


1995-18\_slibverwerking-biologische-defosfatering

**stowa**

**Slibverwerking bij  
biologische defosfatering**

**95-18**

## Slibverwerking bij biologische defosfatering



95-18

Publikaties en het publikatieoverzicht  
van de Stowa kunt u uitsluitend  
bestellen bij:  
Hageman Verpakkers BV  
Postbus 281  
2700 AC Zoetermeer  
tel. 079-3611188  
fax 079-3613927  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.  
ISBN nr. 90.74476.36.8

Inhoudsopgave	Blz.
TEN GELEIDE	
SAMENVATTING	1
1 INLEIDING	2
2 BIOLOGISCHE EN CHEMISCHE ACHTERGROND	3
2.1 Fosfaatfracties in het actief slib	3
2.2 Chemische fosfaatbinding	3
2.3 Slibverwerking en fosfaatafgifte	4
3 INVENTARISATIE VAN DE LITERATUUR	7
3.1 Gegevens uit eerder Stowa-onderzoek	7
3.2 Duitsland; RWZI Lange-Egelsbach	8
3.3 Zweden; RWZI Sjölanda in Malmö	12
3.4 Drinkwaterslib voor het binden van fosfaat in de gisting	13
3.5 Overige gegevens en ervaringen	14
4 INVENTARISATIE VAN DE NEDERLANDSE PRAKTIJKERVARINGEN	15
4.1 Algemeen	15
4.2 Fosfaatterugvoer bij RWZI's	15
4.2.1 RWZI's zonder voorbezinking	17
4.2.2 RWZI's met voorbezinking en gisting	17
5 EVALUATIE	18
5.1 Totale RWZI bestand	18
5.2 RWZI's zonder voorbezinking	18
5.2.1 Fosfaatafgifte en fosfaatterugvoer	18
5.2.2 Actieve binding van afgegeven fosfaat	18
5.3 RWZI's met voorbezinking en gisting	19
5.3.1 Fosfaatafgifte en fosfaatterugvoer	19
5.3.2 Actieve binding van afgegeven fosfaat	21
6 MODELMATIGE BENADERING VAN DE FOSFAATTERUGVOER	22
6.1 RWZI zonder voorbezinking	22
6.2 RWZI met voorbezinking en gisting	22
7 KOSTEN VAN DE MAATREGELEN TEGEN FOSFAATTERUGVOER	24
8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	29
9 LITERATUUR	30
BIJLAGEN	
Bijlage 1: Definities	31
Bijlage 2: Analyse van fosfaat in het slib	32
Bijlage 3: Gegevens van de hypothetische RWZI's en fosfaatbalansen	34
Bijlage 4: Berekening van de fosfaatbinding in de gisting	36
Bijlage 5: Influent- en slibsamenstelling in Nederland	37
Bijlage 6: Magnesiumhardheid van drinkwater (af pompstation) in Nederland	38
Bijlage 7: Calciumhardheid van drinkwater (af pompstation) in Nederland	39
Bijlage 8: Informatie van de RWZI's	40
Bijlage 9: RWZI's met spontane defosfatering of anaërobe tank	45

## Ten geleide

Voor de fosfaatverwijdering in rwzi's wordt vaak biologische defosfatering in de hoofdstroom toegepast. Het poly-fosfaat dat hierbij wordt gevormd, kan onder anaërobe omstandigheden in de slibverwerking, zoals in de gravitatie-indikking en in de gisting, uit het slib vrijkomen. Hierdoor ontstaan interne, fosfaatrijke stromen, die bij terugvoering in het zuiveringsproces kunnen leiden tot een verhoging van de P-concentratie in het effluent.

In Nederland zijn veel rwzi's met spontane biologische defosfatering en gravitatie-indikking en/of gisting in gebruik, zodat voor de beheersing ervan meer inzicht in dit fenomeen gewenst is.

Dit rapport gaat gedetailleerd in op de fosfaatafgifte in de slibverwerking, met name op de factoren die van invloed zijn op de fosfaatafgifte en op de mogelijkheden om fosfaatafgifte te voorkomen en de effecten van de fosfaatafgifte te bestrijden.

De werkzaamheden werden door het bestuur van de STOWA opgedragen aan Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs (projectteam bestaande uit ir. M. Eekhof en ir. P. de Jong. Het project werd namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. E. van 't Oever (voorzitter), ir. P.M.J. Janssen, ir. P.J.M. Knaapen en ir. P.C. Stamperius. Door een aantal waterkwaliteitsbeheerders zijn ten behoeve van het onderzoek gegevens verstrekt van praktijkinstallaties. De STOWA is hen daarvoor zeer erkentelijk.

Utrecht, oktober 1995

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

## SAMENVATTING

Tijdens gravitatie-indikking en/of gisting van secundair slib in een RWZI met biologische defosfatering treedt fosfaatafgifte op, waardoor fosfaatrijke interne stromen ontstaan. Het terugvoeren van deze stromen in het zuiveringsproces kan de effluentkwaliteit negatief beïnvloeden.

