd door anoxische zone (1982 - 1990): SVI = 70 - 80 ml/g;
- UCT-procesvoering zonder aparte selector: SVI blijft  $\leq 100$  ml/g;
- extra recirculatie (400 m<sup>3</sup>/h) van nitraatrijk slib naar het begin van de anoxische zone ( $\rightarrow r = 5$ ): SVI stijgt tot 120 à 130 ml/g;
- installatie selector tussen de anaërobe en de anoxische zone: SVI < 100 ml/g;
- opvoeren van het debiet van de recirculatie tot 800 m<sup>3</sup>/h ( $\rightarrow r = 7,5$ ): SVI stijgt weer.

### Microscopisch beeld

|                        | Datum                |                      |
|------------------------|----------------------|----------------------|
|                        | 1-6-'92              | 22-12-'92            |
| Filament index         | 2,5                  | 3                    |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 2                    | 1,5                  |
| Flagellaten            | 1                    | 0                    |
| Amoeben                | 0                    | 2,5                  |
| Losse cellen           | 0                    | 1                    |
| Luxury P-opslag        | 1                    | 2                    |
| Opmerkingen            |                      |                      |

### Conclusie

- De introductie van het UCT proces heeft, mits de recirculatiefactor laag wordt gehouden, niet geleid tot een wezenlijke verandering van de index.

## RWZI Horstermeer [1]

- Laagbelast actiefslib met een propstroomconfiguratie en een beluchte selector. Voeding met voorbezonden influent.
- Ontwerpgrootte: 160.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,15 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,03 kg N<sub>kj</sub>/kg d.s.-dag.

### Veranderingen

In één van de twee aëratietanks werd het voorste gedeelte (30% van het volume van deze tank) als anoxische zone ingericht. Er werden mixers geïnstalleerd om bezinken van slib te voorkomen. Tevens werd in deze straat de slibbelasting verlaagd tot 0,07 kg BZV/kg d.s.-dag (via het verhogen van het slibgehalte) en is het debiet van de retour-slibpompen tot het maximaal mogelijk niveau opgevoerd (→ recirculatiefactor, betrokken op het influent-debiet, van 3). De beluchting in deze straat werd gestuurd via een on-line monitoring van de ammoniumconcentratie (set point: 2 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l).

Het experiment is uitgevoerd in de periode oktober 1990 tot april 1992. Het N<sub>tot</sub>-gehalte in het effluent daalde van circa 25 mg N/l (referentiestraat) tot 10-12 mg N/l.

### Slibvolume-index

Na deze modificaties verslechterde de slibvolume-index. Tijdens de winter van '90/'91 steeg de SVI tot 200 ml/g. In het voorjaar daalde de index wel enigszins, maar bleef tot het einde van de proef fluctueren tussen 130 en 160 ml/g. In de referentiestraat bleef de SVI circa 80 ml/g.

De hoge index ging gepaard met drijfslaagvorming op de aëratietank. Uitspoeling van slib kon worden voorkomen via de dosering van polymeren.

### Conclusie

- De optimalisatie van de N-verwijdering, via de hierboven genoemde maatregelen, heeft geleid tot het ontstaan van licht slib.

## RWZI Loenen

- Schreiber, waarbij de middelste tank als nabezinker fungeert.
- Ontwerpgrootte: 10.000 i.e., belasting: 7500 i.e.
- Slibbelastingen: 0,03 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,007 kg Nkj/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

Intermitterend beluchten waarbij de beluchting 15 maal per dag 40 - 50 min. buiten bedrijf is. Via deze procesvoering wordt aan de toekomstige effluenteisen inzake N en P voldaan ( $N_{\text{tot}}$ - en  $P_{\text{tot}}$ -reductie in 1992 respectievelijk 91% en 81%).

## Slibvolume-index

| jaar       | 1991 | 1992 |
|------------|------|------|
| SVI (ml/g) | 100  | 94   |

## Microscopisch beeld

|                        | Datum     |                      |
|------------------------|-----------|----------------------|
|                        | 21-12-'92 | febr '93             |
| Filament index         | 1,5       | 2,5                  |
| Dominante draadvormers | geen      | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 1,5       | 2                    |
| Flagellaten            | 0         | 0                    |
| Amoeben                | 0,5       | 1                    |
| Losse cellen           | 1         | 2                    |
| Luxury P-opslag        | 0,5       | 0,5                  |
| Opmerkingen            |           |                      |

## Conclusie

- Ondanks intermitterend beluchten, permanent een lage slibvolume-index.

## RWZI Lopik

- Schreiber, waarbij de middelste tank als nabezinker fungeert.
- Ontwerpgrootte: 17.000 i.e., belasting: 16.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,01 kg Nkj/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

Intermitterend beluchten waarbij de beluchting gemiddeld 6 maal per dag 60 - 90 min. buiten bedrijf is. Bij een grote CZV-aanvoer (industrie) wordt echter continu belucht. Via deze regeling wordt gedurende een groot gedeelte van het jaar aan de toekomstige effluent-eisen voldaan. ( $N_{\text{tot}}$ - en  $P_{\text{tot}}$ -reductie in 1992 resp. 78% en 82%).

## Slibvolume-index

| jaar       | 1991 | 1992 |
|------------|------|------|
| SVI (ml/g) | 63   | <100 |

## Microscopisch beeld

|                        | Datum       |                      |
|------------------------|-------------|----------------------|
|                        | 23-12-'92   | 8-2-'93              |
| Filament index         | 4           | 2                    |
| Dominante draadvormers | Type 021N   | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | n.b.        | 2,5                  |
| Flagellaten            | n.b.        | 0                    |
| Amoeben                | n.b.        | 1                    |
| Losse cellen           | n.b.        | 2                    |
| Luxury P-opslag        | 0           | 0                    |
| Opmerkingen            | oud monster |                      |

## Conclusies

- De SVI is permanent < 100 ml/g.
- Het slib bevat geen P-accumulerende bacteriën.

## RWZI Nieuwegein [23]

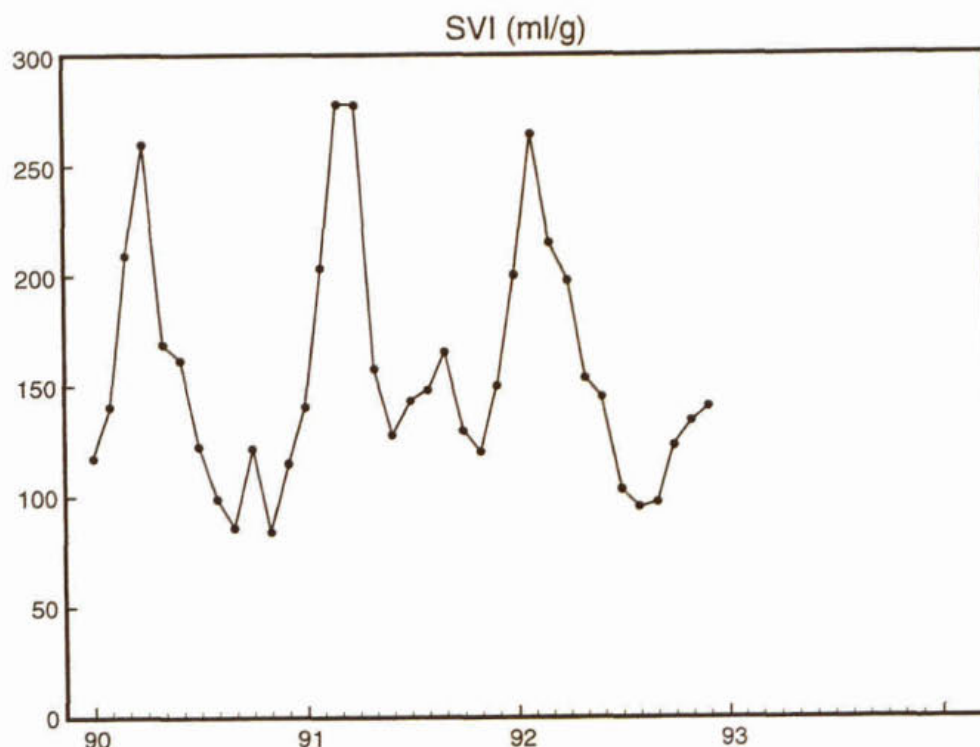
- Carrousel met een beluchte selector (verblijftijd dwa: 5 min.). Voeding met voorbezonken influent.
- Ontwerpgrootte: 120.000 i.e., belasting: 91.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,08 kg BZV/kg d.s.-dag.  
met Fe-dosering: 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,021 kg Nkj/kg d.s.-dag.

### Veranderingen

Sinds mei 1991 wordt, met een onderbreking in de periode september '92-december '92, preprecipitatie toegepast met ijzer (III) chloridesulfaat (Fe/P-verhouding 1 à 1,2).

### Slibvolume-index

Zie figuur A.17. Ondanks de preprecipitatie is de SVI in de winter van '91/'92 opnieuw gestegen tot circa 250 ml/g.



Figuur A.17 Verloop van de slibvolume-index op de rwzi Nieuwegein.

**Microscopisch beeld**

|                        | Datum                |                      |
|------------------------|----------------------|----------------------|
|                        | 23-12-'92            | 8-2-'93              |
| Filament index         | 4                    | 4,5                  |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | n.b.                 | 0,5                  |
| Flagellaten            | n.b.                 | 0                    |
| Amoeben                | n.b.                 | 0                    |
| Losse cellen           | n.b.                 | 1                    |
| Luxury P-opslag        | 0,5                  | 0,5                  |
| Opmerkingen            |                      |                      |

**Conclusies**

- Het verloop van de SVI is karakteristiek voor veel carrousels.
- Preprecipitatie heeft niet geleid tot een lagere index, c.q. beheersing van de groei van *M. parvicella*.

## RWZI Oosthuizen [21]

- Oxydatiesloot met menging van influent en retourslib in de transportleiding naar het circuit.
- Ontwerpgrootte: 7000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,026 kg BZV/kg d.s.-dag (in de referentieperiode).  
0,008 kg Nkj/kg d.s.-dag (in de referentieperiode).

### Veranderingen

In de periode november 1989 tot juli 1992 zijn enkele experimenten uitgevoerd gericht op het vergroten van biologische fosfaatverwijdering in de waterlijn. Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd:

- fase 1: (nov. '89 - febr. '90): vastleggen van de uitgangssituatie.
- fase 2a: (maart '90 - november '90): een extra niet-beluchte zone in het circuit op de plaats waar influent + retourslib in de beluchtingsruimte gebracht worden (fig. A.18).
- fase 2b: (november '90-juli '92): intermitterend beluchten, met een voortstuwer in bedrijf tijdens niet-beluchte perioden (in totaal ca. 12 uur/dag; beluchting in ieder geval in bedrijf bij aanvoer van influent).

Tijdens fase 2 was de slibbelasting met ca. 0,04 kg BZV/kg d.s.-dag hoger dan gedurende de referentieperiode.

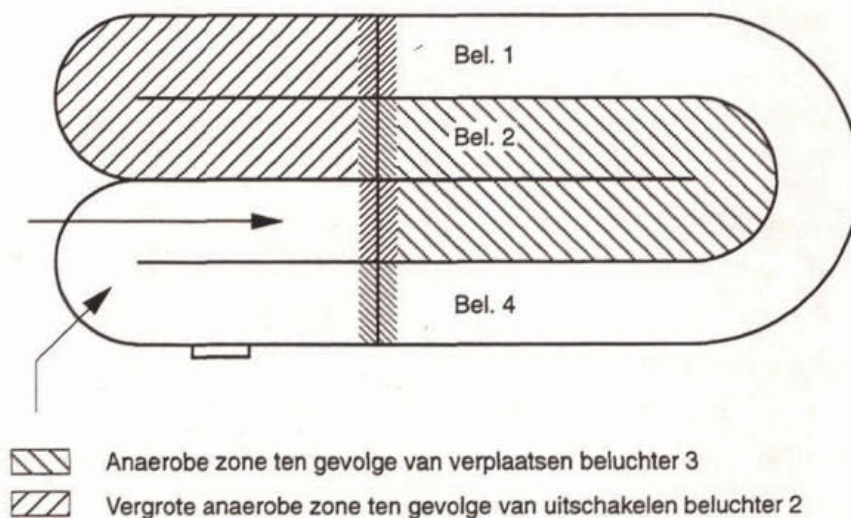
### Stikstof- en fosforverwijdering

|              | fase |    |    |
|--------------|------|----|----|
|              | 1    | 2a | 2b |
| N-totaal (%) | 79   | 89 | 81 |
| P-totaal (%) | 61   | 68 | 81 |

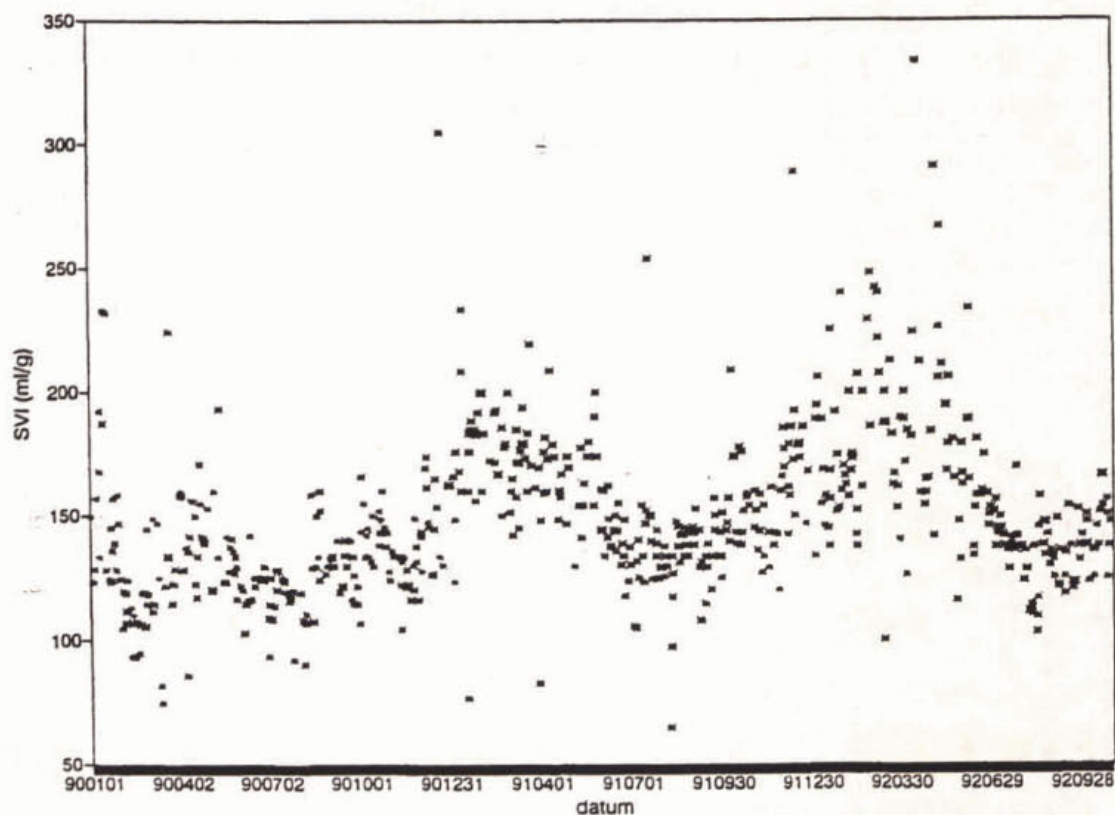
### Slibvolume-index

- fase 1: SVI steeg van 100 à 125 ml/g tot 125 à 150 ml/g.
- fase 2a: SVI fluctueerde tussen 100 en 170 ml/g.

- fase 2b: Zie figuur A.19. De SVI fluctueerde tussen 100 à 150 ml/g in de zomer en 150 à 250 ml/g in de winter.



