

NN31085.92-04

l e

g e n e r a t i e r i o o l w a t e r -  
z u i v e r i n g s i n r i c h t i n g e n

rwzi  
2000

R 92-04

## **BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING IN COMBINATIE MET EEN KORRELREACTOR**



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

Directoraat-Generaal Milieubeheer  
Postbus 450, 2260 MB Leidschendam



**DHV Water B.V.**

Postbus 484, 3800 AL Amersfoort



**Landbouwuniversiteit Wageningen**  
Vakgroep Milieutechnologie

Postbus 8129, 6700 EV Wageningen



**RIZA**

**Rijkswaterstaat**  
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer  
en Afvalwaterbehandeling

Postbus 17, 8200 AA Lelystad

**stowa**

**Stichting Toegepast Onderzoek  
Waterbeheer**

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

tie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

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



## BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING IN COMBINATIE MET EEN KORRELREACTOR



RWZI 2000 92-04

auteur(s):

LU - Wageningen:

ir. P.M.J. Janssen

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

29 SEP. 1993

349 f

## Inhoud

	SAMENVATTING	1
	SUMMARY	3
1	INLEIDING	5
1.1	Algemeen	5
1.2	Aanleiding onderzoek	5
1.3	Doel onderzoek	7
2	VOORAFGAAND ONDERZOEK	11
3	METHODEN EN MATERIALEN	13
3.1	Proefinstallatie, procesregeling en afvalwater	13
3.2	Bemonstering en analyses	15
4	ACTIEF-SLIBPROCES INCLUSIEF DEELSTROOM	17
4.1	Uitvoering	17
4.2	Resultaten en bespreking	18
4.2.1	resultaten algemeen	18
4.2.2	fosfaatverwijdering algemeen	20
4.2.3	fosfaatafgifte in de strippertank	23
4.3	Conclusies	29
4.4	Evaluatie	30
5	KORRELREACTOR-EXPERIMENTEN	33
5.1	Uitvoering	33
5.2	Resultaten en bespreking	34
5.3	Conclusies	39
5.4	Evaluatie	39
6	SLIBVERZURING	41
6.1	Experimenten op laboratoriumschaal	41
6.2	Experimenten continue verzuringsinstallatie	44
6.3	Kostenvergelijking acetaatbronnen	45
6.4	Conclusies	46
6.5	Evaluatie	46
7	INTERACTIE VAN DEELSTROOM, KORRELREACTOR EN SLIBVERZURING	48
7.1	Interactie deelstroom en slibverzuring	48
7.2	Interactie deelstroom en korrelreactor	49
7.3	Conclusie	50
8	EVALUATIE ONDERZOEK	51

## BIJLAGEN

1. Tijdsfasering onderzoek
2. Processchema proefinstallatie
3. Volumina, afmetingen proefinstallatie
4. Bemonsteringsschema
5. Bepaling Acinetobacteractiviteit
6. Resultaten biologisch gedeelte
7. Berekeningen
8. Begrippen en definities

## VOORWOORD

Naast het onderzoekprogramma PNs 1992 van de STOWA, wordt ook binnen het project RWZI 2000 aandacht besteed aan de mogelijkheid van vergaande biologische verwijdering van stikstof en fosfaat op rwzi's.

Het voorliggende rapport geeft de resultaten van een pilot plant onderzoek naar de biologische defosfatering in de deelstroom, gevolgd door een fysisch/chemische nabehandeling van het fosfaatrijke supernatant door middel van een korrelreaktor. Het onderzoek is geïnitieerd, gedeeltelijk gefinancierd en uitgevoerd door DHV Water B.V. en de vakgroep Milieutechnologie van de Landbouwniversiteit-Wageningen. Aanvullende financiering heeft plaatsgevonden in het kader van de Stimuleringsregeling Milieutechnologie (projektnr. 51230/0110) en vanuit RWZI 2000 (projektnr. 3225/3).

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat biologische defosfatering in de deelstroom, gevolgd door een fysisch/chemische P-verwijdering m.b.v. een korrelreaktor onder Nederlandse omstandigheden, d.w.z. wisselende hydraulische belastingen en temperatuurschommelingen, leidt tot continu lage fosfaatconcentraties ( $P_{ortho}$  0,2 mg/l;  $P_{totaal}$  0,9 mg/l) in het effluent, mits de uitspoeling van zwevende stof gering is. De fosfaatafgifte in de deelstroom onder de vorming van het fosfaatrijke supernatant wordt bevorderd door acetaat-doseringen van 10 - 20 mg CZV/g d.s. Gebleken is dat het zowel procestechnisch als uit kosten oogpunt mogelijk is primair-slibdosering toe te passen als alternatief voor deze acetaat-dosering. De korrelreaktor, exclusief een nageschakeld snelfilter, is in staat 70 - 80 % van het fosfaat in het fosfaatrijke supernatant te verwijderen.

Begeleiding van dit onderzoek heeft plaatsgevonden samen met andere projecten op dit terrein uit het STOWA-programma PNs 1992.

Lelystad, augustus 1992

Voor de Stuurgroep RWZI 2000

dr. J. de Jong  
(voorzitter)

## SAMENVATTING

In dit rapport worden de resultaten van 2 jaar onderzoek op proefschaal beschreven waarbij biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom gecombineerd is met fysisch/chemische fosfaatverwijdering in een korrelreactor.

Binnen dit project waren de belangrijkste punten van onderzoek:

- onderzoek naar en optimalisatie van het proces van biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom,
- introductie, bedrijfsvoering en optimalisering van een korrelreactor binnen biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom,
- onderzoek naar de mogelijkheden van productie van lagere vetzuren via verzuring van primair slib, t.b.v. biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom,
- integratie van biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom, korrelreactor en verzuring van primair slib in één proces, waarbij het gehele proces zoveel mogelijk onder (Nederlandse) praktijkomstandigheden bedreven werd.

Nitrificatie en denitrificatie zijn binnen dit onderzoek niet geoptimaliseerd. Uitgangspunt was een laagbelast actief-slibproces met volledige nitrificatie en een onder de gegeven procesomstandigheden optredende denitrificatie.

De proefinstallatie bestond uit een actief-slibinstallatie inclusief voorbezinktank, selector en anaërobe/anoxische zones, een deelstroom bestaande uit strippertank en indikker, een korrelreactor en een primair-slibverzuring bestaande uit een fermentor en indikker.

De proefinstallatie werd bedreven met huishoudelijk afvalwater afkomstig van de rwzi Bennekom, met een aanvoerregiem conform deze praktijkinstallatie.

De belangrijkste conclusies van het onderzoek m.b.t. biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom zijn:

- Biologische fosfaatverwijdering uitgevoerd volgens het deelstroomprincipe leidt tot lage en stabiele ortho-fosfaat-effluent concentraties van gemiddeld 0,2 mg P/l. De daarbij behorende totaal-fosfaat concentraties zijn gemiddeld 0,9 mg P/l. Het biologisch- en totaalrendement komen daarmee resp. op 97% en 87%.
- De stabiele, lage ortho-fosfaat effluent concentraties zijn bereikt bij een CZV:P verhouding van het voorbezonden afvalwater van minimaal 35, een rwa-debiet tot 3 maal dwa en een temperatuurstraject van 14 tot 22°C. Afwezigheid van een anaërobe zone in de hoofdstroom van het actief-slibproces heeft, onder gegeven procescondities van de deelstroom, niet geleid tot een vermindering van de biologische P-verwijdering.
- Lagere vetzuur- c.q. acetaatdoseringen van 10 tot 20 mg CZV/g d.s. stimuleren de fosfaatafgifte in de strippertank en daarmee ook de ontwikkeling van fosfaat-accumulerende bacteriën. Een minimale verblijftijd in de strippertank

van 4 uur is voldoende. Zonder deze dosering functioneert het deelstroomproces onvoldoende.

De concentratie aan fosfaat in het supernatant van de deelstroom is binnen dit onderzoek bepaald door ondermeer: de hoeveelheid slib naar de strippertank, de hoogte van de lagere vetzuur- c.q. acetaatdosering en de CZV:P-verhouding van het influent.

De belangrijkste conclusies van het onderzoek m.b.t. een korrelreactor geplaatst in een fosfaatrijke deelstroom zijn:

- 70 tot 80% van het fosfaat in een geconcentreerde deelstroom (20 tot 50 mg ortho-P/l) is te verwijderen via calciumfosfaat-kristallisatie in een korrelreactor. Hierbij is een nageschakeld snelfilter overbodig.
- De procesomstandigheden in een korrelreactor waarbij 70 tot 80% van het fosfaat kan worden verwijderd zijn:  $C_{\text{totaal}}$  ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) supernatant < 1 mmol/l; pH supernatant < 4 à 5; pH reactor 8-8,6; Ca/P verhouding 2 à 3 mol/mol; recirculatiefactor van 2 à 3.

De belangrijkste conclusies van het onderzoek m.b.t. de verzuring van primair slib t.b.v. de vervanging van een acetaatdosering aan een deelstroom zijn:

- Op grond van een kostenanalyse blijkt dat verzuring van primair slib een alternatief kan zijn voor dosering van technisch acetaat aan de deelstroom bij een benodigde dosering van 3 à 4 g CZV/i.e., indien de productie aan lagere vetzuren  $\geq 4$  g CZV/i.e. bedraagt.
- Bij verzuring van primair slib zijn, bij een temperatuur van 33 °C,  $C_2$  resp.  $C_2$  t/m  $C_5$ -producties haalbaar van gemiddeld 2 ( $\pm 1$ ) resp. 5 ( $\pm 1$ ) g CZV/i.e. Ca. 50% van deze producties worden bereikt bij een verzuringstemperatuur van 20 °C.

#### TREFWOORDEN

biologische fosfaatverwijdering; deelstroomproces; fosfaat-strippen; korrelreactor; calciumfosfaat-kristallisatie; primair-slibverzuring; huishoudelijk afvalwater; proefinstallatie



## SUMMARY

In this report the results of two year pilot-plant studies of biological P-removal in a by-pass combined with P-removal by calcium-phosphate crystallization on sand pellets in a fluidized bed-reactor, the so called Crystalactor, are described. The main points of research were:

- research and optimization of the process of biological P-removal in a by-pass,
- introduction, process-control and optimization of the Crystalactor within the process of biological P-removal in a by-pass,
- the possibility of low-molecular-weight fatty acids production by acidification of primary sludge, for the benefit of biological P-removal in a by-pass,
- integration of the three processes; biological P-removal in a by-pass, the Crystalactor and the acidification of primary sludge, in one process, to test the reliability and stability of the total process under full-scale (Dutch) circumstances.

Nitrification and denitrification are in this research not optimized. Starting-point was a low-loaded activated sludge process with complete nitrification and a defined denitrification under the circumstances.

The pilot-plant comprises a primary clarifier, an activated sludge process including a selector and anaerobic and anoxic zones, a by-pass consisting of a strippertank and thickener, a Crystalactor and a primary sludge acidification consisting of a fermentor and thickener.

The research is carried out with domestic wastewater of the full-scale plant Bennekom. The influent flow regime simulates the flow of this full-scale plant.

The main conclusions of the research regarding biological P-removal in a by-pass are:

- Biological P-removal carried out in a by-pass results in low and stable ortho- and total-P effluent concentrations of 0.2 mg P/l and 0.9 mg P/l respectively. The efficiency of the P-removal on the base of ortho-P and total-P amounts to 97 and 87% respectively.
- The stable, low ortho-P effluent concentrations are achieved with a minimal COD:P ratio of the settled wastewater of 35, a storm weather flow of three times dry weather flow and a temperature range of 14 till 22°C. The absence of an anaerobic zone in the mainstream of the activated sludge process doesn't influence the P-removal negatively under defined process conditions of the by-pass.
- Low-fatty acids (acetate) dosages of 10 till 20 mg COD/ g dry weight sludge stimulate the P-release in the stripper tank inclusive the growth of phosphate-accumulating bacteria. A minimal detention time in the stripper tank of 4 hours is sufficient. Without dosage of fatty-acids the by-

pass process functions insufficient.

The P-concentration in the supernatant of the by-pass is within the scope of this research defined by: the quantity of sludge to the stripper tank, the low-fatty acids (acetate) dosage and the COD:P ratio of the influent.

The main conclusions of the research regarding the Crystalactor in a phosphorus-rich by-pass are:

- 70 till 80% of the concentrated P-flow (20 till 50 mg ortho-P/l) can be removed by calciumphosphate-crystallisation in a Crystalactor. In this configuration a filter unit is not needed.
- The process conditions at which 70 till 80% of the phosphate can be removed are:  $C_{\text{total}}$  ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) supernatant  $< 1$  mmol/l; pH supernatant  $< 4$ ; pH reactor 8-8,6; Ca/P ratio 2 to 3 mol/mol; recirculation ratio of 2 to 3.

The main conclusions of the research regarding the acidification of primary sludge for replacement of the acetate/-acetic acid are:

- A cost analysis shows that acidification of primary sludge can be an alternative for the dosage of technical acetate at a requisite dosage of 3 to 4 g COD/i.e., if the production of low fatty-acids amounts to  $\geq 4$  g COD/i.e.
- Acidification of primary sludge at a temperature of  $33^\circ\text{C}$ , produces  $2 (\pm 1)$  g  $\text{C}_2$ -COD/g i.e. and  $5 (\pm 1)$  g  $\text{C}_2$  t/m  $\text{C}_5$ -COD/g i.e. respectively. Circa 50% of this production level can be achieved at a temperature of  $20^\circ\text{C}$ .

#### KEYWORDS

biological P-removal; by-pass process; phosphate stripping; Crystalactor; calcium-phosphate crystallisation; primary sludge acidification; domestic wastewater; pilot plant

## 1 INLEIDING

### 1.1 Algemeen

Het onderzoeksproject "biologische P-verwijdering met fosfaat-strippen in combinatie met een korrelreactor" valt binnen het project "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen", kortweg "rwzi 2000", een gezamenlijk project van STORA en RIZA.

Het onderzoek is een samenwerkingsproject tussen de vakgroep Milieutechnologie van de Landbouwniversiteit en DHV Water BV. Het onderzoek is uitgevoerd op pilot-plant schaal in de proefhal van de vakgroep Milieutechnologie te Bennekom. Het onderzoek is eind 1989 gestart. Het onderzoek is gefinancierd door NOVEM (stimuleringsregeling 'Milieutechnologie Water'), RWZI 2000, LUW en DHV.

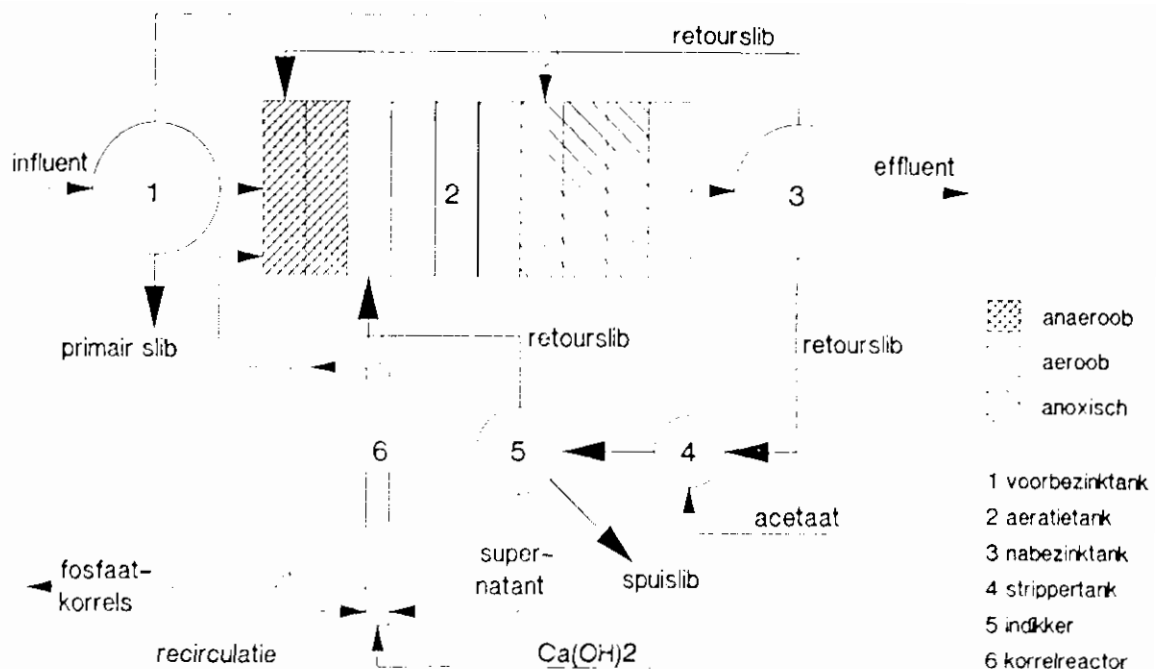
### 1.2 Aanleiding onderzoek

Het onderzoek naar biologische fosfaatverwijdering heeft inmiddels aangetoond dat elke actief-slibinstallatie biologisch kan defosfateren, mits een anaërobe zone wordt geïntroduceerd. Het succes, - lees rendement - van biologische fosfaatverwijdering wordt met name bepaald door de samenstelling van het afvalwater, slibbelasting en wijze van denitrificatie. Het onderzoek tot nu toe heeft tevens uitgezeten dat bij biologische fosfaatverwijdering in de hoofdstroom, de fosfaatverwijdering onder rwa-omstandigheden negatief beïnvloed wordt, en als gevolg daarvan niet altijd even stabiel is.

Een ander knelpunt bij biologische fosfaatverwijdering in de hoofdstroom betreft de slibverwerking. Bij verschillende slibverwerkingstechnieken kan het biologisch opgeslagen fosfaat weer in oplossing gaan als gevolg van het ondergaan van lange anaërobe fasen. Via interne stromen wordt dit fosfaat weer bij het influent gevoegd waarmee het verwijderingsrendement negatief wordt beïnvloed. Dit kan met name het geval zijn bij actief-slibinstallaties die uitgerust zijn met een anaërobe slibstabilisatie.

Teneinde deze knelpunten weg te nemen en een proces met een stabielere, meer vergaande P-verwijdering te verkrijgen, is onderzoek opgestart naar biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom. Hierbij is het proces uitgebreid met een zogenaamde "strippertank". Bij deze procesconfiguratie wordt een deel van het actiefslib onder anaërobe omstandigheden, al of niet geforceerd via toevoeging van een C-bron, vrijgemaakt van fosfaat. Hierbij ontstaat een tweede effluentstroom, het supernatant, welke gering is in debiet en geconcentreerd is aan fosfaat.

Een aantrekkelijke methode voor defosfatering van deze geconcentreerde fosfaatstroom is kristallisatie met behulp van een korrelreactor. De voorgestelde procesconfiguratie is in figuur 1.1 weergegeven.



Figuur 1.1 Schema biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom in combinatie met een korrelreactor.

Naast het feit dat deze kristallisatiemethode een her te gebruiken eindproduct in vaste vorm oplevert, betekent het opstellen van een korrelreactor in een biologisch defosfaterend deelstroomproces, ten opzichte van een reactor in de hoofdstroom, een kleinere reactor vanwege de hogere fosfaatconcentraties in het supernatant.

Aangezien het behandelde supernatant van de strippertank teruggevoerd wordt naar het actief-slibproces en niet aan de lozingseisen hoeft te voldoen, kunnen naast de kleinere reactor, de volgende voordelen genoemd worden:

- minder chemicaliën nodig bij de kristallisatie,
- geen pH-bijstelling noodzakelijk van het effluent van de korrelreactor,
- mogelijke uitsluiting van het snelfilter,
- minder gevoelig voor storingen.

Binnen dit project kunnen 4 hoofdpunten van onderzoek worden geformuleerd:

- onderzoek naar, en optimalisatie van het proces van biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom,
- introductie, bedrijfsvoering en optimalisering van een korrelreactor binnen biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom,
- onderzoek naar de mogelijkheden van productie van lagere vetzuren via verzuring van primair slib, t.b.v. biologi-

- sche fosfaatverwijdering in een deelstroom,
- integratie van biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom, korrelreactor en verzuring van primair slib in één proces, waarbij het gehele proces zoveel mogelijk onder (Nederlandse) praktijkomstandigheden bedreven wordt.

### 1.3 Doel onderzoek

De hierboven geformuleerde hoofdpunten van onderzoek kunnen meer specifiek omschreven worden. Tevens wordt in deze paragraaf aangegeven welke aspecten géén deel uitmaakten van het onderzoek.

#### **Onderzoek biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom**

##### \* Optimalisatie van de deelstroom.

De deelstroom moet ontworpen worden op de te verwijderen hoeveelheid fosfaat onder de voorwaarde dat de fosfaatverwijdering in de hoofdstroom stabiel is en de fosfaat-effluentconcentratie binnen de gestelde lozingseisen ligt. Drie variabelen zijn belangrijk bij het ontwerp van de deelstroom:

- percentage retourslib naar de strippertank,
- verblijftijd in de strippertank,
- hoogte van de acetaatdosering.

Naast deze drie variabelen bepaalt het rendement van de afscheiding van het fosfaatrijke supernatant de grootte van de strippertank. Onderzoek is verricht naar de relatie van deze variabelen met de fosfaatverwijdering, met name de fosfaatafgifte in de strippertank.

##### \* Functie van de onbeluchte (anaërobe) zone in de hoofdstroom.

In eerste instantie is het proces zo bedreven dat er naast de anaërobe strippertank, ook in de hoofdstroom een anaërobe zone aanwezig is. Onderzocht is in hoeverre deze zone de dimensionering van de strippertank beïnvloedt.

##### \* Stabiliteit van het proces bij debiet- en temperatuurwisselingen.

De invloed van wisselende hydraulische belastingen (dwa/rwa en dag-/nachtaanvoer) op het biologisch gedeelte is nagegaan. De proefinstallatie is daartoe bedreven met een variabele hydraulische belasting. Aangezien de proefinstallatie met praktijkafvalwater gevoed is, onderging het biologisch gedeelte ook de (variërende) seizoenstemperaturen.

Er is géén onderzoek verricht naar:

##### - Stikstofverwijdering.

Nitrificatie en denitrificatie zijn binnen dit onderzoek niet geoptimaliseerd. Uitgangspunt was een laagbelast actief-slibproces met volledige nitrificatie en een onder de

gegeven procesomstandigheden optredende denitrificatie.

- Slibbezinkbaarheid.

De slibindex is als een gegeven beschouwd. Om een lage slibindex te waarborgen is de proefinstallatie uitgerust met een selector.

- Slib/water-scheiding.

De hoeveelheid fosfaat die vrij moet worden gemaakt bij het stripproces wordt mede bepaald door het rendement van de slib/water-scheiding van het gestripte slib. Bij dit onderzoek is de proefinstallatie uitgerust met een gravitatie-indikker.

### Onderzoek korrelreactor

\* Optimalisatie van de kristallisatieomstandigheden in de korrelreactor.

Nagegaan is hoe de bij kristallisatie belangrijke variabelen als Ca/P verhouding, pH in de reactor en recirculatieverhouding elkaar beïnvloeden bij gebruikmaking van (fosfaatrijk) supernatant afkomstig van een strippertank. Onderzocht is hoe de kristallisatiecapaciteit en het rendement afhankelijk zijn van deze variabelen.

\* Snelfiltratie.

Aangezien het effluent van de korrelreactor niet hoeft te voldoen aan de lozingseisen, en weer in het biologisch gedeelte wordt teruggevoerd, is nagegaan of het mogelijk is om de korrelreactor te bedrijven zonder tussenschakeling van het snelfilter en welk effect eventueel amorf fosfaat op het kristallisatieproces heeft.

\* Invloed sliboverstort.

Onderzocht is in hoeverre zwevende stof in het influent van de korrelreactor (afkomstig van de slib/water-scheiding van de deelstroom) het kristallisatieproces negatief beïnvloedt. Nagegaan is welke slibconcentraties nog toelaatbaar zijn.

\* Invloed carbonaatgehalte.

Een hoog carbonaatgehalte in het influent van de korrelreactor heeft een negatieve invloed op de kristalstructuur van de gevormde korrels en daarmee op de kristallisatie van fosfaat. Nagegaan is hoe de invloed is van hoge carbonaatgehalten op het kristallisatie-rendement, bij gebruik van fosfaatrijk influent afkomstig van een stripper-tank.

\* Samenstelling korrels.

Het gekristalliseerde calciumfosfaat is her te gebruiken en kan als grondstof dienen voor bijv. de fosfaatindustrie. Onderzocht is de samenstelling van de gevormde fosfaatkorrels, met name het P-gehalte.

\* Magnesiumfosfaat-kristallisatie.

Oriënterende experimenten laten zien dat het rendement van

de kristallisatie van magnesiumfosfaat hoger is dan het rendement van calciumfosfaat-kristallisatie. Hierna is verder onderzoek uitgevoerd.

Geén onderzoek is verricht naar:

- Entmateriaal korrelreactor.  
Uit voorgaand onderzoek blijkt zand met een gemiddelde diameter van 0,2 tot 0,6 mm goed te voldoen als entmateriaal voor calciumfosfaat-kristallisatie in een korrelreactor.
- Fluidisatiecondities korrelreactor.  
Uit voorgaand onderzoek blijkt de optimale opwaartse snelheid in de korrelreactor 40-60 m/h te zijn.
- Invoerconstructie korrelreactor.  
Ervaringen uit eerder uitgevoerd onderzoek hebben geleid tot een bepaalde invoerconstructie, waarmee de korrelreactor binnen dit onderzoek is bedreven.

Al in een vroeg stadium van het onderzoek is uit kosten-technisch oogpunt besloten de snelfiltratie niet meer in de procesconfiguratie op te nemen. Uit elders uitgevoerd bleek dat carbonaat-kristallisatie een negatieve invloed heeft op de calciumfosfaat-kristallisatie. Deze negatieve invloed is zo groot dat het carbonaat vooraf verwijderd moet worden uit het influent van de korrelreactor. Daarom is vrij snel na aanvang van het korrelreactor-onderzoek binnen dit project, het influent carbonaatvrij gemaakt.

**Onderzoek verzuring primair slib.**

- \* Economische haalbaarheid.  
Via een kostenstudie is nagegaan of de fermentatieve productie van lagere vetzuren uit primair slib ten behoeve van het stripproces economisch haalbaar is ten opzichte van de dosering van een externe C-bron.
- \* Haalbare vetzuurproducties.  
Onderzoek is verricht naar de relatie tussen de productie van lagere vetzuren uit primair slib en de pH, verblijftijd, drogestofgehalte en temperatuur in de fermentor en welke vetzuurproducties onder de verschillende omstandigheden haalbaar zijn.

Geén onderzoek is verricht naar:

- \* Optimale verzuringstemperatuur.  
Het verzuringsonderzoek is voornamelijk uitgevoerd bij een temperatuur van 33 °C. Wel is de haalbare vetzuurproductie bij 20 °C bepaald.
- \* Slib/water-scheiding.  
De hoeveelheid vetzuren die vrij worden gemaakt bij de verzuring ten behoeve van de strippertank wordt mede be-

paald door de slib/water-scheiding van het slib. Bij dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een gravitatie-indiker.

- \* Invloed van verzuurd primair slib op verdere slibverwerking.

#### **Interactie biologisch gedeelte, korrelreactor en verzuring.**

- \* Interactie biologisch gedeelte en korrelreactor.  
De korrelreactor maakt gebruik van het supernatant dat vrijkomt bij de deelstroom. Het effluent van de korrelreactor wordt teruggevoerd naar het biologisch gedeelte. Nagegaan wordt welke invloed deze terugvoer heeft op het actief-slibproces.
- \* Interactie biologisch gedeelte en verzuring.  
De fermentor maakt gebruik van het primair slib dat afkomstig is van het biologisch gedeelte. De geproduceerde vetzuren dienen als vervanging van de externe acetaatdosering. Nagegaan wordt hoe de fosfaat-afgifte verloopt bij dosering van de gevormde vetzuren.



2 VOORAFGAAND ONDERZOEK

Voorafgaand aan dit project is de combinatie biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom en de korrelreactor, in een oriënterende fase van ruim een jaar, onderzocht (1988-1989)<sup>1,2</sup>.

De proefinstallatie waarmee het oriënterende onderzoek is uitgevoerd, komt in grote lijnen overeen met de binnen dit project gebruikte proefinstallatie (zie ook bijlage 2 en hoofdstuk 3). De procescondities van het biologisch gedeelte tijdens het oriënterende onderzoek staan in tabel 2.1 vermeld. De proefinstallatie werd met een constant afvalwaterdebiet bedreven. Het voorbezonden huishoudelijk afvalwater was afkomstig uit Bennekom.