Dit rapport beschrijft een onderzoek naar fosfaatafgifte in de slibverwerking. In het onderzoek zijn aan de hand van literatuurgegevens en praktijksituaties de ervaringen met fosfaatafgifte en de maatregelen tegen fosfaatterugvoer nagegaan. De verschillende maatregelen zijn in een kostenberekening met elkaar vergeleken.

Er zijn in Nederland veel RWZI's met spontane biologische defosfatering en gravitatie-indikking en/of gisting. De ervaringen betreffende fosfaatafgifte bij deze RWZI's zijn beperkt. RWZI's die nieuw worden gebouwd met een anaërobe tank, worden meestal voorzien van mechanische indikking of directe ontwatering van secundair slib om fosfaatafgifte te voorkomen. Bij RWZI's die worden aangepast en voorzien van een anaërobe tank worden in sommige gevallen de gravitatie-indikking en de slibgisting gehandhaafd.

In biologisch defosfaterende RWZI's zonder voorbezinking met gravitatie-indikking bedraagt de fosfaatterugvoer 2-30% van de influent-fosfaatvracht. Een gedeelte (10-50%) van het in de indikker afgegeven fosfaat wordt via het overloopwater teruggevoerd. De rest van het afgegeven fosfaat komt in de ontwatering vrij. De fosfaatafgifte in de gravitatie-indikking wordt bepaald door het fosfaatgehalte van het slib en de slibverblijftijd in de indikker. De fosfaatterugvoer wordt verminderd door chemicaliëndosering in de waterlijn of in de sliblijn.

In Duitsland zijn relatief veel RWZI's met biologische defosfatering en gisting. De fosfaatterugvoer uit de gisting is bij deze RWZI's relatief gering. Ongeveer 15% van de influent-fosfaatvracht wordt teruggevoerd. Uit onderzoek in Duitsland en Zweden is gebleken dat een gedeelte van het afgegeven fosfaat in de gisting wordt gebonden aan metalen die afkomstig zijn van het influent (spontane fosfaatbinding). Spontane fosfaatbinding lijkt op basis van praktijkgegevens ook in Nederland op te kunnen treden. De precieze voorwaarden voor het optreden van spontane binding zijn niet duidelijk. Op basis van een theoretische beschouwing van de bindingsmogelijkheden in de gisting kan een groot deel van het fosfaat in de gisting worden gebonden.

In een systeem met voorbezinking en gisting wordt het secundair slib door gravitatie-indikking of mechanische indikking ingedikt. Het gezamenlijk indikken van primair en secundair slib in de gravitatie-indikking bevordert de fosfaatafgifte van het secundair slib. Tijdens mechanische indikking vindt door de snelle slibverwerking geen fosfaatafgifte plaats. De afbraak van poly-fosfaat in het systeem is onafhankelijk van de methode van indikking, omdat uiteindelijk in de gisting alle poly-fosfaat wordt afgebroken. In de gisting kan een gedeelte van het afgegeven fosfaat worden gebonden door spontane fosfaatbinding. De fosfaatterugvoer wordt verminderd door chemicaliëndosering in de waterlijn of in de sliblijn. Voor fosfaatbinding in de gisting kan drinkwaterslib (ijzerhydroxide) worden toegepast.

Bij introductie van biologische defosfatering op RWZI's kan fosfaatafgifte worden tegengegaan door toepassen van mechanische indikking (direct ontwateren) of chemicaliëndosering. Bij een lage fosfaataanvoer kan chemicaliëndosering in de indikker bij systemen zonder voorbezinking, of chemicaliëndosering in de indikker en gisting bij systemen met voorbezinking relatief goedkoop zijn. Bij systemen zonder voorbezinking is dit afhankelijk van de fosfaatafgifte in de indikking. Bij systemen met voorbezinking wordt dit bepaald door de mate van spontane fosfaatbinding in de gisting.

## 1 INLEIDING

Als gevolg van het Rijn Actie Plan en het Noordzee Actie Programma zijn in Nederland bij Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB)<sup>[26]</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.
Bestaande RWZI's (vanaf 1/1/1995)	2 mg P/l voortschr. gem. tenzij R <sup>2)</sup> ≥ 75%	2 mg P/l voortschr. gem. tenzij R ≥ 75%	1 mg P/l voortschr. gem. tenzij R ≥ 75%
Nieuwe of uit te breiden RWZI's (vanaf 1/1/1995)	2 mg P/l voortschr. gem. tenzij R ≥ 75%	2 mg P/l voortschr. gem.	1 mg P/l voortschr. gem.

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

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

Voor de fosfaatverwijdering in RWZI's zal steeds vaker biologische defosfatering in de hoofdstroom worden toegepast. Het poly-fosfaat dat bij biologische defosfatering wordt gevormd kan onder anaërobe omstandigheden in de slibverwerking, zoals in de gravitatie-indikking en gisting, uit het slib vrijkomen. Hierdoor ontstaan fosfaatrijke interne stromen, die bij het terugvoeren in het zuiveringsproces een mogelijke verhoging van de effluent-fosfaatconcentratie tot gevolg hebben. Bij mechanische slibindikking en/of directe slibontwatering treedt door de snelle slibverwerking nauwelijks fosfaatafgifte van biologisch defosfaterend slib op.