**Figuur A.18** Situatie tijdens fase 2a.



**Figuur A.19** Verloop van de SVI op de rwzi Oosthuizen.

### Microscopisch beeld

- Fase 1: De FI stijgt van 1,5 naar 4 door een sterke toename van *M. parvicella*. Er waren niet veel P-accumulerende bacteriën aanwezig.
- Fase 2a: FI = 3 à 4, met *M. parvicella* dominant gedurende het voor- en najaar. Tijdens de zomermaanden domineerden Acinomycten de slibpopulatie. Het aantal P-accumulerende cellen nam pas aan het einde van deze fase (november '90) sterk toe.
- Fase 2b: FI voortdurend 3,5 à 4, met *M. parvicella* als dominante draadvormer. Tijdens de zomermaanden van '91 verdwenen de P-accumulerende bacteriën grotendeels uit het slib. In december '91 nam de populatiegrootte van deze organismen weer toe, in juni '92 waren nog steeds veel P-accumulerende cellen aanwezig.

### Conclusies

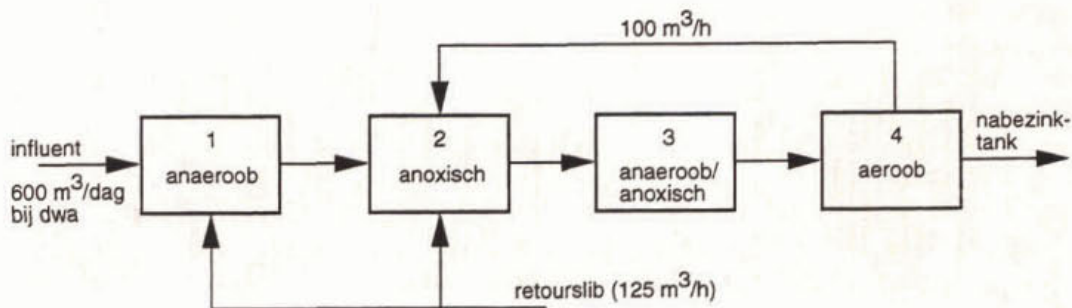
- Door de experimenten is de index gestegen van 100 à 175 naar 125 à 250.
- Tijdens de zomermaanden van '90 en '91 (index relatief laag) werden weinig P-accumulerende bacteriën in het slib waargenomen.

## RWZI Putte

- De beluchtingsruimte van deze rwzi bestaat uit vier, in serie geschakelde, vierkante compartimenten. De installatie wordt gevoed met ruw afvalwater.
- Ontwerpgrootte: 8100 i.e., belasting: 5800 i.e.
- Slibbelastingen: 0,058 kg BZV/kg d.s.·dag  
0,013 kg Nkj/kg d.s.·dag

## Veranderingen

Ten einde de mogelijkheden tot biologisch defosfateren (hoofdstroom) nader te bestuderen, wordt op deze rwzi sinds juni 1991 het Pho-redox proces toegepast (fig. A.20). Alle vier compartimenten hebben een inhoud van 285 m<sup>3</sup>. In de compartimenten 1 t/m 3 zijn mixers geïnstalleerd, teneinde bezinken van slib te voorkomen. De recirculatiefactor is 1,05 als de influentvijzel in bedrijf is. Deze slaat echter steeds incidenteel aan, de recirculatiepompen zijn continu in bedrijf. Middelen van de dwa-aanvoer over 10 uur leidt tot een recirculatiefactor van 3,75.



Figuur A.20 Processchema rwzi Putte.

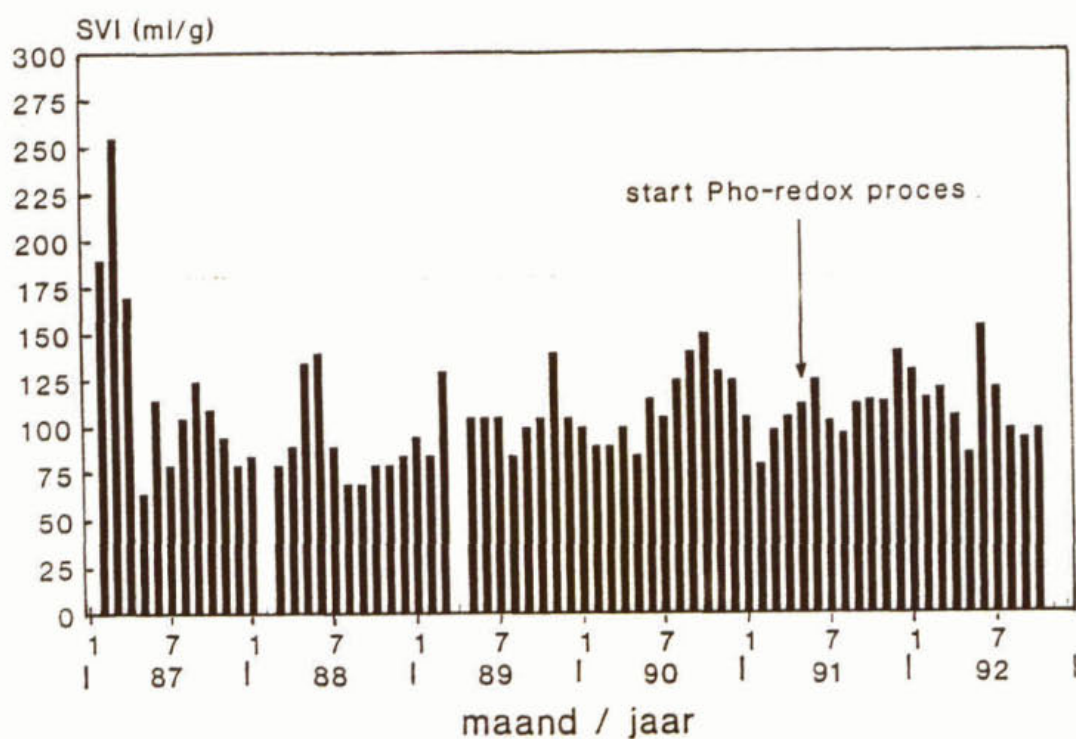
Na deze modificatie is de N-reductie gestegen van 64% tot 78%, de P-verwijdering van 62% tot 82%.

## Slibvolume-index

Zie figuur A.21. In vergelijking tot de index in voorafgaande jaren, is de SVI na de modificatie niet gestegen.

## Microscopisch beeld

|                        | Datum   |           |          |
|------------------------|---------|-----------|----------|
|                        | 2-6-'92 | 21-12-'92 | 11-2-'93 |
| Filament index         | 2       | 1         | 2        |
| Dominante draadvormers | geen    | geen      | geen     |
| Ciliaten               | 2       | 0,5       | 1,5      |
| Flagellaten            | 0       | 1,5       | 1        |
| Amoeben                | 0       | 0         | 0        |
| Losse cellen           | 0       | 2         | 0,5      |
| Luxury P-opslag        | 1,5     | 0,5       | n.b.     |
| Opmerkingen            |         |           |          |



*Figuur A.21 Verloop van de SVI op de rwzi Putte.*

## Conclusie

- De introductie van het Pho-redox proces heeft de SVI niet beïnvloed.

## RWZI Raalte

- Laagbelast actief-slibstelsysteem waarvan de beluchtingsruimten de volgende compartimenten bevatten: niet-beluchte selector - anoxische zone - twee beluchte compartimenten.
- Ontwerpgrootte: 51.000 i.e., huidige belasting: 42.000 i.e.
- Slibbelastingen (1992): 0,06 kg BZV/kg d.s.-dag  
0,031 kg Nkj/kg d.s.-dag

## Veranderingen

In juni 1991 is gestart met preprecipitatie met ferrichloridesulfaat ( $Me/P = 1.0-1.2$ ). De BZV-verwijdering in de voorbezinktank is daardoor gestegen, de slibbelasting circa 30% gedaald tot de genoemde 0,06 kg BZV/kg d.s.-dag. Hierdoor is de nitrificatie verbeterd, waardoor het anoxische compartiment weer als zodanig gebruikt kan worden.

## Slibvolume-index

| Jaar       | 1988    | 1989    | 1990     | 1991    | 1992    |
|------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| SVI (ml/g) | 82 ± 17 | 89 ± 26 | 105 ± 17 | 95 ± 36 | 85 ± 18 |

## Microscopisch beeld

- Voorheen incidenteel vrij veel T021N draden
- Monster december '92: FI = 3, *M. parvicella* dominant.

## Conclusie

- Preprecipitatie (met name de lagere slibbelasting) heeft geleid tot een verschuiving binnen de populatie van draadvormende bacteriën. Dit heeft de slibvolume-index niet wezenlijk beïnvloed.

## RWZI Reeuwijk - Randenburg

- Carrousel met een niet-beluchte selector.
- Ontwerpgrootte: 25.000 i.e., belasting 25.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag  
0,013 kg Nkj/kg d.s.-dag

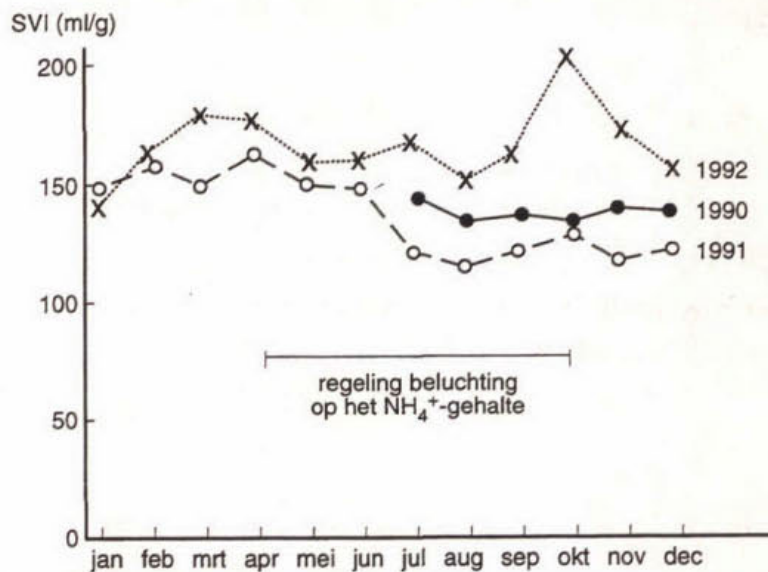
### Veranderingen

In de periode april '92 - okt. '92 is de beluchting on-line gestuurd op het ammoniumgehalte in het water bij de overloop naar de nabezinktank. Als gevolg hiervan is het aantal draaiuren van de beluchtingsrotoren gedaald. Deze bedrijfsvoering ging, op één dag met forse slibverliezen na, gepaard met  $N_{\text{tot}}$ - en  $P_{\text{tot}}$ -gehalten in het influent van respectievelijk  $< 10 \text{ mg N/l}$  en  $< 1 \text{ mg P/l}$ .

### Slibvolume-index

Zie figuur A.22. Bij de start van het experiment was de SVI al hoger dan in het voorafgaande jaar (waarschijnlijk door de hogere belasting van de rwzi). Desondanks lijkt een verband met de on-line-regeling te bestaan omdat:

- de SVI al in september begon te stijgen.  
In deze rwzi is *M. parvicella* als dominante draadvormer aanwezig. Normaliter leidt de aanwezigheid van deze draadvormer pas in de winter tot een forse stijging van de index;
- de SVI weer daalde zodra de on-line-regeling werd uitgeschakeld.



Figuur A.22 Verloop van de slibvolume-index.

#### Microscopisch beeld

|                        | Datum                |                      |
|------------------------|----------------------|----------------------|
|                        | 3-6-'92              | 23-12-'93            |
| Filament index         | 4                    | 3,5                  |
| Dominante draadvormers | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 1                    | 2                    |
| Flagellaten            | > 3                  | 0                    |
| Amoeben                | 0,5                  | 0                    |
| Losse cellen           | 0,5                  | 0                    |
| Luxury P-opslag        | 1                    | 1,5                  |
| Opmerkingen            | veel kleine vlokken  |                      |

#### Conclusies

- De N-verwijderingsoptimalisatie heeft tot een stijging van de SVI geleid.
- Opvallend veel flagellaten aanwezig in de periode met on-line sturing.

## RWZI Ritthem [4, 19]

- Een omloopreactor met punt- en bellenbeluchting en een extra voortstuwingsrotor. Voeding met voorbezonden afvalwater.
- Ontwerpgrootte: 140.000 i.e.; de belasting varieert van 140.000 i.e. (winter) tot 200.000 i.e. (zomer).
- Slibbelasting (ontwerp): 0,3 kg BZV/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

In de zomer van 1990 is in één van de twee straten preprecipitatie met  $\text{FeCl}_3$  toegepast. (Fe/P-verhoudingen: 1,8 - 2,3). De CZV-reductie tijdens de passage van de voorbezinktank steeg hierdoor van 38% tot 65%, de BZV-afname van 60% tot 81%.

## Slibvolume-index

De SVI en de slibbelasting in deze periode zijn vermeld in tabel A.6.

Tabel A.6 SVI (ml/g) en slibbelasting (kg BZV/kg d.s.-dag).

| Fase | met preprecipitatie |                    | zonder preprecipitatie |               |
|------|---------------------|--------------------|------------------------|---------------|
|      | SVI                 | slibbelasting      | SVI                    | slibbelasting |
| C1   | 132 <sup>1)</sup>   | 0,27 <sup>1)</sup> | 148                    | 0,28          |
| C2   | 113                 | 0,15               | 182                    | 0,26          |
| C3A  | 74                  | 0,10               | 162                    | 0,29          |
| C3B  | 67                  | 0,06               | 121                    | 0,22          |
| C3C  | 51                  | 0,07               | 137                    | 0,23          |
| C3D  | 81                  | 0,07               | 139                    | 0,22          |

<sup>1)</sup> nog geen toevoeging van  $\text{FeCl}_3$ .

## Microscopisch beeld

In de straat met preprecipitatie daalde de filament-index van 3 tot 1, in de referentiestraat bleef deze 2 à 3.

## Conclusie

Preprecipitatie heeft geleid tot een daling van de index.

## RWZI Tollebeek

- Laagbelast actief-slibstelsysteem (propstrooming) met een niet-beluchte selector. Voeding met voorbezonden afvalwater.
- Ontwerpgrootte: 64.000 i.e., huidige belasting: 77.000 i.e.
- Slibbelastingen (1992): 0,06 kg BZV/kg d.s.-dag  
0,032 kg Nkj/kg d.s.-dag

## Veranderingen

In 1990 is gestart met preprecipitatie (ferrichloridesulfaat, ME/P = 1.4-1.7; vanaf augustus 1992 tevens dosering van polymeren). Doordat hierdoor tevens de BZV-verwijdering in de voorbezinktank toenam, daalde de slibbelasting van ruim 0,1 kg BZV/kg d.s.-dag tot de hierboven genoemde waarde.

## Slibvolume-index

| Jaar       | 1988    | 1989     | 1990    | 1991    | 1992    |
|------------|---------|----------|---------|---------|---------|
| SVI (ml/g) | 87 ± 25 | 116 ± 50 | 83 ± 19 | 81 ± 14 | 66 ± 21 |

## Microscopisch beeld

- Voorheen incidenteel veel T021N aanwezig
- Monster december '92: FI = 1.

## Conclusie

- Door het toepassen van preprecipitatie is de index (nog) lager en stabiel geworden.

## RWZI "De Verseput" [27]

- Schreiber, met menging van influent en retourslib in de overstort van de zandvanger. De middelste ring (inhoud 972 m<sup>3</sup>) fungeert als voordennitrificatieruimte.
- Ontwerpgrootte: 17.000 i.e., belasting: 13.400 i.e.
- Slibbelastingen: 0,03 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,007 kg Nkj/kg d.s.-dag.

### Veranderingen

Op deze rwzi is het effect van een aantal maatregelen getest, o.a.:

- verdubbeling van het retour-slibdebiet ( $\rightarrow r = 2,9$  in plaats van 1,4), waardoor de contacttijd in de centrale, voordennitrificatieruimte daalde van 1,5 uur tot 0,9 uur;
- vergroten van de aëratietank met 8%;
- verkleinen van de aëratiezone.

De  $N_{\text{tot}}$ -reductie varieerde tijdens deze proeven van 82% tot 90%, de  $P_{\text{tot}}$ -verwijdering van 60% tot 82%.

### Slibvolume-index

Deze is vrijwel permanent laag (60 - 80 ml/g), mogelijk mede door de hoge asrest (30 - 40%). De verdubbeling van de recirculatie ging gepaard met een stijging van de SVI tot ca. 120 ml/g.

