

## Biologische defosfatering door een voorgeschakelde anaërobe tank

Praktijkonderzoek op de rwzi Mastgat

94-11



## Biologische defosfatering door een voorgeschakelde anaërobe tank



Praktijkonderzoek op de rwzi Mastgat

ISBN nr. 90-74476-11-2

94-11

Publicaties en het publicatieoverzicht  
van de Stowa kunt u uitsluitend  
bestellen bij:  
Hageman Verpakkers BV  
Postbus 281  
2700 AC Zoetermeer  
tel. 079-611188  
fax 079-613927  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.

| Inhoudsopgave  | Blz. |
|--|------|
| TEN GELEIDE  | ii   |
| SAMENVATTING   | 1    |
| 1 INLEIDING  | 2    |
| 2 ACHTERGROND  | 3    |
| 3 OPZET VAN HET ONDERZOEK  | 5    |
| 3.1 Gegevens van de onderzoekslocatie  | 5    |
| 3.2 Experimenten   | 5    |
| 3.3 Flankerend onderzoek   | 6    |
| 3.4 Bemonstering en analyse  | 6    |
| 4 RESULTATEN   | 8    |
| 4.1 Instellingen   | 8    |
| 4.2 Aanvoer  | 8    |
| 4.3 Stikstofverwijdering   | 9    |
| 4.4 Fosfaatverwijdering  | 9    |
| 4.5 Redoxpotentiaal, vetzuren en drogestofgehalte in de anaërobe tank          | 12   |
| 4.6 Overige procesfactoren   | 12   |
| 4.7 Flankerend onderzoek   | 13   |
| 5 EVALUATIE  | 16   |
| 5.1 Algemeen beeld van de fosfaatverwijdering                                  | 16   |
| 5.2 Relatie tussen nitraatconcentratie en fosfaatverwijdering                  | 17   |
| 5.3 Vergelijking van de fosfaatverwijdering in het UCT- en het Phoredoxsysteem | 18   |
| 5.4 Fosfaatverwijdering bij verschillende instellingen van de anaërobe tank    | 19   |
| 5.5 Maatgevende parameter voor de dimensionering van de anaërobe tank          | 19   |
| 5.6 Overige aspecten   | 20   |
| 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN  | 21   |
| 7 LITERATUUR   | 22   |
| BIJLAGEN   |      |
| Bijlage 1: Blokschema RWZI Mastgat   | 23   |
| Bijlage 2: Configuratie actief-slibstelsel volgens UCT en Phoredox             | 24   |
| Bijlage 3: Bemonsterings- en analyseprogramma                                  | 25   |



## TEN GELEIDE

Biologische defosfatering in de hoofdstroom van het zuiveringsproces volgens het Phoredox- of UCT (University of Cape Town)-principe kan worden gerealiseerd door vóór de aëratieruimte van een omloopsysteem een anaëroob bedreven tank te plaatsen. In de anaërobe tank wordt de selectie van fosfaatophopende bacteriën bevorderd.

In Nederland is een groot aantal omloopsystemen in gebruik waar voor de vergaande verwijdering van stikstof en fosfaat aanpassingen noodzakelijk zullen zijn. Voor omloopsystemen waar reeds vergaande stikstofverwijdering plaatsvindt, kan een voorgeschakelde anaërobe tank voor de vergaande verwijdering van fosfaat uitkomst bieden.

De afbeelding laat zien dat in de configuratie van de rwzi Mastgat van het waterschap Schouwen-Duiveland met het oog op een verbeterde P-verwijdering vóór de aëratieruimte een anaërobe tank is opgenomen. De STOWA heeft dankbaar gebruik gemaakt van de door het waterschap geboden gelegenheid om op praktijkschaal, voor bredere toepassing, op deze locatie inzicht te kunnen verkrijgen in de dimensionering van de tank, de processtabiliteit, de eigenschappen van beide processen en de slibeigenschappen.

Bouwkundige aanpassingen, experimenten, bemonsteringen en analyses zijn uitgevoerd door het waterschap Schouwen-Duiveland (projectteam J.R. Scheele en ing. J.A. Nieuwlands); technologische begeleiding en rapportage werden verzorgd door Witteveen + Bos (projectteam ir. P. de Jong en ir. M. Eekhof). Namens de STOWA werd het onderzoek begeleid door ir. A.E. van Giffen (voorzitter), ir. P.M.J. Janssen, ing. A.A.J.C. Schellen en ir. P.C. Stamperius.

Utrecht, oktober 1994

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff



## SAMENVATTING

In verband met de fosfaat-AMvB moeten veel RWZI's gaan voldoen aan een effluenteis van 1 of 2 mg  $P_{\text{tot}}$ /l. Fosfaatverwijdering door middel van biologische defosfatering in de hoofdstroom is hiervoor een aantrekkelijke mogelijkheid. Er zijn in Nederland echter nog weinig RWZI's met biologische defosfatering in de hoofdstroom operationeel.

Om het inzicht te vergroten in de diverse factoren die een rol spelen bij het invoeren van biologische defosfatering in de hoofdstroom, is onderzoek verricht aan een voorgeschakelde anaërobe tank vóór een omloopsysteem met vergaande stikstofverwijdering. Dit onderzoek werd uitgevoerd op de RWZI Mastgat van het Waterschap Schouwen-Duiveland.

In vier experimenten van circa 2,5 maand elk zijn de verwijdering van fosfaat en stikstof, de slibbezinkingseigenschappen, de selectie van defosfateerders en de overige procesparameters nagegaan. Daarbij is zowel de UCT- als Phoredox-configuratie getest. De instellingen van de anaërobe tank worden in onderstaande tabel gegeven.

|   | UCT        |            | Phoredox   | Referentie               |
|---|------------|------------|------------|--------------------------|
|   | Exp.1      | Exp.2      | Exp.3      | Exp. 4                   |
| Instellingen anaërobe tank:<br>Contacttijd bij $dwa_{\text{max}}$ (h)<br>$Q_R/Q_{\text{IN}}^{1)}$ (-) | 1,5<br>1,9 | 1,1<br>2,1 | 1,0<br>1,1 | geen<br>anaërobe<br>tank |

1)  $Q_R$  = recirculatie uit anoxische zone bij UCT, retourslib bij Phoredox;  $Q_{\text{IN}}$  = influentdebiet ( $dwa_{\text{max}}$ ).

De resultaten van het onderzoek geven aan dat:

- zowel bij 1,5 h als bij 1 h anaërobe contacttijd biologische defosfatering mogelijk was voor beide configuraties;
- in het onderzochte systeem Phoredox en UCT op gelijke wijze reageerden op de storende werking van nitraat;
- bij effluentconcentraties nitraat groter dan 7 mg  $N\text{-NO}_3$ /l de storende werking van nitraat op de biologische defosfatering sterk toenam;
- bij een gemiddelde effluentconcentratie nitraat van 6-7 mg  $N\text{-NO}_3$ /l de gemiddelde effluentconcentratie fosfaat kleiner was dan 2 mg  $P_{\text{tot}}$ /l;
- bij een gemiddelde effluentconcentratie nitraat van 2 mg  $N\text{-NO}_3$ /l een zeer grote defosfateringscapaciteit en lage effluentconcentraties fosfaat werden verkregen.

Als voornaamste conclusies volgen uit het onderzoek dat:

- UCT bij omloopsystemen geen toegevoegde waarde heeft ten opzichte van Phoredox;
- een anaërobe contacttijd van 1 h ( $dwa$ ) bij het onderzochte afvalwater (ruw afvalwater met een lage BZV/N- en BZV/P-verhouding) voldoet om een effluenteis van 2 mg  $P_{\text{tot}}$ /l te halen met als voorwaarde dat een lage effluentconcentratie nitraat wordt bereikt.



## 1 INLEIDING

Als gevolg van het Rijn Actie Plan en het Noordzee Actie Programma zijn in Nederland bij Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB)<sup>[1]</sup> eisen gesteld aan fosfaatlozingen vanuit rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Deze eisen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Lozingseisen voor fosfaten uit RWZI's.

|  | Ontwerpcapaciteit RWZI                                      |   |   |
|--|---|---|---|
|  | < 20.000 i.e. <sup>1)</sup>                                 | 20.000 - 100.000 i.e.                         | > 100.000 i.e.                                |
| <b>BESTAANDE RWZI'S</b>                |   |   |   |
| van 1/7/1990 tot 1/1/1995              | geen eis  | geen eis                                      | geen eis                                      |
| vanaf 1/1/1995                         | 2 mg P/l<br>voortschr. gem.<br>tenzij R <sup>2)</sup> ≥ 75% | 2 mg P/l<br>voortschr. gem.<br>tenzij R ≥ 75% | 1 mg P/l<br>voortschr. gem.<br>tenzij R ≥ 75% |
| <b>NIEUWE OF UIT TE BREIDEN RWZI'S</b> |   |   |   |
| van 1/7/1990 tot 1/1/1995              | geen eis  | 2 mg P/l<br>jaargem.                          | 1 mg P/l<br>jaargem.                          |
| vanaf 1/1/1995                         | 2 mg P/l<br>voortschr. gem.<br>tenzij R ≥ 75%               | 2 mg P/l<br>voortschr. gem.                   | 1 mg P/l<br>voortschr. gem.                   |

1) i.e. = 54 g BZV/d.

2) R = verwijderingsrendement op basis van de fosfaatvrucht in het totale beheersgebied.

Een groot aantal RWZI's in Nederland moet worden aangepast om aan deze effluenteisen voor fosfaat te voldoen. Biologische defosfatering in de hoofdstroom is een veelbelovende techniek waarmee in Nederland echter nog weinig ervaring op praktijkinstallaties is opgedaan. Om deze leemte op te vullen heeft het Waterschap Schouwen-Duiveland in samenwerking met de Stowa in de periode 1993-1994 een praktijkonderzoek verricht op de RWZI Mastgat. Op deze RWZI is biologische defosfatering in de hoofdstroom geïntroduceerd door een anaërobe tank voor het omloopsysteem met vergaande N-totaalverwijdering te schakelen. Door aanpassingen van de installatie kan het proces volgens de Phoredox (Phosphate Reduction Oxidation) configuratie of de UCT (University of Cape Town) configuratie functioneren. Het volume van de anaërobe tank kan worden gevarieerd.

Het onderzoek richtte zich op de benodigde dimensionering van de anaërobe tank, het verschil tussen de uitvoeringsvormen Phoredox en UCT en de praktische aspecten zoals de slibbezinkingseigenschappen, het voorkomen van denitrificerende defosfateerders en de grootte van de interne stromen. De verkregen gegevens kunnen worden gebruikt bij het ontwerp en de bedrijfsvoering van vergelijkbare systemen op Nederlandse RWZI's.

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de achtergrond van het onderzoek. Hoofdstuk 3 betreft de opzet van het onderzoek. De resultaten worden weergegeven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 vindt een evaluatie van de resultaten plaats. De conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek zijn in hoofdstuk 6 weergegeven.