Op veel Nederlandse RWZI's met gravitatie-indikking en/of gisting van secundair slib zal biologische defosfatering worden geïntroduceerd. Ook zijn er RWZI's met spontane biologische defosfatering (zonder anaërobe tank), waarbij de slibverwerking bestaat uit gravitatie-indikking en/of gisting. Om inzicht te krijgen in de fosfaatafgifte in de slibverwerking is in opdracht van de Stowa een onderzoek verricht. Het onderzoek richtte zich op de factoren die van invloed zijn op de fosfaatafgifte, de mogelijkheden om fosfaatafgifte te voorkomen en de mogelijkheden om de effecten van fosfaatafgifte te bestrijden.

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de biologische en chemische achtergrond van de fosfaatafgifte. Hoofdstuk 3 beschrijft een inventarisatie van de literatuur. In hoofdstuk 4 worden de Nederlandse ervaringen over fosfaatafgifte weergegeven. In hoofdstuk 5 vindt een evaluatie van de literatuur en de Nederlandse ervaringen plaats. In hoofdstuk 6 wordt aan de hand van een hypothetische RWZI de fosfaatterugvoer modelmatig beschreven. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de kosten van de maatregelen om fosfaatterugvoer tegen te gaan. De conclusies en de aanbevelingen zijn in hoofdstuk 8 weergegeven.

## 2 BIOLOGISCHE EN CHEMISCHE ACHTERGROND

### 2.1 Fosfaatfracties in het actief slib

Fosfaat kan in het actief slib in drie vormen voorkomen.

1. Organisch gebonden fosfaat, dat nodig is voor de groei en het metabolisme van micro-organismen (celwanden, enzymen, DNA, RNA).
2. Poly-fosfaat, dat door defosfaterende bacteriën wordt gevormd (onder andere van het genus *Acinetobacter*).
3. Fysisch-chemisch gebonden fosfaat, dat is geprecipiteerd of aan metaalcomplexen is gebonden.

In enkele recente onderzoeken naar het vrijkomen van fosfaat in de slibverwerking zijn de fosfaatfracties in het slib bepaald, om inzicht te verkrijgen in het mechanisme van de fosfaatafgifte en het ontstaan van fosfaatrijke interne stromen<sup>[4],[6],[14]</sup>. De fosfaatfracties in het slib kunnen met verschillende methoden worden bepaald, zoals de methode volgens Mino<sup>[14]</sup> en Psenner<sup>[5],[23]</sup>. In bijlage 2 zijn deze methoden weergegeven. Bij de methode volgens Psenner kan een goed inzicht worden verkregen in het aandeel en de aard van het fysisch-chemisch gebonden fosfaat enerzijds en het biologisch gebonden fosfaat (organisch gebonden fosfaat en poly-fosfaat) anderzijds. Een precieze bepaling van de poly-fosfaatfractie is met beide methoden niet mogelijk.

De opname van fosfaat in poly-fosfaat gaat gepaard met opname van tegenionen zoals kalium (0,33 mg K/mg P) en magnesium (0,26 mg Mg/mg P)<sup>[4],[14]</sup> en in afwezigheid van deze metalen ook calcium. Bij afbraak van poly-fosfaat komen deze tegenionen weer vrij. Het afgegeven fosfaat kan in aanwezigheid van metalen worden gebonden. Het vrijgekomen kalium wordt nauwelijks chemisch vastgelegd<sup>[3]</sup>. De verandering van de kaliumconcentratie is een maat voor de hoeveelheid afgegeven fosfaat en daarmee de hoeveelheid afgebroken poly-fosfaat.

De aard en de hoeveelheid van de metaalfosfaatverbindingen kunnen door middel van het vrijkomen van metalen en fosfaat tijdens zuurtitratie en/of tijdens het verdunnen van slibmonsters worden geschat<sup>[3]</sup>. In bijlage 2 wordt hierop ingegaan. Kristallen in het slib en elementen binnen de kristallen kunnen door middel van röntgendiffractie worden aangetoond<sup>[3]</sup>.

### 2.2 Chemische fosfaatbinding

#### *Neerslagvorming*

Bij de vorming van fosfaatneerslagen spelen vooral ijzer, aluminium, calcium en magnesium een rol<sup>[21]</sup>. Deze metalen zijn afkomstig van het influent en/of chemicaliëndosering.

Bij de reactie van ijzer en aluminium met fosfaat worden precipitaten zoals  $\text{AlPO}_4$  en  $\text{FePO}_4$  gevormd. Daarnaast wordt fosfaat gebonden aan meerwaardige kernen (metaalhydroxy-complexen) die neerslaan en in het slib terecht komen.

De reactie van fosfaat met calcium betreft voornamelijk de vorming van calciumhydroxyapatiet ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ). Dit wordt gevormd bij een pH hoger dan 7,5-8.