### Microscopisch beeld

|                        | Datum     |                      |
|------------------------|-----------|----------------------|
|                        | 9-6-'92   | 21-12-'93            |
| Filament index         | 2         | 2,5                  |
| Dominante draadvormers | Type 0041 | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 2         | 2                    |
| Flagellaten            | 0         | 0                    |
| Amoeben                | 0,5       | 1,5                  |
| Losse cellen           | 0,5       | 0,5                  |
| Luxury P-opslag        | 1,5       | 1 ?                  |
| Opmerkingen            |           |                      |

### Conclusie

- In deze rwzi met voordennitrificatie is de index permanent laag.

## RWZI Vollenhove [29]

- Oxydatiesloot met een niet-beluchte selector. De rwzi bestaat uit twee circuits met een gemeenschappelijke nabezinktank.
- Ontwerpgrootte: 20.000 i.e., huidige belasting: ruim 12.000 i.e.
- Slibbelastingen: 0,034 kg BZV/kg d.s.-dag.  
0,007 kg Nkj/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

In de periode 1 april 1990 tot 1 april 1991 is één circuit gestuurd op een laag O<sub>2</sub>-gehalte (set points: 0,25 en 0,75 mg O<sub>2</sub>/l), het andere circuit op een hoge zuurstofconcentratie (set points: 1,5 en 2,5 mg O<sub>2</sub>/l). Tevens werd de recirculatiefactor (via de retourslibstroom) opgevoerd van 0,7 tot 0,8 bij rwa en van 1,2 tot 2,0 bij dwa. Deze procesvoering leidde tot een N<sub>tot</sub>-gehalte van minder dan 10 mg N/l in het effluent. In beperkte mate vond tevens biologische defosfatering plaats.

## Slibvolume-index

- referentieperiode: : 97 ± 23 ml/g.
- tijdens proef: : 93 ± 11 ml/g.

## Conclusie

- De laag-/hoog-sturing van het zuurstofgehalte heeft de index niet beïnvloed.

## RWZI Westerschouwen

- Laagbelast actief-slibstelsysteem met een gecompartmenteerde beluchtingsruimte (fig. A.23). De inhoud van de contacttank (selector) wordt nauwelijks belucht sinds de experimenten zijn gestart. Voeding met ruw influent.
- Ontwerpgrootte: 66.000 i.e., huidige belasting in de zomer en winter respectievelijk 20.300 i.e. en 9.500 i.e.
- Slibbelastingen
  - zomer: 0,03 kg BZV/kg d.s.-dag en 0,01 kg N<sub>kj</sub>/kg d.s.-dag.
  - winter: 0,02 kg BZV/kg d.s.-dag en 0,005 kg N<sub>kj</sub>/kg d.s.-dag.

## Veranderingen

### Periode 18-8-'89 tot 19-4-'90 (fase 1)

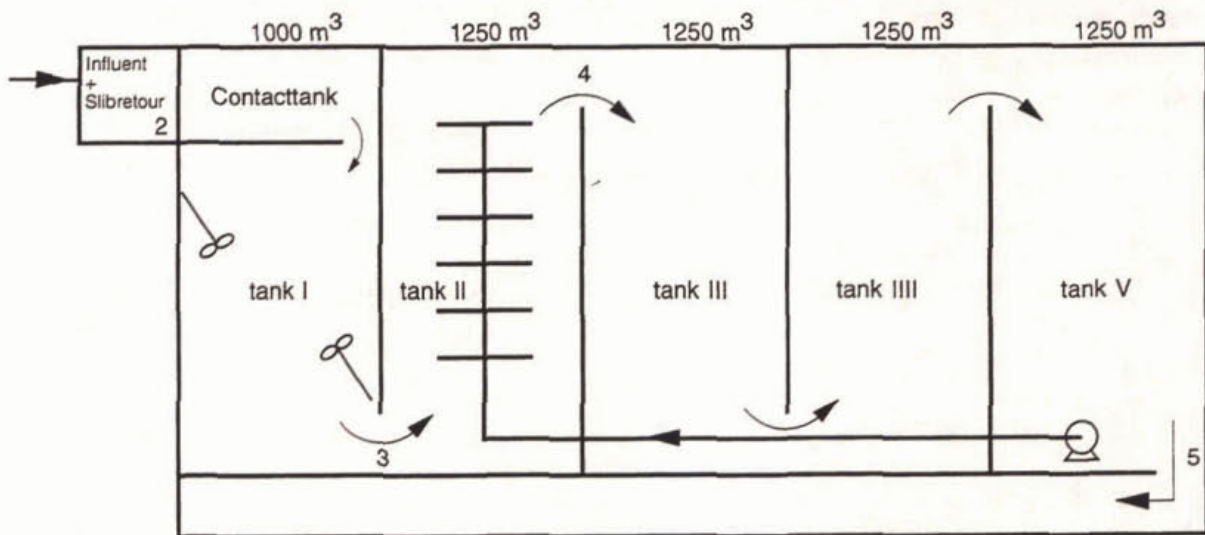
- in de aëratietanks 1 en 2 de zuurstoftoevoer zoveel mogelijk geknepen;
- verhoging droge-stofgehalte van 3-4 kg d.s./m<sup>3</sup> naar 5-5,5 kg d.s./m<sup>3</sup>;
- recirculatie met een capaciteit van  $\pm 200$  m<sup>3</sup>/h van aëratietank 5 naar 1 via leegloop en influentvijzel;
- N<sub>tot</sub>-reductie varieerde van 7% tot 98% met een gemiddelde van 64%; P<sub>tot</sub>-reductie varieerde van 21% tot 92% met een gemiddelde van 46,3%.

### Periode 19-4-'90 tot 1-6-'91 (fase 2)

- in de aëratietanks 1 en 4 de zuurstoftoevoer zoveel mogelijk geknepen;
- overige gelijk aan voorgaande periode;
- N<sub>tot</sub>-reductie varieerde van 5% tot 93% met een gemiddelde van 60,8%; P<sub>tot</sub>-reductie varieerde van 29% tot 90% met een gemiddelde van 57%.

### Periode 1-6-'91 tot heden (fase 3)

- de aëratietanks 1 en 2 zuurstofloos; de luchtelementen zijn verwijderd. Tank 1 (anaërobe zone) wordt gemengd met 2 mixers; recirculatie van aëratietank 5 naar tank 2 (anoxische zone) met een debiet van 900-1200 m<sup>3</sup>/h ( $\rightarrow r = 4$  à 5 excl. retourslib en 8 à 10 incl. het retourslib)
- N<sub>tot</sub>-reductie varieerde in de zomer van 64% tot 98% met een gemiddelde van 87% en in de winter van 35% tot 97% met een jaargemiddelde van 72%; de P<sub>tot</sub>-reductie varieerde in de zomer van 55% tot 98% met een gemiddelde van 79% en in de winter van 2% tot 81% met een gemiddelde van 49%.



**Fig A.23** Huidige procesvoering op de rwzi Westerschouwen.  
 Tank 1: anaëroob  
 Tank 2: anoxisch  
 Tanks 3-5: aëroob

#### Slibvolume-index

Zie figuur A.24. Voor de start van de experimenten was de SVI laag en stabiel. Aan het einde van fase 1 steeg de index tot 150 à 200 ml/g. In fase 2 fluctueerde de SVI tussen 100 ml/g en 250 ml/g. De introductie van anaërobe condities in tank 1 (fase 3) leidde in eerste instantie tot een forse daling van de index. Na enkele maanden steeg de SVI echter opnieuw tot 250 ml/g. In 1992 is de index niet wezenlijk verbeterd. Ondanks de hoge slibvolume-indices is geen uitspoeling van slib opgetreden.

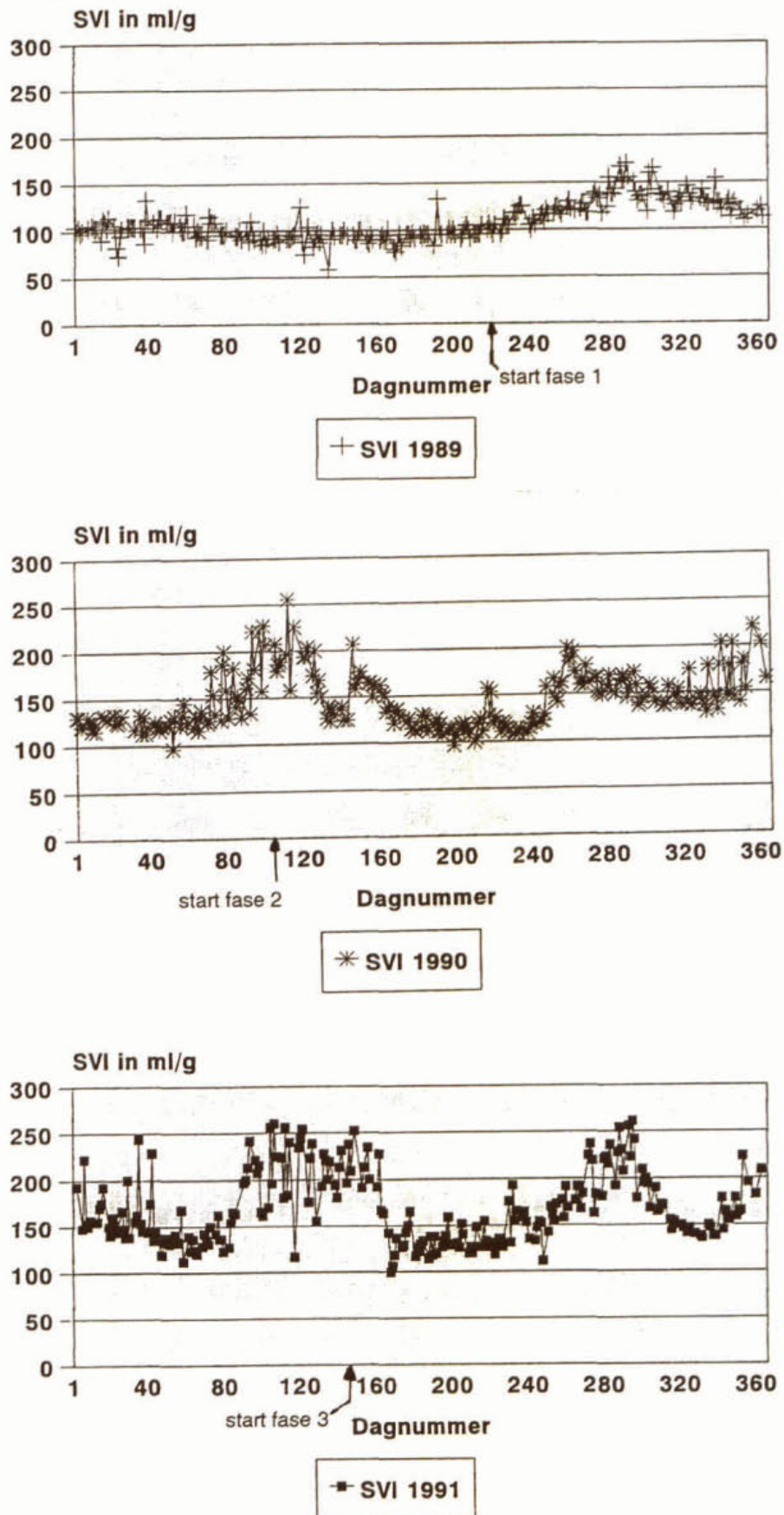


Fig. A.24 Ontwikkeling van de SVI op de rwzi Westerschouwen.

### Microscopisch beeld

- 1989: FI = 2; *M. parvicella* dominant
- 1991: FI steeg van 2 tot 3 à 3,5; *M. parvicella* dominant
- juni '92: FI = 4; *M. parvicella* dominant; weinig P-accumulerende bacteriën aanwezig
- december '92: FI = 2,5; *M. parvicella* dominant; geen P-accumulerende bacteriën aanwezig

### Conclusie

- De introductie van N-/P-verwijderingstechnologiën is gepaard gegaan met een forse stijging van de index.

## RWZI Zetten [18]

- Oxydatiesloot.
- Ontwerpgrootte: 6500 i.e., belasting: 4500 i.e.
- Slibbelastingen: 0,048 kg BZV/kg d.s.·dag.  
0,012 kg Nkj/kg d.s.·dag.

## Veranderingen

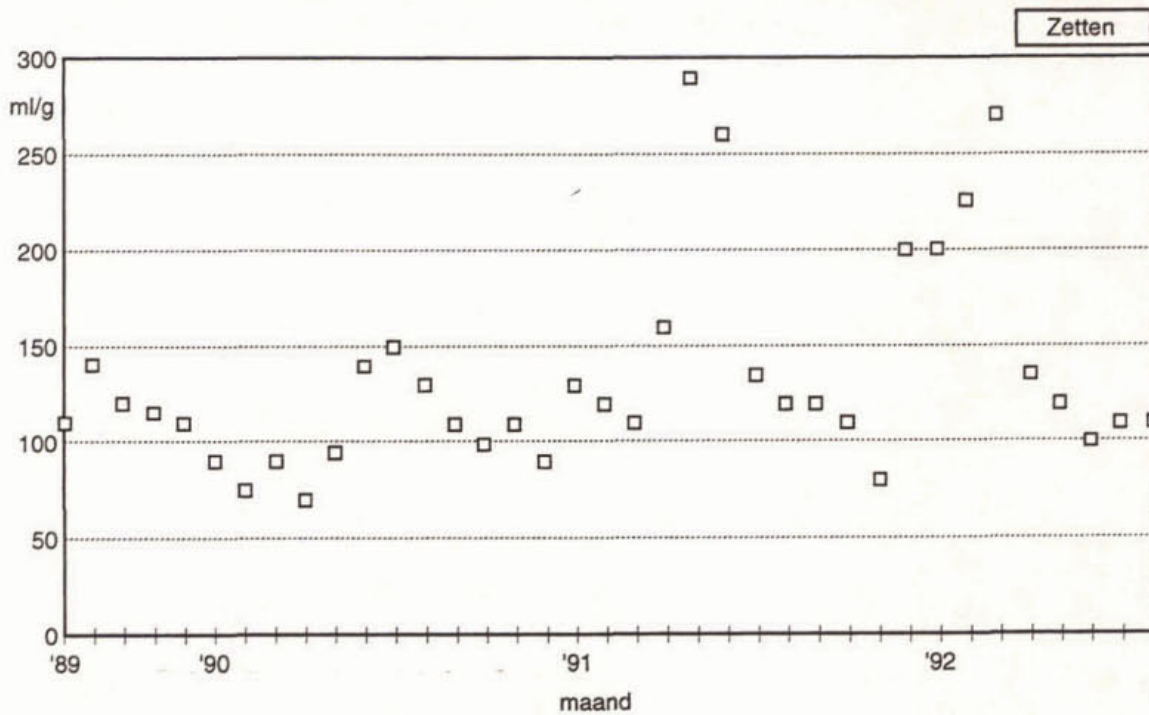
Intermitterende beluchting via sturing op de redoxpotentiaal. Periode: juli '90-juli '92, met een onderbreking van januari '91 tot mei '91 in verband met het optreden van licht slib. Tot juni '92 werd twee maal per dag gedurende maximaal vier uur niet belucht, vanaf juli '92 werd overgeschakeld op een "totale redox regeling" [18]. Het N-tot-gehalte in het effluent daalde tot waarden < 10 mg N/l, de P-reductie nam circa 10% toe tot 70 à 80%.

## Slibvolume-index

Zie figuur A.25. De modificatie ging gepaard met het ontstaan van licht slib tijdens de winterperiodes (*M. parvicella* dominant).

## Microscopisch onderzoek

|                        | Datum   |                                   |                      |
|------------------------|---------|-----------------------------------|----------------------|
|                        | 2-6-'92 | 21-12-'92                         | 11-2-'93             |
| Filament index         | 2       | 2,5                               | 3,5                  |
| Dominante draadvormers | geen    | <i>M. parvicella</i><br>Type 1851 | <i>M. parvicella</i> |
| Ciliaten               | 1,5     | 2                                 | 1,5                  |
| Flagellaten            | 0       | 0                                 | 0                    |
| Amoeben                | 0       | 0                                 | 1                    |
| Losse cellen           | 0       | 1                                 | 0,5                  |
| Luxury P-opslag        | 0,5     | 0,5 ?                             | 0,5                  |
| Opmerkingen            |         |                                   |                      |



**Figuur A.25** Verloop van de slibvolume-index op de rwzi Zetten.

### Conclusie

- Sinds gestart is met intermitterend beluchten, ontstaat in de wintermaanden licht slib.