## 2 ACHTERGROND

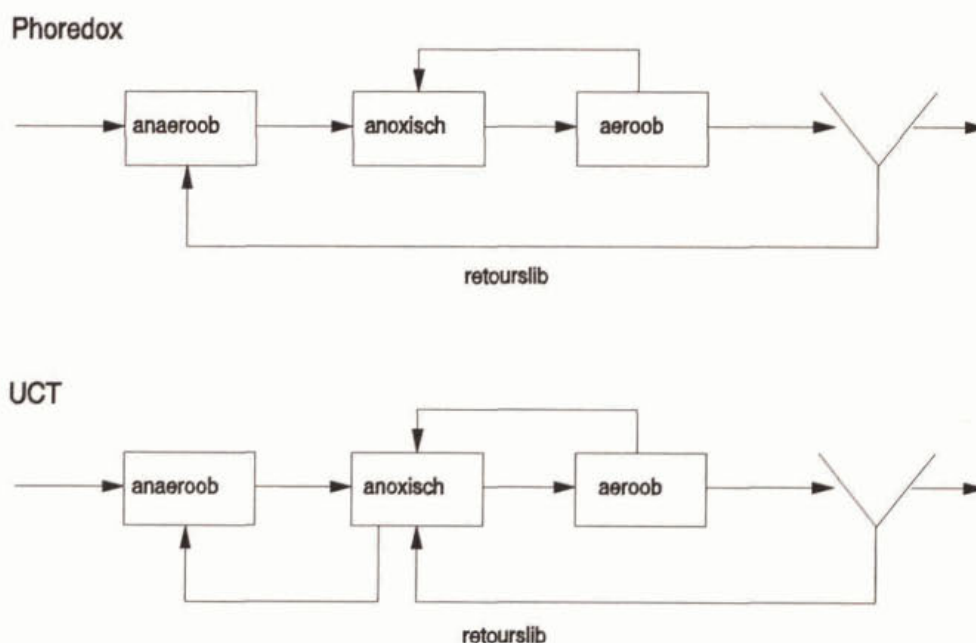
### *Principe van de biologische defosfatering in de hoofdstroom*

Biologische defosfatering in de hoofdstroom kan worden geïntroduceerd door het voorschakelen van een anaërobe tank vóór de aëratieruimte<sup>[2],[3]</sup>. De anaërobe tank bewerkstelligt de selectie van defosfaterende bacteriën (met name bacteriën van het genus *Acinetobacter*), die in staat zijn om meer fosfaat op te nemen dan alleen voor groei nodig is ("luxury uptake"). Hierdoor kan extra fosfaat via het surplusslib uit het afvalwater worden verwijderd. In de anaërobe tank worden door defosfaterende bacteriën lagere vetzuren opgenomen en als reservestof opgeslagen. De energie die hiervoor nodig is, wordt geproduceerd uit de splitsing van poly-fosfaat, resulterend in de afgifte van ortho-fosfaat. In de aërobe fase wordt het opgenomen substraat geoxydeerd, waarbij de vrijgekomen energie wordt gebruikt voor groei en de opslag van opgenomen ortho-fosfaat in de vorm van poly-fosfaat.

Een gedeelte van de lagere vetzuren is in het afvalwater aanwezig. Daarnaast worden lagere vetzuren in de anaërobe tank gevormd door hydrolyse en verzuring van grotere organische moleculen.

### *Het Phoredox- en UCT-principe*

Biologische defosfatering in de hoofdstroom kan ondermeer worden gerealiseerd volgens het Phoredox- of het UCT-principe<sup>[3]</sup>. In figuur 1 zijn het Phoredox- en het UCT-principe weergegeven.



Figuur 1: Biologische defosfatering in de hoofdstroom volgens het Phoredox- en UCT-principe.

Bij Phoredox wordt het retourslib direct vanuit de nabezinktank naar de anaërobe tank gebracht. UCT is ontwikkeld om bij systemen met een hoge effluentconcentratie nitraat toch een lage nitraatvracht in de anaërobe tank te brengen. Voorwaarde hierbij is dat een anoxische denitrificatiezone met een lage nitraatconcentratie aanwezig is. Bij UCT gaat het retourslib eerst naar de anoxische tank waar (een gedeelte van) het nitraat uit het retourslib



onder anoxische omstandigheden wordt verwijderd. Vervolgens wordt vanuit de anoxische tank nitraatarm slib naar de anaërobe tank gevoerd. Het doel hiervan is de storende werking van nitraat op de biologische defosfatering te verminderen. Bij omloopsystemen kan het UCT-principe worden toegepast door het retourslib aan het begin van de anoxische zone van het omloopstelsel in te voeren en aan het eind van de anoxische zone slib te onttrekken voor invoer in de anaërobe tank. Door de geringe concentratiegradiënten in een omloopstelsel zal het effect op de nitraatbelasting van de anaërobe tank hierbij geringer zijn dan bij een voordenenitrificatiesysteem.

#### *Factoren die de biologische defosfatering beïnvloeden*

Voor de biologische defosfatering zijn het BZV en de vetzuurconcentratie in het influent, de anaërobe contacttijd, de nitraatconcentratie in de anaërobe tank en de slibconcentratie in de anaërobe tank van belang<sup>[3]</sup>.

In de anaërobe tank worden uit BZV vetzuren gevormd die nodig zijn voor de selectie van defosfaterende bacteriën. De anaërobe contacttijd moet zo gekozen worden dat voldoende vetzuren uit BZV gevormd kunnen worden. Bij een grote hoeveelheid vetzuren in het influent kan worden volstaan met een relatief korte anaërobe contacttijd. Indien een hoge vetzuurconcentratie in de anaërobe tank wordt bereikt kan, afhankelijk van de nitraatconcentratie en het drogestofgehalte in de anaërobe tank, een sterke selectie van defosfaterende bacteriën plaatsvinden.

Nitraat remt de produktie van vetzuren in de anaërobe tank en leidt tot substraatconcurrentie tussen denitrificerende en defosfaterende bacteriën. De defosfaterende bacteriën geven minder fosfaat af en slaan minder substraat op. Hierdoor wordt in de aërobe zone minder fosfaat in het slib opgenomen, waardoor de effluentconcentratie fosfaat stijgt. De storende werking van nitraat leidt (uiteindelijk) tot een verminderde selectie van defosfaterende bacteriën.

De slibconcentratie in de anaërobe tank is van invloed op de capaciteit om macromoleculen te splitsen in vetzuren en op de hoeveelheid bacteriën die aan anaërobe condities wordt blootgesteld (selectie van defosfaterende bacteriën). Het drogestofgehalte in de anaërobe tank is bij Phoredox hoger dan bij UCT, omdat het retourslib dat bij Phoredox in de anaërobe tank wordt gebracht een hoger drogestofgehalte heeft dan het actiefslib dat bij UCT wordt gerecirculeerd.

De anaërobe contacttijd wordt gedefinieerd als de verblijftijd waarbij het influent en slib achtereenvolgens onder anaërobe condities verkeert. In het Stowa-rapport "Handleiding biologische defosfatering" zijn als ontwerpgrondslag voor UCT en Phoredox een anaërobe contacttijd van respectievelijk 1,5 h en 1-2 h (dwa) genoemd<sup>[3]</sup>. Het retourslibdebiet (Phoredox) en de recirculatie van de anoxische zone naar de anaërobe tank (UCT) bedragen circa 100 % van het influentdebiet.

#### *Slibverwerking*

Bij biologische defosfatering in de hoofdstroom wordt bij voorkeur een snelle (mechanische) slibindikking en slibontwatering toegepast, om fosfaatafgifte van het slib onder anaërobe condities tijdens de slibverwerking te voorkomen. Tijdens de slibverwerking kunnen bijvoorbeeld bij gravitatie-indikking fosfaatrijke interne stromen ontstaan. In onderzoeksituaties en praktijktoepassingen moet hiermee rekening worden gehouden. De fosfaatrijke stromen kunnen worden behandeld met chemicaliën om de fosfaatbelasting van de RWZI te verminderen.



### 3 OPZET VAN HET ONDERZOEK

#### 3.1 Gegevens van de onderzoekslocatie

Onderstaand zijn de belangrijkste gegevens van RWZI Mastgat weergegeven.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Biologische capaciteit:  | 14.000 i.e. à 54 g BZV/d  |
| Hydraulische capaciteit: | 560 m <sup>3</sup> /h.  |
| Slibbelasting:           | 0,030-0,045 kg BZV/kg ds.d.   |
| Hoofdonderdelen:         | anaërobe tank, omloopsysteem met bellenbeluchting en voortstuw-<br>ers, nabezinktank, indikker, slibbufferbakken. |
| Aard afvalwater:         | huishoudelijk; de RWZI wordt in de zomermaanden tevens belast<br>door toerisme.                                   |
| Aanvoerstelsel:          | persleidingen en vrijerval-leidingen (totale lengte circa 15 km).   |

De anaërobe tank is een ingegraven cilindervormige tank en bestaat uit een "buitenring" met vaste diameter en een "binnenring". De ruimte tussen beide ringen is het anaërobe volume in de tank. Door de diameter van de binnenring te variëren zijn verschillende anaërobe volumina in de tank instelbaar. De menging in de anaërobe tank wordt gereali-  
seerd door middel van een mixer die de inhoud in een rondgaande beweging houdt.

De installatie kan als Phoredox of UCT, en als omloopsysteem zonder anaërobe tank worden bedreven. In bijlage 1 is de RWZI Mastgat schematisch weergegeven. In bijlage 2 zijn de configuraties volgens Phoredox en UCT aangegeven.

#### 3.2 Experimenten

In tabel 2 zijn de experimenten met de procesconfiguratie en de procesparameters weergegeven. De tijdsduur per experiment bedroeg circa 2,5 maanden.

Tabel 2: Overzicht van de experimenten en instellingen van de procesparameters.

|  | UCT               |                   | Phoredox | Referentie               |
|--|-------------------|-------------------|----------|--------------------------|
|  | Exp. 1            | Exp. 2            | Exp. 3   | Exp. 4                   |
| Instellingen anaërobe tank:                  |                   |                   |          |                          |
| Contacttijd bij $dwa_{max}$ (h)              | 1,5               | 1                 | 1        | geen<br>anaërobe<br>tank |
| $Q_R/Q_{IN}$ <sup>1)</sup> (-)               | 1,8 <sup>2)</sup> | 1,8 <sup>2)</sup> | 1        |                          |
| Volume anaërobe tank (m <sup>3</sup> )       | 725               | 500               | 340      |                          |
| $Q_{IN} \cdot dwa_{max}$ (m <sup>3</sup> /h) | 170               | 170               | 170      |                          |
| $Q_R$ (m <sup>3</sup> /h)                    | 310               | 310               | 170      |                          |

1)  $Q_R$  = recirculatie uit anoxische zone bij UCT, retourslib bij Phoredox;  $Q_{IN}$  = influentdebiet ( $dwa_{max}$ ).

2) In verband met de beschikbare pompcapaciteit van de recirculatiepomp is bij UCT gekozen voor een verhouding  $Q_R/Q_{IN}$  van 1,8 in plaats van een verhouding van 1 die genoemd wordt in de handleiding biologische fosfaatverwijdering. Een verhouding van 1,8 heeft ten opzichte van een verhouding van 1 een 30 % hoger drogestofgehalte en een maximaal 30 % hogere nitraatconcentratie in de anaërobe tank tot gevolg.

Het effect van de anaërobe contacttijd is in de experimenten 1 en 2 onderzocht door verschillende volumina van de anaërobe tank in te stellen. Uitgangspunt voor de experimenten 1 en 2 was een configuratie volgens UCT en een anaërobe contacttijd van respectievelijk 1,5 en 1 h. De contacttijden zijn berekend op basis van het totale debiet influent en slib bij  $dwa_{max}$ .

Het verschil van Phoredox ten opzichte van UCT is in experiment 3 onderzocht met als uitgangspunt een anaërobe contacttijd van 1 h (dus in vergelijking met experiment 2).



Als referentiefase is de RWZI zonder anaërobe tank bedreven (experiment 4).

De interne stromen (slibwater van indikker, buffer en droogbedden) zijn ten behoeve van de representativiteit van de experimenten niet teruggevoerd naar de installatie. Deze interne stromen zijn wel geanalyseerd. De interne stromen van de RWZI Mastgat bevatten fosfaat als gevolg van fosfaatafgifte tijdens de slibverwerking. Bij RWZI's met biologische defosfatering in de hoofdstroom zullen mechanische slibindikking en ontwatering worden toegepast of zullen de fosfaatrijke interne stromen worden behandeld met chemicaliën, zodat de RWZI niet wordt belast met fosfaat uit de interne stromen. Door het afkoppelen van de interne stromen van de RWZI Mastgat is deze (toekomstige) situatie gesimuleerd.

De bedrijfsvoering van de RWZI was gericht op vergaande N-totaal verwijdering. Voor de slibleeftijd is gestreefd naar maximaal 30 dagen. De streefwaarde voor de slibbelasting was circa 0,040 kg BZV/kg ds.d.