Magnesium kan met fosfaat reageren tot een magnesiumfosfaatneerslag zoals  $\text{MgHPO}_4$  en in aanwezigheid van ammonium tot magnesiumammoniumfosfaat ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 = \text{"MAP"}$ ). In de slibgisting ontstaat ammonium (300-900 mg N-NH<sub>4</sub>/l) uit de afbraak van organische stikstofverbindingen. Ammonium is voor de vorming van MAP ten opzichte van fosfaat en magnesium in overmaat aanwezig. De oplosbaarheid van MAP is bij pH 9 het laagst. Bij een pH kleiner of groter dan 9 neemt de oplosbaarheid sterk toe.

Fosfaat kan worden gebonden aan aluminiumsilicaten (zeolieten) die als bestanddeel van wasmiddelen in het zuiveringssysteem terechtkomen. Een bindingsmechanisme aan zeolieten is de vervanging van metaalgebonden hydroxide-ionen door fosfaat-ionen.

### Chemicaliëndosering

Veeltoegepaste chemicaliën voor fosfaatverwijdering zijn ijzerchloride, ijzerhoudend drinkwaterslib, aluminiumsulfaat en kalk (ongebluste en gebluste kalk en kalkmelk). Naast fosfaat kunnen ook andere ionen worden gebonden. Zo wordt in gistingstanks vaak ijzer (drinkwaterslib of ijzerchloride) gedoseerd om vorming van waterstofsulfide tegen te gaan. De ijzerdosering voor sulfidebinding bedraagt ten opzichte van de hoeveelheid fosfaat in het influent ongeveer 0,1-0,2 mol Fe/mol P. Ijzer heeft een voorkeur voor een binding met sulfide ten opzichte van een binding met fosfaat. Verwacht wordt daarom dat deze dosering niet of nauwelijks bijdraagt aan fosfaatbinding in de gisting.

Dosering van chemicaliën leidt tot een vergroting van de slibproductie (vorming van hydroxiden). De ontwaterbaarheid van het slib neemt over het algemeen toe.

Dosering van chemicaliën kan in de waterlijn (voorbezinktank, beluchtingstank) en in de sliblijn (gravitatie-indikking, slibgisting) plaatsvinden.

### Transport van metalen naar de slibgisting zonder chemicaliëndosering

Bij biologische defosfatering worden metalen uit het influent in het actief slib opgenomen voor de opbouw van organisch materiaal en de vorming van poly-fosfaat (magnesium, kalium). Bovendien worden in geval van voorbezinking metalen aan het primair slib geadsorbeerd.

De laatste jaren is de hoeveelheid aluminiumsilicaten in het influent toegenomen als gevolg van de vervanging van fosfaat in wasmiddelen door zeolieten ( $\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ ). Het aluminiumgehalte van zeolieten is ongeveer 13%. Zeolieten worden kunstmatig gemaakt uit zand, zout en bauxiet. De fosfaatvrije totaalwasmiddelen in Nederland en Duitsland bestaan voor ongeveer 15-30% uit zeoliet. Color- en fijnwasmiddelen kunnen tot 60% bevatten. Zeolieten werken als ionenwisselaar. Natrium kan worden uitgewisseld tegen bijvoorbeeld calcium en magnesium. Zeolieten kunnen grote hoeveelheden calcium bevatten als gevolg van ionenuitwisseling<sup>[14]</sup>. Bij de ionenuitwisseling heeft calcium de voorkeur boven magnesium. Zeolieten hebben bovendien een katalytische werking bij precipitatiereacties. In het zuiveringsproces wordt ongeveer 75% van het zeoliet verwijderd met het primair en secundair slib<sup>[5]</sup>.

Bij een systeem met slibgisting wordt een groot deel van de metalen en zeolieten afkomstig van het influent met het primair en secundair slib in de slibgisting gebracht. In de slibgisting komt een gedeelte van de metalen weer vrij door fosfaatafgifte (afbraak van poly-fosfaat) en afbraak van drogestof. Het mechanisme van de afbraak van zeolieten en het vrijkomen van aluminium uit zeolieten in de gisting is nog niet goed bekend. Uit onderzoek is gebleken dat zeolieten pas bij een pH kleiner dan 4 voldoende worden afgebroken, zodat in de gisting weinig aluminiumfosfaten uit zeolieten zullen ontstaan<sup>[14]</sup>.

### 2.3 Slibverwerking en fosfaatafgifte

De fosfaatverwijdering in RWZI's kan worden weergegeven door middel van een fosfaatbalans. Voor RWZI's zonder chemicaliëndosering is de fosfaatbalans:

$$P_{\text{influent}} = P_{\text{effluent}} + P_{\text{primair slib}} + P_{\text{sec.slib, organisch}} + P_{\text{sec.slib, poly-P}}$$