Tabel 2.1: Procescondities actief-slibproces (dwa, '88-'89)

indeling comp. aëratietank	comp. 1,2 anaëroob comp. 3,4,5,6 aëroob comp. 7,8,9 anoxisch comp. 10 aëroob
slibbelasting	0,11 kg BZV/kg d.s.d 0,2 kg CZV/kg d.s.d
drogestofgehalte aëratietank	3-3,5 kg/m <sup>3</sup>
hydraulische bel. aëratietank	1,7 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .d
infl. selector : infl. comp.7	1 : 0,25
influentdebiet : retourdebiet	1 : 0,75
retourdebiet : deelstroomdebiet	1 : 0,4
verblijftijd strippertank	7 uur
acetaatdosering strippertank	11-38 mg CZV/g d.s.

\* betrokken op de gehele aëratietank, exclusief acetaatdosering

Het korrelreactorgedeelte bestond uit een korrelreactor en een nageschakeld snelfilter. Het supernatant van de gravitatie-indikker doorliep het korrelreactorgedeelte en werd vervolgens naar het eerste compartiment van het actief-slibproces gepompt. Het spoelwater van het snelfilter, een maal per etmaal, werd eveneens teruggevoerd. De procescondities van de korrelreactor staan vermeld in tabel 2.2.

Tabel 2.2: Procescondities korrelreactorgedeelte ('88-'89)

korrelreactor superficiële snelh.	40-50 m/uur
snelfilter-filtratiesnelheid	1-2 m/uur
[P]influent	30-70 mg/l
recirculatiefactor	5-6
Ca/P-verhouding	4-5 mol/mol
pH reactor	8,5-9,5

De behaalde resultaten met deze combinatie tijdens het oriënterende onderzoek, staan weergegeven in tabel 2.3

Tabel 2.3: Resultaten oriënterend onderzoek ('88-'89)\*

parameter		influent**	effluent	supernatant	slib
BZV	(mg/l)	175	10	-	
CZV	(mg/l)	350	50	-	
N <sub>kj</sub>	(mg/l)	47	<1	0-5	
NO <sub>3</sub> -N	(mg/l)	-	12	<1	
P-totaal	(mg/l)	9,4	<0,1	55-130	
P-ortho	(mg/l)	9,2	<0,1	50-120	
temperatuur	(°C)				18
SVI	(ml/g)				145
P	(%)				4***

\* gewogen gemiddelden

\*\* voorbezonden influent

\*\*\* % P na passeren strippertank: 2,7%

Het fosfaat-verwijderingsrendement van de korrelreactor inclusief snelfilter bedroeg 80 tot 90%. Een dosering van 25 tot 38 mg CZV/g d.s. aan de strippertank in de vorm van acetaat resulteerde in een stabiele, vrijwel complete fosfaat-verwijdering. Verlaging van de doseringshoeveelheid tot 11 mg CZV/g d.s. leidde tot een verhoging van het fosfaat-effluentgehalte tot 1 à 3 mg P/l.

De belangrijkste verschillen van het oriënterende onderzoek met het in dit rapport beschreven huidige onderzoek worden hieronder vermeld.

	oriënterend	huidige
influent- retourdebiet	constant	variabel
slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d)	0,11	0,07
[P]-influent (mg/l)	8-11	6-9
snelfilter	aanwezig	afwezig
carbonaatverwijdering	nee	ja
recirculatiefactor	hoog	laag
pH korrelreactor	8,5-9,5	8,0-8,5

De 'overall' conclusie van het oriënterende onderzoek luidde dat met biologische fosfaatverwijdering op basis van fosfaatstrippen met acetaatdosering en een korrelreactor in een deelstroom, een goede nutriëntenverwijdering en fosfaatrecycling mogelijk was.

<sup>1</sup> Rensink, J.H. et al (1985). Phosphorus removal at low sludge loadings. Wat. Sci. & Tech. Vol.17, (11/12) 177-186.

<sup>2</sup> Rensink, J.H. et al (1991). High biological nutrient removal from domestic wastewater in combination with phosphorus recycling. Wat. Sci. & Tech. Vol.23, 651-657.

### 3 METHODEN EN MATERIALEN

#### 3.1 Proefinstallatie, procesregeling en afvalwater

##### **beschrijving proefinstallatie actief-slibproces**

Een schematisch overzicht van de proefinstallatie is weergegeven in bijlage 2. De volumina en afmetingen van de verschillende onderdelen staan vermeld in bijlage 3. Het actief-slibproces bestaat uit achtereenvolgens een voorbezinktank, selector, aëratietank, nabezinktank, strippertank en een gravitatie-indikker.

De selector bestaat uit 4 geroerde compartimenten. De propstroom-aëratietank ( $V = 1100$  l) bestaat uit 10 compartimenten welke belucht of geroerd kunnen worden al naar gelang de gekozen procesconfiguratie. De beluchting geschiedt door beluftenbeluchting via brandolbuizen. De strippertank is compleet gemengd.

In tabel 3.1 staan de ontwerpgrondslagen weergegeven. Een aantal grondslagen zijn binnen het project punt van onderzoek geweest en daarmee gevarieerd, zoals anaërobie compartiment 1 en 2, debiet naar de strippertank, volume strippertank (verblijftijd) en lagere vetzuurdosering.

Tabel 3.1: Ontwerpgrondslagen, biologisch gedeelte (dwa)

ontwerpbelasting	4,2-6,3 i.e.
oppervlaktebel. voorbezinktank	0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .uur
vlokbelading selector	40-100 g CZV/kg d.s.
indeling comp. aëratietank	comp. 1,2 anaëroob/aëroob comp. 3,4,5,6 aëroob comp. 7,8,9 anoxisch comp. 10 aëroob
anaërobe contacttijd comp. 1+2	2 uur
slibbelasting	0,07-0,1 kg BZV/kg d.s.d 0,15-0,2 kg CZV/kg d.s.d
hydraulische bel. aëratietank	1,0 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .d
drogestofgehalte aëratietank	3,5 kg/m <sup>3</sup>
infl. selector : infl. comp.7	1 : 0,25
influentdebiet : retourdebiet	1 : 0,75
oppervlaktebel. nabezinktank	0,25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .uur
retourdebiet : deelstroomdebiet	1 : 0,38...0,12
verblijftijd strippertank	1,6 - 10 uur
vetzuurdosering strippertank	0 - 20 mg CZV/g d.s.

\* betrokken op de gehele aëratietank, exclusief vetzuurdosering.

##### procesregeling

Alle pompen worden gestuurd via een procesregeling. De influent- en retourslibpomp worden volgens het aanvoerregiem van de praktijkinstallatie Bennekom geregeld en zijn variabel in debiet. De retourslibstroom naar de strippertank, de

slibstroom van de indikker naar de aëratietank en de acetatdosering hebben een continu debiet.

De beluchting in compartiment 6, vóór de anoxische zone, wordt gestuurd met behulp van een continue zuurstofmeting op een zuurstofgehalte van 2 mg O<sub>2</sub>/l. Tijdens de onderzoeksperiode waarbij de eerste twee compartimenten zijn belucht, is de zuurstofregeling verplaatst naar compartiment 1.

### **beschrijving korrelreactor**

In bijlage 2 is een schematisch overzicht van het korrelreactorgedeelte gegeven. Volumina en afmetingen staan vermeld in bijlage 3. Het korrelreactorgedeelte bestaat uit een korrelreactor, snelfilter, twee opslagvaten voor chemicaliën (natronloog en calcium(magnesium)chloride) en twee opslagvaten voor influent en recirculatiewater. De korrelkolom is voor ca. 2/3 deel gevuld met zand. Het snelfilter is een dubbellaags anthraciet-zandfilter en is ten behoeve van de experimenten ruim gedimensioneerd. De opslagvaten voor influent en recirculatie worden geroerd om bezinking van eventuele zwevendestof of amorf-fosfaat te voorkomen. De ontwerpgrondslagen staan vermeld in tabel 3.2

Tabel 3.2: Ontwerfgrondslagen korrelreactorgedeelte

korrelreactor superficiële snelh.	40 -50 m/uur
snelfilter filtratiesnelheid	1-2 m/uur
[P]influent	20 - 80 mg/l
recirculatiefactor	0 - 4
Ca/P-verhouding	1 - 5 mol/mol
pH reactor	7,5 - 9

### procesregeling

Via een PID-regeling wordt de pH in de korrelreactor op een constant, instelbaar, niveau gehouden. De pH-elektrode bevindt zich bovenin de reactor.

### bedrijfsvoering

Bij de experimenten met de korrelreactor is gebruik gemaakt van het supernatant dat vrijkomt bij deelstroom. Bij de meeste experimenten is het carbonaat verwijderd door het supernatant aan te zuren tot pH 3,5-5 en vervolgens 15 minuten te beluchten. Hiermee werd vrijwel alle bicarbonaat verwijderd. Als bij experimenten voor recirculatiewater leidingwater is gebruikt, is hierbij ook het bicarbonaatgehalte verlaagd volgens deze methode.

### **primair-slibverzuring**

Het verzuringsgedeelte bestaat uit een verzuringsvat, een gravitatie-indikker en een opslagvat. In bijlage 2 is een schematisch overzicht gegeven. Volumina, afmetingen etc.

zijn in bijlage 3 vermeld. Primair slib wordt vanuit de voorbezinktank, éénmaal per uur, in het verzuringsvat gepompt. Het vat wordt compleet gemengd en wordt op een constante temperatuur gehouden. Via een overloop komt het verzuurde slib in de gravitatie-indikker terecht, waarna het bovenstaande vetzuurrijke water in het opslagvat wordt opgevangen en het verzuurde slib afgevoerd wordt naar het riool. In het laatste stadium van het onderzoek worden de vetzuren aan de strippertank gedoseerd. De ontwerpgrondslagen staan vermeld in tabel 3.3.

Tabel 3.3: Ontwerpgrondslagen verzuringsgedeelte

verblijftijd fermentor	1 - 3 d
drogestofgehalte fermentor	5 g/l
temperatuur fermentor	20 of 33°C
opp.belasting indikker	0,1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
temperatuur indikker	15-20°C

### afvalwater

Het afvalwater is afkomstig van de praktijkinstallatie Bennekom en is hoofdzakelijk van huishoudelijke herkomst. In tabel 3.4 staat een aantal karakteristieken vermeld van het ruwe en voorbezonden Bennekomse afvalwater. Het aanvoerregiem van het afvalwater in de proefinstallatie is gelijk aan het aanvoerregiem van de praktijkinstallatie Bennekom. Bij dwa betekent dit een aanvoer van circa 14 uur per etmaal. Bij rwa wordt de proefinstallatie met een influentdebiet ter grootte van maximaal 4 maal dwa bedreven.

Tabel 3.4 Karakteristieken, afvalwater Bennekom, dwa

		ruw	voorbezonden
CZV	(mg/l)	623	536
BZV	(mg/l)	382	325
acetaat	(mg/l)		40
N <sub>kj</sub>	(mg/l)	71	69
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	56	56
t-P	(mg/l)	9,6	9,4
o-P	(mg/l)	7,8	7,8
Hardheid	(meq/l)	1,2	1,2
Ca	(mg/l)	11	11
Mg	(mg/l)	4	4

### 3.2 Bemonstering en analyses

In bijlage 4 is een schema gegeven van de bepalingen die verricht zijn aan het biologisch gedeelte, korrelreactor en het verzuringsgedeelte. Tevens is aangegeven op welke wijze is bemonsterd en met welke frequentie de bemonstering heeft

plaatsgevonden. Influent, effluent en supernatant van de deelstroom zijn volumeproportioneel bemonsterd.

Droge stof, SVI, N-Kjeldahl, totaal-P en BZV<sub>5</sub> zijn volgens de NEN-normen bepaald. NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N en PO<sub>4</sub>-P zijn bepaald met een SKALAR analytical 40 analyser. CZV is volgens de micro-CZV-methode bepaald. De totaal-P van slib is uitgevoerd volgens een methode van de vakgroep Milieutechnologie. Lagere vetzuren (C<sub>2</sub> t/m C<sub>5</sub>) zijn geanalyseerd op een gas-chromatograaf, type HP 5890-A. Calcium- en magnesiumbepalingen zijn uitgevoerd met atomaire absorptiespectrometrie.

Filtratie van influent, effluent, supernatant indikker en slib van het biologisch gedeelte alsmede het effluent van de korrelreactor vond plaats over een vouwfilter (Schleicher en Schuell 595 1/2, diam. 150 mm).

Het gefiltreerde en ongefiltreerde effluent van de korrelreactor werd ter bepaling van het amorf-P aangezuurd tot pH 2.

De P-afgifte-activiteit van het actiefslib tijdens de anaërobe periode is gevolgd via de "acinetobacter activiteits-test". Een beschrijving van de uitvoering van deze test is gegeven in bijlage 5.

## 4 ACTIEF-SLIBPROCES INCLUSIEF DEELSTROOM

### 4.1 Uitvoering

In bijlage 8 zijn een aantal begrippen en definities nader omschreven.

#### **bedrijfsvoeringsaspecten**

Het actief-slibproces inclusief de deelstroom is sinds de aanvang van het onderzoek in bedrijf geweest. Afmetingen, volumina en ontwerpgrondslagen van het biologisch gedeelte zijn vermeld in bijlage 3 en tabel 3.1.

Tijdens het onderzoek is het actief-slibproces met een wisselende influentiaanvoer bedreven (uitgezonderd onderzoeksperiode 1A en 1B). Bij dwa betekende dit een afvalwateraanvoer van 14 uur per etmaal. Bij rwa is de proefinstallatie met maximaal 4 maal dwa hydraulisch belast. De deelstroom is met een constante hydraulische belasting bedreven, 24 uur per etmaal. Zie ook par.3.1.

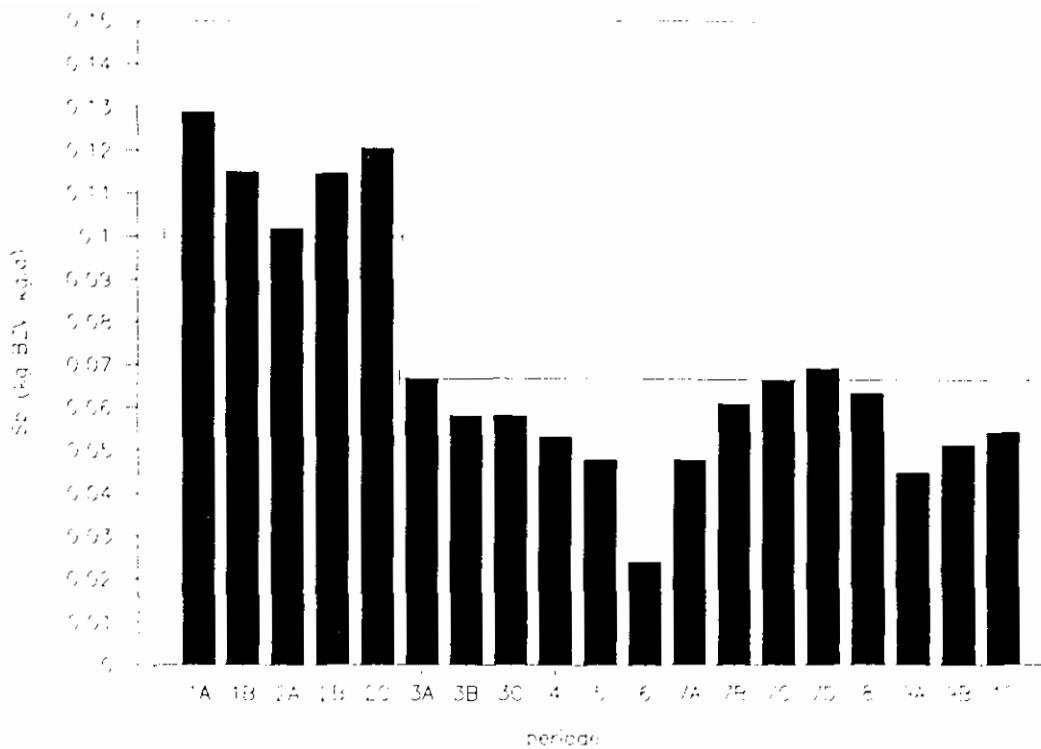
Binnen het onderzoek met het biologisch gedeelte is een groot aantal onderzoeksperiodes te onderscheiden. In tabel 4.1 zijn de belangrijkste procescondities en ontwerpgrondslagen van de afzonderlijke perioden vermeld.

In periode 7A t/m 7D is extra fosfaat aan het influent gedoseerd in de vorm van natriumfosfaat om de fosfaatbelasting te verhogen zonder de overige procescondities, zoals de slibbelasting te wijzigen. In periode 9 A/B is de indeling van de compartimenten in de hoofdstroom gewijzigd. In de eerste twee compartimenten is beluchting geïnstalleerd waarmee de anaërobe zone in de hoofdstroom verdween. In periode 9A is het zuurstofgehalte in de eerste twee compartimenten geregeld tussen 0,5 en 1,0 mg O<sub>2</sub>/l. In periode 9B is in deze compartimenten een zuurstofgehalte van meer dan 2 mg O<sub>2</sub>/l gehandhaafd. In periode 10 is de dosering van technisch acetaat aan de strippertank vervangen door een dosering van vetzuren afkomstig van de verzuring van primair slib. De duur van een bepaalde periode waarbinnen de procescondities omgewijzigd bleven is 4 tot 6 weken geweest, d.w.z. minimaal 2 maal de slibleeftijd. Alleen periode 3C en 10 zijn langer, resp. 3 en 2 maanden met dezelfde procescondities bedreven.

Voor monsternamen en analyses wordt verwezen naar hoofdstuk 3. Rendementsberekeningen staan vermeld in bijlage 7.

<sup>1</sup> (zie tabel 4.1 \*\*)

Bij het vergelijken van de slibarbeidsfactor (SAF) met slibarbeidsfactoren van andere deelstroomprocessen, moet rekening gehouden worden met het feit dat de invloed van slibbelasting c.q. slibleeftijd en selectie van fosfaat-saccumulerende bacteriën niet in dit kengetal is meegenomen.



Figuur 4.1. Werkelijke slibbelasting van de verschillende onderzoeksperioden. (Ontwerpbelasting in periode 1A t/m 2C was 0,1 kg BZV/kg.d, in periode 3A t/m 10 was deze 0,067 kg BZV/kg.d.)



Tabel 4.1: Enkele procescondities en ontwerpgrondslagen van het biologisch gedeelte.

per.	Sb* g/g d.s.d	SAF** /d	HVT uur	----- strippertank***-----		
				-----acetaatdosering----- mg/g d.s.	g/d	g/i.e.
1A	0,1	0,50	5	0	0	0
1B	0,1	0,50	10	0	0	0
2A	0,1	0,50	10	10	18,5	2,9
2B	0,1	0,50	5	10	18,5	2,9
2C	0,1	0,50	2,5	10	18,5	2,9
3A	0,07	0,50	3,5	10	18,5	4,4
3B	0,07	0,50	3,5	20	37,0	8,8
3C	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
4	0,07	0,25	3,3	40	37,0	8,8
5	0,07	0,72	1,1	13	37,0	8,8
6	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
7A****	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
7B	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
7C	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
7D	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
8	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
9A*****	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
9B	0,07	0,50	1,6	20	37,0	8,8
10	0,07	0,50	5	10*****	18,5	4,4

- \* ontwerp-slibbelasting actief-slibproces in g BZV/g d.s.d, betrokken op de gehele aërietank, exclusief de acetaatdosering in de strippertank.
- slibarbeidsfactor<sup>1</sup>(SAF):  $\frac{\text{g slib naar strippertank per dag}}{\text{g slib totaal in aërietank}}$
- \*\*\* acetaatdosering in (m)g CZV, HVT is verblijftijd
- periode 7A t/m 7D: verhoogde [P]influent
- \*\*\*\* periode 9A/9B: uitschakeling anaërobe zone hoofdstroom
- \*\*\*\*\* periode 10: dosering vetzuren primair-slibverzuring

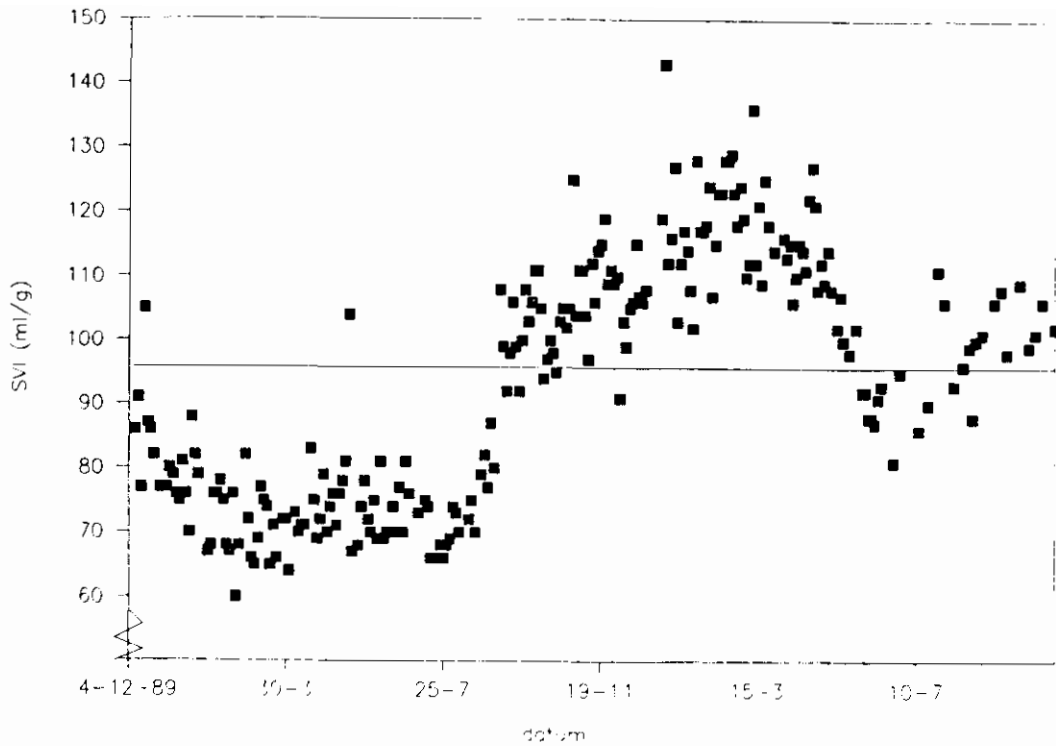
## 4.2 Resultaten en bespreking

### 4.2.1 resultaten algemeen

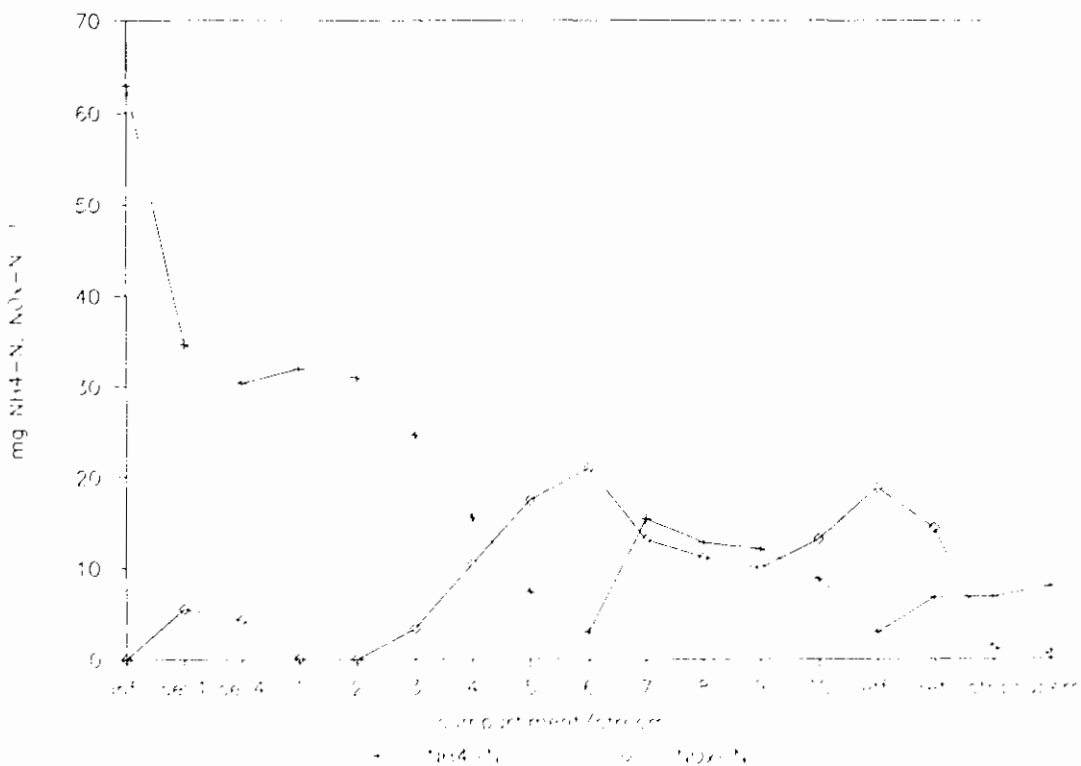
Alle resultaten (gewogen gemiddelden) van alle afzonderlijke perioden zijn weergegeven in bijlage 6.

#### slibbelasting

De werkelijke slibbelasting tijdens de verschillende perioden staat weergegeven in figuur 4.1  
 In perioden waarin acetaat of vetzuren worden gedoseerd aan de strippertank is er sprake van een hogere slibbelasting van het actief-slibproces. Bij een dosering van 10 mg/g d.s. (periode 2A t/m 3A) wordt de slibbelasting bij een ontwerpbelasting van 0,17 en 0,11 g CZV/g d.s.d met resp. 3 en 4% verhoogd. Bij een dosering van 20 mg/g d.s. is dit 9% bij een ontwerp-slibbelasting van 0,11 g CZV/g d.s.d.



Figuur 4.2. Het verloop van de SVI in de proefinstallatie.  
(periode 1A (4-12-'89) t/m periode 10 (15-11-'91))



Figuur 4.3. Karakteristiek ammonium en (nitraat + nitriet) profiel over de verschillende compartimenten en stromen van de proefinstallatie. (De hoofdstroom is inclusief een anaërobe zone.)

## **slibproductie, slibleeftijd**

De slibproductie tijdens het gehele onderzoek was 0,3 tot 0,4 g d.s. gevormd per g CZV verwijderd. De slibleeftijd varieerde tussen de 15 en 20 dagen.

## **SVI**

Het verloop van de SVI gedurende het gehele onderzoek is weergegeven in figuur 4.2. Microscopische analyses lieten zien dat het slib steeds uit vrij compacte vlokken bestond en nauwelijks draden bevatte. De SVI bleef gezien de tijdsduur van 2 jaar, vrij stabiel (gemiddeld 94 ml/g). De wisselende aanvoer en de aanwezigheid van selector, anaërobe zone in de hoofdstroom en een anaërobe strippertank, hebben geen aanleiding gegeven tot de vorming van lichtslib.

## **CZV- en N-totaal-verwijdering**

De CZV-, N-nitr.- en N-totaal-verwijderingspercentages voor de afzonderlijke perioden zijn weergegeven in tabel 4.2. Een karakteristiek profiel (dwa-omstandigheden) van de N-huishouding over de verschillende stromen en compartimenten van de proefinstallatie is weergegeven in figuur 4.3.

Tabel 4.2: CZV- en N-verwijderingspercentages \*

periode	CZV	N-nitr.	N-totaal	T °C **
1A	87	99	61	15
1B	84	86	61	16
2A	87	82	56	16
2B	88	83	62	19
2C	83	70	53	20
3A	84	88	77	20
3B	88	98	88	22
3C	87	92	68	17
4	90	96	67	14
5	90	98	69	17
6	93	100	73	17
7A	91	97	70	16
7B	91	94	74	17
7C	88	97	81	19
7D	87	94	71	19
8	88	96	74	22
9A	91	99	68	22
9B	89	97	66	19
10	88	94	52	15

\* De verwijderingspercentages zijn betrokken op het voorbezonden afvalwater.