**BIJLAGE B:      EXPERIMENTEN IN PROEF-INSTALLATIES**

|                   | pagina: |
|-------------------|---------|
| Alkmaar           | 59      |
| Ede               | 61      |
| Eindhoven         | 62      |
| Enschede-West     | 64      |
| Hengelo           | 67      |
| Kralingseveer     | 69      |
| Maastricht-Limmel | 72      |
| Nieuwgraaf        | 74      |
| Roermond          | 76      |
| St. Oedenrode     | 80      |
| Tilburg           | 82      |
| Venlo             | 87      |

## Proef Alkmaar [32]

Bij dit experiment op pilot-scale werd een voordennitrificatiesysteem gecombineerd met biologische defosfatering in de sliblijn. De installatie werd gevoed met voorbezonden afvalwater. Tijdens fase 2 van de proef was in de aanvoerlijn naar de P-afgiftetank nog een extra denitrificatiezone aanwezig. De acetaatdosering werd tijdens fase 2a teruggebracht van 25 tot 10 mg Ac<sup>-</sup>/g.d.s., gedurende fase 2b werd geen acetaat toegevoegd aan de P-striptank. De proeven zijn uitgevoerd tussen 20-7-1991 en 14-10-1991.

Enkele procesparameters:

- slibbelasting: 0,041-0,049 kg BZV/kg d.s.-dag
- temperatuur: 16-24°C
- anoxisch volume: 45%
- recirculatiefactor: 22-25

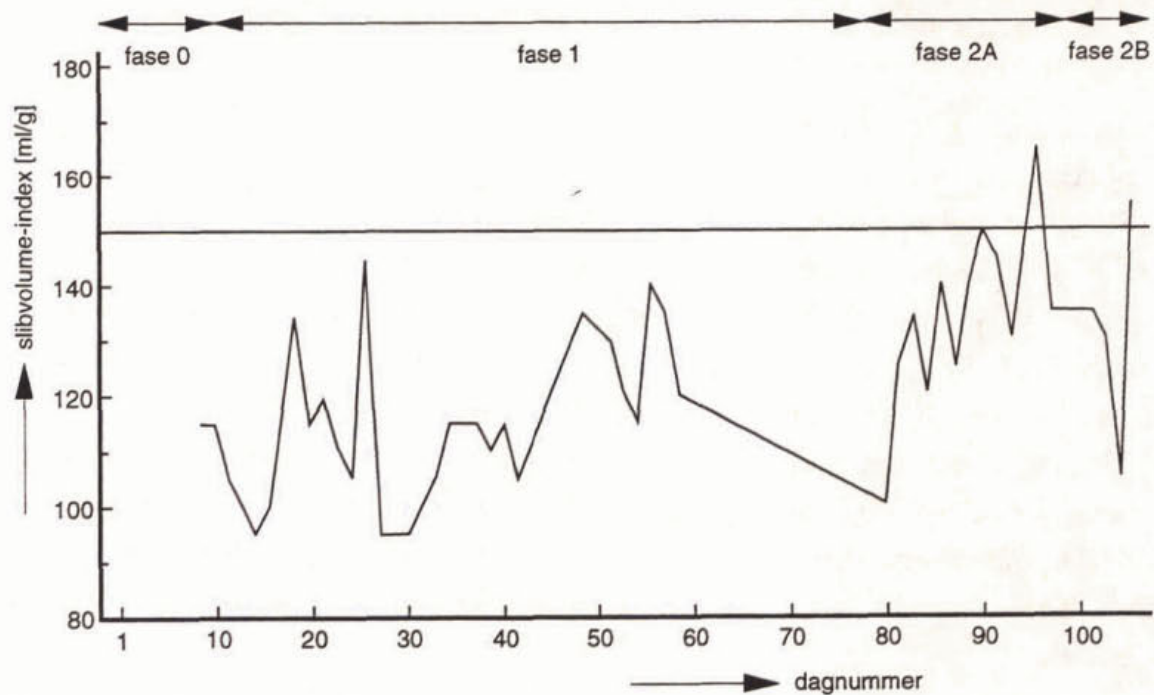
Deze procesvoering leidde tot een vergaande N-reductie. De som van alle stikstofverbindingen (voortscheidend gemiddelde) in het effluent bedroeg 7,3 mg N/l. Er was ook sprake van selectie van P-accumulerende bacteriën. De P-eis van 1 mg/l werd echter regelmatig overschreden door een te hoog gehalte (30-40 mg/l) aan zwevend stof in het effluent. Dit werd veroorzaakt door drijfslaagvorming op de nabezinktank.

### Slibvolume-index

Zie figuur B.1. Over de gehele proefperiode bedroeg de index gemiddeld 125 ml/g.

### Microscopisch beeld

| Periode | FI  | Organismen            | P-opslag | Opmerkingen |
|---------|-----|-----------------------|----------|-------------|
| Aug '91 | 2,5 | T0092                 | +        |             |
| Okt '91 | 3   | <i>N. limicola</i> II | +        |             |



**Figuur B.1** Proef Alkmaar. Verloop van de SVI.

## Proef Ede [16]

De experimenten omvatten een vergelijking van:

1. Biotenipho.
2. Simultane N-verwijdering in een gesimuleerd omloopsysteem (40% van het volume anoxisch) plus biologische P-verwijdering in de sliblijn. Recirculatiefactor: 25.

De installaties werden gevoed met voorbezonken afvalwater uit Ede en/of Barneveld. De slibbelasting bedroeg 0,04 kg BZV/kg d.s.-dag. Vanaf de start (maart '90) tot het afsluiten van de experimenten in september 1990 steeg de temperatuur van 14°C tot 23°C.

Het zuurstofgehalte werd geregeld op 2 mg O<sub>2</sub>/l. Microscopisch onderzoek werd niet uitgevoerd. Hoewel niet altijd aan de gestelde effluenteisen kon worden voldaan, werden N en P veelal vergaand verwijderd. Vooral de P-reductie werd echter negatief beïnvloed door de uitspoeling van biomassa door drijfslagvorming op de nabezinktank (→ 13-48 mg d.s./l in het effluent).

### Slibvolume-index

| Influent      | Systeem       | Temp. (°C) | SVI (ml/g)        |
|---------------|---------------|------------|-------------------|
| Ede           | Biotenipho    | 14-20      | 125               |
| Ede           | Omloopsysteem | 14-20      | 130               |
| Ede-Barneveld | Biotenipho    | 17-23      | 115 <sup>1)</sup> |
| Ede-Barneveld | Omloopsysteem | 17-23      | 100               |

<sup>1)</sup> Tevens simultane defosfatering; Fe/P = 0,4.

## Proefinstallatie Eindhoven [14]

- Processchema: voorbezinktank - selector - aëratietank - nabezinktank. Zowel de selector als de aëratietank bestonden uit vier compartimenten.
- N-verwijdering: anoxische zone in de aëratietank (voordenitrificatie), met tijdens de fasen 4.1 t/m 6 extra recirculatie van nitraatrijk slib.
- P-verwijdering: in de sliblijn (tijdens de fasen 2.1 t/m 5).
- Periode: februari 1989-juli 1990.

### Uitvoering en resultaten

Zie tabel B.1 en figuur B.2. Alleen tijdens de zomer van het eerste jaar en vanaf fase 4.2 was er sprake van een vergaande nitrificatie. Het P-tot-gehalte in het effluent varieerde van 0,5 - 1,5 mg P/l. Bij biosorptiemetingen werd vastgesteld dat, praktisch onafhankelijk van de O<sub>2</sub>-concentratie, na 25-30 min. contacttijd 80-100% van het CZV uit het influent aan de biomassa was gebonden. Bij 1-2 mg O<sub>2</sub>/l werd de minimaal noodzakelijke biosorptie wel sneller gerealiseerd.

Tabel B.1 Proefomstandigheden en enkele resultaten

| parameter                        | Fase  |       |       |       |       |      |       |       |                 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-----------------|
|                                  | 1     | 2.1   | 2.2   | 3.1   | 3.2   | 4.1  | 4.2   | 5     | 6               |
| week nrs                         | 9-16  | 16-23 | 24-32 | 33-46 | 47-5  | 6-9  | 9-17  | 18-26 | 27-30           |
| temperatuur (°C) <sup>1)</sup>   | 13→17 | 15→20 | 20→23 | 22→15 | 14→11 | 8→15 | 15→18 | 17→20 | 18→23           |
| slibbelasting <sup>2)</sup>      | 520   | 340   | 270   | 360   | 450   | 220  | 280   | 280   | 240             |
| % belucht <sup>3)</sup>          | 75    | 75    | 75/50 | 50    | 100   | 75   | 75    | 75    | 75              |
| recirculatiefactor <sup>6)</sup> | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 3    | 2     | 2     | 2               |
| selector belucht                 | x     | x     | x     | x     | x     | x    | x     | x     | - <sup>5)</sup> |
| contacttijd (min.) <sup>4)</sup> | 21    | 24    | 23    | 22    | 24    | 22   | 43    | 42    | - <sup>5)</sup> |
| P-strippen                       |       | x     | x     | x     | x     | x    | x     | x     |                 |
| FI                               | 2,5   | 2,5   | 3     | 2,5   | 1,5   | 2    | 2,5   | 1     | 1               |
| <i>M. parvicella</i>             | x     | x     | x     | x     | x     | x    |       |       |                 |
| T0092                            |       |       | x     | x     | x     |      |       |       |                 |
| T021N                            |       |       |       |       | x     |      |       |       |                 |

1) In fase 4.1 is een overkapping aangebracht → stijging temperatuur.

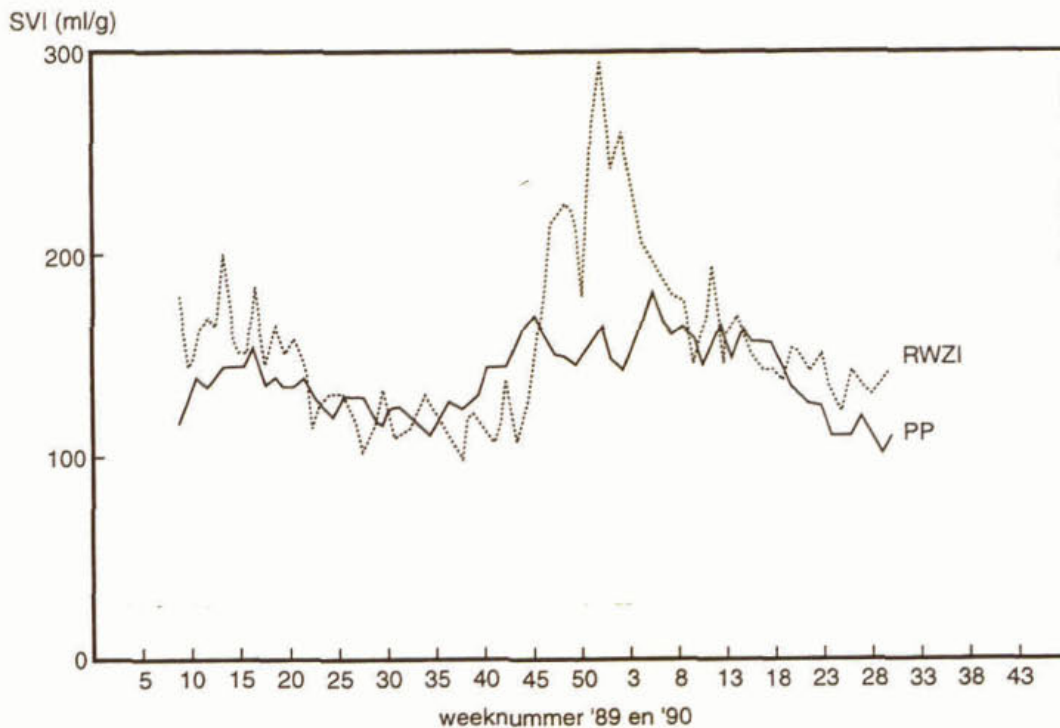
2) In g CZV/kg d.s.-dag; vanaf fase 4.1 is de belasting gehalveerd; belasting excl. bijdrage acetaatdosering in sliblijn.

3) Van de beluchtingsruimte.

4) In de selector.

5) Geen selector.

6) Incl. retourslib.



**Figuur B.2** Verloop van de SVI in de praktijkinstallatie (= rwzi) en de proefinstallatie (= PP).

De SVI varieerde van 110-160 ml/g, met incidenteel (einde fase 3) uitschieters tot 200 ml/g (fig. B.2). Het verloop van de SVI in de proefinstallatie was duidelijk minder fluctuerend dan de SVI van de praktijk-rwzi. De filament-index van het laatstgenoemde slib was gemiddeld ook een vol punt hoger. Als dominante draadvormers werden voornamelijk *M. parvicella* en Type 0092 waargenomen. Ondanks het feit dat de SVI en de FI niet spectaculair zijn gedaald, is de stabiliteit van de SVI door de introductie van een selector wel verbeterd. De SVI van het slib uit de proefinstallatie vertoont echter nog steeds het seizoensritme dat ook in veel andere rwzi's, met *M. parvicella* als dominante draadvormer, wordt waargenomen. Een eenduidig effect van veranderingen in de procescondities op de slibvolume-index kan daarom niet worden aangegeven.

## Proef Enschede-West [35]

De experimenten omvatten een vergelijking van:

1. Biotenipho.
2. Simultane N-verwijdering in een gesimuleerd omloopsysteem/voordenitrificatie plus biologische defosfatering via een hoofdstroomproces.

De proeven zijn uitgevoerd in de periode nov. '91-april '92. De installaties werden gevoed met voorbezonden afvalwater. Op deze rwzi bevat dit relatief veel filtratiewater (centrale slibverwerking).

Enkele procesparameters:

- slibbelasting: 0,04-0,06 kg BZV/kg d.s.-dag.
- temperatuur: 11-13°C.
- anoxisch volume van de omloopreactor: 50%
- recirculatiefactoren:

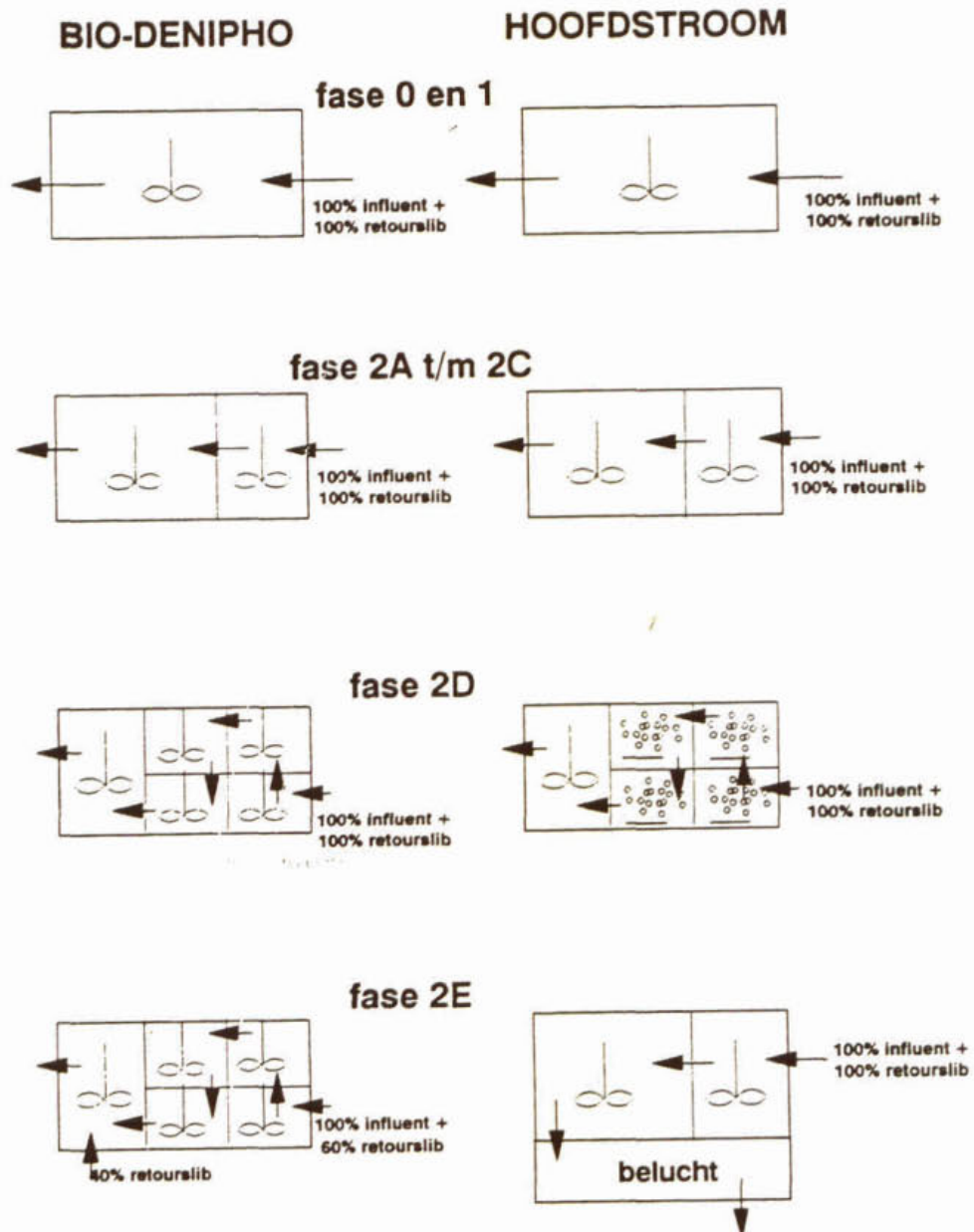
| Fase | 1  | 2A | 2B | 2C | 2D | 2E |
|------|----|----|----|----|----|----|
| r    | 11 | 11 | 22 | 12 | 12 | 12 |

Bij deze experimenten is de configuratie/bedrijfsvoering van de voorgeschakelde anaërobe tank frequent gewijzigd, teneinde licht slib te bestrijden (zie figuur B.3). De fasering van het onderzoek is weergegeven in figuur B.4.