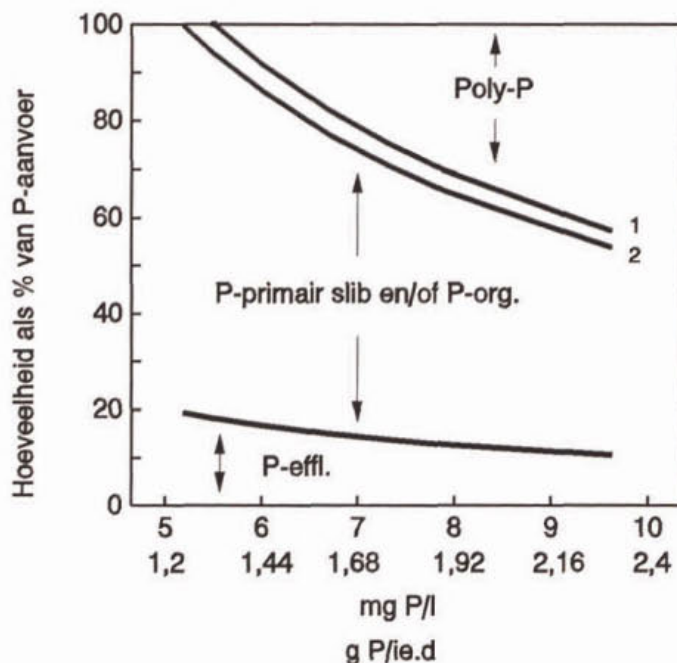
In het actief slib wordt fosfaat opgenomen voor de groei en het metabolisme van de bacteriën (organisch gebonden fosfaat). Bij biologische defosfatering wordt poly-fosfaat in het actief slib opgeslagen ("luxury uptake"), waardoor het fosfaatgehalte van het slib hoger wordt en extra fosfaat via het secundair slib uit het afvalwater wordt verwijderd. Defosfaterende bacteriën nemen onder aërobe omstandigheden fosfaat op en geven onder anaërobe omstandigheden het opgenomen fosfaat af.

In figuur 1 zijn aan de hand van bovenstaande fosfaatbalans voor hypothetische RWZI's zonder en met voorbezinking de hoeveelheden van de verschillende soorten fosfaat weergegeven. De hoeveelheden zijn uitgedrukt als percentage van de fosfaataanvoer ( $P_{\text{infl.}} = 100\%$ ). De hypothetische RWZI's en de berekening van de fosfaatbalans zijn weergegeven in bijlage 3. De afvoer van fosfaat met het effluent is berekend bij een effluenteis van 1 mg P/l. Voor de fosfaatconcentratie in het primair slib en de concentratie organisch gebonden



fosfaat in het secundair slib is respectievelijk 1 en 2% aangehouden. Het fosfaat dat niet met het effluent of primair slib wordt afgevoerd of organisch in het secundair slib wordt gebonden, moet door biologische defosfatering worden vastgelegd als poly-fosfaat in het secundair slib.

Bij een grotere fosfaataanvoer moet meer fosfaat als poly-fosfaat in het slib worden opgeslagen om aan de effluenteis te voldoen. Volgens de fosfaatbalans is voor een RWZI zonder voorbezinking bij een influent-fosfaatconcentratie kleiner dan 5,5 mg P/l geen biologische defosfatering nodig. Voor een RWZI met voorbezinking is dit 5,2 mg P/l, wegens de lagere secundair-slibproductie ten opzichte van een RWZI zonder voorbezinking. In de praktijk blijkt bij deze concentraties niet altijd een effluentconcentratie van 1 mg P/l te worden gehaald; actieve fosfaatopname door fosfaataccumulerende bacteriën is als aanvullende drijvende kracht nodig om stabiele lage effluentwaarden te halen. Opgemerkt wordt dat in de fosfaatbalans is uitgegaan van een constante BZV-aanvoer. De BZV/P-verhouding in de berekening neemt bij oplopende fosfaataanvoer af van 45 tot 23.



Figuur 1: De hoeveelheden van de verschillende soorten fosfaat in het systeem voor een hypothetische RWZI zonder en met voorbezinking op basis van een P-balans (effluent 1 mg P/l).  
1 = zonder voorbezinking; 2 = met voorbezinking.