### 3.3 Flankerend onderzoek

Naast het onderzoek op praktijkschaal zijn concentratie-profielmetingen en experimenten naar het effect van het drogestofgehalte in de anaërobe tank uitgevoerd. Ook is aandacht besteed aan het optreden van biologische defosfatering onder denitrificerende condities.

#### *Profielmetingen*

Tijdens elke proefperiode zijn concentratieprofielen van  $O_2$ ,  $N-NH_4$ ,  $N-NO_3$  en  $P-PO_4$  over de gehele waterlijn bepaald. De profielen geven inzicht in de werking van de installatie. De  $N-NO_3$  concentratieprofielen verschaffen inzicht in de N-verwijdering bij het Phoredox- en UCT-proces en in eventuele verschillen. De profielen werden verkregen door de concentraties te bepalen in steekmonsters van verschillende plaatsen in de waterlijn.

#### *Effect van het drogestofgehalte in de anaërobe tank*

Het drogestofgehalte in de anaërobe tank is bij Phoredox hoger dan bij UCT door een hoger drogestofgehalte in het retourslib bij Phoredox ten opzichte van het drogestofgehalte in de recirculatie bij UCT. Bij de fosfaatafgifte in de anaërobe tank speelt de beschikbaarheid van BZV een rol. Daarnaast kan de concentratie drogestof van belang zijn, omdat deze bepalend is voor de aanwezige actieve biomassa. Het effect van het drogestofgehalte op de fosfaatafgifte is door middel van batch-proeven bij verschillende drogestofgehalten met influent onderzocht. Het volume toegevoegde influent was steeds 50 % van het totale volume. Op deze wijze is bepaald of de beschikbaarheid van BZV of het drogestofgehalte beperkend is voor de fosfaatafgifte.

#### *Denitrificerende defosfateerders*

Op enkele RWZI's in Nederland wordt biologische defosfatering ook onder denitrificerende condities waargenomen. Het optreden van dit verschijnsel kan worden nagegaan door een fosfaatafgiftetest met acetaat uit te voeren en na een bepaalde tijd nitraat toe te voegen. Een afnemende fosfaatconcentratie na toedienen van nitraat wijst op de aanwezigheid van denitrificerende defosfateerders. Een dergelijke test is voor RWZI Mastgat uitgevoerd.

### 3.4 Bemonstering en analyse

In bijlage 3 is het bemonsterings- en analyseprogramma weergegeven. De analyses zijn uitgevoerd volgens NEN-voorschriften. Steekmonsters zijn genomen op een vast tijdstip van de dag. Voor het bepalen van de profielen over de waterlijn en de fosfaatafgifteproeven zijn de concentraties gemeten met behulp van een LASA-aqua-spectrofotometer.



*Bepaling van de defosfateringscapaciteit van het slib*

De defosfateringscapaciteit van het slib (activiteit van de defosfaterende bacteriën in actiefslib) is beoordeeld op basis van de maximale fosfaatafgiftesnelheid en de fosfaatafgiftecaciteit (maximale hoeveelheid afgegeven fosfaat). Deze zijn bepaald door middel van fosfaatafgifteproeven, waarbij aan het slib een overmaat acetaat is toegevoegd.

## 4 RESULTATEN

De experimenten zijn uitgevoerd van april 1993 tot april 1994. De dagelijkse analyseresultaten zijn op te vragen bij het Waterschap Schouwen-Duiveland<sup>[4]</sup>.

De proefperiode werd gekenmerkt door relatief grote wisselingen in de aanvoer als gevolg van toerisme en perioden met veel rwa, waardoor de stikstofverwijdering sterk varieerde.

De in dit hoofdstuk in de tabellen weergegeven resultaten betreffen de (aaneengesloten) perioden waarin het analyseprogramma is uitgevoerd en een relatief goede en stabiele stikstofverwijdering is verkregen ("meetperiode").

### 4.1 Instellingen

In tabel 3 zijn de ingestelde procesparameters weergegeven voor de anaërobe tank, de slibleeftijd en de slibbelasting. De duur van de meetperiodes is eveneens weergegeven.

Tabel 3: Procesparameters en tijdsduur meetperiode.

|                                    | UCT              |                  | Phoredox       | Referentie         |
|------------------------------------|------------------|------------------|----------------|--------------------|
|                                    | Exp.1 (T = 1,5h) | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4             |
| Instellingen anaërobe tank:        |                  |                  |                |                    |
| Contacttijd bij $dwa_{max}$ (h)    | 1,5              | 1,1              | 1,0            | geen anaërobe tank |
| $Q_R/Q_{IN}$ (-)                   | 1,9              | 2,1              | 1,1            |                    |
| Volume anaërobe tank ( $m^3$ )     | 725              | 500              | 340            |                    |
| $Q_{IN}$ , $dwa_{max}$ ( $m^3/h$ ) | 160              | 150              | 160            |                    |
| $Q_R$ ( $m^3/h$ )                  | 310              | 310              | 170            |                    |
| Slibbelasting (kg BZV/kg ds.d)     | 0,035            | 0,037            | 0,040          | 0,040              |
| Slibleeftijd (d)                   | 25               | 20               | 25             | 28                 |
| Tijdsduur meetperiode (d)          | 55               | 45               | 40             | 30                 |

1)  $Q_R$  = recirculatie uit anoxische zone bij UCT, retourslib bij Phoredox;  $Q_{IN}$  = influentdebiet ( $dwa_{max}$ ).

De instellingen van de anaërobe tank komen goed overeen met de proefopzet. De slibbelasting was in experiment 1 en 2 lager dan de streefwaarde, maar de slibleeftijd bleef beneden het maximum van 30 dagen.

Het bereiken van een stabiele toestand vergde circa één à twee slibleeftijden. Circa twee slibleeftijden na het afkoppelen van de anaërobe tank (experiment 4) is het analyseprogramma voor experiment 4 gestart.

### 4.2 Aanvoer

De experimenten 2 en 3 werden gekenmerkt door een grote aanvoer als gevolg van rwa.

De BZV/P-verhouding was relatief laag. De lage BZV/P-verhouding ging gepaard met een lage BZV/N-verhouding, waardoor een relatief sterke concurrentie tussen defosfateerders en denitrificeerders om de beschikbaarheid van BZV is opgetreden.

De CZV/BZV-verhouding was relatief hoog. De hoge CZV/BZV-verhouding, de lage BZV/N-en BZV/P-verhouding zijn het gevolg van relatief lage BZV-concentraties. De lage BZV-concentratie is wellicht veroorzaakt door afbraak van BZV in het aanvoerstelsel.

De vetzuurconcentraties waren relatief laag.



Tabel 4: Aanvoergegevens (concentraties zijn gewogen gemiddelden van alle dagen).

|                            | UCT              |                  | Phoredox       | Referentie |
|----------------------------|------------------|------------------|----------------|------------|
|                            | Exp.1 (T = 1,5h) | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4     |
| Debiet (m <sup>3</sup> /d) |                  |                  |                |            |
| - gemiddelde dwa-dagen     | 2.350            | 2.200            | 2.300          | 2.500      |
| - gemiddelde alle dagen    | 2.500            | 4.700            | 5.300          | 3.500      |
| CZV (mg/l)                 | 494              | 270              | 219            | 299        |
| BZV (mg/l)                 | 144              | 84               | 65             | 89         |
| N <sub>Kl</sub> (mg/l)     | 52               | 32               | 22             | 35         |
| P <sub>tot</sub> (mg/l)    | 8,2              | 4,6              | 3,7            | 5,7        |
| Vetzuren (mg CZV/l)        | 12               | 31               | 14             | 15         |
| BZV/N (-)                  | 2,8              | 2,6              | 2,9            | 2,5        |
| BZV/P (-)                  | 18               | 18               | 18             | 16         |
| CZV/BZV (-)                | 3,4              | 3,2              | 3,4            | 3,4        |

### 4.3 Stikstofverwijdering

Tabel 5: Stikstofverwijdering (concentraties zijn gewogen gemiddelden).

|                                   | UCT              |                  | Phoredox       | Referentie |
|-----------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------|
|                                   | Exp.1 (T = 1,5h) | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4     |
| N <sub>Kl</sub> influent (mg/l)   | 52               | 32               | 22             | 35         |
| N <sub>tot</sub> effluent (mg/l)  | 5,4              | 9,7              | 10,4           | 18,5       |
| N-NO <sub>3</sub> effluent (mg/l) | 1,5              | 7,3              | 6,1            | 8,4        |
| N-NH <sub>4</sub> effluent (mg/l) | 1,7              | 0,3              | 2,5            | 7,2        |
| N in actiefslib (g/kg ds)         | 51               | 43               | 48             | 57         |
| Rendement N-verwijdering (%)      | 90               | 70               | 53             | 47         |
| Temperatuur (°C)                  | 14-19            | 19-15            | 13-9           | 8-11       |

De hoge concentratie N<sub>tot</sub> in het effluent van de experimenten 2 en 3 kwam voor rekening van de hoge N-NO<sub>3</sub>-concentratie. Door wisselingen in de aanvoer tijdens experiment 2 (toerisme en rwa) en experiment 3 (rwa) was de stikstofverwijdering ten opzichte van experiment 1 minder goed beheersbaar.

De hoge concentratie N<sub>tot</sub> in experiment 4 is veroorzaakt door een slechtere nitrificatie als gevolg van de lagere temperatuur.

### 4.4 Fosfaatverwijdering

In tabel 6 is de fosfaatverwijdering weergegeven. In figuur 2 zijn de P<sub>tot</sub>-concentraties in influent en effluent weergegeven. Figuur 3 geeft de resultaten van de fosfaatafgifteproeven (defosfateringscapaciteit van het slib).

De experimenten 1, 2 en 3 gaven een lagere effluentconcentratie fosfaat, een hoger fosfaatverwijderingsrendement, een hogere defosfateringscapaciteit van het slib en een hoger fosfaatgehalte in het slib te zien dan experiment 4. Door het voorschakelen van de anaërobie heeft selectie van defosfaterende bacteriën plaatsgevonden en is biologische defosfatering opgetreden.

Experiment 1 had ten opzichte van de experimenten 2 en 3 een lagere effluentconcentratie fosfaat. De experimenten 2 en 3 hadden een vrijwel gelijkwaardige effluentconcentratie fosfaat. Het fosfaatverwijderingsrendement in experiment 3 was lager dan in experiment 2 door een lagere influentconcentratie fosfaat in experiment 3.

De fosfaatgehalten in het slib van de experimenten 1, 2 en 3 lagen in dezelfde orde van

grootte. De afvoer van fosfaat met slib was in experiment 1 het grootst door een hoger fosfaatgehalte in het slib.

De lage afvoer van fosfaat met slib in experiment 3 is veroorzaakt door een lage slibproductie. De slibproducties in de experimenten 3 en 4 waren vrijwel gelijk. De extra afvoer van fosfaat met slib in experiment 3 ten opzichte van experiment 4 is veroorzaakt door de hogere fosfaatconcentratie in het slib; er is circa 2 kg P per dag afgevoerd via "luxury uptake".

Een goed defosfaterend slib heeft over het algemeen een fosfaatafgiftesnelheid en fosfaatafgiftecapaciteit van respectievelijk minimaal 3 mg P/g ds.h en 5 mg P/g ds. De defosfateringscapaciteit van het slib in experiment 1 was met een fosfaatafgiftesnelheid van circa 5,5 mg P/g ds.h en een fosfaatafgiftecapaciteit van circa 7 mg P/g ds groot. De defosfateringscapaciteit van het slib aan het eind van experiment 2 en in experiment 3 was met een fosfaatafgiftesnelheid van 1,5 mg P/g ds.h en een fosfaatafgiftecapaciteit van 2 mg P/g ds klein. In experiment 4 (referentie) is de defosfateringscapaciteit van het slib vrijwel nihil geworden.