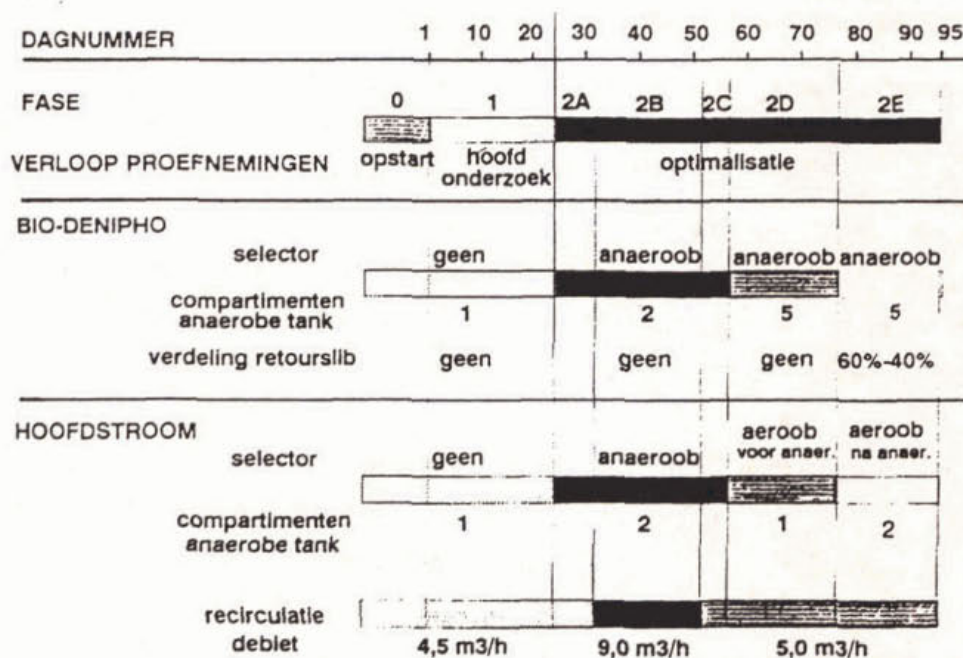
### Slibvolume-index

De slibvolume-index was permanent veel te hoog (tabel B.2). Het wijzigen van de configuratie, c.q. procesomstandigheden in het selectorgedeelte leidde niet tot een daling van de SVI.

In april '92 (fase 2E) zijn CZV-profielmetingen over de proefinstallaties uitgevoerd. Hierbij werd vastgesteld dat meer dan 70% van het CZV uit de waterfase werd verwijderd voordat de aëratietank, c.q. anoxische zone bereikt werd.



*Figuur B.3 Configuratie van de voorgeschakelde (an)aërobe tank.*



**Figuur B.4** Fasering van het onderzoek.

**Tabel B.2** Slibvolume-indices (ml/g)

|                | Biodenipho | Hoofdstroom |
|----------------|------------|-------------|
| gehele periode | 218        | 240         |
| fase 1         | 216        | 259         |
| fase 2         | 218        | 235         |
| fase 2A        | 196        | 228         |
| fase 2B        | 223        | 248         |
| fase 2C        | 209        | 248         |
| fase 2A t/m 2C | 217        | 245         |
| fase 2D        | 213        | 224         |
| fase 2E        | 225        | 231         |

### Microscopisch beeld

Er is vier maal microscopisch slibonderzoek uitgevoerd. Hierbij werd steeds een grote populatie van *M. parvicella* waargenomen (FI: 4 à 5).

## Proef Hengelo\*

Bij dit experiment zijn de volgende twee configuraties met elkaar vergeleken:

1. Biotenipho, met een niet-belucht selectorgedeelte in het voorste gedeelte van de anaërobe tank. Het influent en 60% van het retourslib werden in het eerst compartiment (totaal vier) van de selector gemengd.
2. Voordenitrificatie (anoxisch gedeelte: 50%, recirculatiefactor: 8) plus fosfaatverwijdering in een hoofdstroomproces. Tussen de anaërobe tank en de anoxische zone was een gecompartmentend, belucht tankje geplaatst.

Beide installaties werden gevoed met voorbezonken afvalwater. Bij de start zijn de installaties gevuld met licht slib (SVI = 225 ml/g) uit de tweede trap van de rwzi Hengelo. Na circa twee maanden is de lijn met voordenitrificatie opnieuw gestart met slib uit de praktijk-rwzi.

De slibbelasting werd gestuurd op 0,04 - 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag. De proeven zijn uitgevoerd in de zomer van 1992.

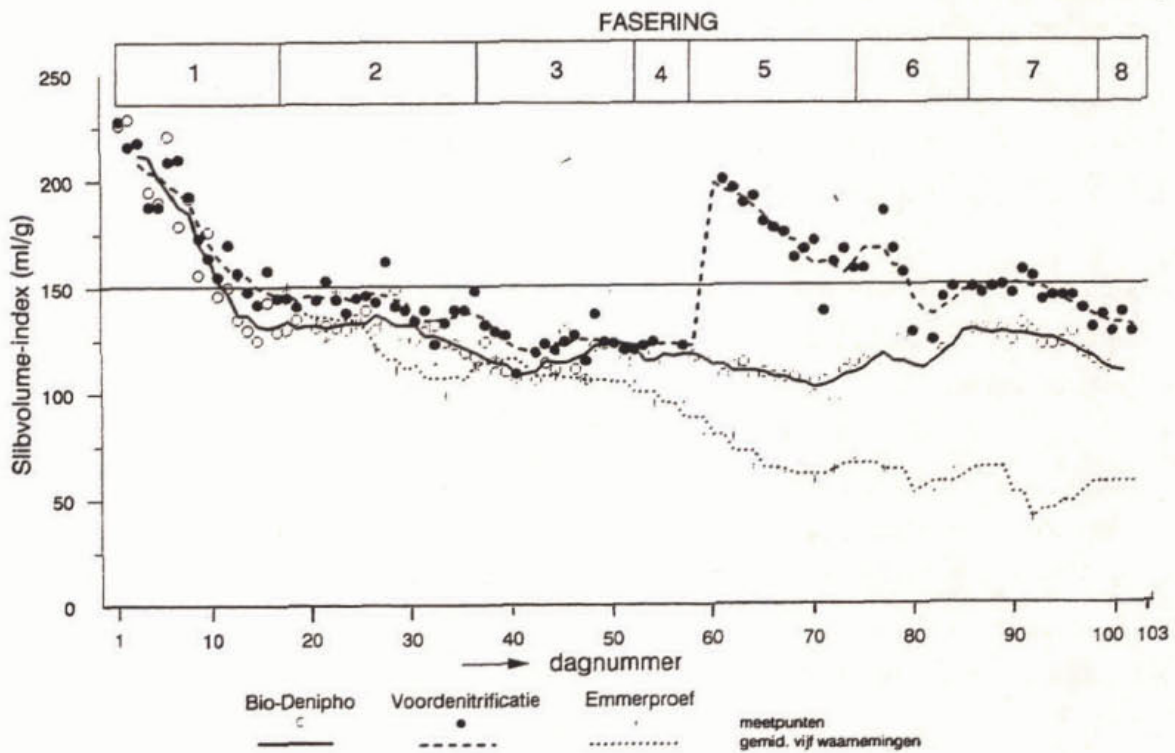
### Slibvolume-index

Zie figuur B.5. Vrij snel na de (her)start daalde de SVI tot waarden < 150 ml/g en stabiliseerde vervolgens op een niveau van 120 - 140 ml/g (laagste waarden in de Biotenipho-lijn).

### Microscopisch beeld

| Straat | Periode  | FI  | Organismen                  | P-opslag | Opmerkingen |
|--------|----------|-----|-----------------------------|----------|-------------|
| 1      | juni '92 | 2,5 | T0092                       | 1 ?      | open vlok   |
| 1      | sept '92 | 2   | T0041                       | —        | open vlok   |
| 2      | juni '92 | 2   | T0092, <i>M. parvicella</i> | 0,5      | open vlok   |
| 2      | sept'92  | 3   | T0041                       | —        | open vlok   |

\* Mondelinge informatie van ir. E. Leeuw (Witteveen en Bos).



**Figuur B.5** Proef Hengelo. Verloop van de SVI. Op dag 60 is het slib in het voordennitrificatiesysteem vervangen.

## Proef Kralingseveer [10]

In een proefinstallatie zijn de mogelijkheden van biologisch defosfateren in de sliblijn onderzocht. Voor de slibkwaliteit fungeerde de praktijkinstallatie als referentie. De experimenten zijn uitgevoerd in de periode december 1990 tot juli 1991.

Enkele procesparameters in de proefinstallatie:

- gesimuleerde omloopreactor;
- recirculatiefactor, excl. retourslib, bij dwa: 14;
- voeding met voorbezonden afvalwater;
- slibbelasting 0,10 kg BZV/kg d.s.-dag;
- een anoxische zone achterin de tank;
- een voorgeschakelde aërobe selector (contacttijd 10 à 15 min.;  $\frac{1}{3}$  van het retourslib naar de selector);
- temperatuur: zie figuur B.6.

### Slibvolume-indices

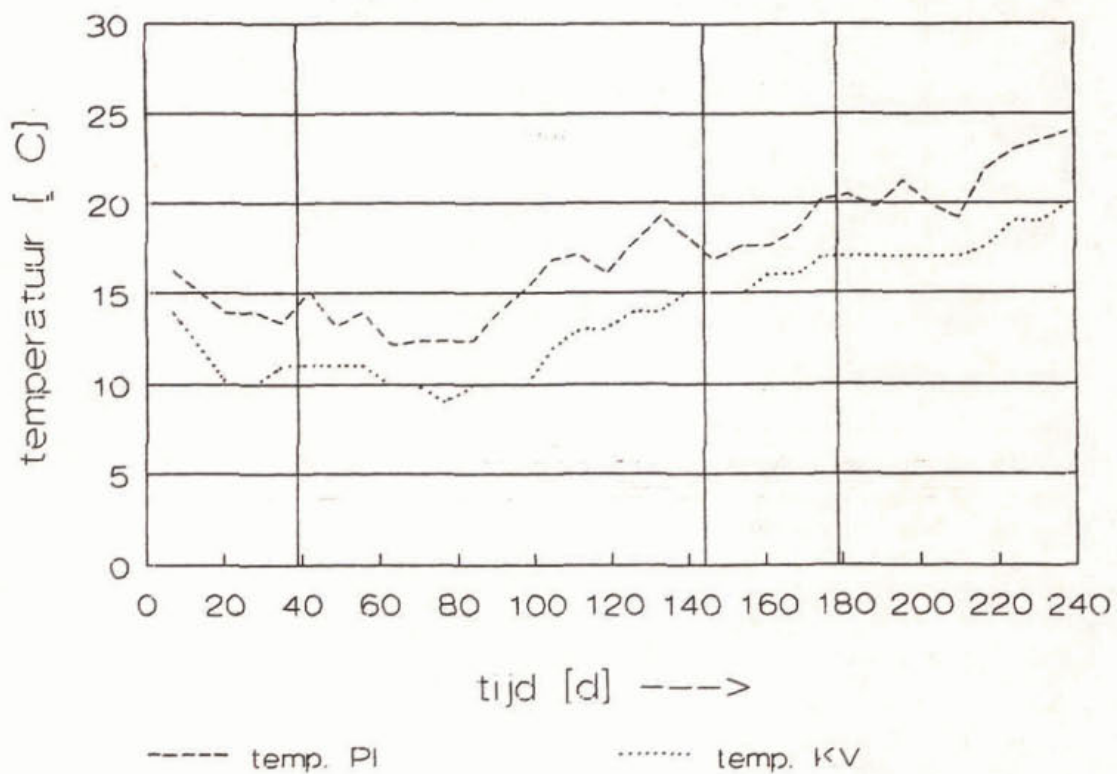
Zie figuur B.7. In de proefinstallatie daalde de SVI, naarmate de temperatuur steeg, tot 100 à 150 ml/g. In de praktijkinstallatie was de SVI tijdelijk aanmerkelijk hoger, maar was de temperatuur ook 5°C lager dan in de proefinstallatie.

### Microscopisch beeld

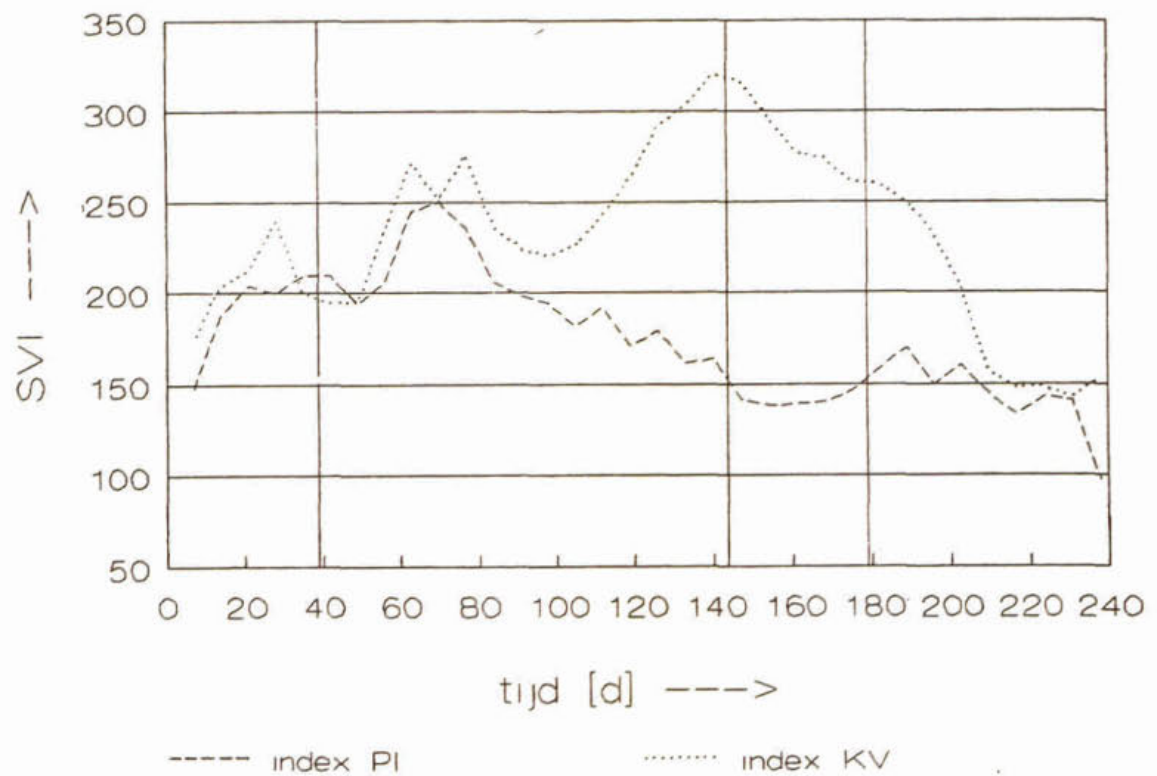
Zie tabel B.3. De veel hogere SVI-waarden in de praktijk-rwzi in de periode dag 120-dag 200 werden veroorzaakt door de sterke groei van Type 021N. Dit duidt mogelijk op een zuurstoftekort. Er kan ook gedacht worden aan overbelasting van de selector.