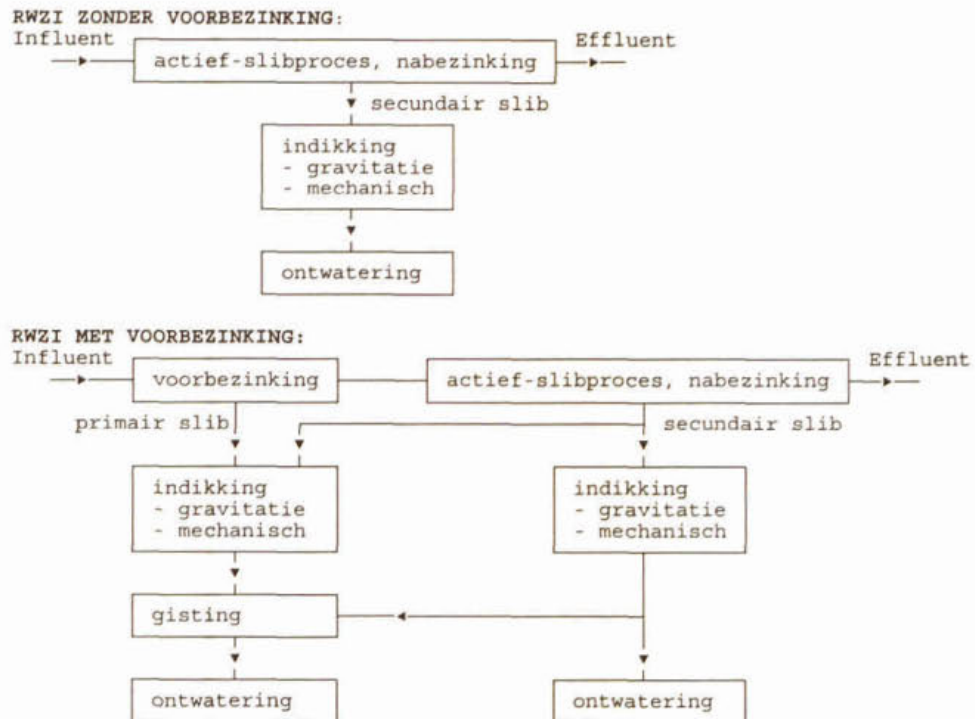
In figuur 2 zijn de verschillende mogelijkheden voor de slibverwerking in een biologisch defosfaterend systeem zonder voorbezinking en met voorbezinking weergegeven.

Tijdens gravitatie-indikking van secundair slib (eventueel gezamenlijk met primair slib) en tijdens slibgisting kan een deel van het fosfaat in het slib als ortho-fosfaat in oplossing gaan. Bij gravitatie-indikking wordt dit veroorzaakt door afbraak van poly-fosfaat onder anaërobe omstandigheden. Bij slibgisting is bovendien cellysis van het slib verantwoordelijk voor het vrijkomen van fosfaat. Ook tijdens slibbuffering kan fosfaatafgifte plaatsvinden.

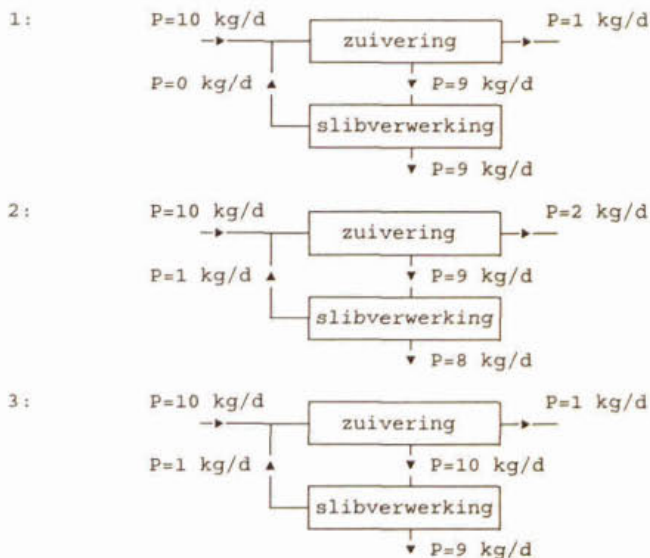
Snelle mechanische indikking en ontwatering van secundair slib heeft door de geringe verblijftijd nauwelijks fosfaatafgifte tot gevolg.

Fosfaatafgifte leidt tot fosfaatterugvoer vanuit de slibverwerking. Het terugvoeren van fosfaatrijke stromen in het zuiveringsproces heeft een extra fosfaatbelasting van de RWZI tot gevolg (interne fosfaatbelasting). Afhankelijk van de defosfateringscapaciteit van het slib wordt de effluent-fosfaatconcentratie door de interne fosfaatbelasting verhoogd. Aan de hand van het voorbeeld in figuur 3 wordt dit toegelicht. De definities van fosfaatafgifte,

fosfaatterugvoer, interne fosfaatbelasting en andere in dit rapport gehanteerde begrippen zijn in bijlage 1 opgenomen.



Figuur 2: Mogelijkheden voor de slibverwerking bij een RWZI zonder voorbezinking en een RWZI met voorbezinking.



- Situatie 1: Geen terugvoer van fosfaat uit de slibverwerking naar de zuivering.  
 Situatie 2: Terugvoer van fosfaat uit de slibverwerking naar de zuivering leidt tot een verhoging van de effluent-fosfaatconcentratie.  
 Situatie 3: Terugvoer van fosfaat uit de slibverwerking naar de zuivering leidt niet tot een verhoging van de effluent-fosfaatconcentratie; het slib heeft een grote desfosfateringscapaciteit waardoor het extra fosfaat wordt opgenomen.

Figuur 3: Voorbeeld van de mogelijke effecten van het terugvoeren van fosfaat op de effluentkwaliteit.

### 3 INVENTARISATIE VAN DE LITERATUUR

Als startpunt voor de literatuurinventarisatie dient het Stowa-rapport "Biologische defosfatering, randvoorwaarden voor een goed rendement" (1993), waarin een literatuuroverzicht tot en met 1992 is weergegeven. In dat rapport zijn globaal de ervaringen over fosfaatafgifte tijdens gravitatie-indikking en gisting nagegaan. De ervaringen zijn voor een groot deel gebaseerd op laboratoriumexperimenten.