Tabel 6: Fosfaatverwijdering (concentraties zijn gewogen gemiddelden).

|   | UCT               |                  | Phoredox       | Referentie |
|---|-------------------|------------------|----------------|------------|
|   | Exp.1 (T = 1,5h)  | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4     |
| P <sub>tot</sub> influent (mg/l)              | 8,2               | 4,6              | 3,7            | 5,7        |
| P-PO <sub>4</sub> effluent (mg/l)             | 1,0 <sup>1)</sup> | 1,4              | 1,3            | 2,1        |
| P <sub>tot</sub> effluent (mg/l)              | 1,2               | 1,6              | 1,5            | 2,6        |
| P <sub>tot</sub> rendement (%)                | 85                | 65               | 60             | 54         |
| P-interne stromen                             |                   |                  |                |            |
| - P <sub>tot</sub> terreinriolering (mg/l)    | 8                 | 19               | 18             | 9          |
| - P <sub>tot</sub> overloop indikker (mg/l)   | 26                | 17               | 31             | 7          |
| - P <sub>tot</sub> overloop slibbuffer (mg/l) | 80                | 99               | 56             | 26         |
| P-slib aëratietank (g/kg ds)                  | 24                | 22               | 23             | 20         |
| Zwevende stof effluent (mg/l)                 | 6,6               | 8,5              | 6,1            | 15         |
| Fosfaatvrachten (kg/d)                        |                   |                  |                |            |
| - P-influent                                  | 20,9              | 22,1             | 19,7           | 20,0       |
| - P-effluent                                  | 3,0               | 7,5              | 7,9            | 9,1        |
| - P-afvoer slib                               | 12,2              | 11,0             | 9,2            | 7,5        |
| - P-afvoer slibwater                          | 0,9               | 1,0              | 0,8            | 0,7        |
| Temperatuur (°C)                              | 14-19             | 19-15            | 13-9           | 8-11       |

1) Bepaald uit P<sub>tot</sub> en drogestofgehalte in het effluent van experiment 2 en 3 en de fosfaatgehalten in slib.

De fosfaatbalans ( $P_{infi} = P_{effl} + P_{slib}$ ) is in alle experimenten niet sluitend: er gaat 10-30 % meer fosfaat in het systeem dan eruit. Mogelijke oorzaak hiervan is een onvolledige destructie van het slib, met als gevolg een te laag geanalyseerd fosfaatgehalte in het slib. In een verkennend onderzoek bleek het niet mogelijk meer fosfaat vrij te maken door te destrueren met extra zuur (5 ml HNO<sub>3</sub> in plaats van 0,9 ml). In verband met de onzekere fosfaatbalans zijn de defosfateringscapaciteit van het slib en de effluentconcentratie fosfaat de belangrijkste gegevens voor de beoordeling van de biologische defosfatering.

De slibwaterstromen afkomstig van de slibindikking bevatten circa 5 % van de totale fosfaatvracht (circa 1 kg P/d). Indien het slib geen extra capaciteit heeft om fosfaat op te nemen, zou het terugvoeren van de slibwaterstromen leiden tot een verhoging van de effluentconcentratie fosfaat met circa 0,3 mg P/l.



## 5 EVALUATIE

### 5.1 Algemeen beeld van de fosfaatverwijdering

De experimenten 1 en 2 werden bedreven met een UCT-configuratie en een anaërobe contacttijd van respectievelijk 1,5 en 1,1 h. Experiment 3 werd bedreven volgens Phoredox met een anaërobe contacttijd van 1 h. Experiment 4 werd zonder anaërobe tank bedreven (referentie).

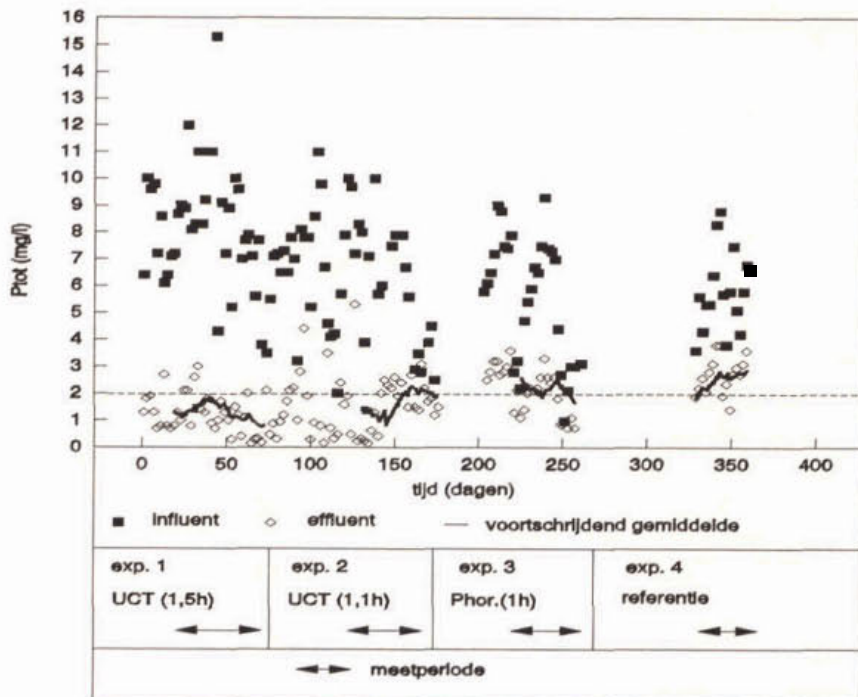
De resultaten zijn samengevoegd in tabel 10.

Tabel 10: Samenvatting van de resultaten.

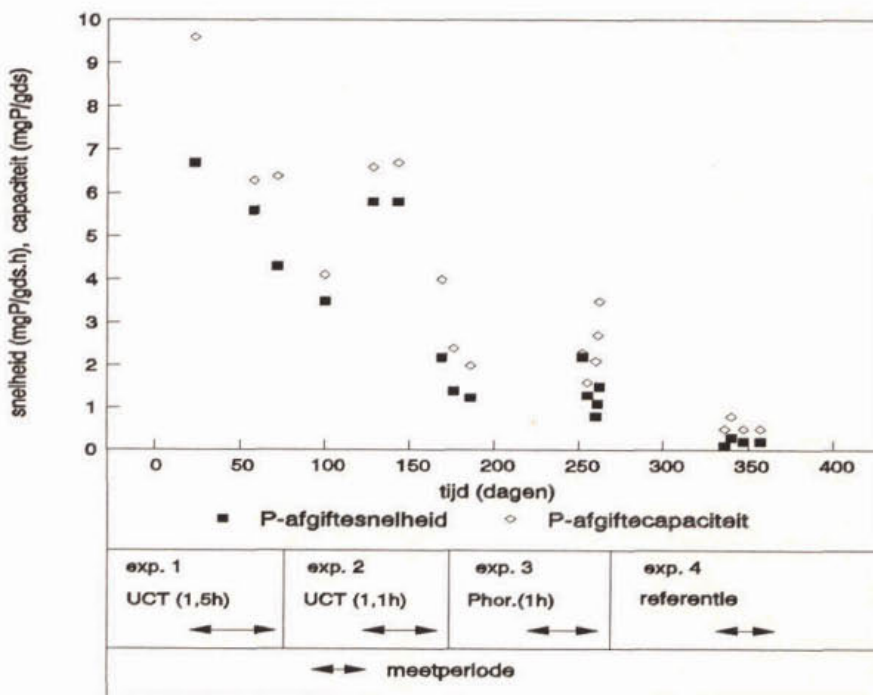
|  | UCT              |                  | Phoredox       | Referentie         |
|--|------------------|------------------|----------------|--------------------|
|  | Exp.1 (T = 1,5h) | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4             |
| Anaërobe tank:   |                  |                  |                | geen anaërobe tank |
| - contacttijd bij $dwa_{max}$ (h)                        | 1,5              | 1,1              | 1,0            |                    |
| - $Q_R/Q_{IN}^{(1)}$ (-)                                 | 1,9              | 2,1              | 1,1            |                    |
| - drogestofgehalte (g/l)                                 | 2,8              | 2,6              | 3,0            |                    |
| - vetzuren (mg CZV/l)                                    | 8                | 10               | 5              |                    |
| - redox (mV)   | -275             | -172             | -140           |                    |
| - anaërobe slibmassa                                     |                  |                  |                |                    |
| . absoluut (kg ds)                                       | 2.000            | 1.300            | 1.000          |                    |
| . relatief (%)   | 15               | 11               | 10             |                    |
| - anaërobe slibbelasting (kg BZV/kg ds <sub>an,d</sub> ) | 0,18             | 0,30             | 0,34           |                    |
| Slibbelasting (kg BZV/kg ds.d)                           | 0,035            | 0,037            | 0,040          | 0,040              |
| Slibleeftijd (d)   | 25               | 20               | 25             | 28                 |
| Temperatuur (°C)   | 14-19            | 19-15            | 13-9           | 8-11               |
| SVI (ml/g)   | 88               | 76               | 70             | 90                 |
| Aanvoer:   |                  |                  |                |                    |
| - debiet (m <sup>3</sup> /d)                             | 2.500            | 4.700            | 5.300          | 3.500              |
| - P <sub>tot</sub> (mg/l)                                | 8,2              | 4,6              | 3,7            | 5,7                |
| - BZV (mg/l)   | 144              | 84               | 65             | 89                 |
| - vetzuren (mg CZV/l)                                    | 12               | 31               | 14             | 15                 |
| - BZV/P (-)  | 18               | 18               | 18             | 16                 |
| - BZV/N (-)  | 2,8              | 2,6              | 2,9            | 2,5                |
| N-effluent:  |                  |                  |                |                    |
| - N-NH <sub>4</sub> (mg/l)                               | 1,7              | 0,3              | 2,5            | 7,2                |
| - N-NO <sub>3</sub> (mg/l)                               | 1,5              | 7,3              | 6,1            | 8,4                |
| P-verwijdering:  |                  |                  |                |                    |
| - P <sub>tot</sub> effluent (mg/l)                       | 1,2              | 1,6              | 1,5            | 2,6                |
| - P-PO <sub>4</sub> effluent (mg/l)                      | 1,0              | 1,4              | 1,3            | 2,1                |
| - P-gehalte slib (g/kg ds)                               | 24               | 22               | 23             | 20                 |
| - P-afgiftesnelheid (mg P/g ds.h)                        | 5,5              | 5,5 → 1,5        | 1,5            | 0,3                |
| - P-afgift capaciteit (mg P/g ds)                        | 7                | 6 → 2            | 2              | 0,5                |
| - P <sub>tot</sub> -rendement (%)                        | 85               | 65               | 60             | 54                 |

1)  $Q_R$  = recirculatie uit anoxische zone bij UCT, retourslib bij Phoredox;  $Q_{IN}$  = influentdebiet ( $dwa_{max}$ ).

Door het voorschakelen van de anaërobe tank heeft in de experimenten 1, 2 en 3 een selectie van defosfaterende bacteriën plaatsgevonden. Dit blijkt uit de lagere effluentconcentratie fosfaat, de hogere defosfateringscapaciteit van het slib en het hoger fosfaatgehalte in het slib van de experimenten 1, 2 en 3 ten opzichte van experiment 4. De gemiddelde effluentconcentratie fosfaat lag in de experimenten 1, 2 en 3 tussen 1 en 2 mg P<sub>tot</sub>/l en in experiment 4 boven 2 mg P<sub>tot</sub>/l. Het voortschrijdend gemiddelde van de effluentconcentratie fosfaat lag alleen in experiment 1 steeds beneden 2 mg P<sub>tot</sub>/l.



Figuur 2:  $P_{tot}$  in influent en effluent; het voortschrijdend gemiddelde is berekend over 10 etmaalmonsters.



Figuur 3: Fosfaatafgiftesnelheid en fosfaatafgiftecapaciteit.



#### 4.5 Redoxpotentiaal, vetzuren en drogestofgehalte in de anaërobe tank

In tabel 7 zijn het drogestofgehalte, de redoxpotentiaal en de vetzuurconcentratie in de anaërobe tank weergegeven. In de tabel zijn bovendien de hoeveelheid anaëroob slib en de anaërobe slibbelasting weergegeven.