Tabel B.3 Draadvormende organismen.

| Dag | FI    |          | Dominante soorten    |                              |
|-----|-------|----------|----------------------|------------------------------|
|     | proef | praktijk | proef                | praktijk                     |
| 103 | hoog  | hoog     | <i>M. parvicella</i> | <i>M. parvicella</i>         |
| 132 | 2,5   | 4        | "                    | <i>M. parvicella</i> / T021N |
| 153 | 2     | 3        | "                    | " / "                        |
| 180 | 1     | 4        | geen                 | T021N / <i>H. hydrossis</i>  |
| 199 | 1     | 3        | "                    | <i>M. parvicella</i> / T021N |
| 236 | 1     | 3        | "                    | <i>M. parvicella</i>         |



**Figuur B.6** Verloop van de temperatuur  
 KV = Kralingseveer  
 PI = proefinstallatie



**Figuur B.7** Verloop van de SVI  
KV = Kralingseveer  
PI = proefinstallatie

## Proef Maastricht-Limmel\*

Bij dit experiment worden de volgende configuraties vergeleken:

1. Biotenipho met additionele, simultane chemische defosfatering ( $\text{Fe/P} = 0,4$ ).
2. N-verwijdering via voordennitrificatie en P-verwijdering via een hoofdstroomproces plus chemische defosfatering als bij 1.

Enkele procesomstandigheden:

- slijbelasting: 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag;
- voeding met voorbezonden afvalwater;
- recirculatiefactor: 10;
- anoxisch volume: 50% van de aëratietank;
- temperatuur: zie figuur B8.

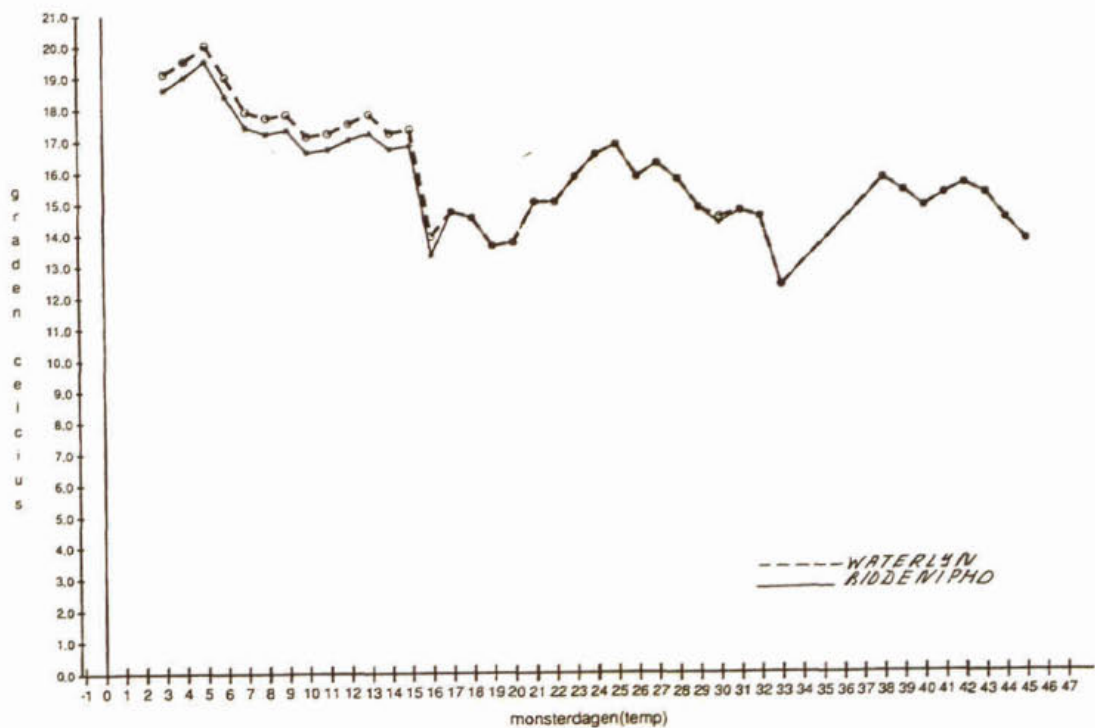
### Slijbvolumen-index

Het verloop van de SVI is weergegeven in figuur B.9. Tot de start van de dosering van  $\text{FeCl}_3$  varieerde de SVI van 150 - 200 ml/g in beide systemen, nadien is de index gedaald tot 150 ml/g op dag 50. Net als bij elders uitgevoerde experimenten, is de SVI meestal wat lager in de Biotenipho-lijn.

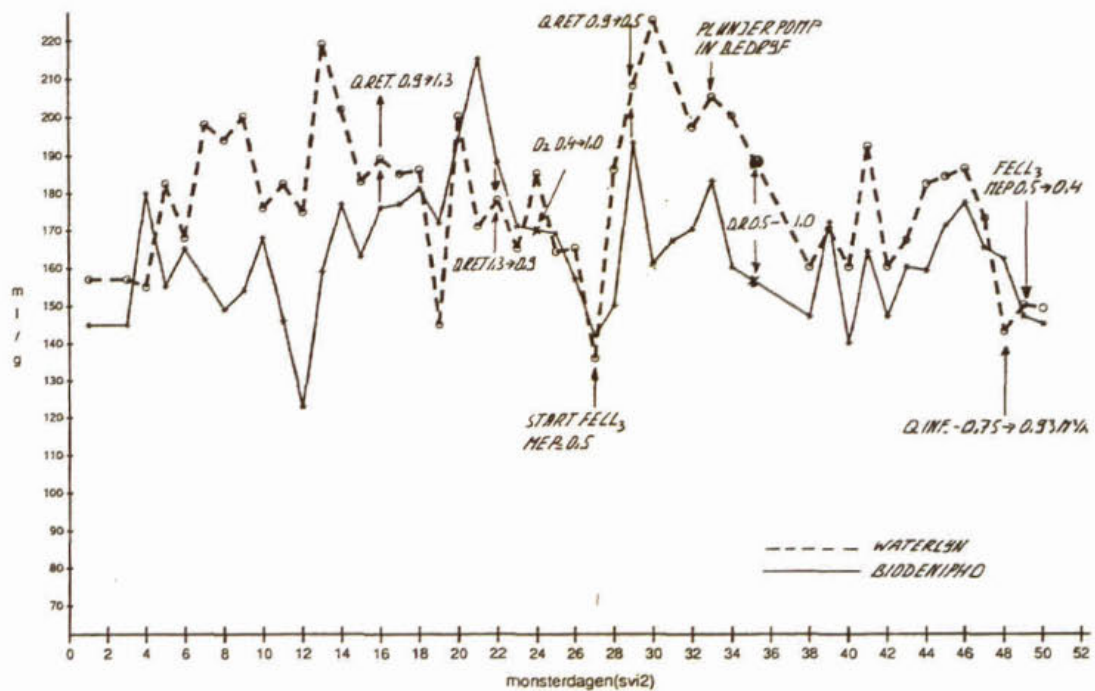
### Microscopisch beeld

| Lijn        | Periode | FI | Organismen                      | P-opslag | Opmerkingen |
|-------------|---------|----|---------------------------------|----------|-------------|
| Biotenipho  | dec '92 | 3  | <i>M. parvicella</i> ,<br>T0092 | 1        | open vlok   |
| Hoofdstroom | dec'92  | 2  | "                               | 1        | open vlok   |

\* Mondelinge informatie van A.W.A. de Man, Zuiveringsschap Limburg.



Figuur B.8 Proef Limmel. Verloop van de temperatuur.



Figuur B.9 Proef Limmel. Verloop van de SVI.

## Proef Nieuwgraaf [31]

De experimenten omvatten een vergelijking van:

1. Simultane N-verwijdering in een gesimuleerd omloopsysteem plus biologische P-verwijdering via een hoofdstroomproces (anaërobe tank vanaf fase 3 niet gecompartmenteerd).
2. Simultane N-verwijdering in een gesimuleerd omloopsysteem met een voorgeschakelde, aërobe selector (vlokbelading: 100 mg CZV/g d.s.; waterverblijftijd: 7,5 min.). P-verwijdering in de sliblijn.

De proeven zijn uitgevoerd in de periode september 1990-maart 1991. De installaties werden gevoed met voorbezonden afvalwater. Veertig procent van het volume van de aëratietank werd niet belucht, de recirculatiefactor bedroeg 25.

Fasering:

- fase 1: P-striplijn nog niet in bedrijf; slibbelasting: 0,03 kg BZV/kg d.s.-dag; temperatuur: 13-14°C.
- fase 2: P-striplijn ook in bedrijf; slibbelasting: 0,045 kg BZV/kg d.s.-dag; temperatuur: 13 °C.
- fase 3: anaërobe tank (configuratie 1) volledig gemengd in plaats van propstroming; slibbelasting: 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag; temperatuur: 12°C.
- fase 4: idem 3, maar met een slibbelasting van 0,06 kg BZV/kg d.s.-dag bij het hoofdstroomproces en 0,07 kg BZV/kg d.s.-dag in de andere installatie; temperatuur: 17°C.

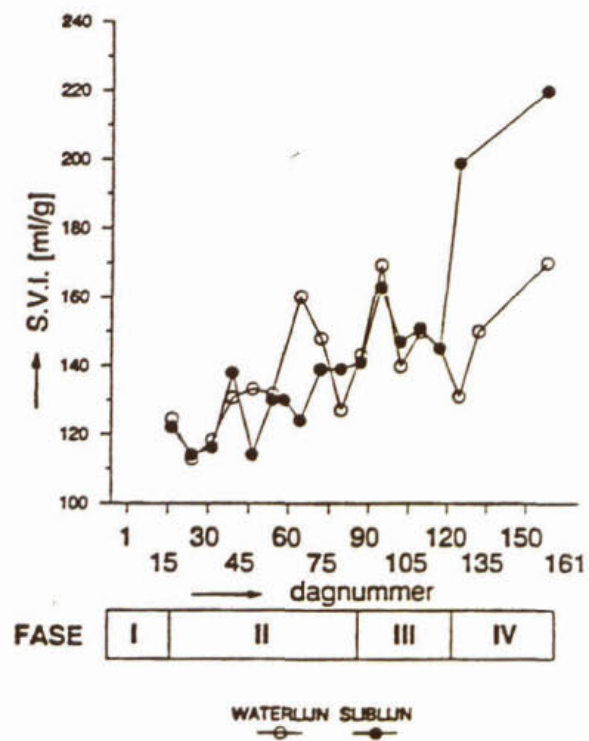
### Slibvolume-index

Zie figuur B.10. In de loop van de experimenten steeg de SVI in beide systemen, eerst geleidelijk, maar tijdens fase 4 in de straat met de aërobe selector zeer snel.

Vanaf fase 2 was ook sprake van uitspoeling van slib (waterlijn: 15-30 mg/l; sliblijn: 10-40 mg/l). Dit werd vooral veroorzaakt door drijfslagvorming op de nabezinktanks.

### Microscopisch onderzoek

In het rapport wordt *Thiothrix* als dominante draadvormer vermeld.



*Figuur B.10 Nieuwgraaf. Verloop van de SVI.*

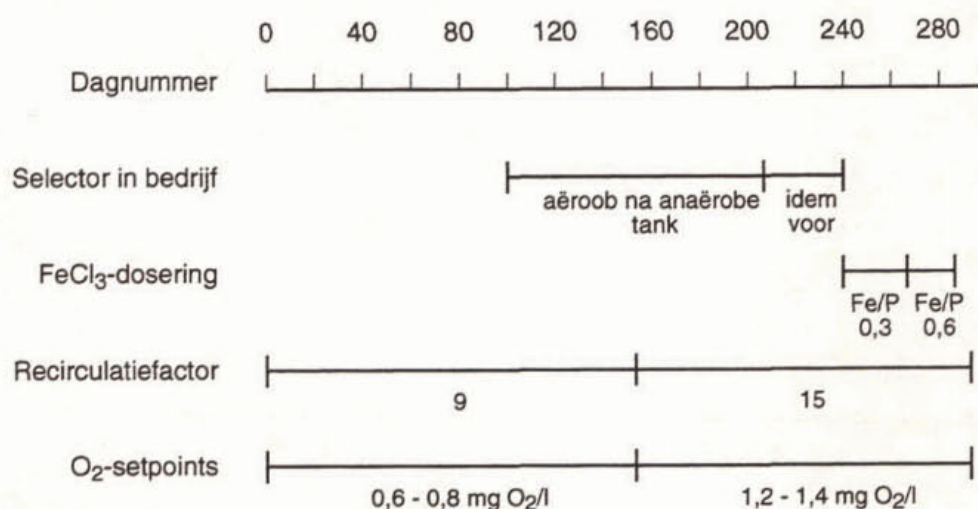
## Proef Roermond [34]

Bij deze experimenten zijn de volgende configuraties met elkaar vergeleken:

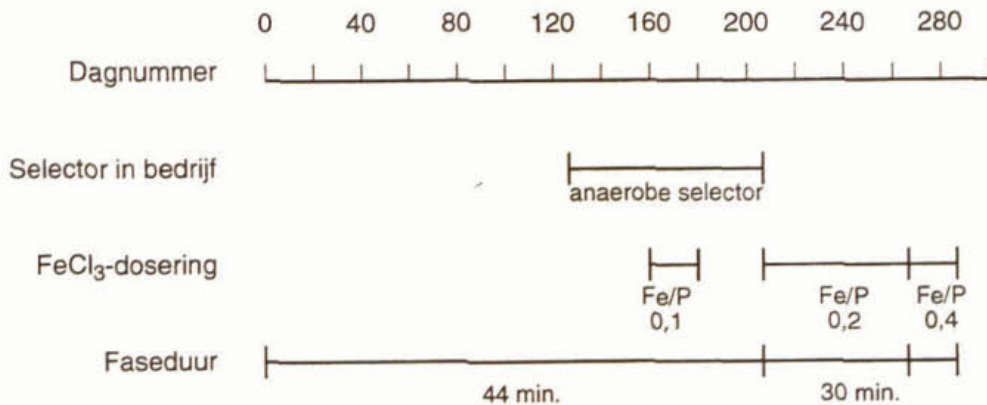
1. Biologische defosfatering in een hoofdstroomproces plus stikstofverwijdering via voordennitrificatie.
2. P- en N-verwijdering in een Biotenipho installatie met een nageschakelde beluchting.

Beide proefinstallaties werden gevoed met voorbezonden afvalwater. Dit werd in de voorgeschakelde anaërobe tank (verblijftijd circa 2 uur) gemengd met het retourslib. Eventuele ijzerdosering vond eveneens in deze tank plaats. De slibbelasting werd geregeld op 0,04-0,05 kg BZV/kg d.s.-dag. Bij het hoofdstroomproces werd 38% van het volume van de beluchtingsruimte ingenomen door de anoxische zone. De proeven zijn uitgevoerd in de periode december 1991 t/m augustus 1992. In de figuren B.11 en B.12 is aangegeven wanneer belangrijke procescondities veranderd zijn.