De literatuur in de periode vanaf 1993 betreft vooral onderzoek naar het vrijkomen van fosfaat tijdens de slibgisting. In hoofdstuk 9 is een literatuurlijst weergegeven.

#### 3.1 Gegevens uit eerder Stowa-onderzoek

In deze paragraaf zijn de belangrijkste aspecten met betrekking tot het experimenteel onderzoek uit het Stowa-rapport "Biologische defosfatering, randvoorwaarden voor een goed rendement" weergegeven en aangevuld met enkele nieuwe gegevens.

##### *Gravitatie-indikking*

In verschillende pilot plant onderzoeken op RWZI's, waarbij ondermeer de toepasbaarheid van biologische defosfatering in de hoofdstroom werd onderzocht, is de fosfaatafgifte tijdens de slibindikking op lab-schaal gesimuleerd. Bekerglazen met slib zijn gedurende enkele dagen anaëroob weggezet en de fosfaatconcentratie in de waterfase is in de loop van de tijd gevolgd. Er is nagegaan hoeveel fosfaat wordt afgegeven. In tabel 2 zijn de resultaten van de proeven weergegeven.

Tabel 2: Resultaten van de indikexperimenten; fosfaatafgifte na twee dagen.

RWZI	Ede	Arnhem-Nieuwgraaf	Venlo	Roermond	Roermond
P-influent (mg/l)	10	6-7	10	8	8
P-effluent					
- ortho-P (mg/l)	0,4	0,6-1,1	0,5	0,3	0,2
- P <sub>tot</sub> (mg/l)	0,9	1,7	1,1-1,5	1,5	1,7
dosering FeCl <sub>3</sub> in de waterlijn; Fe/P (mol/mol)	-	-	-	0,6	0,4
P-gehalte primair slib (mg P/g ds)	-	10	10	-	-
P-gehalte secundair slib (mg P/g ds)	32	30	32	35	28
P-afgifte indikking primair slib (mg P/g ds)	-	1	0,5	-	-
P-afgifte indikking secundair slib					
- hoeveelheid (mg P/g ds)	8	7	7	0,3	0,6
- percentage van P in het slib (%)	25	23	22	1	2

Zonder aanvullende chemicaliëndosering werd tijdens het indikproces een maximale fosfaatafgifte bereikt na ongeveer twee dagen. Na één dag was de helft van de maximale fosfaatafgifte bereikt.

Aanvullende ijzerdosering in een verhouding van 0,4 en 0,6 mol Fe/mol P onderdrukte de fosfaatafgifte vrijwel volledig.

##### *Slibgisting*

In een aantal experimenten is nagegaan hoe de fosfaatafgifte bij slibgisting gerelateerd is aan de gistingstijd, het fosfaatgehalte van het slib en de dosering van kalk.

Voor deze experimenten is een aantal batch-reactoren ("fill & draw", volume 2 liter) bedreven onder verschillende condities. De reactoren werden driemaal per week gevoed. De resultaten van de experimenten zijn in tabel 3 samengevat. Opgemerkt wordt dat het drogestofgehalte van het ingaand slib bij de reactoren 1-6 erg laag was (2,7-4,1 g/l).

Tabel 3: Resultaten van de experimenten met slibgisting.

Reactornr.	Effect gistingstijd			Effect fosfaatgehalte			Effect kalkdosering	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Gistingstijd (d)	15	20	35	20	20	20	20	20
Ingaand biol.def.slib								
- drogestofgehalte (g/l)	3,1	3,1	3,1	2,7	4,1	4,0	47	47
- P-gehalte (mg/g ds)	31	31	31	39	48	58	32	32
Kalkdosering	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	ja <sup>1)</sup>
Tijdsduur (mnd)	6	6	6	5	5	5	3	3
Temperatuur (°C)	33	33	33	33	33	33	33	33
pH	6,1	6,5	6,8	6,6	6,4	6,5	6,5	7,0
Perc. primair slib (%)	40	40	40	40	40	40		
Perc. secund. slib (%) <sup>2)</sup>	60	60	60	60	60	60	100	100
P-PO <sub>4</sub> in slibwater (mg/l)	23	23	20	21	38	45	344	152
Uitgegist biol.def.slib								
- P-afgegeven (mg/g ds)	10	11	8	9	11	13		
- P-afgegeven (%)	32	35	26	23	23	22		

1) Ca/P-verhouding van 1,5 mol Ca/mol P op basis van het P-PO<sub>4</sub> gehalte van de reactor zonder kalkdosering.

2) Voor de reactoren 1-3 en 7-8 was het secundair slib afkomstig van een pilot plant die werd gevoed met voorbezonden afvalwater van de RWZI Bennekom. Het secundair slib van de reactoren 4-6 werd gekweekt met een mengsel van voorbezonden afvalwater en met acetaat verrijkt afvalwater. De influentsamenstelling van het voorbezonden afvalwater van de RWZI Bennekom is weergegeven in bijlage 5.