Tabel 7: Redoxpotentiaal, drogestofgehalte en vetzuurconcentratie in de anaërobe tank.

|  | UCT              |                  | Phoredox       | Referentie         |
|--|------------------|------------------|----------------|--------------------|
|  | Exp.1 (T = 1,5h) | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4             |
| Redox (mV)   | -275             | -172             | -140           | geen anaërobe tank |
| Vetzuren (mg CZV/l)  | 8                | 10               | 5              |                    |
| Drogestofgehalte (g/l)   | 2,8              | 2,6              | 3              |                    |
| Anaërobe slibmassa   |                  |                  |                |                    |
| - ds-gehalte x $V_{\text{anaëroob}}$ (kg ds)                                   | 2.000            | 1.300            | 1.000          |                    |
| - $\frac{ds_{\text{anaëroob}}}{ds_{\text{aëroob}} + ds_{\text{anaëroob}}}$ (%) | 15               | 11               | 10             |                    |
| Anaërobe slibbelasting (kg BZV/kg $ds_{\text{an-d}}$ )                         | 0,18             | 0,30             | 0,34           |                    |

Tijdens het onderzoek is gebleken dat een periode met veel rwa een stijging van de redoxpotentiaal tot gevolg heeft. Door een lage BZV-concentratie in het influent na een aantal uren rwa was minder BZV voor denitrificatie beschikbaar, waardoor de nitraatconcentratie in de anaërobe tank hoger werd.

Het drogestofgehalte in de anaërobe tank was in alle experimenten vrijwel gelijk. In theorie wordt bij Phoredox een hoger drogestofgehalte in de anaërobe tank bereikt dan bij UCT door het hogere drogestofgehalte in het ingebrachte slib (retourslib in plaats van actiefslib). Uitgangspunt hierbij is dat het drogestofgehalte in het omloopsysteem bij Phoredox en UCT gelijk is. Het actief-slibgehalte in experiment 1 en 2 was echter hoger dan in experiment 3 (zie tabel 9). Bovendien was de  $Q_R/Q_{IN}$ -verhouding bij UCT hoger dan bij Phoredox. Het theoretische verschil tussen UCT en Phoredox met betrekking tot het drogestofgehalte in de anaërobe tank kwam in het praktijkonderzoek derhalve nauwelijks tot uitdrukking.

#### 4.6 Overige procesfactoren

In tabel 8 zijn de CZV-verwijdering en de specifieke slibproductie weergegeven.

Tabel 8: CZV-verwijdering en specifieke slibproductie (gewogen gemiddelden).

|   | UCT              |                  | Phoredox       | Referentie |
|---|------------------|------------------|----------------|------------|
|   | Exp.1 (T = 1,5h) | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4     |
| CZV influent (mg/l)                     | 494              | 270              | 219            | 299        |
| BZV influent (mg/l)                     | 144              | 84               | 65             | 89         |
| CZV effluent (mg/l)                     | 49               | 38               | 33             | 46         |
| CZV-verwijdering (%)                    | 90               | 85               | 85             | 85         |
| Slibproductie (kg ds/d)                 | 510              | 500              | 400            | 380        |
| Specifieke slibproductie (kg ds/kg BZV) | 1,4              | 1,3              | 1,1            | 1,2        |

Tabel 9 vermeldt de SVI, de temperatuur en het drogestofgehalte in de aëratietank.

De slibbezinkingseigenschappen (SVI) waren in alle experimenten zeer goed.

Tabel 9: SVI, temperatuur en drogestofgehalte in de aëratietank.

|  | UCT              |                  | Phoredox       | Referentie |
|--|------------------|------------------|----------------|------------|
|  | Exp.1 (T = 1,5h) | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4     |
| SVI (ml/g)                               | 88               | 76               | 70             | 90         |
| Temperatuur (°C)                         | 14-19            | 19-15            | 13-9           | 8-11       |
| Drogestofgehalte in de aëratietank (g/l) | 3,9              | 3,7              | 3,0            | 2,8        |

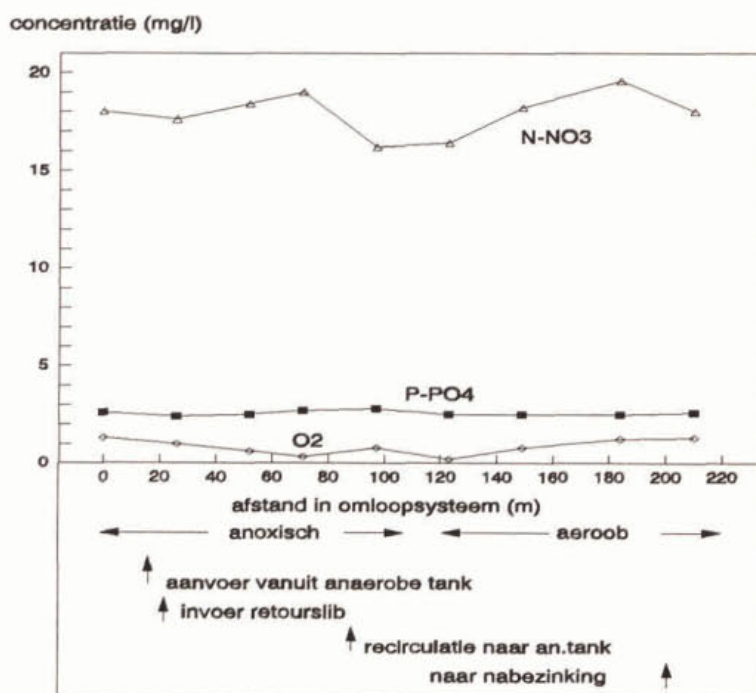
#### 4.7 Flankerend onderzoek

##### Profielmetingen

In figuur 4 zijn concentratieprofielen van  $O_2$ ,  $N-NH_4$ ,  $N-NO_3$  en  $P-PO_4$  in het omloopsysteem weergegeven. De profielen zijn bepaald tijdens experiment 2.

De concentratie  $N-NO_3$  in het omloopsysteem bij de afvoer naar de anaërobe tank (recirculatie vanuit anoxische zone) was vrijwel gelijk aan de concentratie  $N-NO_3$  bij de afvoer naar de nabezinking. Profielmetingen uitgevoerd tijdens experiment 1 en 3 gaven een overeenkomstig beeld te zien.

Voor de terugvoer van  $N-NO_3$  naar de anaërobe tank maakte het op basis van de concentraties aan  $N-NO_3$  in het omloopsysteem geen verschil of het slib vanuit de anoxische zone of vanuit de nabezinktank naar de anaërobe tank werd gebracht. Er is dus geen verschil tussen UCT en Phoredox met betrekking tot de  $N-NO_3$ -concentratie in de teruggevoerde stroom naar de anaërobe tank.



Figuur 4: Profielen van  $P-PO_4$ ,  $O_2$  en  $N-NO_3$  in het omloopsysteem, ( $N-NH_4$  niet aantoonbaar).



### *Effect van het drogestofgehalte in de anaërobe tank*

In figuur 5 zijn de fosfaatafgiftetests met influent bij verschillende drogestofgehalten en met acetaat weergegeven. Bovendien is de fosfaatopnamecapaciteit weergegeven.

De tests zijn uitgevoerd tijdens experiment 2 onder dwa-condities. De hoeveelheid toegevoegde BZV (influent) per gram drogestof was voor 2,5, 3 en 4 g ds/l respectievelijk 0,024, 0,020 en 0,015 g BZV/g ds. De hoeveelheid toegevoegd acetaat per gram drogestof was 0,08 g BZV/g ds.

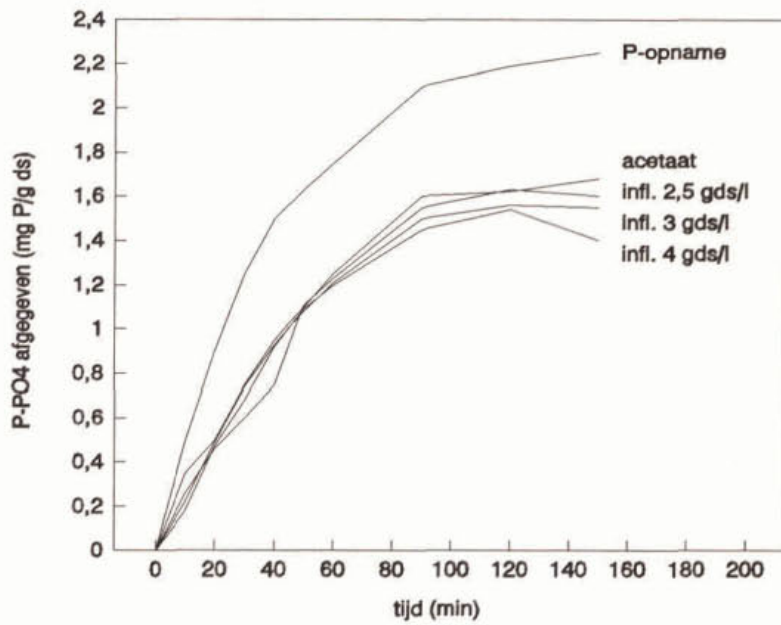
Uit de figuur blijkt dat de fosfaatafgiftesnelheid en de hoeveelheid afgegeven fosfaat bij de verschillende drogestofgehalten (2,5-4 g ds/l) vrijwel gelijk is. De fosfaatafgifte met acetaat laat eenzelfde verloop zien. Geconcludeerd wordt dat het BZV in het influent bij de betreffende concentratie defosfateerders in het slib niet limiterend was voor de fosfaatafgifte. Volgens dit verloop kan door verhoging van het drogestofgehalte in de anaërobe tank bij gelijke contacttijd een grotere totale P-afgifte worden bereikt. Dit bevordert de selectie van biologisch defosfaterende micro-organismen. Het verloop van de curve in de tijd geeft aan dat na circa 2 uur een plafond wordt bereikt en dat na 60 minuten circa 75 % van de totale afgifte heeft plaatsgevonden. Verlenging van de contacttijd van 1 uur tot 1,5 uur zou onder de omstandigheden van de test een beperkt positief effect hebben.

De fosfaatopnamecapaciteit bij beluchting van het slib is groter dan de fosfaatafgiftecapaciteit. Dit is een normaal verschijnsel bij biologisch defosfaterend slib.

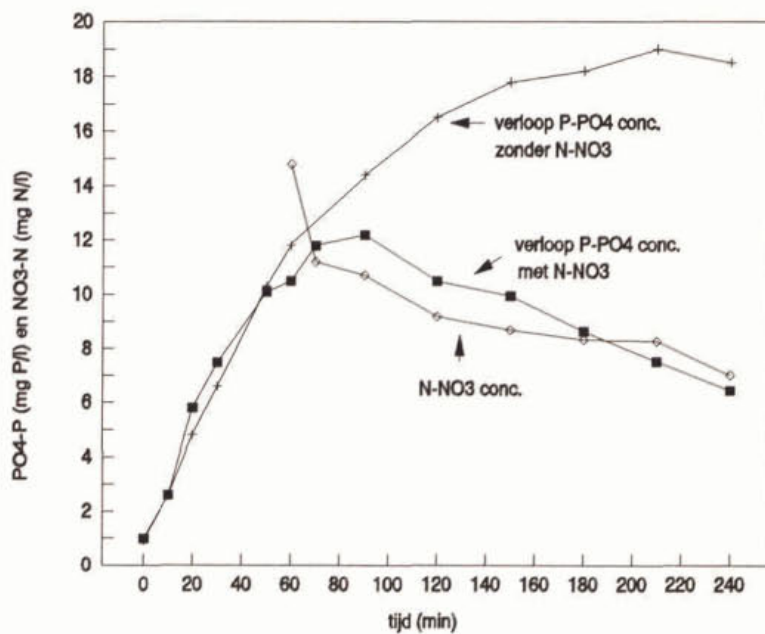
In experimenten onder rwa-condities vond met influent geen fosfaatafgifte plaats, als gevolg van de zeer lage BZV in het influent.