\*\* temperatuur aëratietank

Als gevolg van de te hoge slibbelasting en overschakeling op een variabele afvalwateraanvoer is de nitrificatie niet meer

volledig tijdens de perioden 2A, 2B en 2C. In de daarop volgende perioden met een verlaagde slibbelasting is weer sprake van volledige nitrificatie, ook bij de lagere temperaturen. De N-totaal-verwijdering is tijdens deze perioden ongeveer 70% bij de lagere temperaturen (14 tot 17 °C) en ongeveer 80% bij de hogere temperaturen (> 17 °C). Perioden 9A, 9B en 10 vallen hierbij buiten beschouwing omdat tijdens deze perioden de anaërobe zone in de hoofdstroom uitgeschakeld was. Met de uitschakeling van de anaërobe zone verdween ook een deel van de denitrificatiecapaciteit. Een deel van het nitraat in het retourslib werd niet meer gedenitrificeerd. Dit leidde tot hogere nitraatgehalten in het effluent en een lagere N-totaal-verwijdering. Bedacht moet worden dat de N-totaal-verwijdering binnen dit onderzoek niet is geoptimaliseerd.

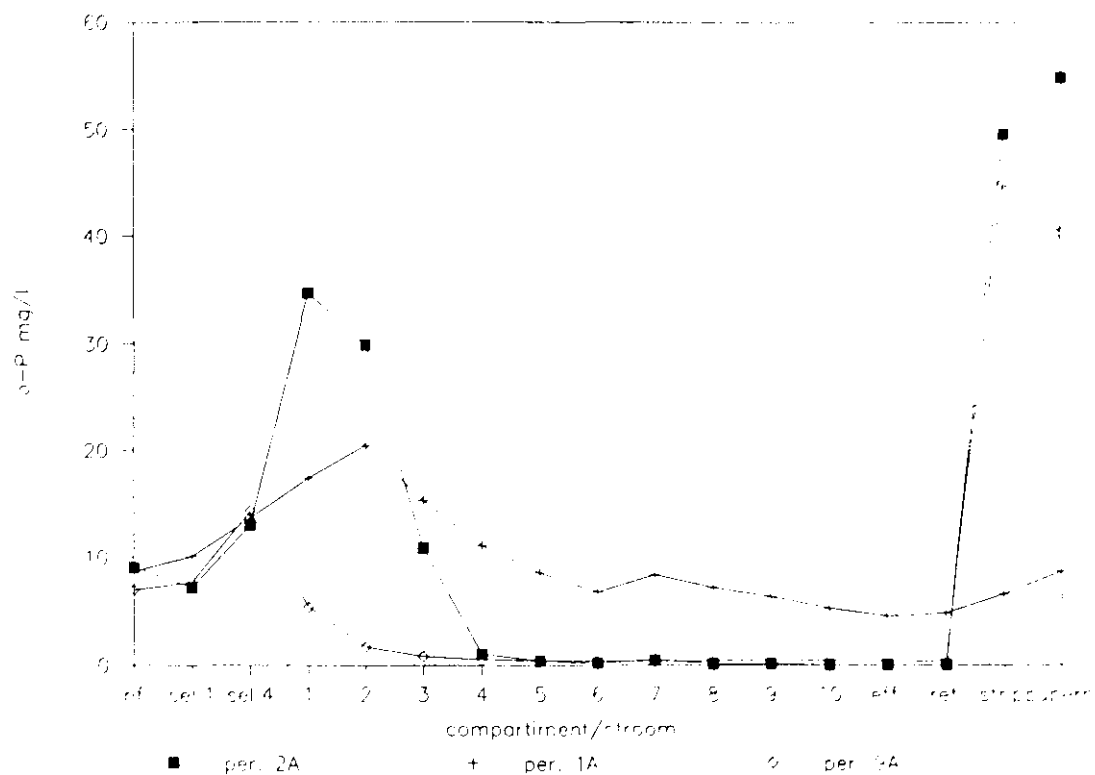
#### 4.2.2 fosfaatverwijdering algemeen

Allereerst worden alle resultaten van de fosfaatconcentraties in influent, effluent en supernatant alsmede de verwijderingspercentages gepresenteerd in tabel 4.3. Daarna worden de resultaten per variabele of per aspect in een toegespitster verband gepresenteerd en besproken in deze of de volgende paragraaf. De resultaten van periode 10 komen in hoofdstuk 7 aan de orde.

Tabel 4.3: Resultaten fosfaathuishouding (gewogen gemiddelden in mg P/l, P-verwijdering in %)

periode	influent*	effluent		supernatant		P-verw.	
	t-P	o-P	t-P	o-P	t-P	P-bio	P-tot
1A	9,1	6,2	6,3	4,9	5,0	32	31
1B	7,6	2,3	2,4	10,5	10,6	70	68
2A	7,3	0,1	0,4	48,9	49,0	99	95
2B	9,2	0,2	0,5	25,8	26,0	98	95
2C	5,2	0,1	0,3	25,0	27,6	98	94
3A	8,4	0,1	0,4	17,4	18,8	99	95
3B	6,9	0,1	0,2	45,9	47,5	99	97
3C	6,0	0,3	1,0	47,8	45,0	95	83
4	6,2	0,2	0,8	75,3	76,7	97	87
5	7,7	0,1	0,8	23,1	29,0	99	90
6	8,7	0,1	0,8	38,4	39,0	99	91
7A	10,5	0,2	0,9	50,3	51,1	98	91
7B	11,4	0,2	0,9	60,7	64,1	98	92
7C	11,2	0,7	1,3	68,2	74,0	94	88
7D	14,6	3,6	4,2	84,5	85,5	75	71
8	6,0	0,5	1,5	44,4	45,5	92	75
9A	7,0	0,4	1,6	41,6	42,3	94	77
9B	5,6	0,1	0,9	39,5	40,2	98	84
10	6,3	0,4	1,0	25,0	25,6	94	84

\* voorbezonden influent



Figuur 4.4. Karakteristieke fosfaatprofielen over de verschillende compartimenten en stromen van de proefinstallatie. (Periode 1A heeft geen acetaatdosering in de strippertank, periode 2A en 9A wel. In periode 9A worden compartiment 1 en 2 belucht.)

De resultaten vanaf periode 2A onderscheiden zich met name door de fosfaatconcentraties aanwezig in het supernatant en niet door de (ortho)-fosfaatconcentraties in het effluent. Deze laatste zijn vanaf periode 2A, exclusief periode 7 waarin de fosfaatconcentratie van het influent kunstmatig is verhoogd, zeer laag. De daarbij behorende verwijderingspercentages zijn hoog.

In een aantal perioden is er sprake van een duidelijke verhoging van de fosfaatlozing als gevolg van het uitspoelen van zwevende stof. Bij een verhoogde fosfaatconcentratie in het slib, welke in de meeste perioden ca. 3% van het drooggewicht bedroeg, draagt uitspoeling van zwevende stof relatief meer bij dan wanneer geen sprake is van biologische fosfaatverwijdering. Bij een zwevendestofgehalte van 20 mg/l en een P-percentage van 3%, wordt het effluentgehalte met 0,6 mg P/l verhoogd.

Om een indruk te krijgen van de stabiliteit van de fosfaat-effluentconcentraties voor ortho-P en totaal-P, zijn in tabel 4.4 de gemiddelde waarden, minima, maxima, standaardafwijkingen en aantal bemonsteringen vermeld van periode 3B/C en periode 9A/B.

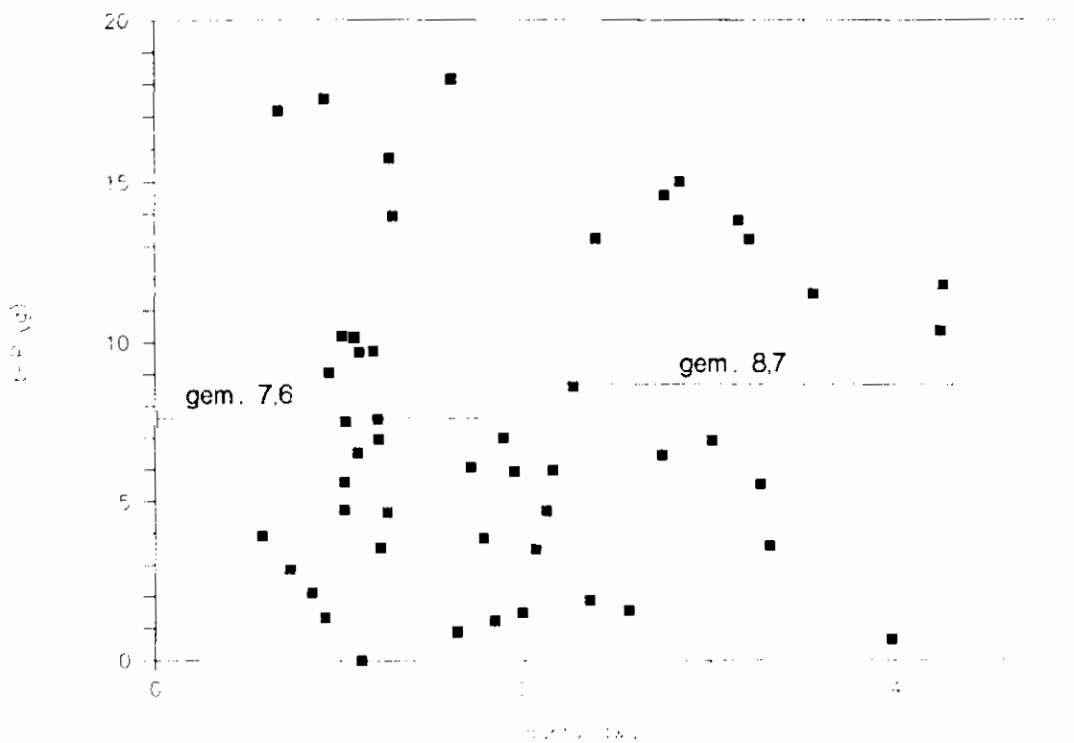
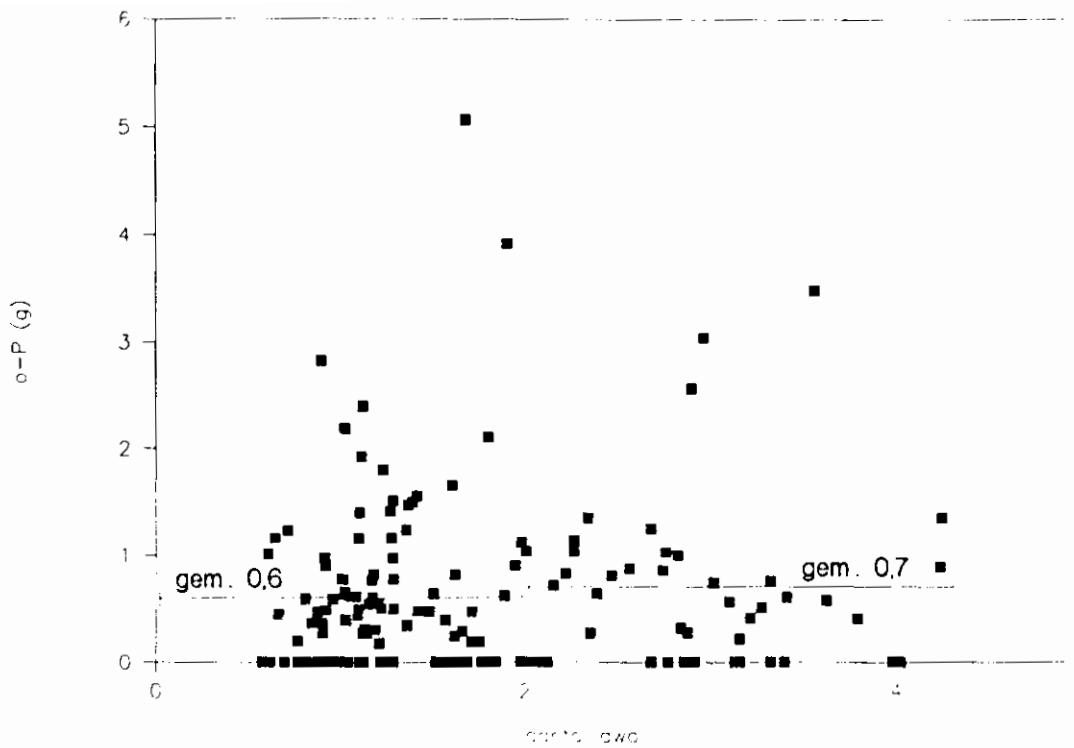
Tabel 4.4: Fosfaatconcentraties influent en effluent, periode 3B/C en 9A/B (concentraties in mg/l)

	t-P infl.		o-P effl.		t-P effl.	
	3B/C	9A/B	3B/C	9A/B	3B/C	9A/B
gem	6,6	7,0	0,2	0,2	0,8	1,1
min	2,9	4,1	0,0	0,0	0,1	0,5
max	9,5	9,5	0,9	0,5	1,7	2,0
std	2,1	2,0	0,2	0,2	0,5	0,5
n *	21	10	63	29	21	10

\* aantal 48/72-uurs verzamelmonsters (o-P) of aantal week-verzamelmonsters (t-P)

### fosfaatprofielen

Karakteristieke fosfaatprofielen van drie onderzoeksperioden onder dwa-omstandigheden zijn weergegeven in figuur 4.4. Uit het profiel van periode 1A en 2A blijkt enerzijds, dat naast fosfaatafgifte in de strippertank, ook fosfaatafgifte optreedt in de anaërobe zone van de hoofdstroom. Deze fosfaatafgifte zal bijdragen aan de ontwikkeling van fosfaat-accumulerende bacteriën. Anderzijds geldt dat naast het verwijderen van fosfaat via het fosfaatrijke supernatant, de strippertank ook bijdraagt aan de ontwikkeling van fosfaat-accumulerende bacteriën. De dosering van lagere vetzuren per gram droge stof die plaatsvindt in de anaërobe zone van de hoofdstroom is circa 25% van de dosering die plaatsvindt in de strippertank (bij dosering van 37 g CZV/d). Daarnaast zal bij dosering aan de hoofdstroom een groter deel worden verbruikt door denitrificatie. De bijdrage in de ontwikkeling



Figuur 4.5. Invloed van rwa-omstandigheden op de fosfaatvracht in het effluent. (De gemiddelde ortho- en totaal fosfaatvrachten zijn berekend voor een aanvoer < 2 dwa en een aanvoer > 2 dwa.)

van fosfaat-accumulerende bacteriën in de strippertank zal daarmee groter zijn.

In periode 9A waar geen sprake is van een anaërobe zone in de hoofdstroom treedt geen fosfaatafgifte op in de eerste twee compartimenten. Fosfaatafgifte vindt alleen plaats in de (anaërobe) selector en in de strippertank.

#### **fosfaatverwijdering en temperatuur**

Bij combinatie van de temperaturen in tabel 4.2 en de verwijderingspercentages in tabel 4.3 lijkt binnen het gebied van 14 tot 22 °C de fosfaatverwijdering vrij onafhankelijk te zijn van de temperatuur (exclusief periode 7C en 7D).

#### **fosfaatverwijdering bij uitschakeling van de anaërobe zone in de hoofdstroom**

De resultaten van periode 9A, 9B en referentieperiode 3C staan vermeld in tabel 4.5. Een fosfaatprofiel tijdens periode 9A is gegeven in figuur 4.4.

Tabel 4.5: Resultaten van de uitschakeling van de anaërobe zone in hoofdstroom (concentraties in mg/l)

periode	influent	----effluent----			---supernatant----		
	t-P	o-P	t-P	NO <sub>x</sub> -N	o-P	t-P	NO <sub>x</sub> -N
3C	6,0	0,3	1,0	10,9	47,8	45,0	1,2
9A	7,0	0,4	1,6	20,3	41,6	42,3	0,4
9B	5,6	0,1	0,9	13,6	39,5	40,2	0,9

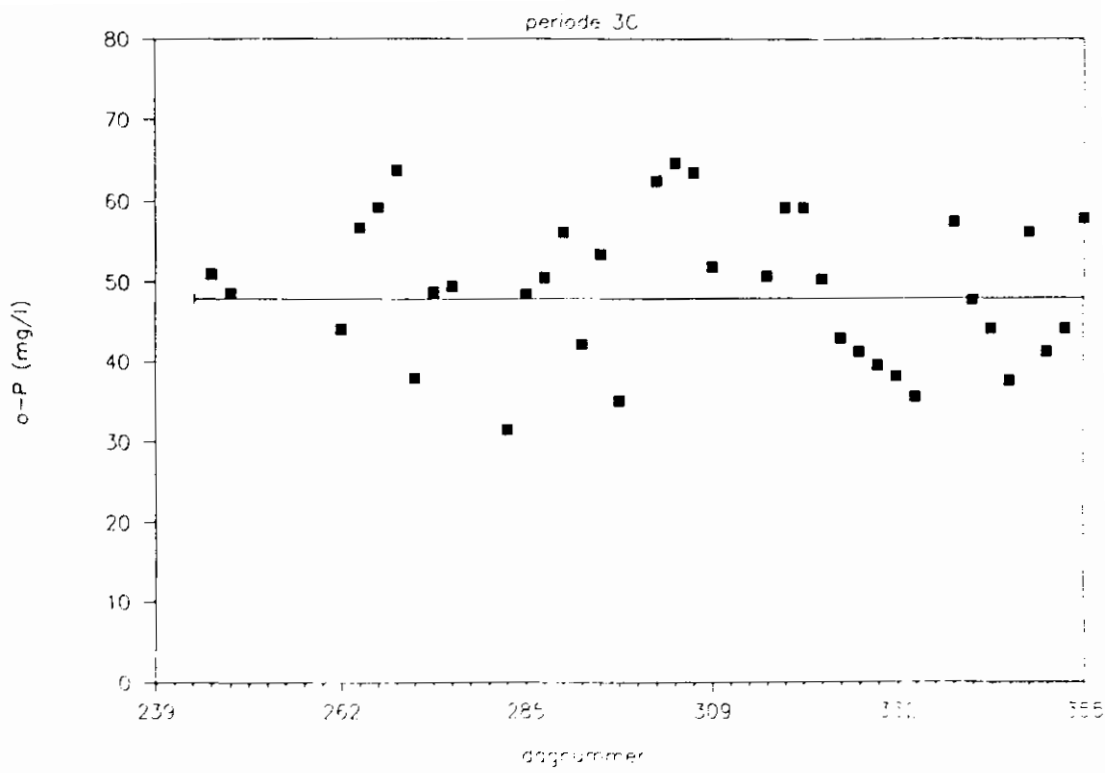
Uit de resultaten blijkt dat uitschakeling van de anaërobe zone in de hoofdstroom niet geleid heeft tot een vermindering van het biologisch fosfaat-verwijderingsrendement. Dit is zowel het geval in periode 9A waarin het zuurstofgehalte minder dan 2 mg/l bedroeg, als in periode 9B waarin het zuurstofgehalte in de eerste twee compartimenten méér dan 2 mg/l bedroeg. In periode 9A is wel het totaal rendement, als gevolg van een toegenomen uitspoeling van zwevende stof, verminderd. Blijkbaar is de selectie c.q. fosfaatafgifte in de strippertank voldoende om een goede biologische fosfaatverwijdering te waarborgen. Overigens is er nog wel sprake van selectie in de anaërobe selector van de hoofdstroom (zie ook profiel, figuur 4.4)

Als gevolg van een verminderde denitrificatiecapaciteit in de hoofdstroom is het nitraatgehalte in het effluent tijdens de perioden 9A en 9B toegenomen. Daarmee kan de enigszins verlaagde fosfaatafgifte in de strippertank tijdens deze perioden verklaard worden.

#### **fosfaatverwijdering onder rwa-omstandigheden**

In figuur 4.5 (a,b) is de ortho-fosfaat- en totaal-fosfaatvracht van de effluentmonsters uitgezet tegen het aanvoer-





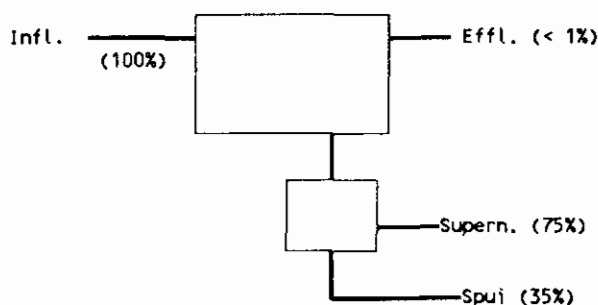
Figuur 4.6. Het verloop van de fosfaatconcentratie in het supernatant tijdens periode 3C.

debiet (uitgedrukt in aantal dwa), voor de perioden 2A t/m 6. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen fosfaatvrachten onder en boven tweemaal dwa. De gemiddelden laten zien dat rwa-omstandigheden slechts een geringe verhoging van de ortho-fosfaatvracht tot gevolg hebben. Tijdens rwa-omstandigheden blijft de anaërobe contacttijd in de strippertank gehandhaafd, dit in tegenstelling tot de contacttijd in de hoofdstroom die korter wordt.

De procentuele stijging van de ortho-fosfaat- en totaal-fosfaatvracht bij aanvoeren groter dan tweemaal dwa is vrijwel gelijk. Dit geeft aan dat in de proefinstallatie bij rwa nauwelijks sprake is van verhoogde uitspoeling van zwevende stof.

### fosfaatbalans

Tijdens periode 3B is de P-huishouding gedurende één week zo nauwkeurig mogelijk, via een uitgebreider meetprogramma, gevolgd. Naast analyses van influent, effluent en supernatant en debietmetingen is ook de spuislibstroom bemonsterd en geanalyseerd. Het P-gehalte van het slib dat naar de strippertank gaat, was tijdens periode 3B 2,8%. Het percentage P dat achterblijft in het slib, na passeren van de strippertank was 2,1%. Voor periode 3B is een P-balans opgesteld, die hieronder is weergegeven.

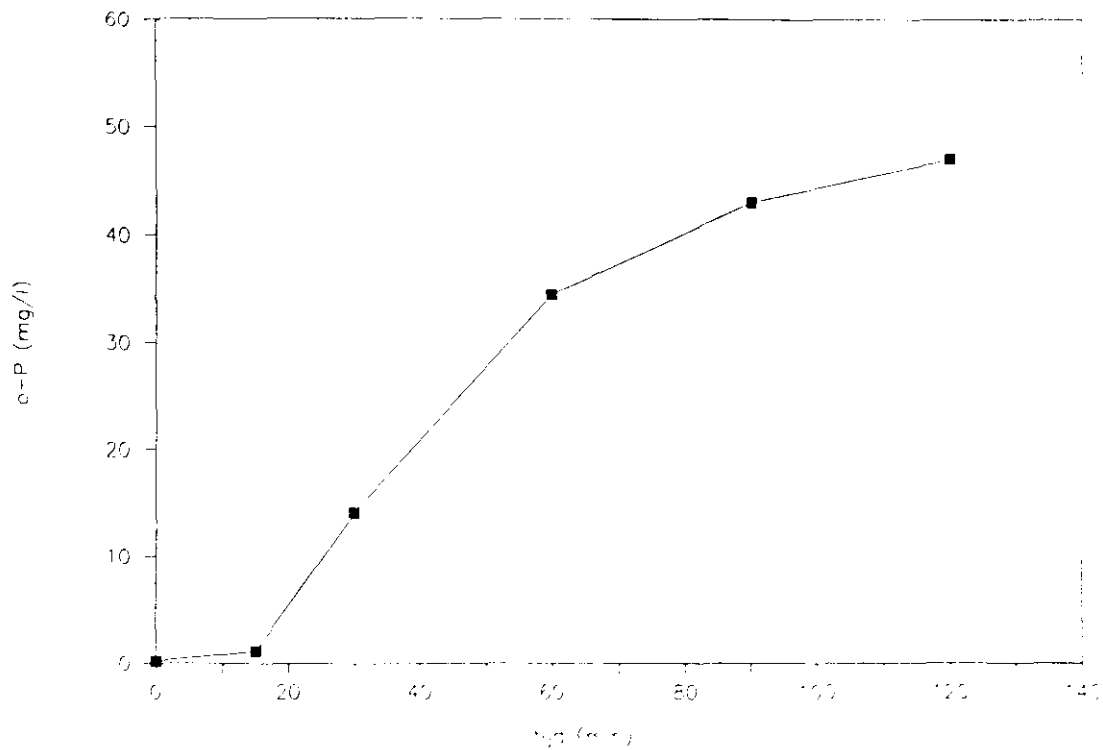


De balans is niet geheel kloppend. Er verlaat meer fosfaat het systeem dan er met het influent aangevoerd wordt. Dit zal waarschijnlijk het gevolg zijn van analyse- en meetfouten, met name in de spuislibstroom.

#### 4.2.3 fosfaatafgifte in de strippertank

##### stabiliteit van de fosfaatafgifte

In figuur 4.6 is het verloop van de fosfaatconcentratie in het supernatant tijdens periode 3C weergegeven. Hieruit blijkt dat de fosfaatafgifte in de deelstroom zich vrij snel instelt op een bepaald niveau. Hiermee lijkt de duur van een onderzoeksperiode van 4 à 6 weken voor de beoordeling van de fosfaatafgifte in de deelstroom voldoende geweest te zijn. Echter het fosfaatgehalte van het slib is in periode 3B vrijwel gelijk aan dat in periode 3C (resp. 2,8 en 2,9%). Dit betekent dat bij overschakeling van periode 3B naar 3C, waarbij alleen de verblijftijd in de strippertank verkort is, er geen sprake is van een extra hoeveelheid geaccumu-



Figuur 4.7. Simulatie fosfaatafgifte in strippertank, bij afwezigheid van nitraat. (Acetaatdosering is 18 mg CZV/g d.s.. Een compleet gemengde reactor is gesimuleerd door het acetaat in 200 fracties gedurende 2 uur te doseren.)

leerd fosfaat, die tijdens de nieuwe periode eventueel afgegeven moet worden. Bij een aantal overschakelingen naar een nieuwe onderzoeksperiode is dit waarschijnlijk wel het geval geweest. Zie verder onder '**fosfaatafgifte en acetaatdosering**' en '**fosfaatafgifte en verblijftijd in de strippertank**'.

#### **fosfaatafgifte en acetaatdosering**

In tabel 4.6 zijn de resultaten weergegeven van de perioden waarbij de acetaatdosering is gevarieerd.

Tabel 4.6: Resultaten acetaatdosering aan strippertank (concentraties in mg/l, rendement in %)

per.	Sb g/g.d	dos. mg/g	infl. t-P	effl. o-P	supern. o-P	rend. P-bio
1B	0,1	0	7,6	2,3	10,5	70
2A	0,1	10	7,3	0,1	48,9	99
3A	0,07	10	8,4	0,1	17,4	99
3B	0,07	20	6,9	0,1	45,9	99

In periode 1B waarin geen acetaatdosering plaatsvond, is wel sprake van fosfaatafgifte, maar de fosfaatafgifte in de strippertank is laag en de extra hoeveelheid biologisch verwijderd fosfaat gering. De vetzuren die nodig zijn voor de fosfaatafgifte moeten worden geproduceerd door het slib zelf, uit langzaam-biodegradeerbaar materiaal.

Dosering van acetaat (10 tot 20 mg CZV/g d.s.) stimuleert de fosfaatafgifte in de strippertank (vergelijk periode 2A met 1B en periode 3B met 3A). De ortho-fosfaatconcentratie in het effluent daalt tot 0,1 mg P/l; al het fosfaat wordt biologisch opgenomen.

In periode 3B wordt meer fosfaat verwijderd via de deelstroom dan in periode 3A, terwijl er minder fosfaat met het influent binnenkomt. De oorzaak hiervan kan zijn dat het fosfaatgehalte van het slib in periode 3A hoger is dan in periode 3B. (In periode 3A vindt wél voldoende selectie plaats van fosfaataccumuleerders, maar de fosfaatafgifte in de strippertank is gering met als gevolg dat het fosfaatgehalte in het slib toeneemt.) Het gevolg van de hogere acetaatdosering in periode 3B is dat het slib eerst 'leeggetrokken' wordt van fosfaat, alvorens het slib het fosfaatgehalte bezit in de steady-state situatie van periode 3B.

#### **fosfaatafgifte en verblijftijd in de strippertank**

In tabel 4.7 zijn de resultaten weergegeven van de perioden waarbij de verblijftijd in de strippertank is gevarieerd. In figuur 4.7 is de fosfaatafgifte in de (compleet gemengde) strippertank gesimuleerd in een batch-experiment.