Bij het hoofdstroomproces was in de periode dag 107 tot dag 243 een beluchte selector (contacttijd: 11 min.) in de proceslijn opgenomen, eerst na de anaërobe tank en vanaf dag 207 voor deze tank. De selector bestond uit vier compartimenten. Er werd niet gestuurd op een bepaalde vlokbelading. In de periode waarbij de selector voor de anaërobe tank geïnstalleerd was, werd al het influent plus retourslib in het eerste compartiment van de selector gebracht. Bij de serieschakeling na de anaërobe tank werd de afloop van deze tank in feite alleen door een gecompartmenteerd, belucht tankje geleid, waardoor nauwelijks van een selector gesproken kan worden.



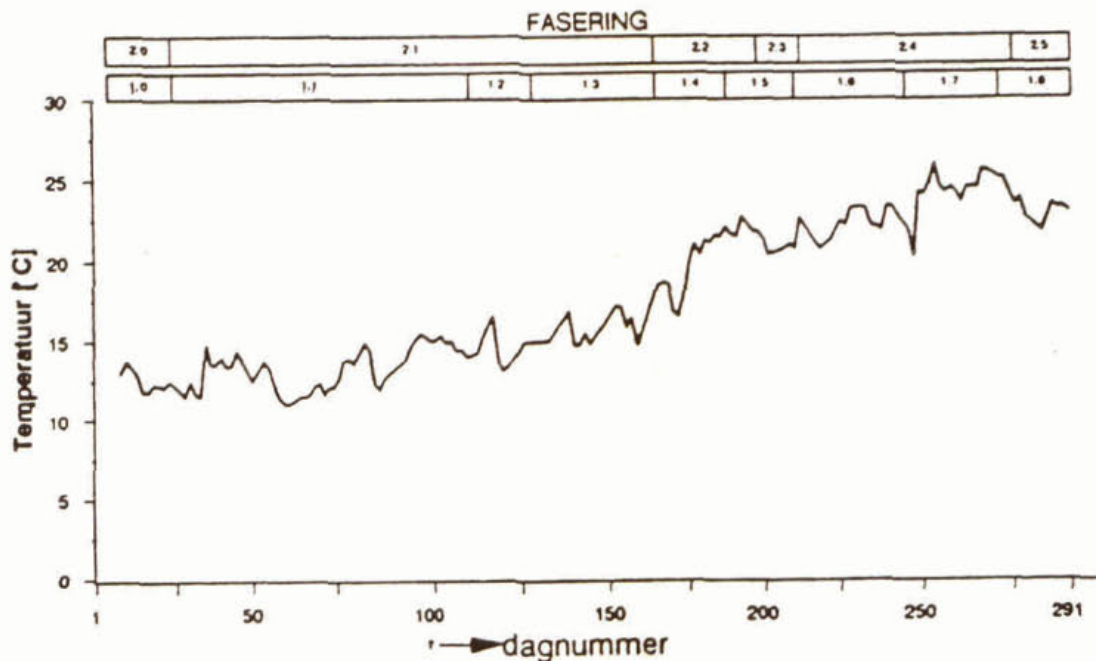
**Figuur B.11** Experimentele condities in het voordennitrificatiesysteem.



*Figuur B.12 Experimentele condities in het Biedeniphosysteem.*

In de Biedenipholijn was tussen dag 127 en dag 206 het voorste gedeelte van de anaërobe tank ingericht als selector. Deze bestond uit vier compartimenten. Al het influent en 46% van het retourslib werden in het eerste compartiment gebracht ( $\Rightarrow$  vlokbelading: 100 g CZV/kg d.s.). De contacttijd in de selector bedroeg 60 min.

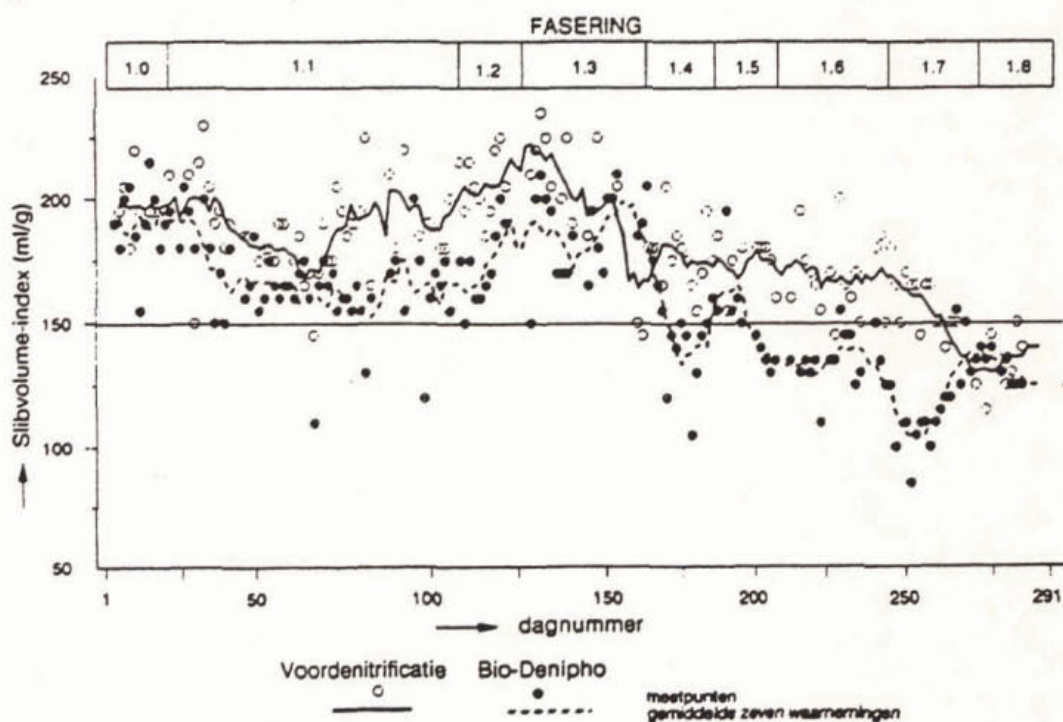
Het verloop van de temperatuur is weergegeven in figuur B.13. Na dag 150 steeg de temperatuur tot 20 à 25°C.



*Figuur B.13 Verloop van de temperatuur.*

### Slibvolume-index

De ontwikkeling van de slibvolume-index is weergegeven in figuur B.14. In de Bio-denipholijn was de SVI permanent lager dan in de straat met voordennitrificatie. De forse temperatuurverschillen voor en na dag 150 en het feit dat tijdens bepaalde proefperioden vaak ook andere procesomstandigheden gewijzigd werden, maken het trekken van eenduidige conclusies niet goed mogelijk. Volstaan wordt met de constatering dat SVI-waarden  $< 150$  ml/g alleen werden gerealiseerd indien aanvullend, chemisch gedefosfateerd werd. Hierbij was een zeer lage dosering ( $\text{Fe/P} = 0,1$ ) al toereikend.



Figuur B.14 Verloop van de SVI.

### Zwevend-stof in het effluent

In het rapport wordt expliciet vermeld dat het totaal-fosfaatgehalte in het effluent sterk beïnvloed werd door de uitspoeling van zwevend stof. Gedurende een groot gedeelte van de experimenten was in de effluenten van beide straten 25-40 mg d.s./l aan zwevend stof aanwezig.

**Microscopisch beeld**

| <b>Straat a)</b> | <b>Periode b)</b> | <b>FI</b> | <b>Organismen</b> | <b>P-opslag</b> | <b>Opmerkingen</b> |
|------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------------|--------------------|
| 1                | juni '92          | 4         | T0092, T0041      | 0,5             | open vlok          |
| 2                | juni '92          | 4         | T0092, T0041      | 2               |                    |

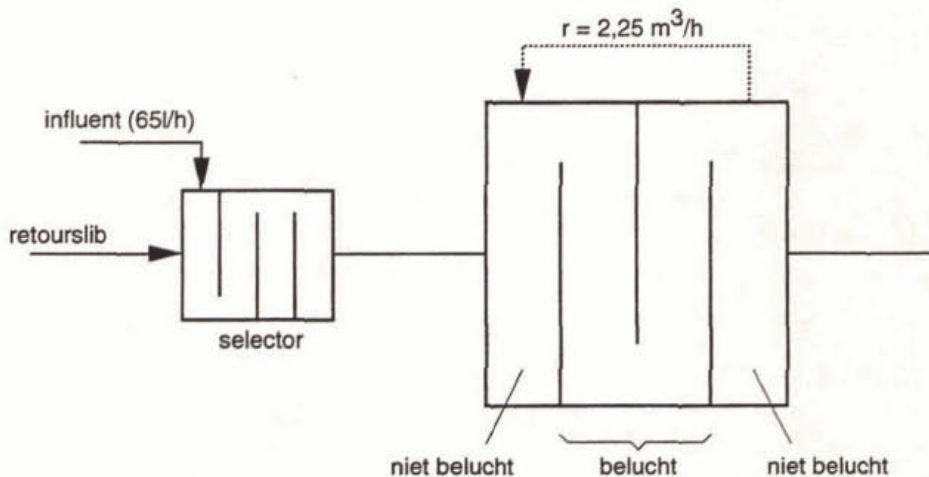
a) 1 = Voordenitrificatie + hoofdstroomproces

2 = Biotenipho

b) juni '92 = rond dag 200

### Proefinstallatie St. Oedenrode

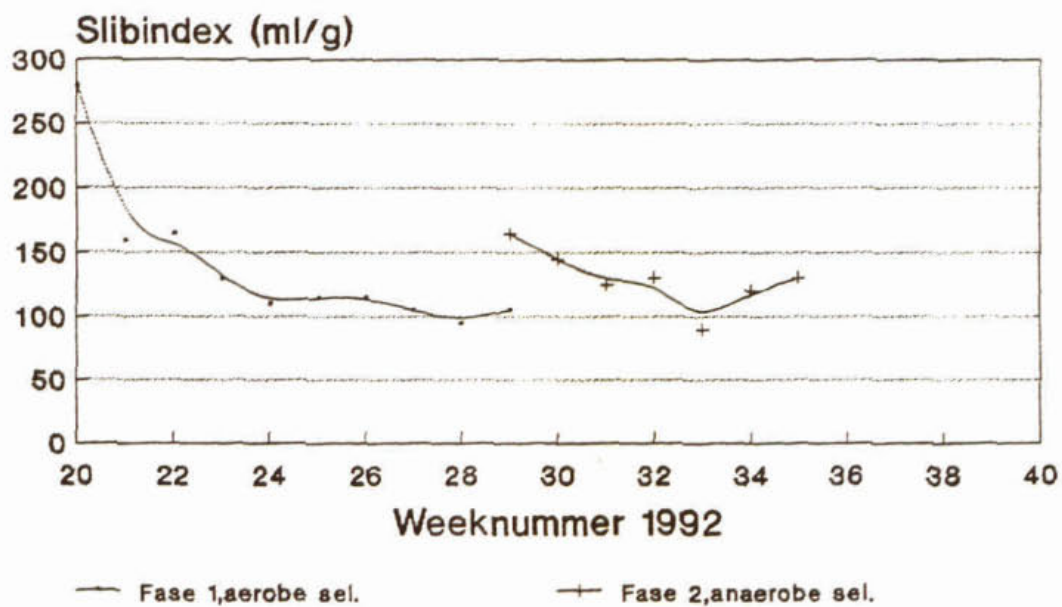
- Gesimuleerde omlooploopreactor, met een voorgeschakelde selector (zie figuur B.15). Voeding met ruw afvalwater. Pasveer condities.
- Proef gericht op het verbeteren van de slibvolume-index; N-verwijdering van secundair belang.



Figuur B.15 Processchema.

- Perioden:
  - mei t/m juni 1992: selector aëroob.
  - juli t/m september: selector anoxisch/anaëroob.
- De installatie is in mei en juli gestart met slib uit een andere rwzi (dus niet St. Oedenrode).
- Resultaat zie figuur B.16. Bij beide experimenten daalde de SVI tot ca. 100 ml/g. Er is geen microscopisch onderzoek uitgevoerd.

## Fase 1 en 2: aerobe en anaerobe selector



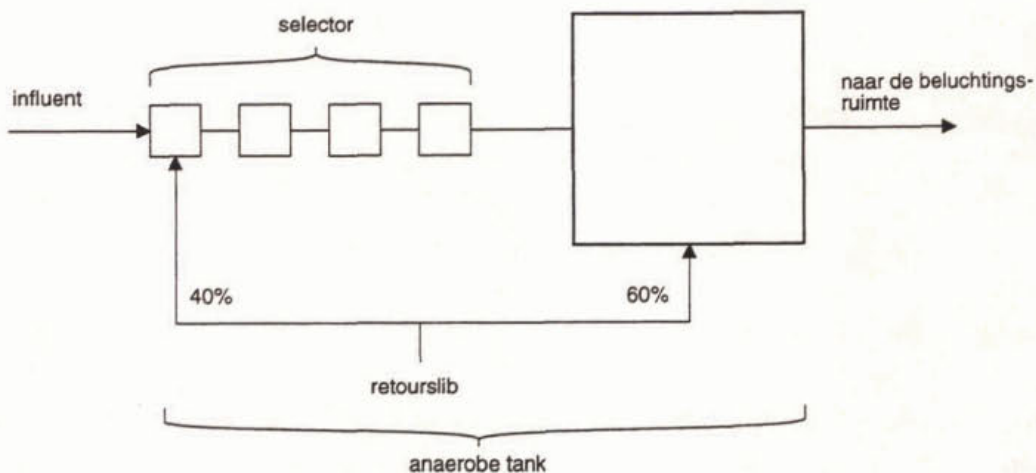
Figuur B.16 Verloop van de SVI tijdens de proef te St. Oedenrode.

## Proef Tilburg [15\*]

In de periode december 1991 tot januari '93 zijn diverse configuraties getest. De installaties werden steeds gevoed met voorbezonden afvalwater. De slibbelasting werd geregeld op ca. 0,08 kg BZV/kg d.s.-dag. Voor fase IV werd al het slib vervangen.

### Fase I, december '91-maart '92

- Hierbij werden met elkaar vergeleken:
  - Biodenifro, maar met een verhouding anoxisch : aëroob = 3 : 7.
  - Voordenitrificatie (anoxisch volume = 15%,  $r = 15$ ) plus P-verwijdering in de sliblijn
- Bij beide opties was in de anaërobe tank een selectorgedeelte opgenomen.



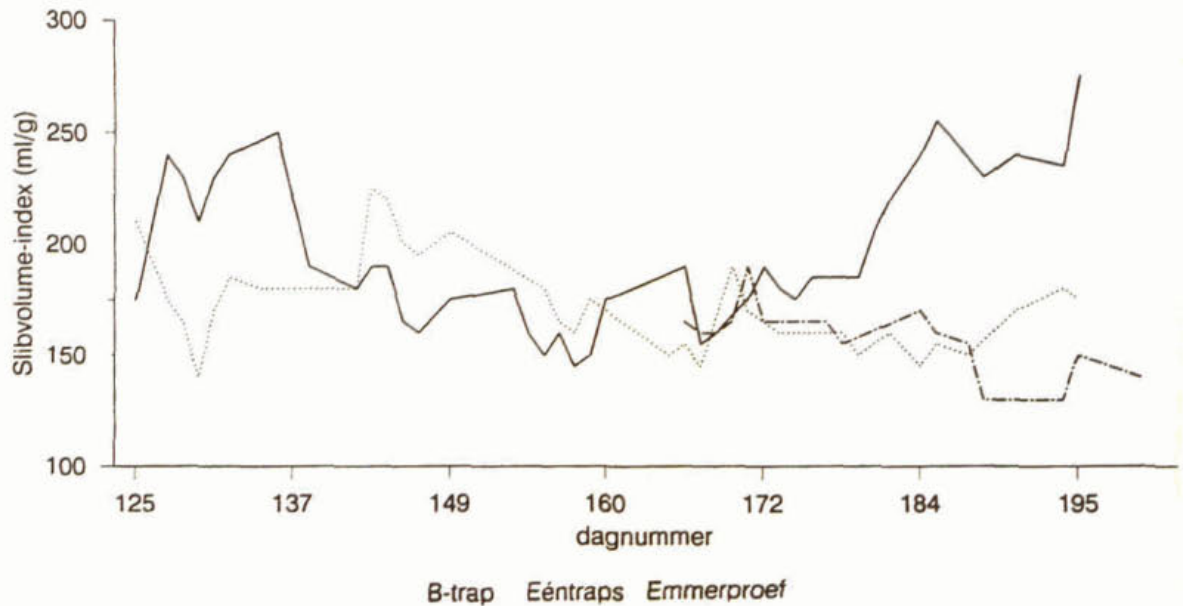
- De temperatuur varieerde van 12 - 16°C. De gemiddelde slibvolume-indices bij (1) en (2) waren respectievelijk 220 ml/g en 210 ml/g. Er is geen microscopisch slibonderzoek uitgevoerd.