### *Denitrificerende defosfateerders*

Figuur 6 geeft twee fosfaatafgiftetests met acetaat weer: één test zonder toevoegen van nitraat en één test waarbij na 60 minuten nitraat is toegevoegd. Tijdens de gehele proef was de pH 7,5. Uit de figuur blijkt dat na toevoegen van nitraat de fosfaatconcentratie en de nitraatconcentratie afnemen. Dit wijst op biologische defosfatering onder denitrificerende condities. Gezien de constante pH is hier geen sprake van fysisch-chemische P-verwijdering door pH-verhoging als gevolg van denitrificatie.



Figuur 5: Fosfaatgiftetests met influent bij verschillende drogestofgehalten.



Figuur 6: Fosfaatgiftte met en zonder toevoeging van nitraat.



## 5 EVALUATIE

### 5.1 Algemeen beeld van de fosfaatverwijdering

De experimenten 1 en 2 werden bedreven met een UCT-configuratie en een anaërobe contacttijd van respectievelijk 1,5 en 1,1 h. Experiment 3 werd bedreven volgens Phoredox met een anaërobe contacttijd van 1 h. Experiment 4 werd zonder anaërobe tank bedreven (referentie).

De resultaten zijn samengevoegd in tabel 10.

Tabel 10: Samenvatting van de resultaten.

|   | UCT              |                  | Phoredox       | Referentie         |
|---|------------------|------------------|----------------|--------------------|
|   | Exp.1 (T = 1,5h) | Exp.2 (T = 1,1h) | Exp.3 (T = 1h) | Exp. 4             |
| Anaërobe tank:                                    |                  |                  |                | geen anaërobe tank |
| - contacttijd bij $dwa_{max}$ (h)                 | 1,5              | 1,1              | 1,0            |                    |
| - $Q_R/Q_{IN}$ (-)                                | 1,9              | 2,1              | 1,1            |                    |
| - drogestofgehalte (g/l)                          | 2,8              | 2,6              | 3,0            |                    |
| - vetzuren (mg CZV/l)                             | 8                | 10               | 5              |                    |
| - redox (mV)                                      | -275             | -172             | -140           |                    |
| - anaërobe slibmassa                              |                  |                  |                |                    |
| . absoluut (kg ds)                                | 2.000            | 1.300            | 1.000          |                    |
| . relatief (%)                                    | 15               | 11               | 10             |                    |
| - anaërobe slibbelasting (kg BZV/kg $ds_{an,d}$ ) | 0,18             | 0,30             | 0,34           |                    |
| Slibbelasting (kg BZV/kg ds.d)                    | 0,035            | 0,037            | 0,040          | 0,040              |
| Slibleeftijd (d)                                  | 25               | 20               | 25             | 28                 |
| Temperatuur (°C)                                  | 14-19            | 19-15            | 13-9           | 8-11               |
| SVI (ml/g)  | 88               | 76               | 70             | 90                 |
| Aanvoer:  |                  |                  |                |                    |
| - debiet ( $m^3/d$ )                              | 2.500            | 4.700            | 5.300          | 3.500              |
| - $P_{tot}$ (mg/l)                                | 8,2              | 4,6              | 3,7            | 5,7                |
| - BZV (mg/l)                                      | 144              | 84               | 65             | 89                 |
| - vetzuren (mg CZV/l)                             | 12               | 31               | 14             | 15                 |
| - BZV/P (-)                                       | 18               | 18               | 18             | 16                 |
| - BZV/N (-)                                       | 2,8              | 2,6              | 2,9            | 2,5                |
| N-effluent:                                       |                  |                  |                |                    |
| - N-NH <sub>4</sub> (mg/l)                        | 1,7              | 0,3              | 2,5            | 7,2                |
| - N-NO <sub>3</sub> (mg/l)                        | 1,5              | 7,3              | 6,1            | 8,4                |
| P-verwijdering:                                   |                  |                  |                |                    |
| - $P_{tot}$ effluent (mg/l)                       | 1,2              | 1,6              | 1,5            | 2,6                |
| - P-PO <sub>4</sub> effluent (mg/l)               | 1,0              | 1,4              | 1,3            | 2,1                |
| - P-gehalte slib (g/kg ds)                        | 24               | 22               | 23             | 20                 |
| - P-afgiftesnelheid (mg P/g ds.h)                 | 5,5              | 5,5 → 1,5        | 1,5            | 0,3                |
| - P-afgiftecapaciteit (mg P/g ds)                 | 7                | 6 → 2            | 2              | 0,5                |
| - $P_{tot}$ -rendement (%)                        | 85               | 65               | 60             | 54                 |

1)  $Q_R$  = recirculatie uit anoxische zone bij UCT, retourslib bij Phoredox;  $Q_{IN}$  = influentdebiet ( $dwa_{max}$ ).

Door het voorschakelen van de anaërobe tank heeft in de experimenten 1, 2 en 3 een selectie van defosfaterende bacteriën plaatsgevonden. Dit blijkt uit de lagere effluentconcentratie fosfaat, de hogere defosfateringscapaciteit van het slib en het hoger fosfaatgehalte in het slib van de experimenten 1, 2 en 3 ten opzichte van experiment 4. De gemiddelde effluentconcentratie fosfaat lag in de experimenten 1, 2 en 3 tussen 1 en 2 mg  $P_{tot}$ /l en in experiment 4 boven 2 mg  $P_{tot}$ /l. Het voortschrijdend gemiddelde van de effluentconcentratie fosfaat lag alleen in experiment 1 steeds beneden 2 mg  $P_{tot}$ /l.

## 5.2 Relatie tussen nitraatconcentratie en fosfaatverwijdering

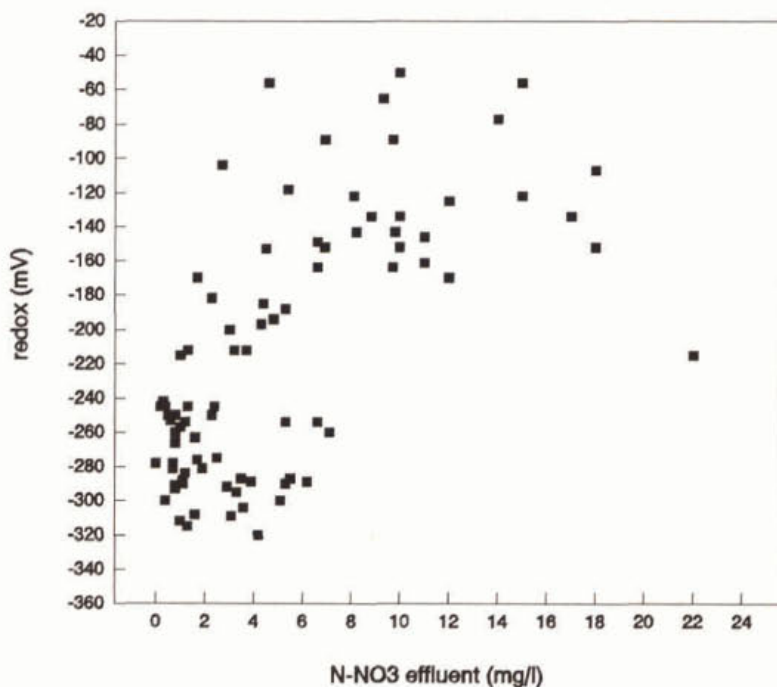
De nitraatconcentratie in de slibstromen naar de anaërobe tank bleek bij zowel UCT als Phoredox gelijk aan de nitraatconcentratie in het effluent.

Op de RWZI Mastgat wordt de stikstofverwijdering geregeld op basis van zuurstofsetpoints. Bij deze regeling kon de effluentconcentratie nitraat niet altijd laag gehouden worden. Tijdens perioden met een hoge nitraatconcentratie werden verhoogde fosfaatconcentraties waargenomen.

In figuur 7 is de relatie tussen de redoxpotentiaal in de anaërobe tank en de effluentconcentratie nitraat weergegeven (totaal van de experimenten 1, 2 en 3). Een hogere nitraatconcentratie heeft een hogere redoxpotentiaal tot gevolg. Voor een voldoende lage en stabiele redoxpotentiaal (lager dan circa -150 mV) bleken effluentconcentraties nitraat kleiner dan circa 8 mg N-NO<sub>3</sub>/l vereist.

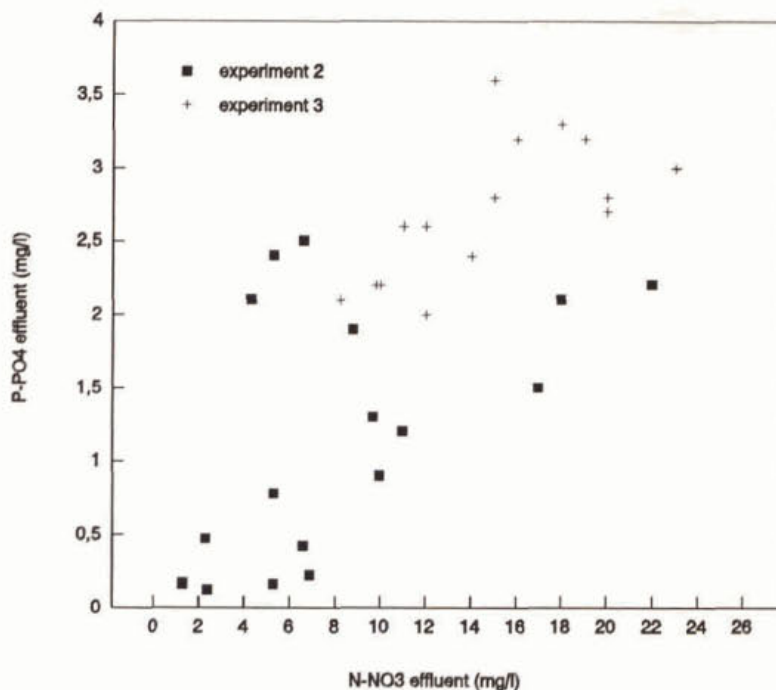
In figuur 8 is de relatie tussen de effluentconcentratie N-NO<sub>3</sub> en de effluentconcentratie P-PO<sub>4</sub> weergegeven bij dwa in perioden met lage ammonium-effluentconcentraties (circa 2 mg N-NH<sub>4</sub>/l). Bij hogere nitraatconcentraties dan circa 7 mg N-NO<sub>3</sub>/l lijken geen lage P-PO<sub>4</sub> concentraties bereikt te kunnen worden.

De figuren 7 en 8 geven aan dat voor een goede fosfaatverwijdering de nitraatconcentratie in het effluent niet hoger dan 7 mg N-NO<sub>3</sub>/l mag zijn.



Figuur 7: Relatie tussen de N-NO<sub>3</sub>-concentratie in het effluent en de redoxpotentiaal in de anaërobe tank.





Figuur 8: Relatie tussen de N-NO<sub>3</sub>-concentratie in het effluent en de P-PO<sub>4</sub>-concentratie in het effluent.

### 5.3 Vergelijking van de fosfaatverwijdering in het UCT- en het Phoredoxsysteem

De gemiddelde effluentconcentratie fosfaat en de defosfateringscapaciteit van het slib waren bij UCT (experiment 2) en Phoredox (experiment 3) vrijwel gelijk. Dit kan worden verklaard door de gelijke contacttijd, drogestofconcentratie en nitraatbelasting in de anaërobe tank in beide systemen.

Door de heersende procescondities in de experimenten was het drogestofgehalte in de anaërobe tank bij Phoredox niet hoger dan bij UCT. Wellicht zou bij een hoger drogestofgehalte in de anaërobe tank een hogere defosfateringscapaciteit zijn bereikt.

Uit de relaties tussen de fosfaatafgifte en het drogestofgehalte in de proeven van paragraaf 4.7 volgt dat bij de testcondities de beschikbare BZV niet limiterend was en in principe de hogere drogestofgehalten gunstig zijn voor het selectiemechanisme. Phoredox is dan in het voordeel te opzichte van UCT.