Tabel 4.7: Resultaten verblijftijd in strippertank  
(concentraties in mg/l, rendement in %)

per.	Sb g/g.d	HVT d	infl. t-P	effl. o-P	supern. o-P	rend. P-bio
1A	0,1	5	9,1	6,2	4,9	32
1B	0,1	10	7,6	2,3	10,5	70
2A	0,1	10	7,3	0,1	48,9	99
2B	0,1	5	9,2	0,2	25,8	98
2C	0,1	2,5	5,2	0,1	25,0	98
3B	0,07	3,5	6,9	0,1	45,9	99
3C	0,07	1,6	6,0	0,3	47,8	95

In periode 1B kunnen door een langere verblijftijd van het slib in de strippertank meer vetzuren worden geproduceerd met als gevolg een hogere fosfaatafgifte en een hoger rendement dan in periode 1A.

Uitgaande van de ortho-fosfaat-effluentconcentraties kunnen de verblijftijden in de strippertank bij dosering van acetaat verkort worden tot enkele uren. Vergelijk periode 2C met 2B en 2A en periode 3C met 3B. Ook uit het batch-experiment blijkt dat binnen korte tijd, 2 uur, vrijwel de maximale fosfaatafgifte bereikt wordt.

Opvallend is de hoge fosfaatafgifte in periode 2A, vergeleken met de afgifte in 2B en 2C. Een deel van deze extra fosfaatafgifte kan verklaard worden uit de vetzuurvorming uit slib bij een verblijftijd van 10 uur (zie ook periode 1B). De overige extra afgifte is mogelijk ook het gevolg van het overschakelen op dosering van acetaat tijdens periode 2A.

Als gevolg van een toegenomen fosfaatgehalte van het slib tijdens periode 1B (waarin wél selectie van fosfaataccumuleerders plaatsvond, met name in de hoofdstroom, maar nauwelijks afgifte in de strippertank optrad), is de afgifte in de strippertank lange tijd hoger dan in de steady-state situatie van periode 2A het geval zou zijn. Dit 'leegtrekken' van het slib heeft een extra fosfaatafgifte in de strippertank tot gevolg en daarmee een hogere fosfaatconcentratie in het supernatant.

#### **fosfaatafgifte en slibstroom naar de strippertank**

In tabel 4.8 zijn de resultaten vermeld van de perioden waarbij de slibstroom door de strippertank is gevarieerd. Aangezien het volume van de strippertank gelijk blijft, zal bij een groter c.q. kleinere slibstroom door de strippertank, de verblijftijd in de strippertank afnemen resp. toenemen. De acetaatdosering, uitgedrukt in absolute hoeveelheid, blijft tijdens deze perioden gelijk.

Tabel 4.8: Resultaten variatie van de slibstroom naar strippertank

per.	-strippertank-		--effluent--		-supernatant-	
	debiet l/h	HVT h	o-P mg/l	P-bio %	o-P mg/l	o-P g/h
4	5,5	3,3	0,2	97	75	275
3C	11	1,6	0,3	95	45	330
5	16,5	1,1	0,1	99	23	253

Een halvering van de hoeveelheid slib die per tijdseenheid door de strippertank gevoerd wordt, heeft bij een gelijkblijvend volume (en daarmee een verdubbeling van de verblijftijd), bijna een verdubbeling van de fosfaatconcentratie in het supernatant tot gevolg. Vergelijk periode 3C met 4. Omdat de hoeveelheid slib die per tijdseenheid door de strippertank gevoerd wordt in periode 4 daalt, stijgt het P-gehalte in het slib ( een hoger 'oplaadniveau'). Uit metingen onderin de indikker bleek de opgeloste-fosfaatconcentratie in de sliblaag 90 tot 100 mg P/l te bedragen. Er is sprake van een verminderde overdracht van fosfaat van de slibfase naar het supernatant. Dit heeft een geringere fosfaatvracht in het supernatant tot gevolg. Zie verder onder punt '**fosfaatafgifte in en functioneren van de gravitatie-indikker**'.

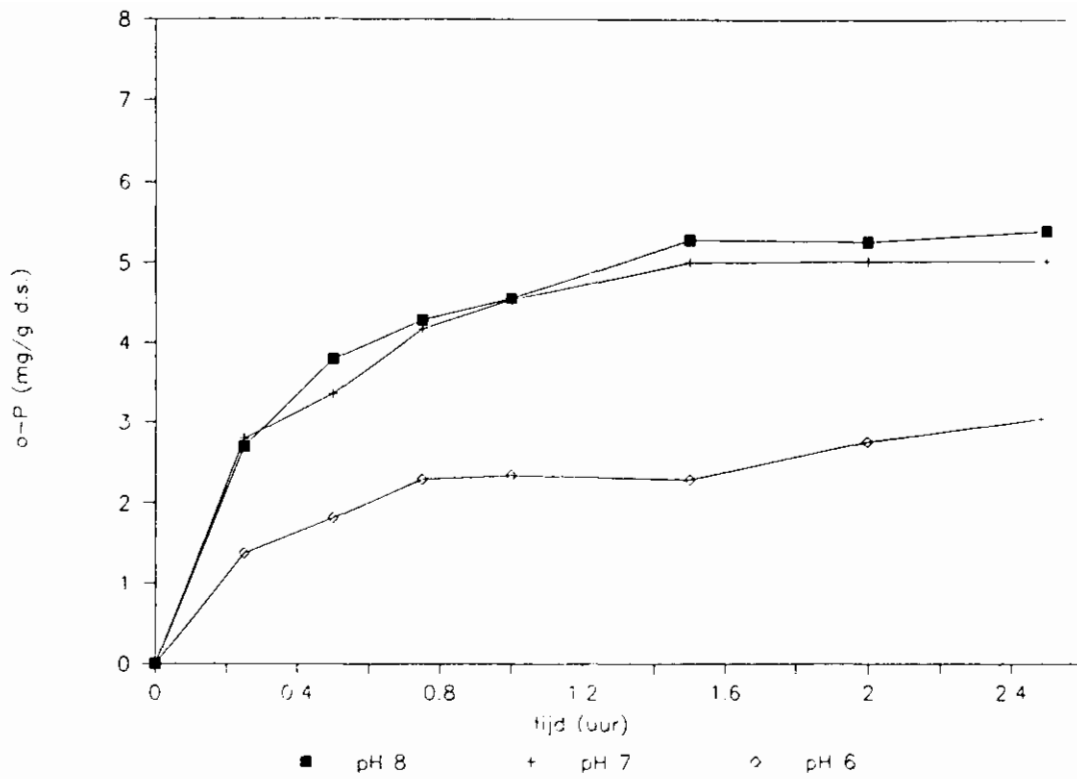
Een verhoging van de slibstroom naar de strippertank en dientengevolge een lager oplaadniveau (P-gehalte) van het slib, leidt tot een verlaging van de fosfaatconcentratie in het supernatant. Vergelijk periode 3C met 5. Dat de afgevoerde fosfaatvracht met het supernatant niet gelijk is aan de fosfaatvracht in periode 3C, heeft als oorzaak de grotere remming door nitraat. De hoeveelheid nitraat die gedenitriciseerd wordt in de strippertank, is in periode 5 hoger dan in periode 4 en 3C. De fosfaatafgifte zal tijdens deze periode meer geremd worden.

Tijdens periode 5 was incidenteel sprake van opdrijvend slib. Blijkbaar konden de aan de slibvlok gehechte stikstofbelletjes, ontstaan als gevolg van denitrificatie, binnen de (zeer korte) verblijftijd in de strippertank niet verwijderd worden.

Wanneer er geen sprake is van een belemmering van de fosfaatoverdracht in de indikker of van een verhoogde remming door nitraat, is bij een bepaalde absolute acetaatdosering en een bepaalde indikfactor, het product van de hoeveelheid droge stof die per tijdseenheid door de strippertank gevoerd wordt en de fosfaatconcentratie in het supernatant constant.

#### **fosfaatafgifte en [P]influent**

In periode 7A t/m 7D is de fosfaatconcentratie in het influent kunstmatig verhoogd, met als gevolg dat de CZV:P verhouding daalde. In tabel 4.9 staan de resultaten hiervan weer-



Figuur 4.8. Effect van de pH op de fosfaatgifte in de strip-  
pertank. (slib periode 9A, dosering 106 mg  
 acetaat-CZV/g d.s.)

gegeven.

Tabel 4.9: Resultaten van de verhoging [P] influent (concentraties in mg/l, rendement in %)

per.	P-dos. mg P/l	--influent--		effl.	supern.	rend.	P-slib*
		t-P	CZV:P	o-P	o-P	P-bio	%
6	0	8,7	53	0,1	38,4	99	2,9
7A	3	10,5	44	0,2	50,3	98	3,2
7B	4,5	11,4	35	0,2	60,7	98	3,4
7C	6	11,2	29	0,7	68,2	94	4,4
7D	9	14,6	20	3,6	84,5	75	5,3
8	0	6,0	56	0,5	45,5	92	2,7

\* slib aëratietank

Uit de resultaten blijkt dat wanneer de P-dosering toeneemt, de deelstroom op een gegeven moment (periode 7D) niet meer in staat is een effluentconcentratie van < 1 mg o-P/l te waarborgen. In periode 7C treedt ook al een verhoging op van het o-P-gehalte tot 0,7 mg/l.

Bij toenemende P-dosering aan het influent stijgt het P-gehalte in het slib en neemt de fosfaatafgifte in de strippertank toe. Hieruit, en uit de volledig blijvende fosfaatverwijdering in periode 7A en 7B, blijkt dat de procescondities waarmee een bepaalde afgiftecapaciteit in de strippertank behaald wordt tijdens periode 6 (geen extra P-dosering), ruim voldoende zijn.

#### fosfaatafgifte in en functioneren van de gravitatie-indikker

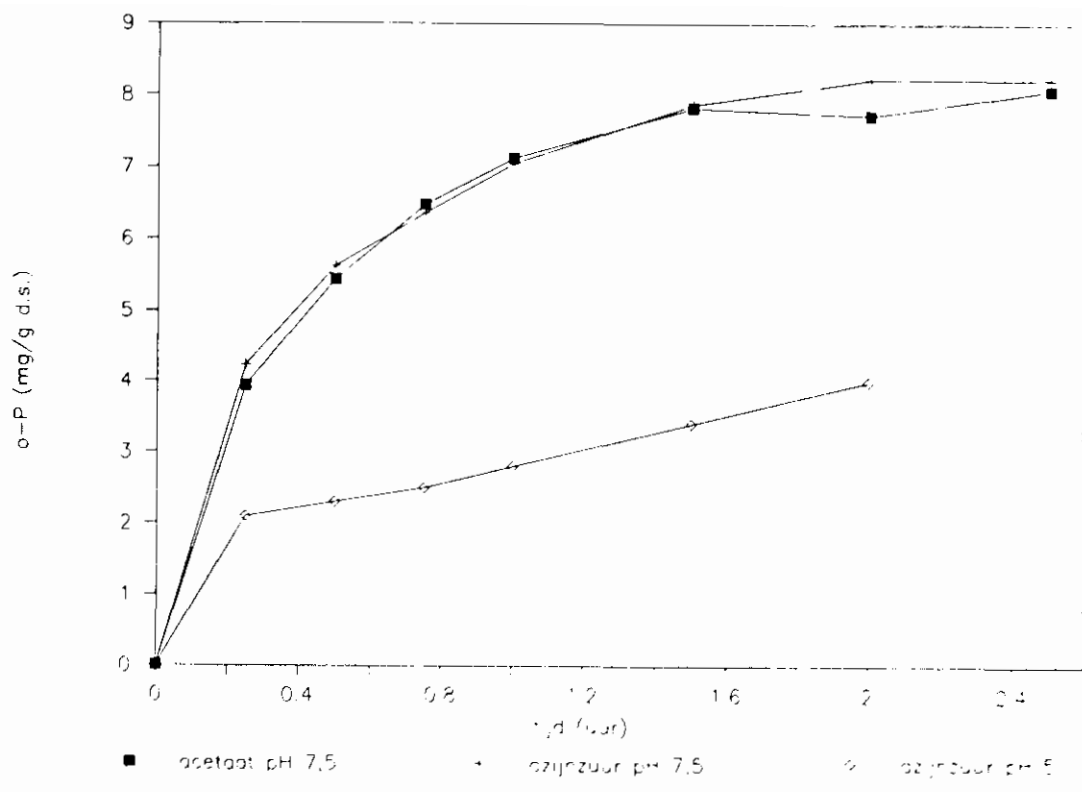
In de perioden waarin de slibstroom naar de strippertank is gevarieerd, is via steekmonsters het opgeloste fosfaat bepaald van de slibfase onderin de indikker, van het supernatant en van de strippertank. De resultaten zijn vermeld in tabel 4.10.

Tabel 4.10: Functioneren van de gravitatie-indikker

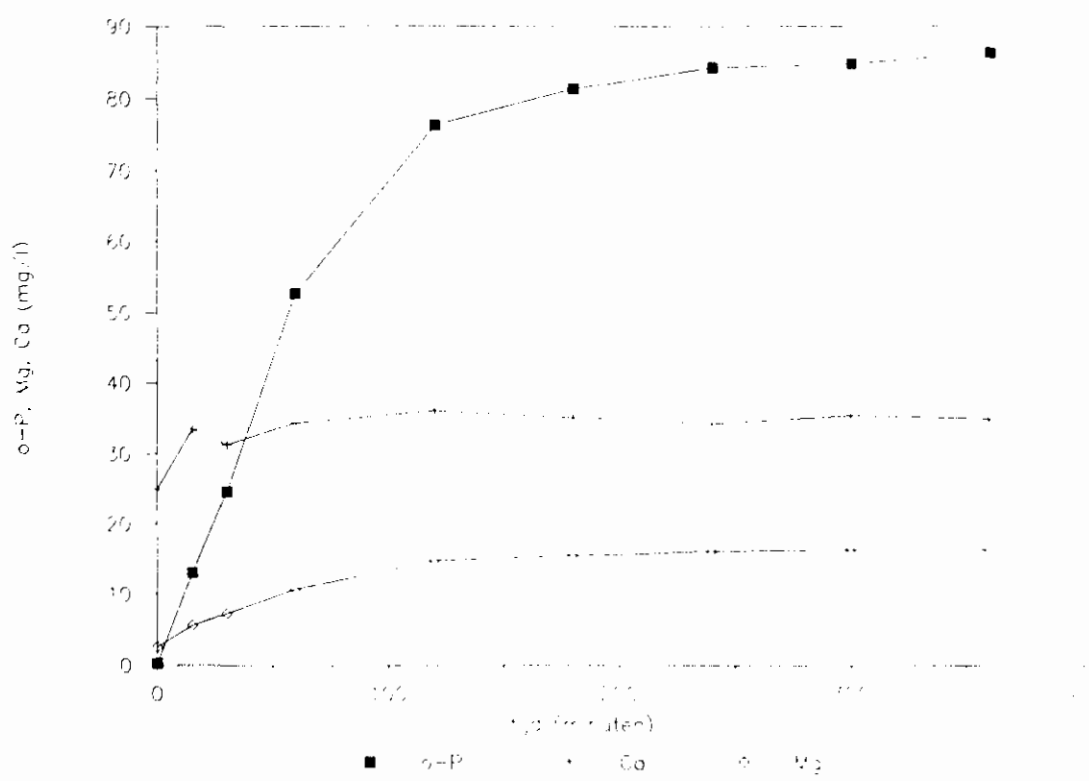
periode	---strippertank---		----- indikker -----	
	debiet l/h	[o-P] mg/l	[o-P]supern. mg/l	[o-P]slibfase mg/l
5	16,5	23,5	26,0	26,0
3C	11	34,8	36,0	38,3
4	5,5	65,9	73,4	98,6

Uit de resultaten blijkt dat wanneer de slibstroom naar de strippertank en daarmee naar de indikker verminderd wordt en dientengevolge het P-gehalte in het slib stijgt (periode 4), niet al het afgegeven fosfaat in het supernatant terecht-





Figuur 4.9. Effect acetate- en azijnzuurdosering op fosfaatafgifte in de strippertank. (slib periode 9A, dosering 98 mg CZV/g d.s.)



Figuur 4.10. Correlatie magnesium en calcium met fosfaatafgifte in de strippertank. (slib periode 9A, dosering 130 mg acetate-CZV/g d.s.)

komt. Dit kan zijn oorzaak vinden in enerzijds fosfaatafgifte die nog plaatsvindt in de indikker, anderzijds vanwege belemmering van de fosfaatoverdracht in de indikker bij hoge fosfaatconcentraties.

Het betekent dat de fosfaatconcentratie in het supernatant niet zo hoog is als op grond van de biologische fosfaatafgiftecapaciteit verwacht mag worden. Recirculatie van slib over de indikker kan het rendement van de deelstroom verhogen.

In periode 3C en 5 is de slibstroom naar de strippertank voldoende om dit effect te voorkomen.

#### **fosfaatafgifte en pH**

In parallel uitgevoerde batch-experimenten is het effect van de pH nagegaan op de fosfaatafgifte in de strippertank. Acetaat is gedoseerd aan retourslib van de proefinstallatie in afwezigheid van nitraat. In figuur 4.8 is een karakteristiek resultaat weergegeven. Hieruit blijkt dat bij een pH < 7 een remming optreedt van de fosfaatafgifte.

#### **fosfaatafgifte en azijnzuur/acetaatdosering**

In parallel uitgevoerde batch-experimenten is het effect nagegaan van enerzijds dosering van acetaat en anderzijds dosering van azijnzuur, waarbij één batch op gelijke pH is gebracht als de acetaat-batch. De doseringshoeveelheid uitgedrukt in CZV was bij alle drie gelijk. Nitraat was afwezig. De pH bij de azijnzuurdosering zonder neutralisatie daalde tot 5. Het resultaat is weergegeven in figuur 4.9. Hieruit blijkt dat de vermindering van de fosfaatafgifte bij de niet geneutraliseerde azijnzuurdosering toe te schrijven is aan een pH-effect.

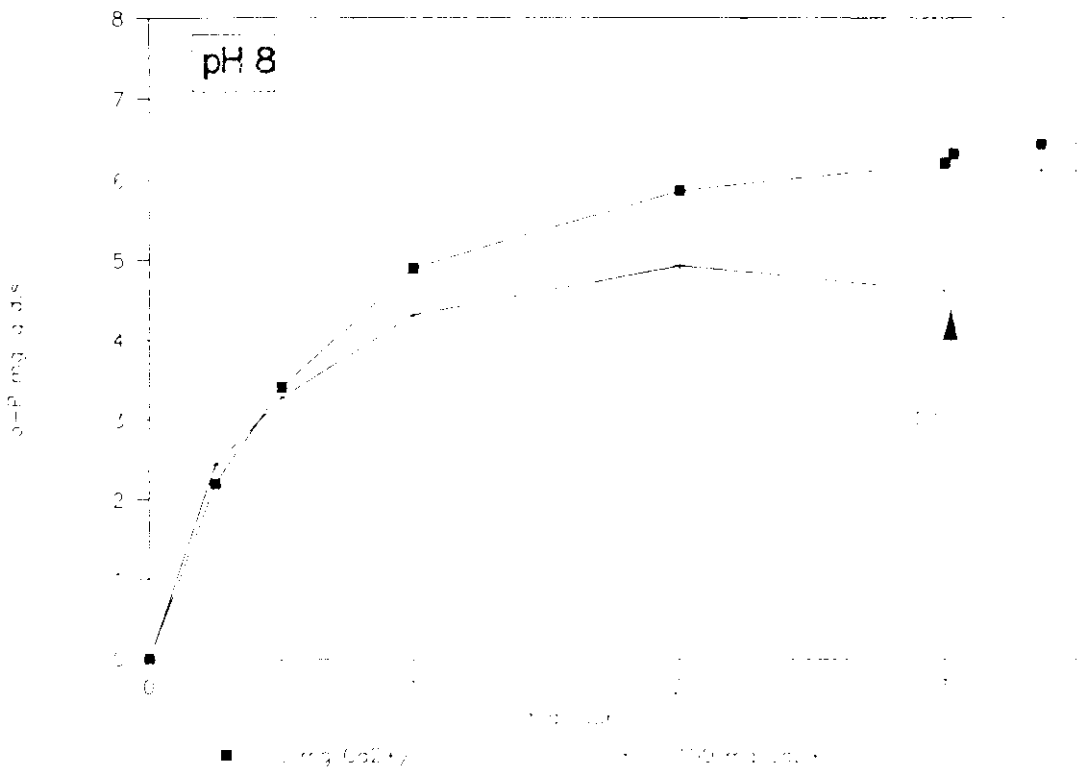
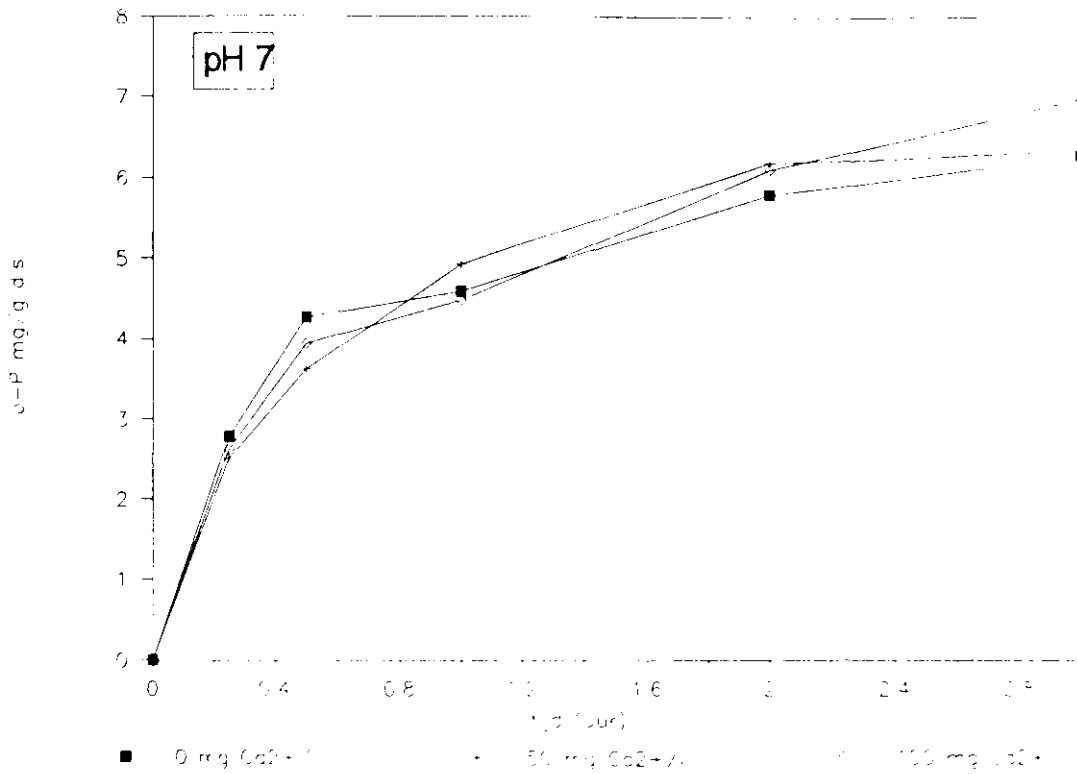
#### **fosfaatafgifte en magnesium- en calcium-concentratie**

In figuur 4.10 is het resultaat van een fosfaatafgifte-experiment weergegeven waarbij naast ortho-fosfaat ook de magnesium- en calciumionen in de tijd zijn bepaald.

In tabel 4.11 staan de gemiddelde resultaten van enkele profielmetingen over de proefinstallatie van calcium-, magnesium- en ortho-fosfaatgehalten.

Tabel 4.11: Correlatie van Mg- en Ca-ionen en P-afgifte in de proefinstallatie (concentraties in mg/l)

compartiment/stroom	o-P	Mg	Ca
comp.10; aëroob	0	2,8	27,5
effluent	0,1	2,8	30,3
retourslib	0,2	2,8	28,8
strippertank	43,3	9,7	30,6
supernatant	44,0	10,0	33,6
indikker	45,4	10,4	34,7



Figuur 4.11. Effect van hoge calciumgehalten op de fosfaataf-  
gifte in de strippertank bij pH 7 en pH 8. (slib  
periode 9A, dosering 98 mg acetaat-CZV/g d.s.)

Uit de resultaten blijkt een duidelijke correlatie tussen fosfaatafgifte en het vrijkomen van magnesium. Magnesium wordt beschouwd als belangrijkste tegenion van polyfosfaat in de cel. Bij lage concentraties aan magnesium in het afvalwater kan calcium deze rol overnemen. Een stijging van het calciumgehalte bij aanvang van het afgifte-experiment en hogere concentraties bij het slib uit de strippertank en supernatant zijn gemeten.

In parallel uitgevoerde batch-experimenten is het effect van hoge concentraties calcium op de fosfaatafgifte in de strippertank nagegaan. Dit is uitgevoerd bij pH 7 en pH 8. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4.11 (a,b). Bij de batch pH 8 en een calciumconcentratie van 100 mg/l is na 2 uur de pH teruggebracht tot pH 7.

Uit de resultaten blijkt dat bij de combinatie van hoge calciumconcentraties, hogere pH en hoge fosfaatconcentraties, de fosfaatafgifte 'vertroebeld' wordt door chemische precipitatie van calciumfosfaat. Er zal dan sprake zijn van een lagere fosfaatconcentratie in de deelstroom dan op grond van de biologisch activiteit verwacht mag worden. De combinatie van fosfaatafgifte en fosfaatprecipitatie is ook te verwachten bij hoge magnesiumconcentraties en hogere pH's.

#### 4.3 Conclusies

Uit het verrichte onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

- Biologische fosfaatverwijdering uitgevoerd in een deelstroomproces leidt tot lage en stabiele ortho-fosfaat-effluentconcentraties van gemiddeld 0,2 mg P/l. De daarbij behorende totaal-fosfaatconcentraties zijn gemiddeld 0,9 mg P/l. Het biologisch- en totaalrendement komen daarmee resp. op 97 en 87%.
- Bij zeer strenge eisen t.a.v. de fosfaatconcentratie in het effluent zal extra aandacht besteed moeten worden aan vermindering en/of beheersing van het zwevendestofgehalte.
- Acetaatdoseringen van 10 tot 20 mg CZV/g d.s. stimuleren de fosfaatafgifte in de strippertank en daarmee ook de ontwikkeling van fosfaat-accumulerende bacteriën. Zonder acetaatdosering functioneert het deelstroomproces niet voldoende. De fosfaatafgifte in de strippertank wordt bepaald door ondermeer de hoogte van de acetaatdosering.
- Bij dosering van acetaat aan een strippertank kan de benodigde verblijftijd in de strippertank verkort worden tot 2 à 4 uur.
- Een geringere slibstroom naar de strippertank heeft een hoger P-gehalte in het slib tot gevolg en dientengevolge hogere fosfaatconcentraties in het supernatant van de strippertank. De via de deelstroom afgegeven fosfaatvracht blijft daarmee gelijk.  
Bij zeer geringe slibstromen naar de strippertank en de daarbij optredende hoge P-concentraties in het supernatant (90-100 mg/l) kan de overdracht van fosfaat van de slibfase naar het supernatant, bij gravitatie-indikking belem-

- merd worden.
- Bij gegeven procescondities van de deelstroom (o.a. verblijftijd 1,6 uur, acetaatdosering 20 mg CZV/g d.s.) en gegeven overige procesomstandigheden, kan een ortho-P-effluentgehalte van  $\leq 0,2$  mg/l gewaarborgd worden bij voorbezonden afvalwater met een CZV:P verhouding van minimaal 35.
  - Uitschakeling van een groot deel van de anaërobe contacttijd in de hoofdstroom heeft geen negatief effect op het fosfaat-verwijderingsrendement.
  - Rwa-omstandigheden leiden tot een geringe verhoging van de fosfaatvracht in het effluent. Naast een anaërobe deelstroom was bij dit onderzoek ook een anaërobe zone in de hoofdstroom aanwezig.
  - Binnen het temperatuurstraject van 14 tot 22°C is de biologische fosfaatverwijdering in een proces met acetaatdosering aan een deelstroom, onafhankelijk van de temperatuur.
  - Een pH < 7 geeft een remming van de fosfaatafgifte. Een lagere fosfaatafgifte bij dosering van azijnzuur in plaats van acetaat aan de strippertank, is het gevolg van een negatief pH-effect.
  - Er is een duidelijke, positieve correlatie tussen het vrijkomen van magnesium en fosfaatafgifte. Een combinatie van een hoge pH en hoge magnesium- en calciumconcentraties kan bij fosfaatafgifte in een strippertank leiden tot fosfaatprecipitatie en daarmee een verminderde fosfaatvracht in het supernatant.
  - De invoering van een anaërobe zone in de hoofd- en deelstroom heeft niet geleid tot de vorming van licht slib.