### Fase II, maart '92-juni '92

- De omvatte de vergelijking van:
  - Idem (2), maar met beluchting van de selector.

\* Plus mondelinge informatie van ir. A. de Leeuw.

4. De combinatie van een A-trap plus een gesimuleerd omloopsysteem ( $r \approx 30$ ) voor simultane denitrificatie als B-trap. Geen voorzieningen voor extra P-verwijdering.
- De temperatuur steeg tijdens deze fase van 14°C tot 17°C. Het verloop van de slib-volume-index is weergegeven in figuur B.17.

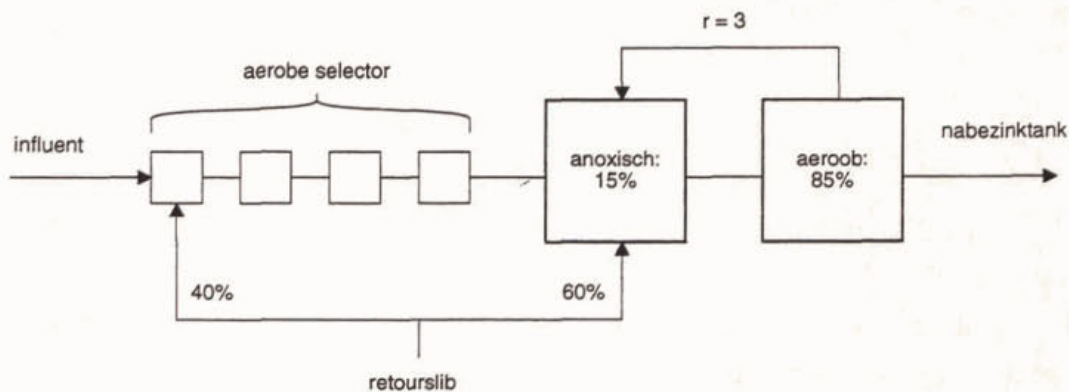


*Figuur B.17 Ontwikkeling van de SVI tijdens fase II.*

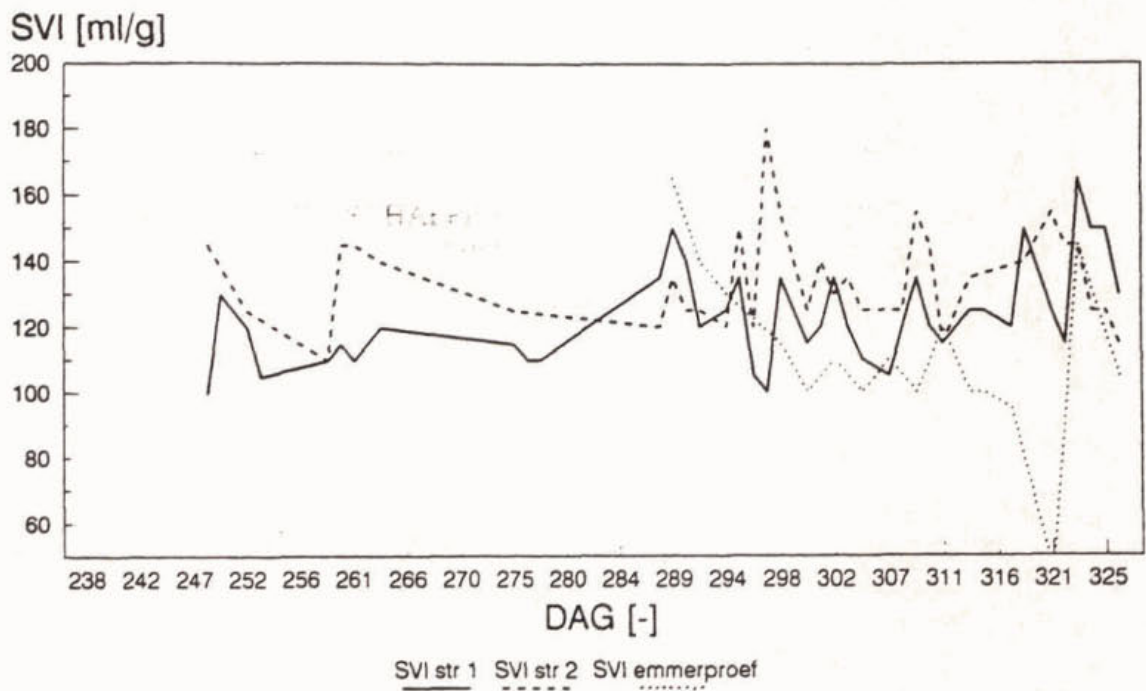
In de lijn met de aërobe selector daalde de SVI tot 150 ml/g, in de B-trap fluctueerde de index tussen 150 ml/g en 250 ml/g. Er is geen microscopisch onderzoek uitgevoerd.

#### *Fase III, juni '92-november '92*

- Tijdens deze fase werd niet het effect van de configuratie getest, maar de invloed van simultaan chemisch defosfateren
    5.  $Al/P = 0,5$
    6.  $Al/P = 1$
- De proefinstallaties waren beide volgens de volgende configuratie uitgevoerd.



- De temperature varieerde van 20 - 25°C. Het verloop van de SVI is weergegeven in figuur B.18. In beide installaties stabiliseerde de SVI op een niveau van 130 ml/g.



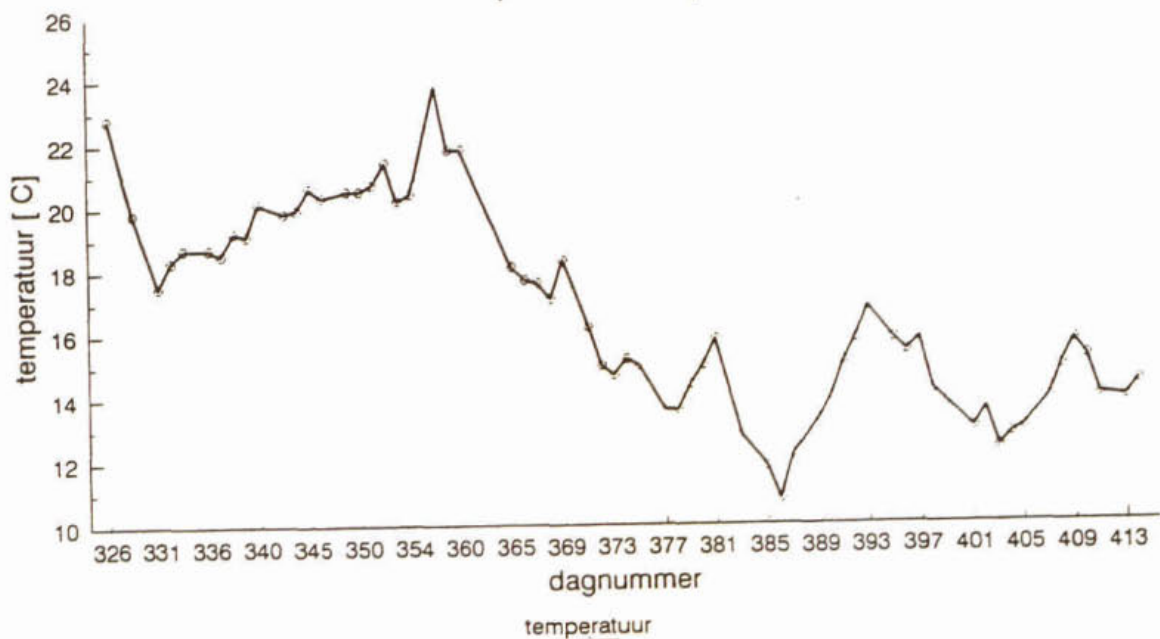
**Figuur B.18** Verloop van de SVI tijdens fase III.

- Microscopisch beeld

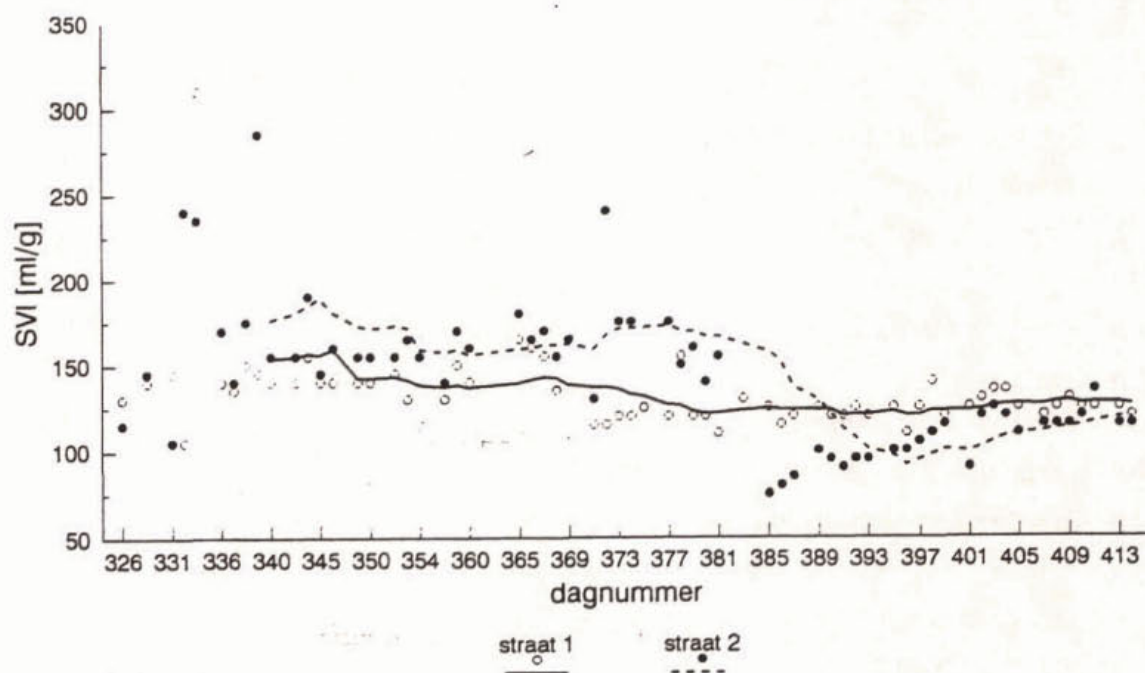
| Proef | Periode      | FI  | Organismen   | P-opslag | Opmerkingen |
|-------|--------------|-----|--------------|----------|-------------|
| 5     | rond dag 250 | 2,5 | T0092, T0041 | 1        |             |
| 6     | rond dag 250 | 3   | T0092, T0041 | 1        |             |
| 5     | rond dag 310 | 2   | T0092        | —        |             |
| 6     | rond dag 310 | 2   | T0092        | —        |             |

*Fase IV, november '92-januari '93*

- Continuering van fase III, maar met de volgende verschillen:
  - Al/P- verhouding in beide straten 0,8.
  - in één straat een niet-beluchte selector.
- Tijdens deze proeven daalde de temperatuur van 20 tot 15°C (fig. B.19). Het verloop van de SVI is weergegeven in figuur B.20.
- Op 22-12-1992 is het microscopisch beeld bepaald. Belangrijkste waarnemingen: F1 = 3, Type 0092 nog steeds dominant.



*Figuur B.19 Verloop van de temperatuur tijdens fase IV.*



**Figuur B.20** Verloop van de SVI tijdens fase IV.

### Proef Venlo [33]

Bij deze proef werden de volgende twee configuraties met elkaar vergeleken:

1. Een gesimuleerd omloopsysteem (voordenitrificatie) met biologische defosfatering in de waterlijn.
2. Idem 1., maar met defosfatering in de sliblijn.

De experimenten zijn uitgevoerd in de periode juli '91-november '91. Enkele procesparameters:

- voorbezonken influent.
- slibbelasting: ca. 0,05 kg BZV/kg d.s.-dag.
- hydraulische verblijftijd in de anaërobe tank (alleen bij 1.): 70 minuten.
- volumeverhouding van de compartimenten anoxisch en aëroob: 40 : 60.
- recirculatiefactor: tot dag 27 twintig, daarna tien.
- O<sub>2</sub>-setpoint : veelal 1,0-1,2 mg O<sub>2</sub>/l.

### Resultaten

|                              |                      | Waterlijn | Sliblijn |
|------------------------------|----------------------|-----------|----------|
| N <sub>tot</sub> in effluent | (mg N/l)             | 6,3       | 5,7      |
| P <sub>tot</sub> in effluent | (mg N/l)             | 1,8       | 1,4      |
| Zwevend stof in effluent     | (mg/l)               | 26        | 17       |
| Belasting                    | (kg BZV/kg d.s.-dag) | 0,052     | 0,059    |
| Temperatuur                  | (°C)                 | 21        | 21       |

Met beide procesvoeringen kon in deze zomerperiode aan de toekomstige stikstofeis worden voldaan. De fosfaatreductie was net niet voldoende. Dit werd veroorzaakt door een te hoog gehalte aan zwevend stof in het effluent. Drijfslagvorming op de nabezinktanks was hiervan de oorzaak.

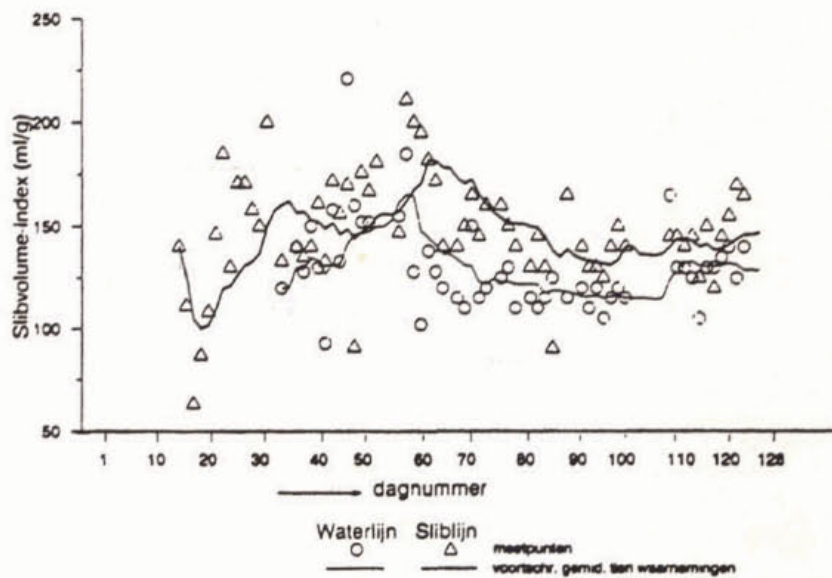
### Slibvolume-indices

Zie tabel B.4 en figuur B.21. De voor een carrousel karakteristieke daling van de SVI tijdens de zomermaanden vond in de proefinstallaties niet of nauwelijks plaats. In de rwzi met defosfatering in de sliblijn was de SVI bovendien structureel hoger dan in de andere

proefinstallaties. Dit verschil kan waarschijnlijk uit het verschil in slibbelasting worden verklaard.

**Table B.4** Slibvolume-indices (ml/g) in de praktijk-rwzi en de beide proefinstallaties.

|           | rwzi         |              |               |              |
|-----------|--------------|--------------|---------------|--------------|
|           | praktijk '90 | praktijk '91 | waterlijn '91 | sliblijn '91 |
| januari   | 103          | 104          |               |              |
| februari  | 89           | 153          |               |              |
| maart     | 110          | 158          |               |              |
| april     | 150          | 175          |               |              |
| mei       | 151          | 205          |               |              |
| juni      | 135          | 143          |               |              |
| juli      | 129          | 140          | —             | 140          |
| augustus  | 99           | 150          | 136           | 152          |
| september | 69           | 90           | 113           | 144          |
| oktober   | 64           | 76           | 127           | 143          |
| november  | 74           | 82           |               |              |
| december  | 78           | 98           |               |              |



**Fig. B.21** Slibvolume-index.