De stikstofverwijdering was in beide experimenten gelijkwaardig (gelijke effluentconcentraties nitraat). Op basis van de profielmetingen was er geen verschil in nitraatconcentratie tussen UCT en Phoredox in de teruggevoerde stroom naar de anaërobe tank. In het praktijkonderzoek is bij UCT een grotere  $Q_R/Q_{IN}$ -verhouding toegepast dan volgens de ontwerpgrondslagen. Het is waarschijnlijk dat de grotere  $Q_R/Q_{IN}$ -verhouding bij UCT een wat grotere storende werking van nitraat tot gevolg heeft gehad. Dit blijkt echter niet uit de resultaten.

Geconcludeerd wordt dat in dit zuiveringstelsel UCT ten opzichte van Phoredox geen toegevoegde waarde heeft. Om dezelfde hoeveelheid slib naar de anaërobe tank terug te brengen moet het recirculatie-debiet bij UCT ten opzichte van het retourslib-debiet bij Phoredox groter gekozen worden, waardoor bij UCT een groter volume van de anaërobe tank nodig is. Bij omloopsystemen heeft Phoredox derhalve de voorkeur.



#### 5.4 Fosfaatverwijdering bij verschillende instellingen van de anaërobe tank

Experiment 1 (UCT; 1,5 h) vertoonde een lagere gemiddelde effluentconcentratie fosfaat en een grotere defosfateringscapaciteit van het slib dan experiment 2 (UCT; 1,1 h) en experiment 3 (Phoredox; 1 h). Circa twee slibleeftijden na de start van experiment 2 was de defosfateringscapaciteit nog even groot als in experiment 1; aan het eind van experiment 2 is de defosfateringscapaciteit echter sterk gedaald. Ook in experiment 3 was de defosfateringscapaciteit laag.

De experimenten 2 en 3 werden gekenmerkt door een relatief hoog aanvoerdebiet (rwa) en een hoge nitraatconcentratie in het effluent.

De verlaging van de anaërobe contacttijd van 1,5 h tot 1 h heeft in eerste instantie geen nadelig effect gehad op de defosfateringscapaciteit van het slib. De daling van de defosfateringscapaciteit en de hogere effluentconcentraties fosfaat in experiment 2 en experiment 3 vallen samen met een periode van hoge nitraatconcentraties en langdurige rwa-condities. Wellicht zijn de problemen versterkt door de kortere anaërobe contacttijd in experiment 2 en 3 dan in experiment 1.

In de proeven van paragraaf 4.7 werd tussen 1,0 en 1,5 h nog maar een beperkte fosfaatafgifte waargenomen. Omdat BZV in deze proeven niet beperkend was, is het plafond waarschijnlijk bepaald door de hoeveelheid vrij te maken poly-fosfaat in de biomassa.

Geconcludeerd wordt dat een anaërobe contacttijd van 1 h bij dit afvalwater voldoet om een effluenteis van 2 mg  $P_{tot}$ /l te halen. Hierbij zijn lage nitraatconcentraties een voorwaarde. In het onderzoek is bij een gemiddelde nitraatconcentratie van 6-7 mg N- $NO_3$ /l een gemiddelde effluentconcentratie fosfaat kleiner dan 2 mg  $P_{tot}$ /l gehaald; het maximum van het voortschrijdend gemiddelde lag echter boven 2 mg  $P_{tot}$ /l.

Een zeer hoge defosfateringscapaciteit van het slib en een zeer lage effluentconcentratie fosfaat zijn bereikt bij een nitraatconcentratie van circa 2 mg N- $NO_3$ /l; het maximum van het voortschrijdend gemiddelde lag beneden 2 mg  $P_{tot}$ /l.

Opgemerkt wordt dat in de fosfaat-AMvB voor het voortschrijdend gemiddelde wordt uitgegaan van een (minimale) bemonsteringsfrequentie van 1-5 maal per maand, afhankelijk van de grootte van de RWZI. De meetperiode per experiment betrof in dit praktijkonderzoek 1-2 maanden en er is voor het voortschrijdend gemiddelde uitgegaan van een "bemonsteringsfrequentie" van eenmaal per 2 dagen. De hogere monsterfrequentie leidde tot een grotere kans op overschrijding van de fosfaateis, omdat bij een korte verstoring van het proces (bijvoorbeeld een week) meer opeenvolgende 'slechte' monsters binnen één voortschrijdend gemiddelde van 10 monsters kunnen vallen.

#### 5.5 Maatgevende parameter voor de dimensionering van de anaërobe tank

De vraag is welke parameters maatgevend zijn voor de dimensionering van de anaërobe tank. Het uitgangspunt daarbij is dat met een gegeven afvalwater een optimale selectie van defosfaterende biomassa wordt bereikt.

De dimensionering van de anaërobe tank wordt in de regel gebaseerd op de anaërobe contacttijd. Bij de uitgevoerde fosfaatafgifteproeven werd na circa 2 uur een plafond bereikt en had na 60 minuten circa 75% van de totale afgifte plaatsgevonden. Verlenging van de contacttijd van 1 uur tot 1,5 uur zou onder de onderzochte omstandigheden maar een beperkt positief effect hebben. In situaties waarbij het BZV-aanbod wel beperkend is, kan verlenging van de contacttijd gunstig zijn, doordat meer BZV beschikbaar komt uit de hydrolyse van macromoleculen. Dit betekent dat de keuze van de contacttijd afhankelijk is van de mate waarin het influent reeds vergaand verzuurd is (bijvoorbeeld in persleidingen).

Dimensionering op basis van de anaërobe contacttijd houdt geen rekening met de beschikbare BZV en de aanwezige biomassa. Uit de relaties tussen fosfaatafgifte en drogestofcon-



concentratie in de proeven van paragraaf 4.7 volgt dat bij de onderzochte condities de beschikbare BZV niet limiterend was. Wanneer meer biomassa aanwezig is, kan deze deelnemen aan de fosfaatafgifte. Hogere drogestofgehaltes zijn dan gunstig voor het selectiemechanisme; Phoredox is dan in het voordeel ten opzichte van UCT.

De beschikbare BZV en de drogestofconcentratie worden wel meegenomen wanneer men de selectiedruk van de anaërobe tank zou uitdrukken met de 'anaërobe slibbelasting' (kg BZV/kg ds.d). Verlaging van deze slibbelasting leidt tot een versterkt selectiemechanisme. Hierbij geldt echter een minimumwaarde, die vooral afhankelijk is van het aanbod aan vetzuren en te verzuren componenten. Wanneer de beschikbare BZV voor het grootste deel uit vetzuren bestaat, kan de contacttijd relatief kort zijn, zodat met een hoge slibbelasting reeds een optimale defosfatering wordt bereikt.

De parameters die samen de anaërobe slibbelasting bepalen, kunnen niet geheel onafhankelijk worden gekozen. Er is bijvoorbeeld een zekere contacttijd nodig voor de diffusie in de slibvlokken en de opeenvolgende biochemische processen. Dit betekent dat een sterke verhoging van de slibconcentratie in de anaërobe tank (bijvoorbeeld door indikking) niet zal leiden tot een evenredige verkorting van de benodigde contacttijd.

Tenslotte wordt opgemerkt dat het concept van de gewenste anaërobe slibbelasting alleen van toepassing is wanneer optimaal gebruik moet worden gemaakt van de beschikbaar te maken componenten in het afvalwater. Indien het afvalwater veel vetzuren bevat kan een hoge anaërobe slibbelasting worden toegepast.

In de experimenten kon bij een anaërobe slibbelasting van 0,18-0,34 kg BZV/kg ds<sub>an</sub>.d een effluenteis van 2 mg P/I worden gehaald. Er bestaan nog geen duidelijke richtlijnen voor dimensionering van de anaërobe tank op basis van de anaërobe slibbelasting. In de praktijk zal de dimensionering daarom gebaseerd worden op de anaërobe contacttijd. Met fosfaatafgifteproeven onder verschillende condities kan per situatie worden nagegaan welke factor het meest bepalend is voor de dimensionering. Daarbij moet zeker aandacht worden besteed aan de contacttijd, de beschikbare BZV en het drogestofgehalte, wanneer dit afwijkt van de gebruikelijke actief-slibgehaltes.

## 5.6 Overige aspecten

### SVI

De slibbezinkingseigenschappen waren in alle experimenten zeer goed. Dit geldt zowel voor de experimenten met als zonder anaërobe tank.

De op veel RWZI's waargenomen verslechtering van de slibindex bij optimalisatie van de N-totaalverwijdering is hier niet opgetreden.

### Interne stromen

De slibwaterstromen afkomstig van de slibindikking bevatten een fosfaatvracht ter grootte van 5 % van de influentvracht. Indien de verwijdering van fosfaat met het spuislib gelijk blijft, zou het terugvoeren van deze stromen in het zuiveringsproces leiden tot een verhoging van de effluentconcentratie fosfaat met circa 0,3 mg P/I.

### Analyse ter plaatse

In het onderzoek is ter plaatse bepaling van N-NO<sub>3</sub>, P-PO<sub>4</sub> en N-NH<sub>4</sub> zeer nuttig gebleken. Door het direct beschikbaar komen van de analyseresultaten kan de bedrijfsvoering snel worden bijgestuurd. Vooral wegens het waargenomen negatieve effect van nitraat is een goede meting en regeling van de stikstofverwijdering van belang.



## 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Een anaërobe contacttijd van 1 h (dwa) voldoet bij dit afvalwater (ruw afvalwater met een lage BZV/N- en BZV/P-verhouding) om een effluenteis van 2 mg  $P_{\text{tot}}$ /l te halen. Hierbij is een lage effluentconcentratie nitraat een voorwaarde.

De storende werking van nitraat nam sterk toe bij een effluentconcentratie nitraat groter dan 7 mg  $N\text{-NO}_3$ /l.

Bij een gemiddelde nitraatconcentratie van 6-7 mg  $N\text{-NO}_3$ /l is ondanks veel rwa een gemiddelde effluentconcentratie fosfaat kleiner dan 2 mg  $P_{\text{tot}}$ /l gehaald.

Een zeer grote defosfateringscapaciteit en een zeer lage gemiddelde effluentconcentratie fosfaat zijn bereikt bij een effluentconcentratie nitraat van circa 2 mg  $N\text{-NO}_3$ /l.

Bij omloopsystemen is er wegens het ontbreken van een nitraatgradiënt geen verschil tussen UCT en Phoredox met betrekking tot de storende werking van nitraat. UCT heeft derhalve geen toegevoegde waarde ten opzichte van Phoredox. Daar komt bij dat het drogestofgehalte in de anaërobe tank bij Phoredox normaliter hoger is dan bij UCT, wat gunstiger is voor de anaërobe omzettingen (lagere "anaërobe slibbelasting").

Bij systemen waar in de waterlijn zowel zones met een hoge als met een lage nitraatconcentratie voorkomen (bijvoorbeeld voordennitrificatiesystemen met beperkte recirculatie) kan toepassing van het UCT-principe wellicht wel aantrekkelijk zijn.

De slibbezinkingseigenschappen waren tijdens het hele onderzoek erg goed.

De slibwaterstromen afkomstig van de slibindikking bevatten circa 5 % van de totale fosfaatvracht. Indien deze stromen naar de zuivering zouden worden teruggevoerd betekent dit bij een gelijkblijvende fosfaatopname door het slib een verhoging van de effluentconcentratie met circa 0,3 mg P/l.

Een goede processturing is nodig om een goede stikstofverwijdering en dus een goede fosfaatverwijdering te verkrijgen.

Ter plaatse bepaling van  $N\text{-NO}_3$ ,  $P\text{-PO}_4$  en  $N\text{-NH}_4$  is nuttig gebleken, omdat deze direct gegevens voor de processturing oplevert.

Aanvullend onderzoek is nodig om vast te stellen of door het voorschakelen van een anaërobe tank kan worden voldaan aan een effluenteis van 1 mg  $P_{\text{tot}}$ /l. In dit onderzoek zullen ondermeer de anaërobe contacttijd, de anaërobe slibbelasting en het minimaliseren van de storende werking van nitraat betrokken moeten worden. Om een goede vergelijking tussen twee verschillende instellingen te kunnen maken zal het onderzoek gebruik moeten maken van twee parallelle straten.