#### 4.4 Evaluatie

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom onder praktijkomstandigheden, d.w.z. onder variërende aanvoercondities van praktijkafvalwater, binnen het temperatuurtraject van 14 tot 22 °C, tot continu lage fosfaatconcentraties in het effluent leidt, mits de uitspoeling van zwevende stof gering is.

Bij hogere fosfaatgehalten in het slib van de aëratietank, bijvoorbeeld bij een geringe slibstroom door de strippertank, zal dit aspect extra aandacht vragen. Uitspoeling van zwevende stof draagt dan bij aan tot de totaal-fosfaatvracht die via het effluent geloosd wordt.

De zwevendestofproblematiek geldt niet specifiek voor biologische fosfaatverwijdering in een deelstroomproces maar speelt ook een rol bij andere fosfaatverwijderingstechnieken.

Een belangrijke variabele bij biologische fosfaatverwijdering in een deelstroomproces is de hoeveelheid retourslib die de strippertank moet passeren. Het debiet naar de strippertank bepaalt voor een groot deel de dimensies van deze tank, de scheidingsmethode voor het gestripte slib (bijvoorbeeld een gravitatie-indikker) en de korrelreactor. Dit

betekent dat er naar gestreefd moet worden de hoeveelheid retourslib die in behandeling moet worden genomen zo laag mogelijk te houden. Een reductie van de slibstroom naar de strippertank zal echter binnen bepaalde grenzen kunnen plaatsvinden. Belemmering van de fosfaatoverdracht in de indikker, zoals bij dit onderzoek naar voren is gekomen, zal dan een steeds grotere rol gaan spelen. Bij vergaande reductie van de slibstroom zal mogelijk de selectie van fosfaat-accumulerende bacteriën een beperkende factor worden. De aanwezigheid van een anaërobe zone in de hoofdstroom speelt hierbij ook een belangrijke rol. Binnen dit onderzoek en de daarbij onderzochte procescondities van de deelstroom, was de afwezigheid van een anaërobe zone in de hoofdstroom geen beperkende factor.

Naast de slibstroom naar de strippertank worden de dimensies van de deelstroom ook bepaald door het rendement van de slibafscheiding ná de strippertank. In dit onderzoek was het rendement van de (ruim) gedimensioneerde gravitatie-indikker 67 % (indikfactor 3). Dit betekent dat één derde van het afgegeven fosfaat weer teruggevoerd wordt naar het actief-slibproces en in feite intern gerecirculeerd wordt. Een verhoging van dit rendement door bijvoorbeeld gebruik te maken van een centrifuge, zou tot een kleinere deelstroom kunnen leiden.

Als laatste worden de dimensies van de deelstroom ook bepaald door het rendement van de chemische verwijdering van het fosfaat in het supernatant c.q. de korrelreactor. Een laag rendement betekent dan ook dat het fosfaat intern gerecirculeerd wordt.

Uit het onderzoek blijkt dat de pH waarbij de fosfaatafgifte plaatsvindt van invloed is op de hoogte van afgifte in de strippertank. Enerzijds mag de pH niet te laag zijn ( $\leq 7$ ) vanwege remming van de afgifte, anderzijds bij hoge calcium- en magnesiumgehalten niet te hoog ( $\geq 7,5$ ) vanwege fosfaatprecipitatie. Een pH-regeling bij het stripproces lijkt in bepaalde gevallen daarom aan te bevelen.

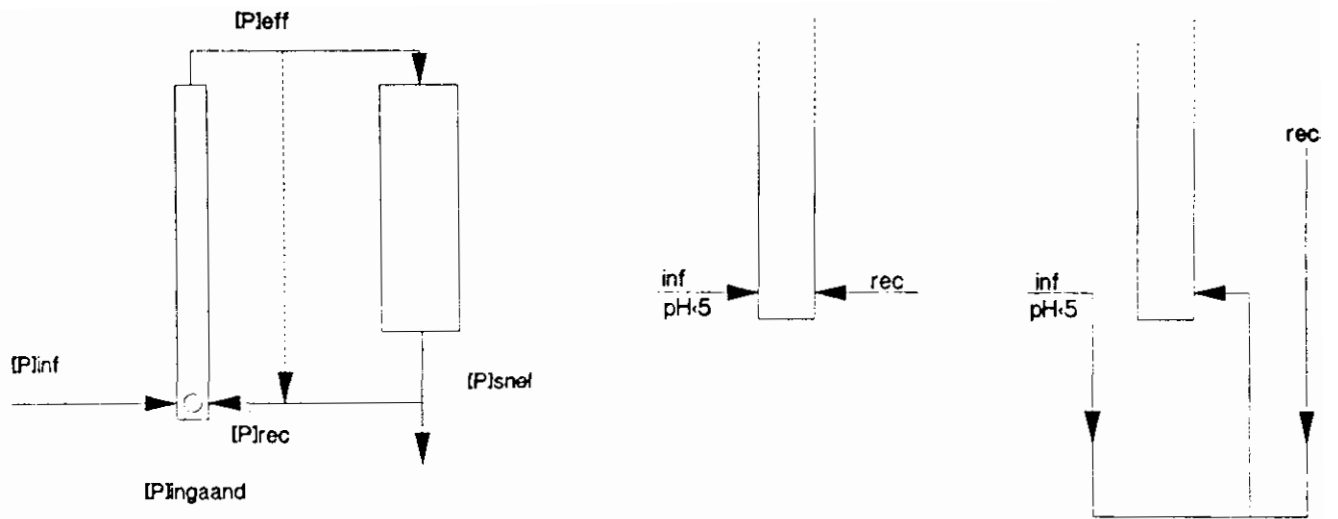
Het onderzoek aan het actief-slibgedeelte inclusief de deelstroom heeft plaatsgevonden binnen het temperatuurtraject van 14 tot 22°C. Binnen dit traject is geen verband geconstateerd tussen (een lagere) temperatuur en (een verminderde) biologische fosfaatverwijdering. Bedacht moet worden dat binnen het deelstroomproces waarbij acetaat of vetzuren afkomstig van een primair-slibverzuring worden gedoseerd, een lagere temperatuur niet van belang is voor vetzuurproductie. Dit geldt ook voor temperaturen lager dan 14°C. De fosfaatafgifte c.q. -opname zélf door fosfaat-accumulerende bacteriën, is mogelijk wel afhankelijk van de temperatuur. Daarnaast is de temperatuur ook van invloed op de denitrificatiesnelheid. Onderzoek bij een temperatuur lager dan 14°C heeft binnen dit project niet plaatsgevonden.

Afhankelijk van de slibverwerkingsmethode kan een bepaalde fosfaatstroom, vrijkomend bij de slibverwerking, onbehandeld teruggevoerd worden naar het actief-slibproces. Het fosfaat

wordt dan intern gerecicleerd. Binnen het proces van biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom zal er dan naar gestreefd moeten worden dat het grootste gedeelte van het biologische te verwijderen fosfaat het systeem verlaat via het supernatant, zoals aangegeven is in de fosfaatbalans. Dit betekent dat er dan relatief weinig fosfaat gerecicleerd zal worden via de spuislibverwerking.

Echter een slibverwerking waarbij het biologisch opgeslagen fosfaat grotendeels vrijkomt, kan ook worden beschouwd als een soort stripproces van spuislib waarbij geen acetaat gedoseerd hoeft te worden. (Het gestripte slib wordt echter niet teruggevoerd.) Het vrijkomende fosfaatrijke water kan dan in de chemische fosfaatverwijdering, c.q. korrelreactor, volgend op het stripproces behandeld worden.

Als de slibverwerking zo ontworpen wordt dat teruglevering van fosfaat voorkomen wordt, kan het spuislib ook aan het actief-slibstelsel onttrokken worden, alvorens dit het fosfaat afgegeven heeft. Dit betekent dat minder fosfaat via de chemische verwijdering, c.q. korrelreactor, verwijderd hoeft te worden.



Figuur 5.1. Schematische weergave van enkele definities (a, links) en een twee invoerwijzen onderin de reactor (b, rechts).



## 5 KORRELREACTOR-EXPERIMENTEN

### 5.1 Uitvoering

In bijlage 7 en 8 zijn enkele begrippen, definities en berekeningen nader omschreven. Zie ook figuur 5.1 (a,b). Alle fosfaatconcentraties worden uitgedrukt in P.

#### **bedrijfsvoeringsaspecten**

De korrelreactor en het snelfilter maken deel uit van de proefinstallatie. De afmetingen, volumina, ontwerpgrondslagen, ect. van de beide onderdelen staan vermeld in bijlage 3 en tabel 3.2. Er zijn vele experimenten met de korrelreactor uitgevoerd. Met betrekking tot de bedrijfsvoering kan het volgende worden opgemerkt:

#### **influent van de korrelreactor**

Om gedurende een bepaalde bedrijfsvoering het onderzoek met een constante influentsamenstelling te kunnen uitvoeren is het effluent van de deelstroom gedurende een bepaalde tijd opgevangen en bewaard (300 tot 500 l.). De opvang gaf tevens de mogelijkheid om het fosfaatgehalte van het influent op een gewenste waarde te brengen via dosering van natriumfosfaat of via verdunning met fosfaatvrij effluent van de proefinstallatie. Daarnaast was het mogelijk om het zwevendestofgehalte van het influent op een bepaalde waarde te brengen via dosering van actiefslib.

#### **carbonaatverwijdering**

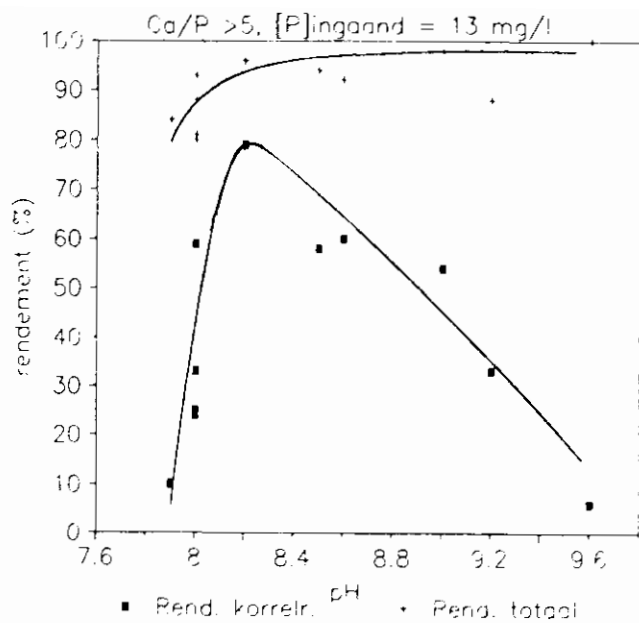
Om de fosfaatkristallisatie in de korrelreactor niet te verstoren door kristallisatie van calciumcarbonaat is het influent, via pH-verlaging ( $\text{pH} < 5$ ) en beluchten, vooraf vrijgemaakt van carbonaat.

#### **aanwezigheid van het snelfilter**

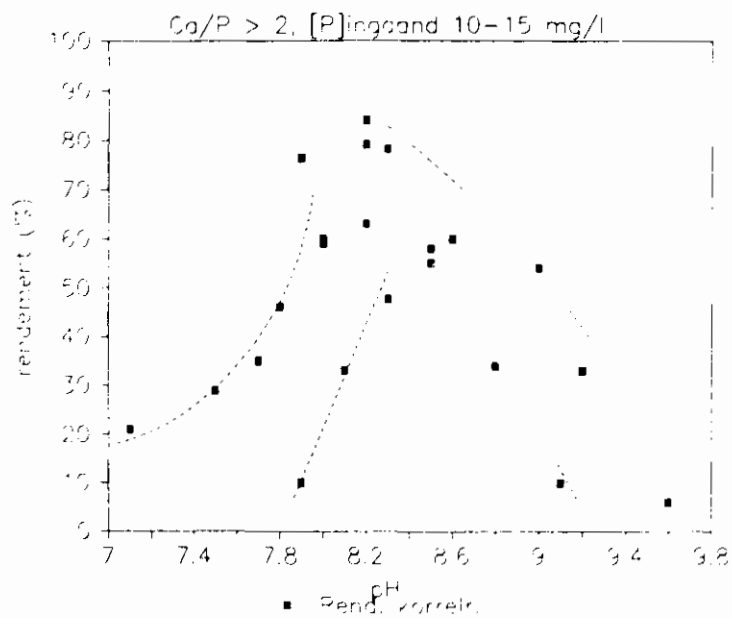
Alleen bij aanvang van het onderzoek is het snelfilter binnen de opstelling van de korrelreactor opgenomen. Het recirculatiewater heeft daarbij, alvorens het de korrelreactor wordt ingevoerd, het snelfilter gepasseerd. Al in een vroeg stadium van het onderzoek is besloten het snelfilter buiten gebruik te stellen.

#### **recirculatie**

Bij recirculatie-experimenten kan onderscheid gemaakt worden tussen recirculatie met effluent van de korrelreactor en 'recirculatie' met leidingwater. Bij recirculatie met het effluent van de korrelreactor heeft de wijze van invoer in de reactor op twee manieren plaatsgevonden, zie figuur 5.1.b. Onderscheid kan gemaakt worden tussen 'opgemengd' en 'niet opgemengd'. Daarnaast is een aantal experimenten uitgevoerd zonder recirculatie.



Figuur 5.2. Rendement korrelreactor en rendement totaal versus pH bij een bedrijfsvoering inclusief snelfilter.



Figuur 5.3. Rendement korrelreactor versus pH.

## **bedrijfstijd**

Binnen de verschillende bedrijfsvoeringen kan onderscheid gemaakt worden naar de duur van het experiment:

- 1 à 2 uur bedrijfstijd; hierbij is een procesinstelling, bijv. de pH, na 1 à 2 uur gewijzigd. Deze experimenten zijn bedoeld om een snelle indruk te verkrijgen van de invloed van een bepaalde variabele op het kristallisatieproces;
- 20 à 24 uur bedrijfstijd; hierbij is de korrelreactor een etmaal met dezelfde procesinstellingen bedreven. Het rendement en de kristallisatiecapaciteit zijn hierbij de belangrijkste onderzoekspunten geweest. Bij de experimenten zonder snelfilter, waarbij het effluent van de korrelreactor als recirculaat diende, kon binnen die 24 uur onderscheid gemaakt worden tussen de resultaten na 2 uur en de resultaten na 20 uur bedrijfstijd;
- duurexperimenten; hierbij is de korrelreactor meer dan 24 uur met dezelfde procesinstellingen bedreven. Het rendement op langere termijn en de korrelsamenstelling zijn hierbij de belangrijkste onderzoekspunten.

## **entmateriaal**

Over het algemeen heeft geen verwijdering van fosfaatkorrels en toevoeging van entmateriaal plaatsgevonden bij experimenten met een bedrijfsduur van 1 en 24 uur. Bij de duurexperimenten gebeurde dit éénmaal per etmaal.

## **magnesiumfosfaat-kristallisatie**

In een aantal experimenten is onderzoek verricht naar het effect van magnesium op de calciumfosfaat-kristallisatie. Hiertoe is magnesiumchloride vooraf aan het influent gedoseerd.

Daarnaast is onderzoek verricht naar de kristallisatie van magnesiumfosfaat. Hierbij is magnesiumchloride gedoseerd i.p.v. calciumchloride.

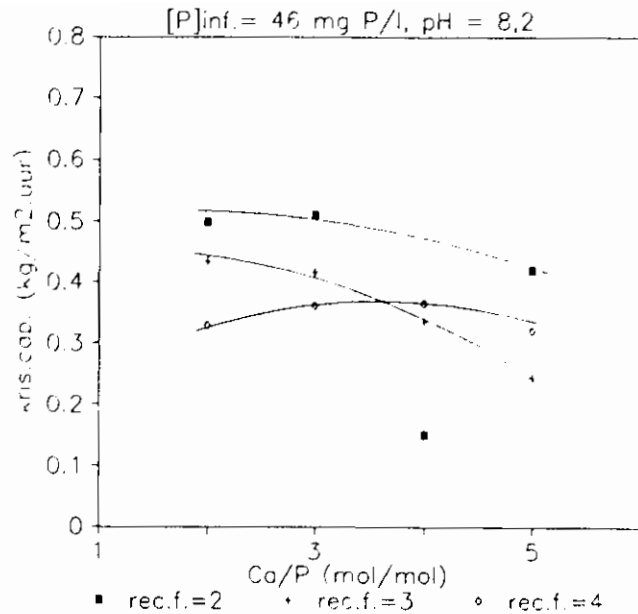
## **5.2 Resultaten en bespreking**

De invloed van het snelfilter, de pH, de Ca/P-verhouding, [P]ingand, recirculatie, zwevende stof en magnesium op het kristallisatieproces worden hierna beschreven. Ter illustratie zijn bij de bespreking van elke variabele een of meer karakteristieke resultaten weergegeven in een figuur of een tabel.

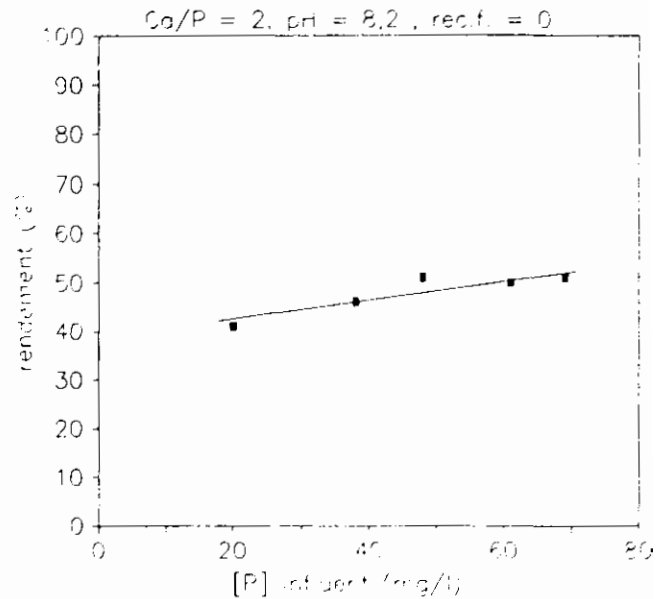
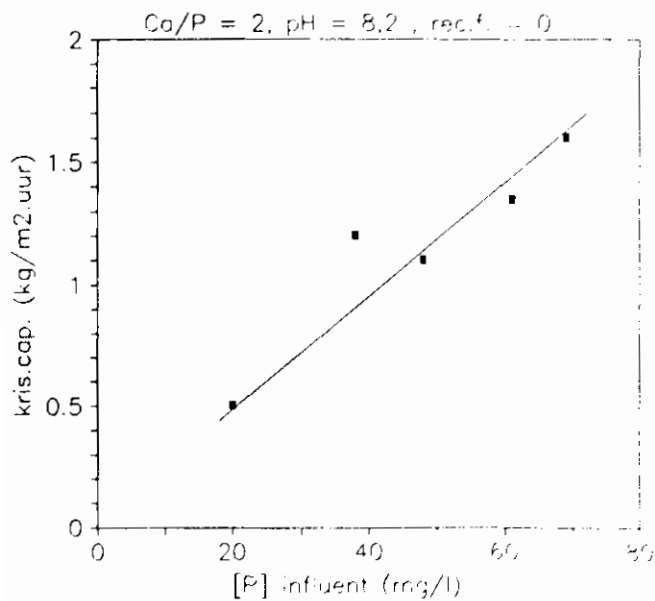
Voor alle experimenten geldt dat ze zijn uitgevoerd bij een fluidisatiesnelheid in de korrelreactor van 45 ( $\pm$  3) m/uur.

### **snelfilter**

In figuur 5.2 is het rendement van de korrelreactor en het totaalrendement weergegeven als functie van de pH bij een bedrijfsvoering inclusief snelfilter.



Figuur 5.4. Kristallisatie-capaciteit versus Ca/P verhouding bij verschillende recirculatie-factoren, na 2 uur bedrijfstijd. (influent en recirculaat niet vooraf opgemengd)



Figuur 5.5. Kristallisatie-capaciteit (a,links) en rendement (b,rechts) versus [P]influent. (geen recirculatie)

Uit de resultaten blijkt dat kristallisatie op de korrel optimaal plaatsvindt bij een pH van 8,4. Bij een pH > 8,4 neemt het percentage amorf-P toe. Bij een pH < 8,4 is er sprake van een (sterk) verminderde kristallisatie. Wanneer veel amorf-P de korrelreactor verlaat en het korrelreactorrendement dientengevolge laag is, kan deze amorf-P vrijwel volledig afgevangen worden door het nageschakelde snelfilter. Het totaalrendement van de combinatie komt daarmee op meer dan 90%. Bij een pH < 8,4 vindt nauwelijks kristallisatie plaats in de korrelreactor. Dat het totaalrendement in dat pH-gebied toch meer dan 80% bedraagt, duidt op nakristallisatie in het (ruim gedimensioneerde) snelfilter.

## **pH**

In figuur 5.3 wordt het reactorrendement weergegeven als functie van de pH.

Hieruit valt af te leiden dat de pH voor optimale calciumfosfaat-kristallisatie op de korrel bij hogere ingaande P-concentraties ([P]ingand 10 tot 15 mg/l) en bij gegeven overige omstandigheden, in het gebied 7,9 tot 8,6 ligt. Bij pH-waarden kleiner dan 7,9 is de drijvende kracht voor kristalvorming te laag. Bij pH-waarden hoger dan 8,6 neemt de amorf-vorming sterk toe.

## **Ca/P-verhouding**

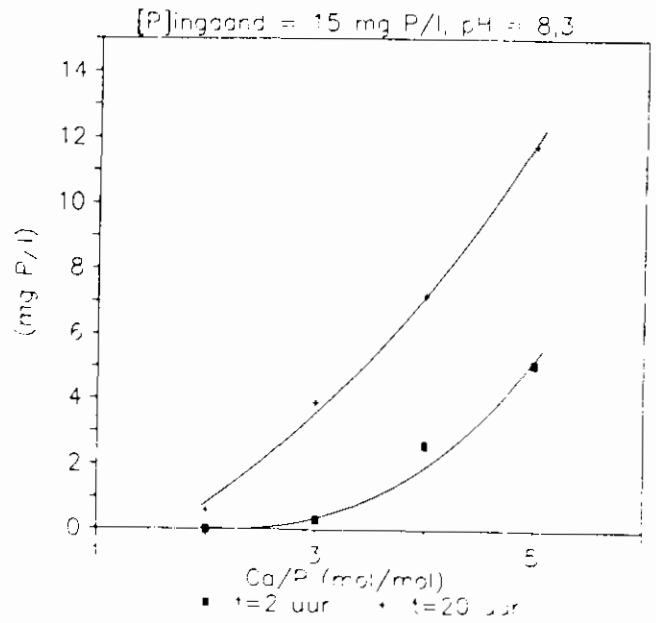
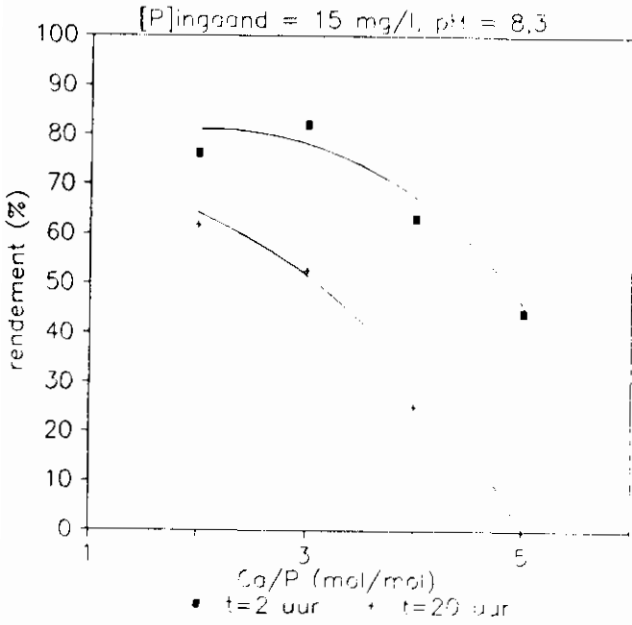
In figuur 5.4 wordt de kristallisatie-capaciteit als functie van de Ca/P-verhouding weergegeven. Bij deze experimenten is de kristallisatie niet gestoord door terugvoer van amorf-P via het recirculaat (zie onder [P]ingand en recirculatie). De resultaten laten zien dat de Ca/P-verhouding in het gebied van 2 tot 5 (mol/mol) een geringe invloed heeft op de kristallisatiecapaciteit. Bij de hogere verhoudingen neemt het rendement enigszins af als gevolg van een toenemende amorf-vorming.

## **[P]ingand**

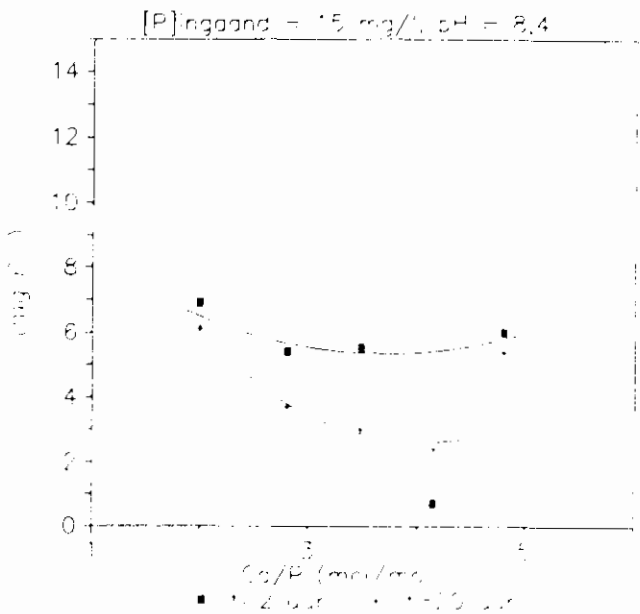
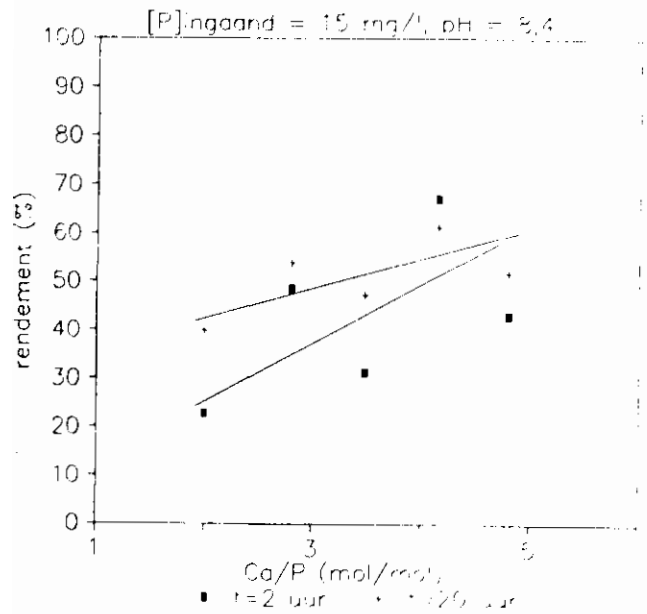
Uit de figuur 5.5 (a,b) blijkt dat de kristallisatie-capaciteit toeneemt bij toenemende [P]ingand, terwijl de fosfaatverwijdering uitgedrukt als rendement, nauwelijks toeneemt. Het rendement dat haalbaar is bij een bedrijfsvoering zonder recirculatie is, onafhankelijk van de [P]influent, ca. 50%.

## **recirculatie met effluent van de korrelreactor (inclusief amorf-P)**

In figuur 5.6 (a,b) staan resultaten weergegeven waarbij het effluent van de reactor, inclusief het amorf-P, het recirculaat is. Onderscheid is gemaakt tussen het rendement c.q. carry-over vlak na de opstart (2 uur) en na een etmaal (20 uur). Influent en recirculaat worden van tevoren niet opgemengd. Na een bedrijfstijd van 20 uur is het rendement drastisch verminderd in vergelijking met een bedrijfstijd van 2 uur. De carry-over neemt sterk toe, met name bij de hogere Ca/P-verhoudingen. Geconcludeerd kan worden dat de kristal-



Figuur 5.6. Cyclusefficiency korrelreactor (a, links) en carry-over (b, rechts) versus Ca/P verhouding na 2 en 20 uur bedrijfstijd. (Recirculaat is effluent korrelreactor, geen opmenging vooraf, rec. factor 3).



Figuur 5.7. Cyclusefficiency korrelreactor (links) en carry-over (rechts) versus Ca/P verhouding na 2 en 20 uur bedrijfstijd. 'Recirculaat' is leidingwater, geen opmenging vooraf, rec.factor 3)

lisatie negatief beïnvloed wordt door een belasting met amorf-P.

#### **'recirculatie' met leidingwater**

Figuur 5.7 (a,b) laat de resultaten zien waarbij leidingwater het 'recirculaat' is. In dit geval wordt dus geen amorf-P teruggevoerd. Bij deze experimenten treedt geen vermindering van het rendement op, eerder een verhoging. De amorfvorming neemt na 20 uur bedrijfstijd af. De verhoging van het rendement bij toenemende bedrijfstijd zal het gevolg zijn van een verbeterd kristaloppervlak dat na kristallisatie van calciumfosfaat op het zand ontstaat.

#### **recirculatie met effluent van de korrelreactor (geen amorf-P)**

Bij niet recirculeren blijft het rendement van de korrelreactor steken op 40 tot 60%. Recirculatie, waarbij het fosfaat meerdere malen de reactor passeert, kan het rendement verhogen. Echter recirculatie is alleen mogelijk als geen amorf-P de reactor ingevoerd wordt. Dit is mogelijk als het effluent van de reactor samengevoegd wordt met het influent alvorens het de reactor ingevoerd wordt. De lage pH van het influent, als gevolg van de carbonaatverwijdering, zorgt ervoor dat amorf-P weer in oplossing gaat.

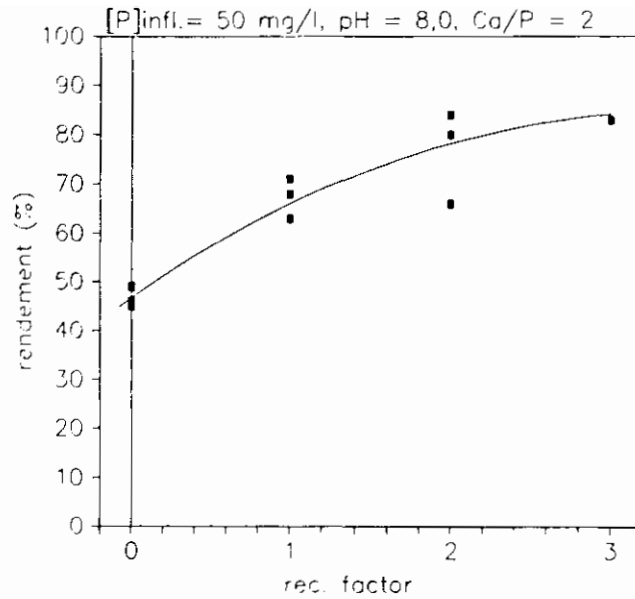
In figuur 5.8 staan de rendementen weergegeven als functie van de recirculatiefactor waarbij sprake is van de gewijzigde invoerconstructie. Tijdens deze experimenten is vastgesteld dat de carry-over in het recirculaat na menging met het influent binnen 30 seconden opgelost is.

Uit figuur 5.8 blijkt dat via recirculatie het rendement van de korrelreactor verhoogd kan worden.

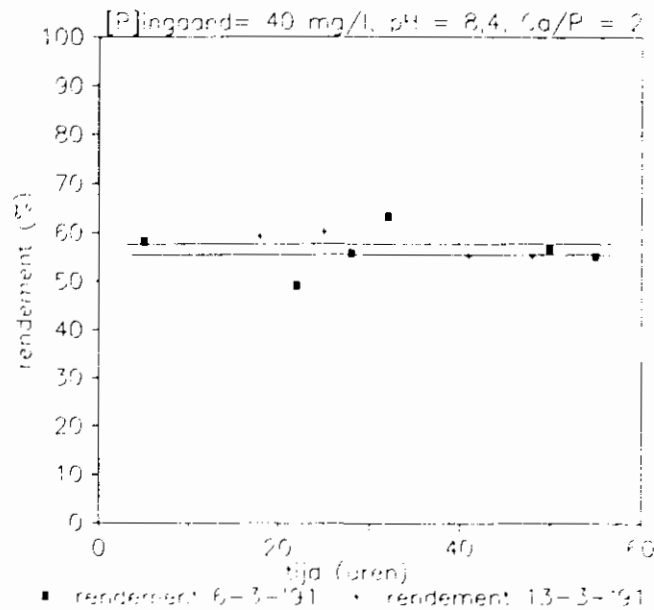
#### **zwevende stof**

In tabel 5.1 zijn de resultaten weergegeven waarbij de invloed van zwevende stof op het korrelreactorrendement is nagegaan. Onderscheid kan gemaakt worden tussen kortlopende (bedrijfstijd 2 uur) en langdurige experimenten (bedrijfstijd 20 uur).

Bij de kortdurende experimenten kon circa 75% van de inkomende droge stof worden teruggevonden in het effluent van de korrelreactor. Afvang in het zandbed zal er de oorzaak van zijn dat niet 100% van de ingevoerde zwevende stof de reactor met het effluent verlaat. Bij de langdurige experimenten spoelde in een aantal gevallen meer zwevende stof uit dan er via het influent ingevoerd werd. Als hierbij fosfaat mee uitspoelde, bijvoorbeeld afkomstig van ingevangen entmateriaal, dan maakte dit deel uit van de carry-over en werd dus zodanig meegenomen in de rendementsbepaling.



Figuur 5.8. Rendement korrelreactor versus recirculatiefactor.  
(Recirculaat is effluent korrelreactor, recirculaat en influent vooraf opgemengd)



Figuur 5.9. Rendement korrelreactor als functie van de bedrijfstijd. (duurexperimenten, dd 8-3-'91 en 13-3-'91, rec. factor 0)



Tabel 5.1: Resultaten bedrijfsvoeringen met zwevende stof ( $[P]_{\text{influent}} = 25, 40 \text{ mg/l}$ ;  $\text{rec.factor} = 0$ ;  $\text{pH} = 8,3$ ;  $\text{Ca/P} = 2$ )

	$[P]_{\text{inf}}$ (mg/l)	$[z.s.]_{\text{inf}}$ (mg/l)	E-reactor (%)
t = 2 uur	25	<10	57
	25	40	50
	25	80	59
t = 20 uur	40	<10	47
	40	80	30
	40	155	45

Zwevendestofgehalten tot circa 150 mg/l in het influent lijken geen significante negatieve invloed te hebben op het reactorrendement.

### duurexperimenten

In figuur 5.9 is het rendement van twee duurexperimenten als functie van de bedrijfstijd weergegeven. De twee duurexperimenten kunnen als duplo's worden beschouwd. De gemiddelde kristallisatiecapaciteit van beide experimenten is resp. 0,95 en 0,97  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{uur}$ . De gemiddelde rendementen, E-reactor, zijn resp. 56 en 58%. De resultaten laten zien dat gedurende langere bedrijfstijd, onder gegeven procesomstandigheden, het reactor-rendement redelijk constant is.

### magnesium

Naast calcium kan in het supernatant afkomstig van de strippertank ook magnesium aanwezig zijn. Juist bij biologische fosfaatverwijdering kan deze concentratie hoog zijn als het gevolg van het vrijkomen van magnesium bij de fosfaatafgifte in de strippertank (zie ook 4.2.2). In een aantal experimenten is de invloed van magnesium op de calciumfosfaat-kristallisatie nagegaan. In tabel 5.2 staan de resultaten weergegeven.

Tabel 5.2 Invloed van magnesium op de kristallisatie van calciumfosfaat ( $[P]_{\text{infl.}} = 50 \text{ mg/l}$ ;  $\text{rec.factor} = 2$ , influent en recirculaat opgemengd;  $\text{pH} = 8,6$ ;  $\text{Ca/P} = 2 \text{ mol/mol}$ )

experiment	$[Mg]_{\text{infl.}}$ mg/l	E-reactor %
1	10	80
1	60	74
2	8	58
2	33	60
2	83	62

Magnesiumconcentraties tot circa 3 mmol/l lijken de calciumfosfaat-kristallisatie niet te beïnvloeden. Het is niet duidelijk waarom in het tweede, later uitgevoerde, experiment het rendement ruim 10% lager is. Uit de korrelsamenstelling (zie ook tabel 5.3) blijkt dat een zeer geringe hoeveelheid magnesium wordt ingebouwd. Bij hogere pH's en/of hogere concentraties kan de magnesium-kristallisatie een grotere rol gaan spelen.

### **korrelsamenstelling**

Tijdens een aantal experimenten is de korrelsamenstelling bepaald van de, onderuit de reactor, verwijderde korrels. In tabel 5.3 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 5.3 Korrelsamenstelling (perc. van het drooggewicht)

experiment	zand	PO <sub>4</sub>	Ca	Mg	tot.*
duurexp. 8-3-'91	86,5	7,1	3,4		97,0
duurexp.13-3-'91	90,0	4,2	2,7		96,9
Magnesium-exp.					
- Mg	81,6	10,3	5,7	0,1	97,7
+ Mg	83,9	7,3	4,3	0,2	95,7
+ Mg	95,6	1,8	1,2	0,1	98,7

\* totaal is de som van zand, PO<sub>4</sub>, Ca en Mg

De molaire Ca/P-verhoudingen van het calciumfosfaat gevormd op de zandkorrels, lopen bij deze experimenten uiteen van 1,1 tot 1,5. Een verhouding < 1,5 duidt op inbouw van andere ionen of het ontstaan van bijvoorbeeld CaHPO<sub>4</sub>, zodat een afwijking optreedt van de stoichiometrische verhouding 1,5. De inbouw van magnesium, ook bij de experimenten met hogere magnesiumconcentraties is gering.

### **magnesiumfosfaat-kristallisatie**

Als alternatief voor calciumfosfaat-kristallisatie is een aantal experimenten uitgevoerd waarbij het fosfaat via magnesiumfosfaat-kristallisatie wordt verwijderd. Hierbij is magnesiumchloride i.p.v. calciumchloride gedoseerd. Deze experimenten worden niet nader beschreven; volstaan wordt met de belangrijkste conclusies:

- Het kristallisatie-rendement dat bereikt kan worden zonder recirculatie is, evenals de calciumfosfaat-kristallisatie, 40 tot 60%.
- De hoogste rendementen voor magnesiumfosfaat-kristallisatie (40 tot 60%) worden bereikt bij een pH van 9,0-9,2.
- De Mg/P-verhouding heeft, evenals bij calciumfosfaat-kristallisatie, een geringe invloed op het rendement. De invloed van eventuele remmende invloed door aanwezigheid van calcium, is niet nagegaan.

### 5.3 Conclusies

Uit het onderzoek verricht met de korrelreactor, geplaatst in een combinatie met biologische fosfaatverwijdering volgens het deelstroomprincipe, waarbij er sprake is van hogere ingaande fosfaatconcentraties, kan voor de calciumfosfaat-kristallisatie het volgende geconcludeerd worden:

- Een nageschakeld snelfilter is effectief in het verwijderen van het in de korrelreactor gevormde amorf-P en brengt het totaalrendement van de fosfaatverwijdering, onafhankelijk van de amorfvorming, op meer dan 90%.
- De amorf-vorming in de reactor is sterk gerelateerd aan de gerecirculeerde hoeveelheid amorf-P en de pH in de reactor.
- De optimale pH voor kristallisatie van calciumfosfaat bij hogere ingaande fosfaatconcentraties, ligt in het gebied van 7,9 tot 8,6.
- De Ca/P-verhouding heeft een geringe invloed op het kristalliserendement. Een molaire verhouding van circa 2 is voldoende.
- Het rendement is onafhankelijk van [P]ingand en bedraagt bij een bedrijfsvoering zonder recirculatie 40 tot 60%. De kristallisatiecapaciteit neemt sterk toe bij een toenemende ingaande fosfaatconcentratie.
- Recirculatie met een factor 2 geeft een rendementsverhoging tot 70 à 80%. Een voorwaarde hierbij is dat het recirculaat vrij is van amorf-P. Hieraan kan voldaan worden door het influent en recirculaat voorafgaande aan de invoer in de reactor, met elkaar te mengen.
- Bij dit onderzoek is gebleken dat zwevendestofgehalten tot 150 mg d.s./l en magnesiumgehalten tot 3 mmol/l, aanwezig in het influent, geen negatieve invloed hebben op de calciumfosfaat-kristallisatie.

### 5.4 Evaluatie

Het korrelreactoronderzoek binnen dit project heeft niet los gestaan van het onderzoek dat elders hiernaar in Nederland werd uitgevoerd. Gesteld kan worden dat de resultaten verkregen op andere locaties redelijk tot vrij goed overeenstemmen met de verkregen resultaten binnen dit onderzoek. Naast overeenstemming van resultaten is binnen dit onderzoek ook gebruik gemaakt van elders verkregen resultaten en zijn de experimenten binnen het korrelreactoronderzoek daarop afgestemd.

Uit elders uitgevoerd onderzoek blijkt dat de carbonaatkristallisatie een negatieve invloed heeft op de fosfaatverwijdering. De negatieve invloed is zo groot dat het carbonaat vooraf verwijderd moet worden uit het influent van de korrelreactor.

Al vrij snel na aanvang van het onderzoek met de korrelreactor is besloten het snelfilter buiten bedrijf te stellen. Naast het feit dat uitschakeling van het snelfilter ruwweg een halvering van de investeringskosten zal beteke-

nen, hoeft het effluent van de korrelreactor niet aan de lozingseisen te voldoen.

Het rendement over de korrelreactor blijft, onafhankelijk van [P] ingaand circa 50%. Recirculatie kan het rendement verhogen tot 70 à 80%. Dit betekent dat amorf-P in het effluent, dat een negatieve invloed heeft op het kristallisatieproces, in opgeloste vorm moet worden gebracht, alvorens het de reactor wordt ingevoerd. Influent en recirculaat vooraf een korte tijd mengen blijkt voldoende te zijn.

Dat een Ca/P-verhouding van 2 mol/mol voldoende is en dat het pH-optimum relatief laag ligt, is gunstig uit het oogpunt van chemicaliënverbruik.

De resultaten die hier beschreven worden, hebben betrekking op onderzoek dat is uitgevoerd met een korrelreactor die deel uitmaakte van een proefinstallatie. Twee belangrijke verschillen met een korrelreactor in een praktijksituatie moeten in dit verband genoemd worden:

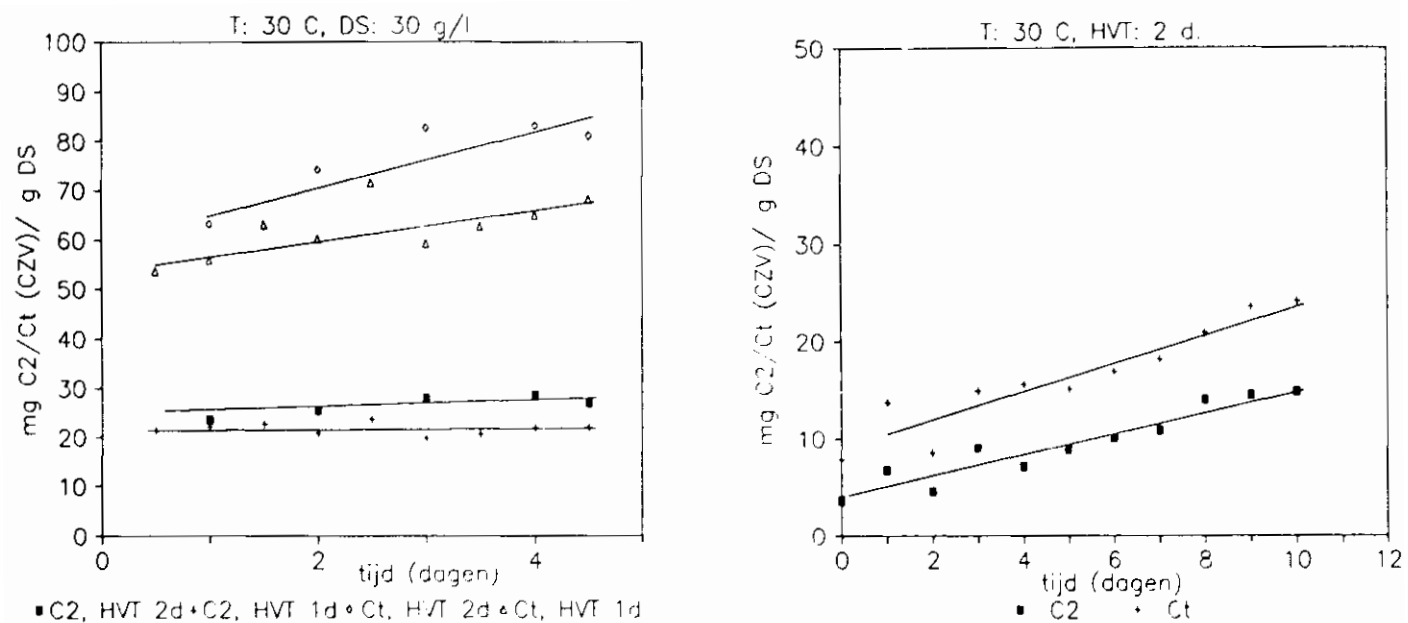
- Het gebruik van kalkmelk in de praktijk in plaats van calciumchloride en natronloog. De rendementen die behaald worden met het goedkopere kalkmelk zijn vergelijkbaar met de rendementen, behaald met calciumchloride.
- Rekening moet worden gehouden met de schaalgrootte waaronder de experimenten met de korrelreactor zijn uitgevoerd. Hierbij kan met name de plaats waarbij influent, recirculaat en chemicaliën samenkomen, genoemd worden. De mengcondities onderin de reactor zullen op deze kleine schaal (diameter 2 cm) mogelijk niet optimaal zijn.

Uitgaande van de verkregen onderzoeksresultaten moet een korrelreactor bij gebruik in een deelstroom van een biologisch defosfaterend actief-slibproces voldoen aan de volgende ontwerpgrondslagen:

- influent:  $C_{\text{totaal}} [\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}] < 1 \text{ mmol/l}$   
pH < 4 à 5  
[Mg] < 3 mmol/l  
[d.s.] < 150 mg/l  
[P] 20-50 mg/l
- recirculatiefactor: 2 à 3
- invoer influent en  
recirculaat: ca. 30 sec. opmengen voor  
invoer reactor
- pH reactor: 8-8,6
- Ca/P-verhouding: 2 à 3 mol/mol

De overige procesomstandigheden binnen dit onderzoek waren:

- fluïdisatiesnelheid: 40 à 50 m/h
- entmateriaal: kwartszand 0,2-0,6 mm



**Figuur 6.1. Lagere-vetzurenproductie uit primair slib (a, links) en secundair slib (b, rechts) als functie van de tijd, na de opstart.**

## 6 SLIBVERZURING

In dit hoofdstuk wordt hoofdzakelijk onderzoek beschreven naar de verzuring van primair slib. Hierbij valt onderscheid te maken in kleinschalige lab-experimenten (6.1) en onderzoek met de verzuringsinstallatie die deel uitmaakte van de proefinstallatie (6.2).

Naast de experimenten, handelend over de verzuring van primair slib, zijn ook lab-experimenten beschreven over de verzuring van secundair spuislib en over fosfaatafgifte bij biologisch defosfaterend slib na dosering van verzuurd primair slib (6.1).

In 6.3 wordt het resultaat van een kostenvergelijking van acetaatbronnen gegeven.

In bijlage 8 worden enkele begrippen en definities nader omschreven

### 6.1 Experimenten op laboratoriumschaal

#### **Uitvoering**

De verzuringsexperimenten zijn uitgevoerd in reactoren met een volume van 1,5 tot 5 liter. De reactoren zijn tijdens de verschillende experimenten gevoed volgens het 'fill and draw' principe, waarbij een- of tweemaal per dag de voeding plaatsvond met vers slib. Het primaire slib was afkomstig van de centrale voorbezinktank van de proefhal Bennekom. Het secundaire slib was afkomstig uit de gravitatie-indikker van de proefinstallatie. Alle reactoren werden gemengd. De temperatuur in de reactoren werd constant gehouden. In een aantal gevallen werd de pH in de reactoren op een constant niveau gehouden via dosering van bicarbonaat.

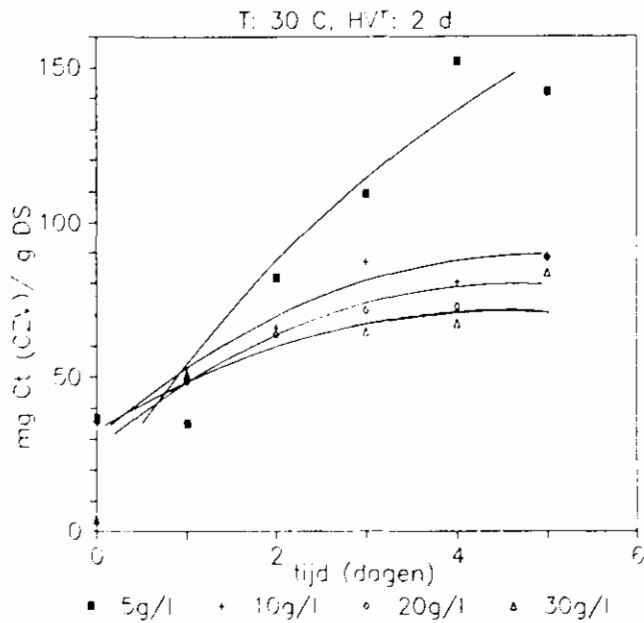
De batchgewijze fosfaatafgifte-experimenten zijn uitgevoerd in reactoren van 2 liter. Hierbij werd aan het (biologisch defosfaterend) retourslib afkomstig uit de proefinstallatie, het verzuurde slib, het supernatant daarvan of lagere vetzuren in pure vorm, gedoseerd.

De hierna beschreven experimenten zijn meerdere malen uitgevoerd. Veelal wordt een karakteristiek resultaat gepresenteerd.

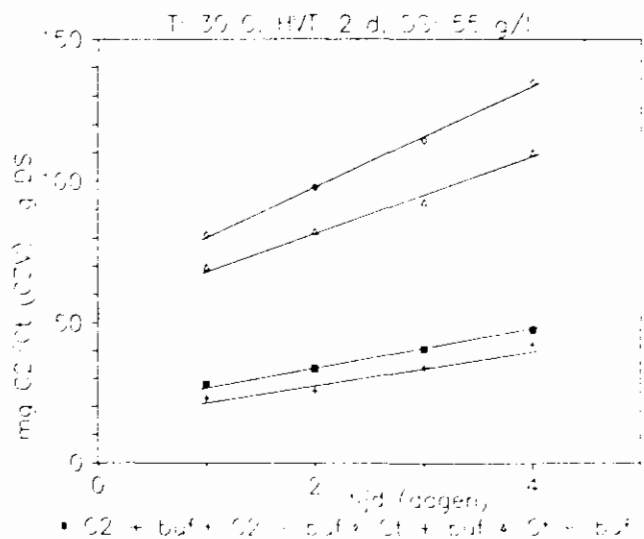
#### **lagere-vetzurenproductie en adaptatie**

In figuur 6.1 is naast de lagere-vetzurenproductie uit secundair slib, de productie uit primair slib als functie van de tijd weergegeven bij twee slibverblijftijden. De lagere-vetzurenproductie bij een verblijftijd van twee dagen is 20% hoger dan bij een verblijftijd van één dag. De maximale productie is bij een verblijftijd van één dag snel bereikt en vergt nauwelijks adaptatietijd.

De verzuring van secundair slib vraagt een langere adaptatietijd. De productie ligt op een duidelijk lager niveau dan bij de verzuring van primair slib.



Figuur 6.2. Lagere-vetzurenproductie uit primair slib als functie van de tijd, na de opstart, bij verschillende drogestofgehalten.



Figuur 6.3. Lagere-vetzurenproductie uit primair slib als functie van de tijd voor een gebufferde en niet gebufferde situatie.

### lagere-vetzurenproductie en drogestofgehalte in de fermentor

In figuur 6.2 is de lagere-vetzurenproductie uit primair slib als functie van de tijd weergegeven bij verschillende drogestofgehalten in de reactor. Er was geen sprake van pH-buffering. De pH in de reactoren met 5, 10, 20 en 30 g d.s./l waren na 5 dagen resp. 6,0; 5,7; 4,9 en 4,8. Uit deze resultaten blijkt dat verzuring van primair slib, uitgevoerd bij hogere drogestofgehalten, een geringere lagere-vetzurenproductie per gram droge stof oplevert dan verzuring bij lagere drogestofgehalten. Hoogstwaarschijnlijk is de lagere pH bij de hogere drogestofgehalten hier de oorzaak van.

### lagere-vetzurenproductie en pH in de fermentor

In figuur 6.3 is de lagere-vetzurenproductie uit primair slib als functie van de tijd in een ongebufferde en gebufferde (pH = 7) reactor weergegeven. De pH in de ongebufferde situatie daalde tot pH 5,5. In de gebufferde situatie ligt de productie 10 tot 15% hoger dan in de ongebufferde situatie.

### lagere-vetzurenproductie bij verschillende procesomstandigheden

In tabel 6.1 en 6.2 staan de lagere-vetzurenproducties bij verschillende procesomstandigheden van de verschillende experimenten samengevat weergegeven.

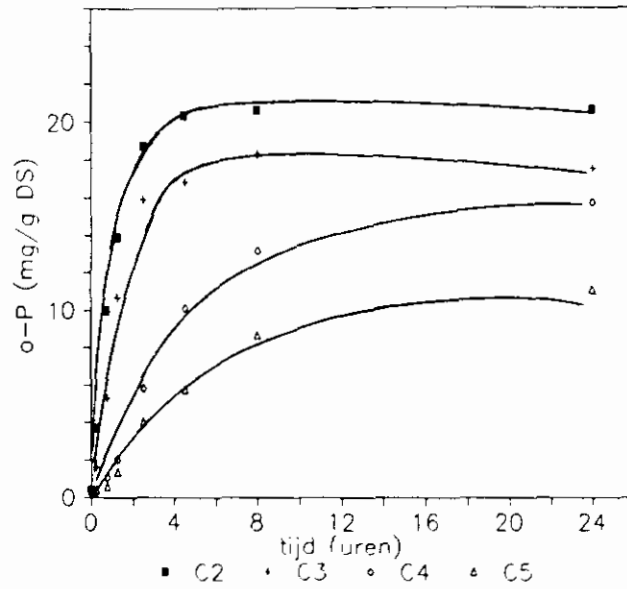
Tabel 6.1: Resultaten van primair-slibverzuring

HVT [d]	d.s. [g/l]	T [°C]	pH [-]	C <sub>2</sub> [mg CZV/	C <sub>2</sub> t/m C <sub>5</sub> g d.s.]
1	30	30	5,8	20	65
2	5	30	6,4	75	145
2	5-10	30	7,0	100	225
2	10	30	5,9	45	85
2	15	30	4,8	65	170
2	20	30	5,3	35	75
2	30	30	5,1	30	70
2	30	30	5,6	25	80
2	50	30	5,6	30	105
2	50	30	7,0	45	135
3	5	30	6,0	58	109
3	10	30	5,5	74	184
3	20	30	5,0	51	142

HVT = verblijftijd in de fermentor

Circa 80% van de C<sub>2</sub> t/m C<sub>5</sub>-productie uit primair slib bestaat uit azijnzuur en propionzuur. De overige 20% is boterzuur en valeriaanzuur.





Figuur 6.4. Fosfaatafgifte van biologisch defosfaterend slib in de tijd, bij dosering van verschillende lagere vetzuren. (dosering 50 mg CZV/g d.s.)

Tabel 6.2: Resultaten van de secundair-slibverzuring\*

HVT [d]	d.s. [g/l]	T [°C]	pH [-]	C <sub>2</sub> [mg	C <sub>2</sub> t/m C <sub>5</sub> CZV/ g d.s.]
2	5	30	7	30	60
2	5	30	6,5	10	15
2	5	30	6,8	15	20
3	15	30	6,5	11	18
4	10	30	6,4	11	23

HVT = verblijftijd in de fermentor

\* slibleeftijd 15-20 dagen

De behaalde vetzurenproducties uit primair slib variëren nogal sterk. Een gemiddelde C<sub>2</sub>-productie van 50 mg CZV/g d.s., betekent bij een primairslibgehalte van 40 g d.s./i.e. een productie van 2 g CZV/i.e.. Voor de gemiddelde C<sub>2</sub> t/m C<sub>5</sub>-productie betekent dit bij 125 mg CZV/g d.s. een productie van 5 g CZV/i.e..