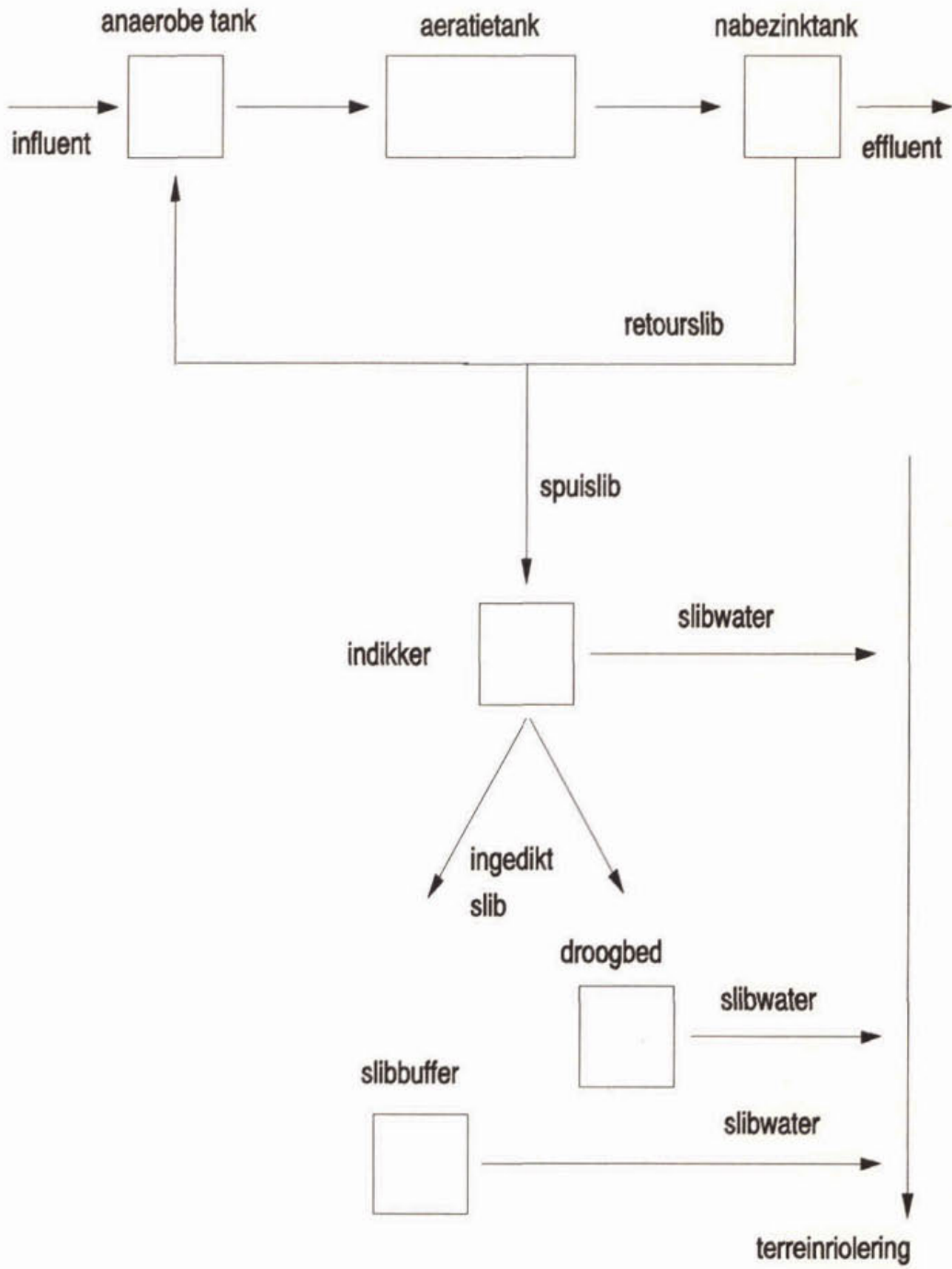
In diverse defosfateringsonderzoeken blijkt het niet mogelijk de fosfaatbalans sluitend te krijgen. Er is onderzoek nodig naar de factoren die van invloed zijn op de fosfaatbalansen, waarbij in ieder geval de analysemethode voor de bepaling van de fosfaatconcentratie in slib betrokken moet worden.



## 7 LITERATUUR

- 1 Besluit van 13 juni 1990, houdende regelen met betrekking tot grenswaarden voor fosfaat in door rioolwaterzuiveringsinrichtingen te lozen afvalwater, Staatsblad 1990 no. 301.
- 2 Biologische defosfatering: een goed alternatief ?!, Symposium "NVA-themadag fosfaatverwijdering uit afvalwater", Amersfoort, 17 juni 1992.
- 3 STOWA, Handleiding biologische fosfaatverwijdering, Den Haag, 1991, rapport nr. 91-07.
- 4 Rapport met analyseresultaten, Waterschap Schouwen-Duiveland, 1994, Zierikzee.

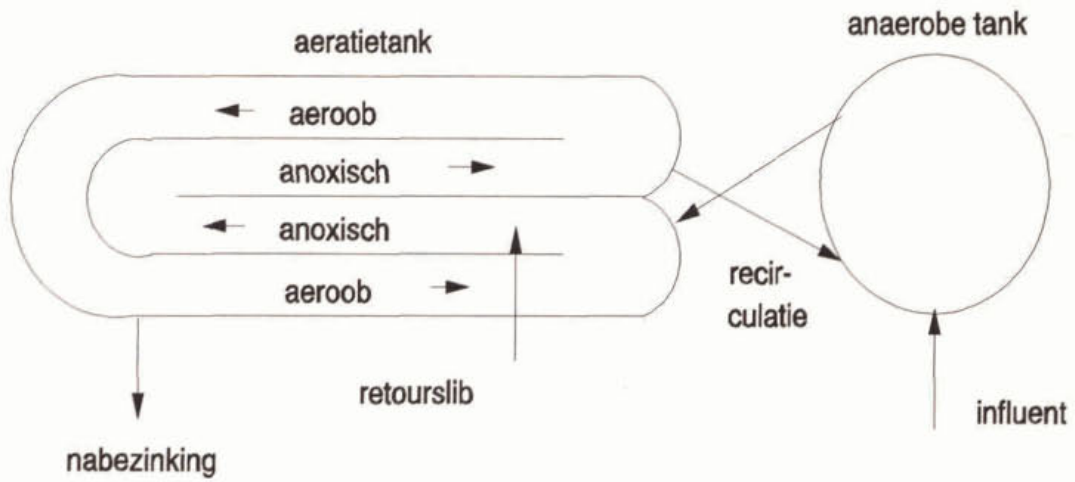
BIJLAGE 1: Blokschema RWZI Mastgat



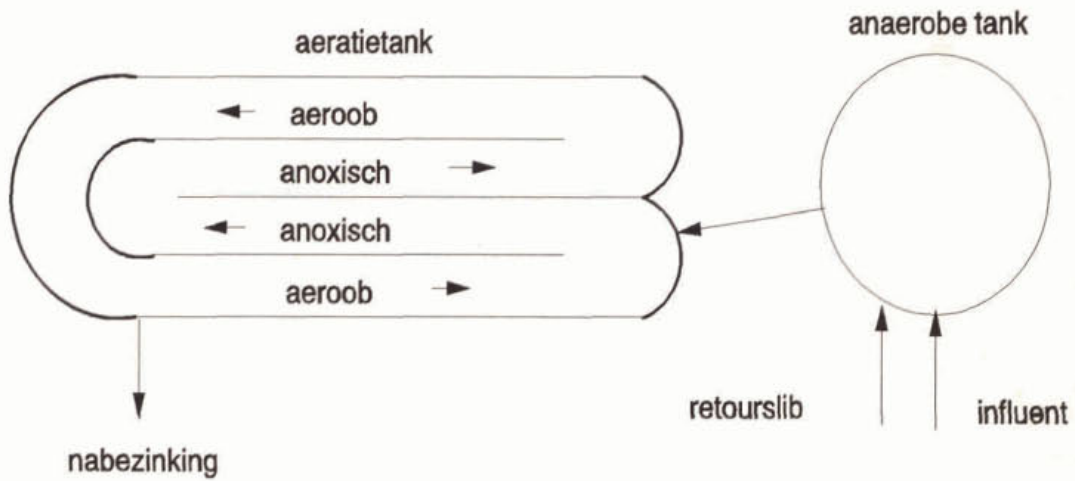


BIJLAGE 2: Configuratie actief-slibstelsysteem volgens UCT en Phoredox

UCT



Phoredox



### BIJLAGE 3: Bemonsterings- en analyseprogramma

VP = volumeproportioneel monster, ST = steekmonster, F = facultatief, C = continu  
 1/2wk = 1 maal per 2 weken, 1/mnd = 1 maal per maand.

|                        | Infl.  | Inge-<br>dikt<br>slib | Anaer.<br>tank | Anox.<br>zone | Aërobe<br>zone | Interne<br>stromen | Retour<br>slib | Recir. | Effl.  |
|------------------------|--------|-----------------------|----------------|---------------|----------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| CZV                    | 3,5/wk |                       |                |               |                | 1/md               |                |        | 3,5/wk |
| BZV                    | 3,5/wk |                       |                |               |                |                    |                |        |        |
| Kj-N                   | 3,5/wk |                       |                |               |                | 1/md               |                |        | 3,5/wk |
| NH <sub>4</sub> -N     | 3,5/wk |                       | 1/wk           | F             | 1/wk           | 1/md               |                |        | 3,5/wk |
| NO <sub>3</sub> -N     |        |                       | 1/wk           | F             | 1/wk           | 1/md               |                |        | 3,5/wk |
| NO <sub>2</sub> -N     |        |                       |                |               |                |                    |                |        | 3,5/wk |
| P-tot.                 | 3,5/wk |                       | 1/wk           | F             | 1/wk           | 1/md               |                |        | 3,5/wk |
| P-PO4                  |        | 1/wk                  | 1/wk           | F             | 1/wk           |                    | 1/wk           |        | 3,5/wk |
| P-slib                 |        | 1/mnd                 | 1/mnd          |               | 1/mnd          |                    |                |        |        |
| N-slib                 |        | 1/mnd                 | 1/mnd          |               | 1/mnd          |                    |                |        |        |
| redox                  |        |                       | 5/wk           | F             |                |                    |                |        |        |
| O <sub>2</sub>         |        |                       | F              | F             | 5/wk           |                    |                |        |        |
| pH                     | 3,5/wk |                       |                |               |                | 1/md               |                |        | 3,5/wk |
| T                      |        |                       |                |               | 3,5/wk         |                    |                |        | 3,5/wk |
| DS                     |        | 5/wk                  | 5/wk           |               | 5/wk           | 1/md               |                |        | 3,5/wk |
| Cl                     | 3,5/wk |                       |                |               |                | 1/md               |                |        | 3,5/wk |
| hardheid               | 1/wk   |                       |                |               |                |                    |                |        | 3,5/wk |
| Bezinksel              | 3,5/wk |                       |                |               |                |                    |                |        | 3,5/wk |
| Ca                     | 1/mnd  |                       |                |               |                |                    |                |        |        |
| Mg                     | 1/mnd  |                       |                |               |                |                    |                |        |        |
| Al                     | 1/mnd  |                       |                |               |                |                    |                |        |        |
| Fe                     | 1/mnd  |                       |                |               |                |                    |                |        |        |
| vetzuren               | 1/wk   |                       | 1/wk           |               |                |                    |                |        |        |
| microsc.               |        |                       |                |               | 1/wk           |                    |                |        |        |
| debiet                 | C      | 5/wk                  |                |               |                | 5/wk               | 5/wk           | 3,5/wk |        |
| wijze be-<br>monsteren | VP     | ST                    | ST             | ST            | ST             | ST                 |                |        | VP     |

• stroom van anoxische zone naar anaërobe tank

Proeven zijn gedaan voor het bepalen van:

- fosfaatafgiftesnelheid (1x/2wk),
- nitrificatie- en denitrificatiesnelheid (1x/mnd).