De vetzurenproducties uit secundair slib afkomstig van de proefinstallatie variëren ook. De gemiddelde vetzuurproductie komt op 15 mg C<sub>2</sub> (CZV)/g d.s.. Uitgaande van een slibproductie in de proefinstallatie van 25 g d.s./i.e. betekent dit een productie van 0,4 g CZV/i.e. Voor de gemiddelde C<sub>2</sub> t/m C<sub>5</sub>-productie van 25 mg CZV/g.d.s. komt dit op 0,6 g CZV/i.e.

#### vrijkomen van ammonium-stikstof en fosfaat bij de primair-slibverzuring

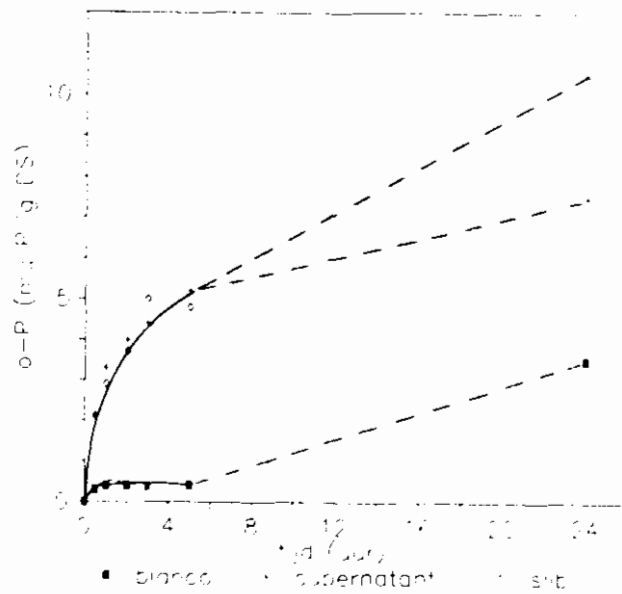
Bij de verschillende verzuringsexperimenten met primair slib is nagegaan hoeveel opgelost fosfaat en ammonium-stikstof vrijkomen. De gemiddelde concentratie aan ortho-P bedroeg 10 (± 5) mg P/l verzuurd primair slib, onafhankelijk van het drogestofgehalte. Daarmee bevat het vrijwel evenveel fosfaat als het ruwe influent. Het P-totaal-gehalte van primair slib bedroeg 9 mg P/g d.s..

De gemiddelde concentratie aan ammonium-stikstof bedroeg in het verzuurde primair slib 70 (± 20) mg N/l, ook onafhankelijk van het drogestofgehalte. Dit gehalte komt overeen met het N<sub>kl</sub>-gehalte van ruw afvalwater. Het gebonden stikstof gaat tijdens de verzuring in oplossing.

#### fosfaatafgifte bij dosering van lagere vetzuren, afkomstig van de verzuring van primair slib

In batch-experimenten is nagegaan hoe de fosfaatafgifte verloopt bij dosering van lagere vetzuren aan biologisch defosfaterend slib.

Figuur 6.4 geeft de fosfaatafgifte als functie van de tijd van een experiment waarbij de lagere vetzuren C<sub>2</sub> t/m C<sub>5</sub>, gescheiden, aan vijf parallel bedreven reactoren zijn gedoseerd. Hieruit blijkt dat naast acetaat, ook propionaat, en in mindere mate butyraat en valeriaat, de fosfaatafgifte stimuleren. De laatste twee vertonen een afgifte van resp.



Figuur 6.5. Fosfaatgifte van biologisch defosfaterend slib in de tijd, bij dosering van verzuurd primair slib en supernatant. (dosering ca. 200 mg CZV/g d.s., supernatant verkregen door het verzuurde slib te centrifugereren met 95 % afscheidingsrendement)

75 en 50% van de afgifte behaald met acetaat. Hieruit blijkt dat de overige lagere vetzuren ( $C_3$  t/m  $C_5$ ) moeten worden meegenomen in de vaststelling van haalbare vetzuurproducties uit primair slib.

Figuur 6.5 geeft de fosfaatafgifte als functie van de tijd voor een experiment waarbij enerzijds verzuurd primair slib als geheel is gedoseerd en anderzijds het supernatant, verkregen via centrifuge van het verzuurde primair slib, is toegevoegd. De fosfaatafgifte van het slib als geheel en het supernatant daarvan, gaan in eerste instantie gelijk op. Na langere tijd vertoont de reactor met slibdosering een hogere fosfaatafgifte. Bij korte verblijftijden in een strippertank is daarmee geen extra fosfaatafgifte te verwachten door dosering van het verzuurde slib als geheel. Bij het scheiden van het supernatant van het verzuurde slib, door bijv. een gravitatie-indikker, 'verdwijnen' er natuurlijk wel lagere vetzuren met het afgescheiden slib.

## 6.2 Experimenten met de continue verzuringsinstallatie

De continue verzuringsinstallatie voor primair slib, bestaande uit een fermentor en een gravitatie-indikker, maakt deel uit van de proefinstallatie. Volumina, afmetingen en ontwerpgrondslagen zijn vermeld in bijlage 3 en tabel 3.3. Nagegaan is welke lagere-vetzurenproducties haalbaar zijn in relatie tot de slibverblijftijd in de fermentor bij temperaturen van 20 en 33 °C. Het drogestofgehalte in de fermentor is 5 g/l en er vindt geen pH-buffering plaats. Tevens is nagegaan of de gravitatie-indikker bijdroeg in de lagere-vetzurenproductie. In tabel 6.3 en 6.4 staan de gemiddelde resultaten weergegeven.

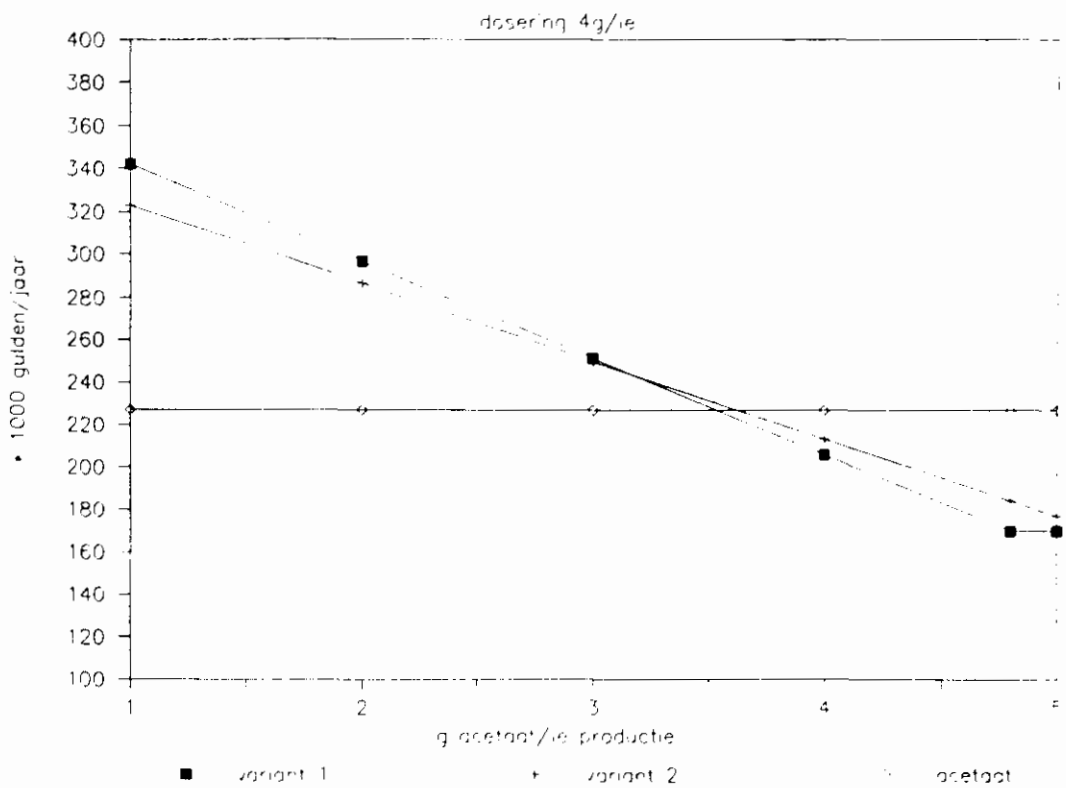
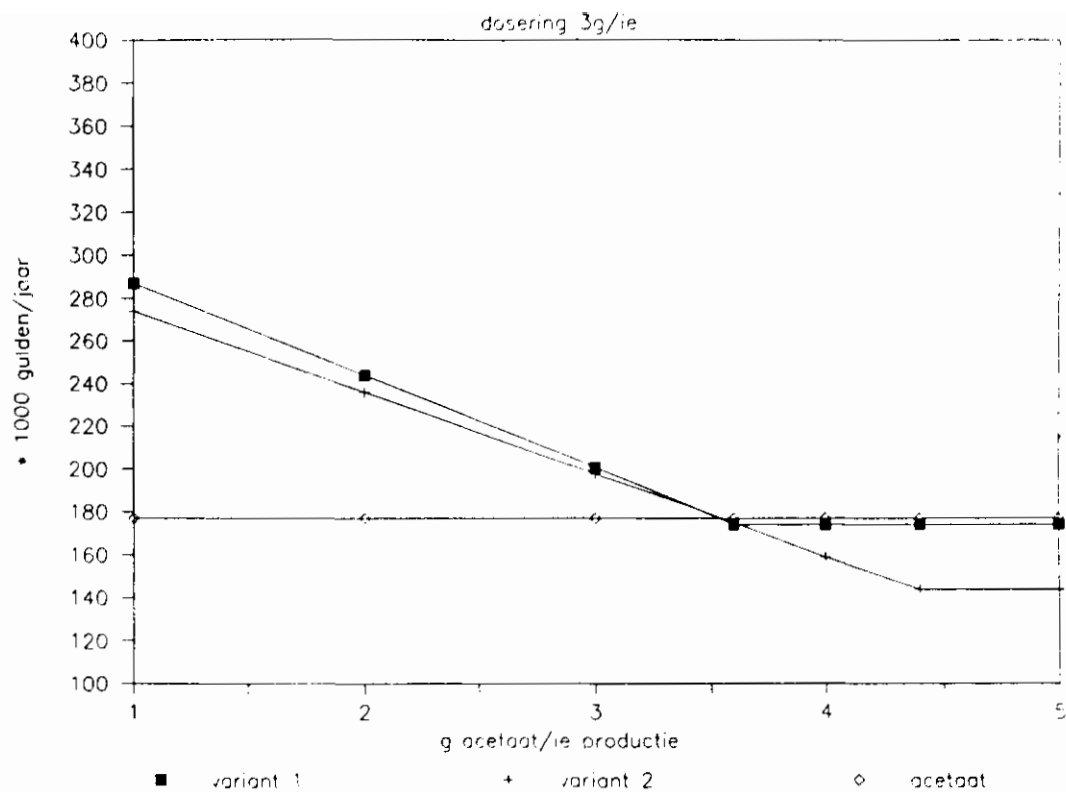
Bij 33°C resulteert een verlenging van de verblijftijd tot 3 dagen in een hogere lagere-vetzurenproductie uit primair slib. De lagere-vetzurenproductie bij de continue verzuringsinstallatie komt overeen met de producties die behaald zijn met de experimenten op laboratoriumschaal. De daling van de lagere-vetzurenproductie bij 4 dagen verblijftijd is mogelijk het gevolg van methaanvorming. De gravitatie-indikker draagt niet tot nauwelijks bij tot de productie van lagere vetzuren.

Tabel 6.3: Resultaten van de continue verzuringsinstallatie (Temp. fermentor = 33 °C)

fermentor				indikker		
HVT	pH	$C_2$	$C_2$ t/m $C_5$	T	$C_2$	$C_2$ t/m $C_5$
[d]	[-]	[mg CZV/g d.s.]	[mg CZV/g d.s.]	[°C]	[mg CZV/g d.s.]*	[mg CZV/g d.s.]*
1	7,0	54	61	-	60	67
2	7,0	67	91	19	67	93
3	6,8	74	126	20	61	103
4	6,6	51	96	20	41	80

HVT = verblijftijd fermentor

\* gebaseerd op het drogestofgehalte van de fermentor



**Figuur 6.6. Totale jaarlijkse kosten als functie van de acetateproductie, weergegeven voor benodigde doseringshoeveelheden van 3 en 4 g/i.e.. (variant 1 slib/waterscheiding d.m.v. een centrifuge, variant 2 slib/waterscheiding d.m.v. een indikker)**

Tabel 6.4: Resultaten van de continue verzuringsinstallatie (Temp. fermentor = 20 °C)

----- fermentor -----				
HVT [d]	pH [-]	C <sub>2</sub> [mg CZV/g d.s.]	C <sub>2</sub> t/m C <sub>5</sub> [mg CZV/g d.s.]	
0,8	7,1	33	39	
2	7,2	39	49	
3	7,4	28	46	
3	7,2	27	46	

HVT = verblijftijd fermentor

De productie bij 20 °C ligt op ongeveer 50% van de productie bij 33 °C.

### 6.3 Kostenvergelijking acetaatbronnen

In een aparte studie<sup>1</sup> zijn de kosten van inkoop van technisch acetaat vergeleken met de kosten van lagere-vetzuur-(acetaat)productie via de verzuring van primair slib. De uitgangspunten voor deze analyse zijn geformuleerd in tabel 6.4.

De kosten van de acetaatinkoop enerzijds en de verzuring van primair slib anderzijds zijn vergeleken voor een rwzi van 100.000 i.e. De totale jaarlijkse kosten voor de primair slibverzuring als functie van de acetaatproductie voor een benodigde dosering van 3 en 4 g/i.e. staan weergegeven in figuur 6.6. Bij de berekening is ervan uitgegaan dat wanneer de productie via slibverzuring tekortschiet een aanvullende acetaatdosering noodzakelijk is.

Tabel 6.4 Uitgangspunten bij de kostenanalyse van de primair-slibverzuring

benodigde vetzuren in strippertank	3-4 g/i.e.
verblijftijd fermentor	1 dag
temperatuur fermentor	33 °C
drogestofgehalte fermentor	20 g/l
rendement slib/waterscheiding	84 % (centrifuge)
	68 % (indikker)

Op grond van de kostenanalyse blijkt dat verzuring van primair slib een alternatief kan zijn voor dosering van technisch acetaat bij een benodigde dosering van 3 à 4 g/i.e., indien de productie  $\geq$  4 g/i.e. is.

<sup>1</sup> 'Kostenvergelijking acetaatbronnen bij biologische defosfatering'. Rapport DHV, 1990.

#### 6.4 Conclusies

Uit het verzuringsonderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bij de verzuring van primair slib ( $T = 33^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{HVT} = 2 \text{ d}$ ) kunnen  $\text{C}_2$  resp.  $\text{C}_2$  t/m  $\text{C}_5$ -producties behaald worden van 2 resp. 5 g CZV/i.e.. Ca. 50% van deze productie wordt bereikt bij een verzuringstemperatuur van  $20^{\circ}\text{C}$ . De  $\text{C}_2$ - en  $\text{C}_2$  t/m  $\text{C}_5$ -producties bij verzuring van secundair slib ( $30^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{HVT} 2 \text{ d}$ , slibleeftijd 15 à 20 dagen) zijn resp. 0,4 en 0,6 g CZV/i.e..
- Hogere vetzuurproducties uit primair slib zijn haalbaar bij buffering van het slib tot pH 7 en verlenging van de verblijftijd in de fermentor tot 3 dagen.
- Bij dosering van supernatant afkomstig van de primairslib-verzuring aan de deelstroom, komen de fosfaat- en de stikstofbelasting overeen met die bij de dosering van een gelijk volume afvalwater.
- Naast acetaat kunnen ook andere lagere vetzuren, zoals propionzuur, boterzuur en valerianaanzuur, vrijkomend bij de verzuring van primair slib, bijdragen in de fosfaatafgifte van biologisch defosfaterend slib.
- Uit het oogpunt van fosfaat-afgiftesnelheid is er bij korte verblijftijden in de strippertank, geen merkbaar verschil tussen dosering van verzuurd primair slib als geheel, of dosering van het afgescheiden supernatant daarvan.

#### 6.5 Evaluatie

De kostenanalyse heeft uitgewezen dat primair-slibverzuring een alternatief kan zijn voor dosering van azijnzuur/acetaat aan de strippertank. Naast het kostentechnisch aspect moet bedacht worden dat gebruik van primair slib geen extra zoutdosering in de vorm van bijvoorbeeld natrium met zich meebrengt.

Ondanks het feit dat de variatie vrij groot is, ligt de productie van lagere vetzuren uit primair slib in dezelfde orde van grootte als de benodigde hoeveelheid vetzuren bij biologische defosfatering in een deelstroom, waarbij de strippertank zo gedimensioneerd is dat een stabiele, vergaande fosfaatverwijdering verkregen wordt.

De productie van lagere vetzuren zal naast factoren als temperatuur, pH, verblijftijd en eventueel drogestofgehalte ook afhangen van de samenstelling van het primair slib zelf. Dit laatste wordt ondermeer bepaald door het industriële aandeel in het afvalwater en dimensionering rioolstelsel.

Ook de concentratie aan droge stof waarmee het primaire slib aan de voorbezinktank onttrokken wordt, speelt een rol bij een (economisch) ontwerp van een slibverzuring. Een zo hoog mogelijk drogestofgehalte, met als gevolg een geringe volumestroom met een hoge concentratie aan lagere vetzuren, is uit oogpunt van dimensionering en verwarming van de fermentor en dimensionering van de strippertank gunstig.

Bij acetaat/azijnzuur-dosering in 'pure' vorm is acetaat/azijnzuur de enige component. Bij slibverzuring wordt naast azijnzuur ook propionzuur en in mindere mate boterzuur en valeriaanzuur gevormd. De C<sub>3</sub> t/m C<sub>5</sub>-componenten kunnen echter ook, direct of indirect, dienen als koolstofbron voor fosfaatafgifte. Deze componenten maken daarom deel uit van de vetzuurproductie ten behoeve van fosfaatafgifte. Omdat C<sub>4</sub> en C<sub>5</sub> een lagere fosfaatafgifte vertonen dan C<sub>2</sub> en C<sub>3</sub>, zou voor deze twee vetzuren een bepaalde wegingsfactor kunnen gelden.

Uitgaande van de behaalde producties met de continue verzuuringsinstallatie en de benodigde vetzuurdosering in de strippertank, zal het rendement van de slib/waterscheiding van het verzuurde slib hoog moeten zijn. Naast centrifuges valt ook te denken aan verhoging van het afscheidingsrendement in een gravitatie-indikker door uitwassen van vetzuren via recirculatie of elutriatie.

Omdat de vetzuren afkomstig van de slibverzuring zich in een minder geconcentreerde volumestroom bevinden dan bij een dosering in pure vorm, moet bij de dimensionering van de deelstroom rekening gehouden worden met dit extra debiet.

Als gevolg van de vetzuurontrekking aan het primaire slib zal een verdere slibbehandeling via een slibgisting een verminderde gasopbrengst geven. Uitgaande van een biogasproductie van 20 l/i.e. bij de vergisting van primair slib, betekent 5 g CZV/i.e. aan vetzuurproductie én dosering aan de strippertank, een vermindering van de gasopbrengst met ongeveer 15% (2,55 g CZV-afbraak per liter geproduceerd methaan, biogas bestaat uit 70% methaan en 30% kooldioxide<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> 'Optimalistie van de gistinggasproductie'. rapport STORA, 1985.



## 7 INTERACTIE VAN DEELSTROOM, KORRELREACTOR EN SLIBVERZURING

### 7.1 Interactie van deelstroom en slibverzuring

#### uitvoering

In de laatste fase van het onderzoek is de primair slibverzuring gekoppeld aan het actief-slibproces. De dosering van technisch acetaat aan de strippertank is vervangen door een dosering van lagere vetzuren, verkregen via verzuring van primair slib. Het primair slib is afkomstig van de voorbezinktank van de proefinstallatie.

Bij de koppeling is uitgegaan van de vetzuurproductie en bedrijfsvoering van de fermentor op dat moment en van de procescondities van de deelstroom tijdens periode 3A en 3B (zie ook hoofdstuk 4). De ontwerpgrondslagen waar de interactie tijdens deze onderzoeksfase op gebaseerd is, staan vermeld in tabel 7.1.

Tabel 7.1 Grondslagen bij de interactie van deelstroom en slibverzuring

---

algemeen	
aanvoer afvalwater	150 l/i.e.
gehalte primair slib	40 g d.s./i.e.
debiet proefinstallatie (dwa)	630 l/d
verzuring	
aanvoer primair slib	168 g d.s./d
temperatuur fermentor	32 °C
verblijftijd fermentor	2 d
drogestofgehalte fermentor	5 g/l
C <sub>2</sub> t/m C <sub>5</sub> -productie	ca. 100 mg CZV/g d.s.
rendement slib/waterscheiding *	ca.90 %
strippertank **	
slibarbeidsfactor	0,50 /d ***
d.s. gehalte retourslib	7 g/l
verblijftijd strippertank	3,5 h
acetaat (C <sub>2</sub> t/m C <sub>5</sub> )-dosering	10-20 mg/g d.s.

---

\* Naast indikking werd het verzuurde slib uitgewassen met voorbezonden influent.

\*\* procescondities periode 3A/3B

\*\*\* Dit betekent een debiet naar de strippertank van 11 l/h (ca. 20 % van het totale retourslibdebiet).

Aangezien de vetzuren afkomstig van de slibverzuring in een minder geconcentreerde vorm worden gedoseerd dan bij een dosering van (technisch) acetaat moet hiervoor extra verblijftijd in de strippertank worden berekend. Het extra debiet (30 l/d) resulteert in een gemiddelde verblijftijd van 5 uur in de strippertank.

In tegenstelling tot periode 3A/3B is de anaërobe zone in de hoofdstroom uitgeschakeld.

## resultaten

De proefinstallatie is ruim 3 maanden volgens deze procescondities bedreven. De resultaten staan vermeld in tabel 7.2. De overige resultaten staan vermeld in bijlage 6.

Tabel 7.2: Resultaten van de interactie van deelstroom en slibverzuring (concentraties in mg/l)

periode	influent	effluent		supernatant	
	t-P	o-P	t-P	o-P	t-P
3A	8,4	0,1	0,4	17,4	18,8
3B	6,9	0,1	0,2	45,9	47,5
10	6,3	0,4	1,0	25,0	25,6

De gemiddelde  $C_2$  t/m  $C_5$ -productie van de fermentor was 105 mg CZV/g d.s. primair slib, waarvan 45 mg CZV/g d.s. aan  $C_2$ . Dit betekent een dosering van 10 mg CZV/g d.s. aan de strippertank. De totale hoeveelheid CZV die afkomstig was van de primair-slibverzuring en in de strippertank gedoseerd werd, was gemiddeld 740 mg/g d.s.

In periode 10 is evenals in periode 3A en 3B sprake van een hoog rendement op basis van ortho-P-effluent. De fosfaatafgifte in periode 10 bevindt zich tussen de afgifte in periode 3A en 3B, terwijl de dosering aan lagere vetzuren overeenkomt met de dosering in periode 3A. Een mogelijkheid is dat naast lagere vetzuren, het overige CZV biodegradeerbaar materiaal bevat, bijvoorbeeld het BZV van het voorbezonden influent, waarmee de fosfaatafgifte in de strippertank gestimuleerd wordt.

## 7.2 Interactie van deelstroom en de korrelreactor

### uitvoering en resultaten

Tijdens het gehele onderzoek met de korrelreactor heeft het supernatant van de gravitatie-indikker van de deelstroom gediend als influent voor de korrelreactor. Zie hoofdstuk 5. Het effluent van de korrelreactor werd echter niet teruggevoerd naar de actief-slibinstallatie. Het onderzoek naar de optimalisatie van de deelstroom werd zodoende niet (negatief) beïnvloed.

Bij een rendement van de korrelreactor van 75% komt 25% van het fosfaat aanwezig in het supernatant van de deelstroom weer terug in het actief-slibproces. Het grootste deel van dit fosfaat is in de vorm van onopgelost fosfaat; carry-over. Afhankelijk van de pH in de verschillende delen van de actief-slibinstallatie zal deze carry-over (gedeeltelijk) weer in oplossing gaan. Bij een pH < 7,5 zal naar verwachting vrijwel alle fosfaat in oplossing gaan. Het opgeloste fosfaat kan dan weer als deel van het influent worden gezien

en zal (weer) biologisch opgenomen c.g. afgegeven moeten worden in resp. de hoofdstroom en deelstroom. Tijdens periode 7A t/m 7D, waarin extra fosfaatdoserings aan het influent plaatsvond, bleek dat 50% extra fosfaat aan het influent, bij gegeven procescondities van de deelstroom, geen aanleiding gaf tot een verhoging van het fosfaat-effluentgehalte. Onder deze procescondities zou een reactorrendement van 75% geen vergroting van de deelstroom tot gevolg hebben gehad.

### 7.3 Conclusie

Uit de onderzoeksperiode waarbij de slibverzuring gekoppeld is aan deelstroom kan worden geconcludeerd:

- Het is mogelijk om met de vetzuren verkregen uit de primair-slibverzuring de dosering van (technisch) acetaat aan de strippertank te vervangen én daarmee stabiele, lage fosfaat-effluentgehalten te verkrijgen binnen het proces van biologische defosfatering in een deelstroom. Een voorwaarde daarbij is dat het afscheidingsrendement van de slibverzuring hoog (>90%) is.

Naast onderzoek naar en optimalisatie van de drie afzonderlijke processen, te weten biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom, calciumfosfaat-kristallisatie in een fosfaatrijke stroom met een korrelreactor en primair-slibverzuring, was het doel van dit onderzoeksproject de integratie van deze drie processen in één zuiveringsproces. Dit alles onder de voorwaarde dat het onderzoek zoveel mogelijk onder Nederlandse praktijkomstandigheden zou worden verricht en waarbij het onderzoek aan de korrelreactor en de primair-slibverzuring met respectievelijk supernatant afkomstig van de deelstroom en primair slib afkomstig van de voorbezinktank van de proefinstallatie, uitgevoerd zou worden.

Aan de Nederlandse praktijkomstandigheden is binnen dit onderzoek zoveel mogelijk tegemoet gekomen door de proefinstallatie te bedrijven met huishoudelijk afvalwater van de praktijkinstallatie Bennekom, waarbij het aanvoerregiem van het afvalwater grotendeels overeenkwam met het regiem van deze praktijkinstallatie. De gemiddelde temperatuur van het actief-slibproces lag gedurende het gehele onderzoek boven de 14°C. Incidenteel was sprake van een gemiddelde weektemperatuur van 10 tot 14°C.

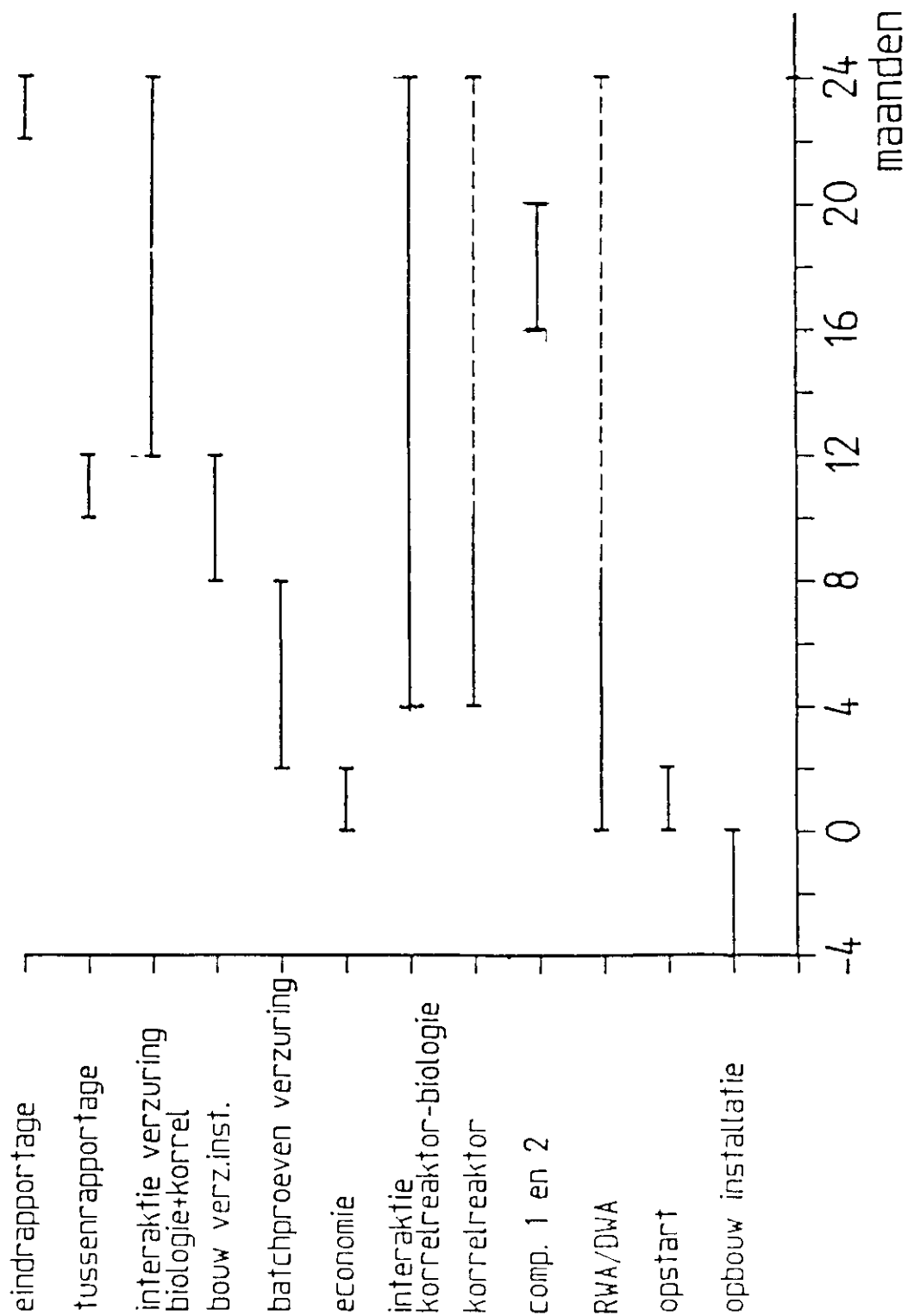
Het onderzoek heeft voor de drie afzonderlijke processen, binnen redelijke grenzen, de mogelijkheden c.q. ontwerpgrondslagen kunnen aangeven om te komen tot respectievelijk een vergaande P-verwijdering in een deelstroomproces, een maximaal P-rendement met de korrelreactor en een voldoende lagere-veturenproductie uit de primair-slibverzuring. Hiervoor wordt verwezen naar de paragrafen 'conclusies' en 'evaluatie' van hoofdstuk 4, 5 en 6 waar dit voor de afzonderlijke processen beschreven is.

Daarnaast is binnen dit onderzoek gebleken dat het proces als geheel, de beoogde vergaande P-verwijdering kan bereiken. Zie ook hoofdstuk 7. Het biologisch P-rendement, betrokken op ortho-fosfaat-effluentconcentratie is zeer hoog en stabiel. Het totaalrendement wordt echter bij zeer stringente effluenteisen grotendeels afhankelijk van de verwijdering c.q. uitspoeling van zwevende stof.

Daarnaast zal met de strengere N-totaal-effluent eis en het daarmee lagere nitraatgehalte in het effluent, fosfaatafgifte in de nabezinktank eerder kunnen optreden.

Zowel de uitspoeling van zwevende stof als de fosfaatafgifte in de nabezinktank bij een laag nitraatgehalte, geven aan dat voldoende aandacht besteed moet worden aan het nabezinkproces bij zuiveringsinstallaties uitgerust met biologisch nutriëntenverwijdering.

Bijlage 1: Tijdsfasering onderzoek





### Bijlage 3: Volumina, afmetingen proefinstallatie

#### **volumina, afmetingen, ect. biologisch gedeelte**

voorbezinktank	- volume	0,435 m <sup>3</sup>
	- oppervlak	0,71 m <sup>2</sup>
	- roerwerk	0,8 rpm
selector	- volume	0,025 m <sup>3</sup> (4 comp.)
	- roerders	90 rpm (4 stuks)
aëratietank	- volume	1,1 m <sup>3</sup> (10 comp.)
	- roerders	50 rpm (6 stuks)
nabezinktank	- volume	0,460 m <sup>3</sup>
	- oppervlak	0,58 m <sup>2</sup>
	- roerwerk	0,8 rpm
strippertank	- volume	0,150 .....0,025 m <sup>3</sup>
	- roerder	60 rpm
indikker	- volume	0,155 m <sup>3</sup>
	- oppervlak	0,38 m <sup>2</sup>
	- roerwerk	0,3 rpm
acetaatdosering	- chemicalie	NaCH <sub>3</sub> COO.8H <sub>2</sub> O

#### **volumina, afmetingen, ect. korrelreactorgedeelte**

korrelreactor (2x)	- hoogte	3,0 m
	- diameter	0,03 en 0,045 m
zand	- diameter	0,2 - 0,6 mm (gemiddeld)
snelfilter	- hoogte	1,4 m
	- diameter	0,20 m
gevuld met:	- 0,7 m filterzand	(0,7 - 1,2 mm)
	- 0,7 m anthraciet	(1,4 - 2,0 mm)
calciumdosering	- chemicalie	CaCl <sub>2</sub> .3H <sub>2</sub> O
loogdosering	- chemicalie	NaOH

#### **volumina, afmetingen, ect. verzuringsgedeelte**

fermentor	- volume	0,033...0,165 m <sup>3</sup>
	- roerder	42 rpm
	- verwarming	20...40 °C
gravitatie-indikker	- oppervlak	0,28 m <sup>2</sup>
	- volume	0,185 m <sup>3</sup>
	- roerwerk	0,38 rpm

Bijlage 4: Bemonsteringsschema

biologisch gedeelte

	debiet	CZV	BZV <sub>5</sub>	lagere vetzuren	N <sub>kj</sub>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P totaal	P ortho	ds (zs)	pH	temp.	P-activiteit
influent ruw	-	Vi	Vi	Vi	Vi	-	-	-	Vi	-	-	-	-	-
influent voorbezonken	C	V7	Vi	Vi	Vi	V2	V2	V2	V7	V2	-	-	-	-
effluent nabezinker	C	V7	-	-	-	V2	V2	V2	V7	V2	-	-	-	-
effluent indikker	C	V7	-	-	-	V2	V2	V2	V7	V2	-	-	-	-
slib aëratietank	-	-	-	-	-	Si	Si	Si	Si	Si	Si	-	S3	Si
retourslib	C	-	-	-	-	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
slib indikker	C	-	-	-	-	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

verzuringsgedeelte

	debiet	lagere vetzuren	ds	temp.	pH
primair slib	Si	Si	Si	-	Si
slib verzuringstank	-	S3	S3	S3	S3
supernatant indikker	-	S3	-	S3	-
slib indikker	Si	-	-	-	-



Bijlage 4 (vervolg)

korrelreactorgedeelte

	debiet	CZV	NH <sub>4</sub> -N	P-totaal	P ortho	Ca	pH	temp.	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	korrelsamenstelling	Mg
influent korrelreactor	C	Si	Si	-	Sx	Sx	S1	-	Si	-	Sx
effluent korrelreactor	S1	-	-	-	Sx	Sx	C	-	-	-	Sx
recirculaat	C	-	-	-	Sx	Sx	C	-	Si	-	Sx
calciumoplossing	C	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-
korrels	-	-	-	Si	-	Si	-	-	Si	Si	Si

Verklaring tekens:

biologisch gedeelte

- V7 = verzamelmonster per week, volumeproportioneel
- V2 = verzamelmonster per 2 of 3 dagen, volumeproportioneel
- S1 = steekmonster, 1x per week
- S3 = steekmonster, 3x per week
- Si = steekmonster, incidenteel
- = niet bepaald
- Vi = verzamelmonster per 2 of 3 dagen, volume proportioneel, incidenteel

verzuringsgedeelte

- S3 = steekmonster, 3x per week
- Si = steekmonster, incidenteel

korrelreactorgedeelte

- C = continu bepaald
- S1 = steekmonster, 1x per procesvoering
- Si = steekmonster, incidenteel
- Sx = steekmonster, aantal malen per procesvoering

## Bijlage 5: Bepaling Acinetobacteractiviteit

Dit is een leidraad voor het uitvoeren van een fosfaatafgifte-experiment ter bepaling van de acinetobacteractiviteit van een actiefslib.

### Principe:

Deze activiteit wordt beoordeeld aan de hand van de hoeveelheid ortho-fosfaat die het slib aan de waterfase afstaat na het doseren van een overmaat acetaat-CZV in een onbeluchte periode.

### Benodigheden:

- 2 proefvaten (1 à 2 liter) met mogelijkheid tot mengen;
- beluchtingspompje met beluchtingselement, eventueel een zuurstofmeter;
- materiaal voor monstername (pipet, trechter, zwartband vouwfilters, monsterbuizen, stopwatch, zwavelzuur (18 M));
- geconcentreerde Na-acetaat-oplossing;
- analyse-apparatuur ter bepaling van ortho-fosfaat volgens NEN 6479 (fotometrisch) of NEN 6663 (autoanalyser), en ter bepaling van het drogestofgehalte van het slib.

Het experiment dient uitgevoerd te worden in een periode dat de rwzi storingsvrij functioneert, bij voorkeur onder dwa-omstandigheden.

1. Vul het proefvat voor 3/4 met actiefslib uit de beluchtingsruimte nabij de overloop naar de nabezinkruimte. Belucht het slib circa 15 minuten voldoende (zuurstofconcentratie groter dan 3 mg/l).

2. Doseer na het beluchten het acetaat; ongeveer 150 mg CZV/g d.s. (schat hiertoe vooraf het gehalte aan droge stof). Roer het slib zo dat er voldoende menging optreedt maar zo min mogelijk luchtinslag.

3. Neem monsters op:  $t = 0$  (na het beluchten, voordat acetaat wordt gedoseerd), 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 en 180 (minuten). Filtreer de monsters direct en bepaal het ortho-fosfaat in het filtraat; wanneer de bepaling later uitgevoerd wordt, dient het filtraat geconserveerd te worden met enkele druppels zwavelzuur.

4. Bepaal het drogestofgehalte in het proefvat.

### Uitwerking:

Bereken de ortho-P-afgifte (van  $t = 0$  tot  $t = 180$ ) uitgedrukt als mg P/g d.s. en zet de punten grafisch uit. Dit is de acinetobacteractiviteit. In figuur 3 zijn als voorbeeld drie mogelijke P-afgifte curven weergegeven.

Bijlage 6: Resultaten biologisch gedeelte

	CZV	NH <sub>4</sub> -N	t-P	o-P	NO <sub>x</sub> -N	DS	SVI	Temp
	-----mg/l-----					g/l	ml/g	°C
1A influent	402	56,4	9,1	7,5	0	-	-	-
1A effluent	51	0,8	6,3	6,2	21,1	<0,03	-	-
1A supernatant	45	1,5	5,0	4,9	3,9	<0,03	-	-
1A slib						3,1	80	15,0
1B influent	430	47,2	7,6	5,8	0	-	-	-
1B effluent	70	6,5	2,4	2,3	11,9	<0,03	-	-
1B supernatant	62	6,3	10,6	10,5	1,0	<0,03	-	-
1B slib						3,5	71	16,4
2A influent	387	51,5	7,3	6,3	0	-	-	-
2A effluent	49	9,1	0,4	0,1	13,3	<0,03	-	-
2A supernatant	72	12,9	49,0	48,9	0,8	<0,03	-	-
2A slib						3,8	73	16,4
2B influent	418	50,4	9,2	6,6	0	-	-	-
2B effluent	49	10,3	0,5	0,2	10,1	<0,03	-	-
2B supernatant	56	11,4	26,0	25,8	2,5	<0,03	-	-
2B slib						3,4	76	19,3
2C influent	253	31,0	5,2	-	0	-	-	-
2C effluent	43	9,4	0,3	0,1	5,2	<0,03	-	-
2C supernatant	51	4,8	27,6	25,0	3,5	<0,03	-	-
2C slib						3,1	74	19,8
3A influent	327	46,3	8,4	-	0	-	-	-
3A effluent	41	1,1	0,4	<0,1	9,4	<0,03	-	-
3A supernatant	47	1,5	18,8	17,4	1,6	<0,03	-	-
3A slib						3,1	70	20,4
3B influent	341	42,4	6,9	-	0	-	-	-
3B effluent	43	0,7	0,2	<0,1	4,4	<0,03	-	-
3B supernatant	48	2,6	47,5	45,9	0,6	<0,03	-	-
3B slib						3,5	74	22,0
3C influent	289	40,9	6,0	-	0	-	-	-
3C effluent	43	3,4	1,0	0,3	9,7	-	-	-
3C supernatant	55	9,2	45,0	47,8	1,2	-	-	-
3C slib						3,7	106	16,9
4 influent	314	43,3	6,2	-	0	-	-	-
4 effluent	33	1,9	0,8	0,2	12,5	<0,03	-	-
4 supernatant	89	7,8	76,7	75,3	0,1	<0,03	-	-
4 slib						4,2	117	14,4
5 influent	396	55,3	7,7	-	0	-	-	-
5 effluent	38	1,4	0,8	0,1	15,7	-	-	-
5 supernatant	76	17,2	29,0	23,1	0,6	-	-	-
5 slib						3,8	118	16,8

- = niet bepaald

Bijlage 6 (vervolg)

	CZV	NH <sub>4</sub> -N	t-P	o-P	NO <sub>x</sub> -N	DS	SVI	Temp
	-----mg/l-----					g/l	ml/g	°C
6	influent	461	56,9	8,7	-	0	-	-
	effluent	22	0,1	0,8	0,1	18,7	<0,03	-
	supernatant	25	7,2	39,0	38,4	0,4	<0,03	-
	slib						4,6	117
7A	influent	462	57,0	10,5	-	0	-	-
	effluent	37	1,8	0,9	0,2	18,6	-	-
	supernatant	88	7,7	51,3	50,3	1,1	-	-
	slib						4,6	113
7B	influent	399	49,2	11,4	-	0	-	-
	effluent	41	3,1	0,9	0,2	11,7	-	-
	supernatant	59	11,0	64,1	60,7	0,4	-	-
	slib						4,7	114
7C	influent	325	47,0	11,2	-	0	-	-
	effluent	57	1,3	1,3	0,7	9,0	-	-
	supernatant	55	4,1	74,0	68,2	1,5	-	-
	slib						4,0	102
7D	influent	292	34,1	14,6	-	0	-	-
	effluent	46	2,2	4,2	3,6	8,9	-	-
	supernatant	54	9,2	85,5	84,5	0,8	-	-
	slib						3,9	90
8	influent	336	43,3	6,0	-	0	-	-
	effluent	47	0,2	1,3	0,7	11,4	-	-
	supernatant	45	2,8	45,5	44,4	0,6	-	-
	slib						3,1	96
9A	influent	350	53,6	7,0	-	0	-	-
	effluent	37	0,8	1,6	0,5	20,3	-	-
	supernatant	45	0,6	42,3	41,6	0,4	-	-
	slib						4,1	97
9B	influent	277	37,6	5,6	-	0	-	-
	effluent	34	0,1	0,9	0,1	13,6	-	-
	supernatant	42	0,9	40,2	39,5	0,6	-	-
	slib						4,0	104
10	influent	329	42,1	6,3	-	0	-	-
	effluent	41	2,7	1,0	0,4	17,6	-	-
	supernatant	60	14,2	25,6	25,0	1,4	-	-
	slib						4,3	100

- = niet bepaald

## Bijlage 7: Berekeningen

### afkortingen korrelreactoronderzoek

[P]inf	= conc. fosfaat in influent korrelreactor
[P]rec,o/f	= conc. fosfaat in recirculaat resp. gefiltreerd (o) en gefiltreerd (f). Dit is [P]eff,o/f (conc. fosfaat in effluent korrelreactor) of [P]snel,o/f (conc. fosfaat in effluent snelfilter)
[P]ingaand	= conc. fosfaat onderin de reactor
[Ca]inf	= conc. calcium in influent korrelreactor
[Ca]CaCl2	= conc. calcium in calciumchloride-oplossing
$\Phi_k$	= diameter korrelreactor
$\Phi_{snel}$	= diameter snelfilter
M <sub>Ca</sub>	= molmassa calcium
M <sub>P</sub>	= molmassa fosfaat
Q <sub>inf</sub>	= debiet influent
Q <sub>rec</sub>	= debiet recirculaat
Q <sub>CaCl2</sub>	= debiet calciumchloride-oplossing
Q <sub>NaOH</sub>	= debiet natronloog-oplossing
E korrel	= rendement korrelreactor
E totaal	= rendement totaal
E cyclus	= cycluserendement
f korrel	= fluïdisatiesnelheid in korrelreactor
f snel	= filtratiesnelheid in snelfilter

### berekeningen, formules korrelreactoronderzoek

$$\text{recirculatie factor} = \Phi_{\text{rec}} / \Phi_{\text{inf}}$$

$$\text{Ca/P verhouding} =$$

$$(((Q_{\text{inf}} \cdot [Ca]_{\text{inf}}) + (Q_{\text{CaCl}_2} \cdot [Ca]_{\text{CaCl}_2})) / M_{\text{Ca}}) / ((Q_{\text{inf}} \cdot [P]_{\text{inf}}) / M_{\text{P}})$$

$$[P]_{\text{ingaand}} =$$

$$((Q_{\text{inf}} \cdot [P]_{\text{inf}}) + (Q_{\text{rec}} \cdot [P]_{\text{rec},f})) / (Q_{\text{inf}} + Q_{\text{rec}} + Q_{\text{CaCl}_2} + Q_{\text{NaOH}})$$

$$f_{\text{korrel}} = (Q_{\text{inf}} + Q_{\text{rec}} + Q_{\text{CaCl}_2} + Q_{\text{NaOH}}) / (0,25 \cdot \pi \cdot (\Phi_{\text{korrel}})^2)$$

$$f_{\text{snel}} = (Q_{\text{inf}} + Q_{\text{rec}} + Q_{\text{CaCl}_2} + Q_{\text{NaOH}}) / (0,25 \cdot \pi \cdot (\Phi_{\text{snel}})^2)$$

$$E_{\text{totaal}} =$$

$$(1 - ((Q_{\text{inf}} + Q_{\text{CaCl}_2} + Q_{\text{NaOH}}) \cdot [P]_{\text{snel},o}) / (Q_{\text{inf}} \cdot [P]_{\text{inf}})) \cdot 100\%$$

$$E_{\text{cyclus}} =$$

$$(1 - ((Q_{\text{inf}} + Q_{\text{rec}} + Q_{\text{CaCl}_2} + Q_{\text{NaOH}}) \cdot [P]_{\text{eff},o}) / ((Q_{\text{inf}} \cdot [P]_{\text{inf}}) + (Q_{\text{rec}} \cdot [P]_{\text{rec},f}))) \cdot 100\%$$

$$E_{\text{reactor}} =$$

$$(1 - ((Q_{\text{inf}} + Q_{\text{CaCl}_2} + Q_{\text{NaOH}}) \cdot [P]_{\text{eff},o}) / (Q_{\text{inf}} \cdot [P]_{\text{inf}})) \cdot 100\%$$

Bijlage 7 (vervolg)

**rendementsberekeningen biologisch gedeelte**

CZV:  $((\text{CZV}_{\text{inf,tot.}} - \text{CZV}_{\text{eff,tot.}}) / \text{CZV}_{\text{inf,tot.}}) * 100\%$

N-nitr.:  $((\text{NH}_4\text{-N}_{\text{inf}} - \text{NH}_4\text{-N}_{\text{eff}}) / \text{NH}_4\text{-N}_{\text{inf}}) * 100\%$

N-totaal:  $((\text{NH}_4\text{-N}_{\text{inf}} - \text{NH}_4\text{-N}_{\text{eff}} - \text{NO}_x\text{-N}_{\text{eff}}) / \text{NH}_4\text{-N}_{\text{eff}}) * 100\%$

P-biol.:  $((\text{t-P}_{\text{inf}} - \text{o-P}_{\text{eff}}) / \text{t-P}_{\text{inf}}) * 100\%$

P-totaal:  $((\text{t-P}_{\text{inf}} - \text{t-P}_{\text{eff}}) / \text{t-P}_{\text{inf}}) * 100\%$

## Bijlage 8: Begrippen en definities

### begrippen en definities onderzoek biologisch gedeelte en slibverzuring

**hoofdstroomproces.** Uitvoeringsvorm van biologische defosfatering waarbij al het actiefslib de anaërobe zone passeert en het fosfaat via het spuislib de installatie verlaat.

**deelstroomproces.** Uitvoeringsvorm van biologische defosfatering waarbij een deel van het actiefslib de anaërobe zone passeert en het fosfaat (grotendeels) via een geconcentreerde deelstroom (supernatant) het actief-slibproces verlaat.

**strippen/strippertank.** Onderdeel van een deelstroomproces waarbij, al of niet onder toevoeging van biodegradeerbaar materiaal, (een deel van) het in het slib opgeslagen polyfosfaat weer in oplossing gaat.

In de **anaërobe zone/ruimte** verkeert het actiefslib onder omstandigheden waarbij geen zuurstof en geen nitraat aanwezig zijn. In de **anoxische zone/ruimte** verkeert het actiefslib onder omstandigheden waarbij geen zuurstof maar wel nitraat aanwezig is. In de **aërobe zone/ruimte** verkeert het actiefslib onder omstandigheden waarbij zuurstof aanwezig is en al dan niet nitraat.

**ortho-fosfaat (o-P, P-ortho, ortho-P).** Opgelost fosfaat, uitgedrukt in P.

**totaal-fosfaat (t-P, P-totaal, totaal-P).** De som van opgelost fosfaat en gebonden fosfor, uitgedrukt in P.

**P-afgifte/opname.** Afgifte resp. opname van fosfaat door het slib, uitgedrukt in mg P/g d.s., tijdens anaërobe resp. aërobe omstandigheden.

**P-totaal rendement.** Fosfaatverwijdering, uitgedrukt in procenten, betrokken op t-P-influent en t-P-effluent. Dit rendement is inclusief de uitspoeling van zwevende stof.

**P-biologisch rendement.** Fosfaatverwijdering, uitgedrukt in procenten, betrokken op t-P van het afvalwater dat het actief-slibproces ingaat en o-P-effluent.

**lagere vetzuren, laagmoleculaire vetzuren, vetzuren, C<sub>2</sub> t/m C<sub>5</sub>.** De som van acetaat (C<sub>2</sub>), propionaat (C<sub>3</sub>), butyraat (C<sub>4</sub>) en valeriaat (C<sub>5</sub>), uitgedrukt in mg CZV.

begrippen en definities onderzoek korrelreactor

**Influent korrelreactor** is het overloopwater dat afkomstig is van de gravitatie-indikker van de deelstroom, en dat de korrelreactor ingevoerd wordt.  $[P]_{inf}$  is de concentratie fosfaat in het influent van de korrelreactor.  $[P]_{ingand}$  is de concentratie fosfaat onderin de reactor. Hierbij is dus rekening gehouden met een eventuele recirculatiestroom.

**Effluent korrelreactor** is het water dat de korrelreactor verlaat en eventueel als recirculaat kan dienen. Onderscheid kan worden gemaakt tussen ongefiltreerd en gefiltreerd effluent.  $[P]_{eff,o}$  ;  $[P]_{eff,f}$  zijn de fosfaatconcentraties in resp. ongefiltreerd en gefiltreerd effluent van de korrelreactor.

**Effluent snelfilter** is het effluent van de korrelreactor na passage van het snelfilter en dat eventueel kan dienen als recirculaat. Onderscheid kan gemaakt worden tussen ongefiltreerd en gefiltreerd effluent.  $[P]_{snel,o}$  ;  $[P]_{snel,f}$  zijn de fosfaatconcentraties in resp. ongefiltreerd en gefiltreerd effluent van het snelfilter.

**Leidingwater** dient bij een aantal experimenten als 'recirculaat'. Het bevat bij de experimenten geen carbonaat en fosfaat.

Effluent van de korrelreactor, effluent van het snelfilter of leidingwater kunnen bij de verschillende experimenten dienen als **recirculaat**. De **recirculatiefactor** is het quotiënt van het recirculatie-debiet en het influent-debiet.

**pH** is de pH van het effluent van de korrelreactor. **pH influent** is de pH van het influent van de korrelreactor die eventueel verlaagd is in verband met carbonaatverwijdering.

**Ca/P-verhouding** is de verhouding tussen de molaire hoeveelheid calcium en de molaire hoeveelheid fosfaat in het influent.

Het **reactorrendement (E reactor)** is het rendement betrokken op het  $[P]_{inf}$  en  $[P]_{eff,o}$ . Het **totaalrendement (E totaal)** is betrokken op het  $[P]_{inf}$  en  $[P]_{snel,o}$ . Het **cyclusrendement (E cyclus)** is het rendement betrokken op  $[P]_{ingand}$  en  $[P]_{eff,o}$ . De rendementen zijn gebaseerd op fosfaatvrachten. De **kristallisatie-capaciteit** is de hoeveelheid fosfaat die per oppervlakte-eenheid reactor, per tijdseenheid, via kristallisatie op de korrels, verwijderd wordt.

Het **amorf-P** of **carry-over** is het calciumfosfaat dat niet op de korrel is gekristalliseerd en uit de reactor spoelt. Dit is gedefinieerd als het verschil tussen  $[P]_{eff,o}$  en  $[P]_{eff,f}$ .



**PUBLIKATIREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE  
RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN RWZI 2000" <sup>1</sup>**

- 1 "Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst"  
Een haalbaarheidsonderzoek. I. Eindrapport II. Werkrapport  
RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen & Bos Raadgevende  
ingenieurs  
Juli 1986
- 2 "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000"  
Onderzoekplan  
RIZA, STORA  
Januari 1988
- 3 "Jaarverslag 1988"  
RIZA, STORA  
Maart 1989
- 4 "Slibontwatering; een voorstudie"  
TU-Delft, TU-Eindhoven  
RWZI 2000 89-01  
Januari 1989
- 5 "Knelpunten bij de invoering van defosfatering"  
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs  
RWZI 2000 89-02  
April 1989
- 6 "Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van  
een magneetsysteem"  
Smit-Nymegen, TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 89-03  
Oktober 1989
- 7 "Verwijdering van zware metalen uit zuiveringsslib door elektrolyse"  
TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 89-04  
Oktober 1989

---

<sup>1</sup> Te bestellen bij:  
STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
tel. 030-321199

- 8 "Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting"  
TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 89-05  
Oktober 1989
- 9 "Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfieldproces"  
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende  
ingenieurs  
RWZI 2000 89-06  
December 1989
- 10 "Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Vertech-systeem"  
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende  
ingenieurs  
RWZI 2000 89-07  
December 1989
- 11 "Symposium "RWZI 2000" d.d. 5 oktober 1989"  
RIZA, STORA  
RWZI 2000 89-08  
December 1989
- 12 "Jaarverslag 1989"  
RIZA, STORA  
RWZI 2000 90-01  
Maart 1990
- 13 "AB-Systemen; een inventarisatie"  
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
RWZI 2000 90-02  
September 1990
- 14 "Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib"  
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
RWZI 2000 90-03  
Augustus 1990
- 15 "Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's"  
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
RWZI 2000 90-04  
December 1990
- 16 "Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks"  
Adviebureau BKH  
RWZI 2000 90-05  
September 1990

- 17 "Verkenning Bio-Denitro/Bio-Denipho"  
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs  
RWZI 2000 90-06  
Juni 1990
- 18 "Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater"  
TNO-Maatschappelijke Technologie  
RWZI 2000 90-07  
Oktober 1990
- 19 "Jaarverslag 1990"  
RIZA, STORA  
RWZI 2000 91-01  
Maart 1991
- 20 "Deep Shaft-systemen; een inventarisatie"  
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV  
RWZI 2000 91-02  
Maart 1991
- 21 "Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in municipal waste water treatment plants"  
A feasibility study  
RU-Groningen  
RWZI 200 91-03  
Juni 1991
- 22 "Jaarverslag 1991"  
RIZA, STOWA  
RWZI 2000 92-01  
Maart 1992
- 23 "Vergisten van zuiveringsslib; een vergelijking tussen thermofiele en mesofiele slibgisting"  
Haskoning B.V., RIZA, LU-Wageningen, DHV Water B.V.  
RWZI 2000 92-02  
Maart 1992
- 24 "First Dutch-Japanese workshop on the treatment of municipal waste water; 8-11 april 1991, Heelsum, The Netherlands. Part I and part II.  
RIZA, STOWA, TU-Delft  
RWZI 2000 92-03  
Maart 1992

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