Uit tabel 3 blijkt dat de hoeveelheid afgegeven fosfaat varieert van 22 tot 35% van het totale fosfaatgehalte van het biologisch defosfaterend slib. De fosfaatafgifte is onafhankelijk van de verblijftijd in de reactoren. Wanneer het slib meer biologisch opgeslagen fosfaat bevat, neemt de afgegeven hoeveelheid fosfaat enigszins toe. De extra afgegeven hoeveelheid is echter duidelijk minder dan de extra gebonden hoeveelheid fosfaat. Dit zou betekenen dat het poly-fosfaat in gebonden vorm blijft of dat het afgegeven fosfaat weer chemisch wordt vastgelegd. De pH in de reactoren (pH < 6,6) was echter niet gunstig voor de vorming van calcium- en/of magnesiumfosfaatprecipitaten. Opgemerkt wordt dat deze pH lager is dan gebruikelijk.

In de experimenten met kalkdosering is ongeveer 55% van het afgegeven fosfaat via calciumprecipitatie vastgelegd.

### 3.2 Duitsland; RWZI Lange-Egelsbach

In Duitsland is gedurende circa 2 jaar bij de RWZI Lange-Egelsbach een pilot plant bedreven om de fosfaatafgifte tijdens de slibverwerking (indikking en slibgisting) na te gaan<sup>[5],[14]</sup>. De pilot plant bestond uit een anaërobe zone, een aërobe zone, een nabezinktank, een centrifuge voor indikking van secundair slib en een slibgistingstank. De pilot plant werd gevoed met voorbezonden huishoudelijk afvalwater waaraan fosfaat was toegevoegd om het fosfaatgehalte van het afvalwater te verhogen.

In de slibgisting werden primair slib van de RWZI en ingedikt secundair slib van de pilot plant gezamenlijk vergist. Het drogestofgehalte van het primair en secundair slib was respectievelijk 2-5% en 8-10%. In tabel 4 zijn de gegevens van de pilot plant gegeven.

Tabel 4: Gegevens van de pilot plant bij RWZI Lange-Egelsbach.

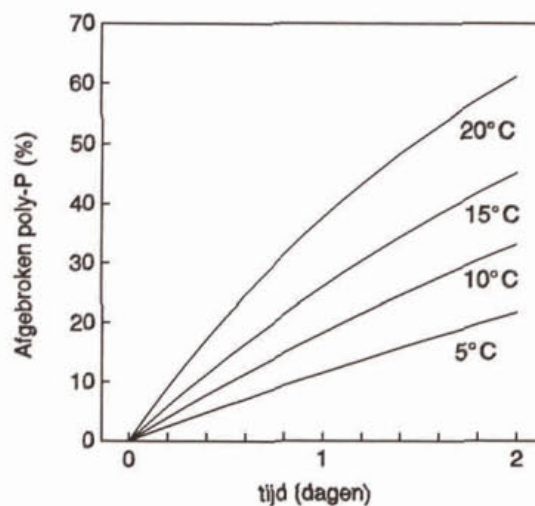
	procesgegevens	influent	effluent
debiet (m <sup>3</sup> /h)	4		
volume (m <sup>3</sup> )	16		
contacttijd			
- aëroob (h)	1,3		
- anaëroob (h)	0,8		
slibgisting			
- gistingstijd (d)	20		
- temperatuur (°C)	35		
P-gehalte actief slib (%)	± 5		
BZV (mg/l)		175	14
CZV (mg/l)		340	62
N <sub>tot</sub> (mg/l)		66	25
N-NH <sub>4</sub> (mg/l)		48	21
P <sub>tot</sub> (mg/l)		12,4	3,3

Naast bovengenoemde pilot plant is ter controle een pilot plant zonder anaërobe tank bedreven. Het fosfaatgehalte in het effluent van deze pilot plant was circa 10,3 mg P/l. Op basis van het fosfaatgehalte in het slib en in het effluent kan worden geconcludeerd dat bij de pilot plant met anaërobe tank biologische defosfatering optrad. De fosfaatfracties in het slib zijn bepaald volgens Psenner en Uhlmann<sup>[23]</sup> (zie bijlage 2). Op basis van de bepaling van de kaliumconcentraties in de fracties was het poly-fosfaatgehalte van het actief slib ongeveer 50-70% van het totale fosfaatgehalte van het slib.

Met het actief slib en slib uit de gisting van de pilot plant met anaërobe tank zijn experimenten uitgevoerd. Bovendien is slib van verschillende andere RWZI's in het onderzoek betrokken.

#### Kinetiek van de fosfaatgifte

De kinetiek van de fosfaatgifte is door middel van batch-experimenten onderzocht. Ingedikt actief slib (2-3% ds) van de pilot plant werd in een erlenmeyer gebracht en vervolgens twee dagen anaëroob weggezet bij constante temperatuur. Het fosfaatgehalte in de waterfase is op verschillende tijdstippen bepaald. De proeven zijn bij verschillende temperaturen uitgevoerd. In figuur 4 is de fosfaatgifte als functie van de verblijftijd en de temperatuur weergegeven.



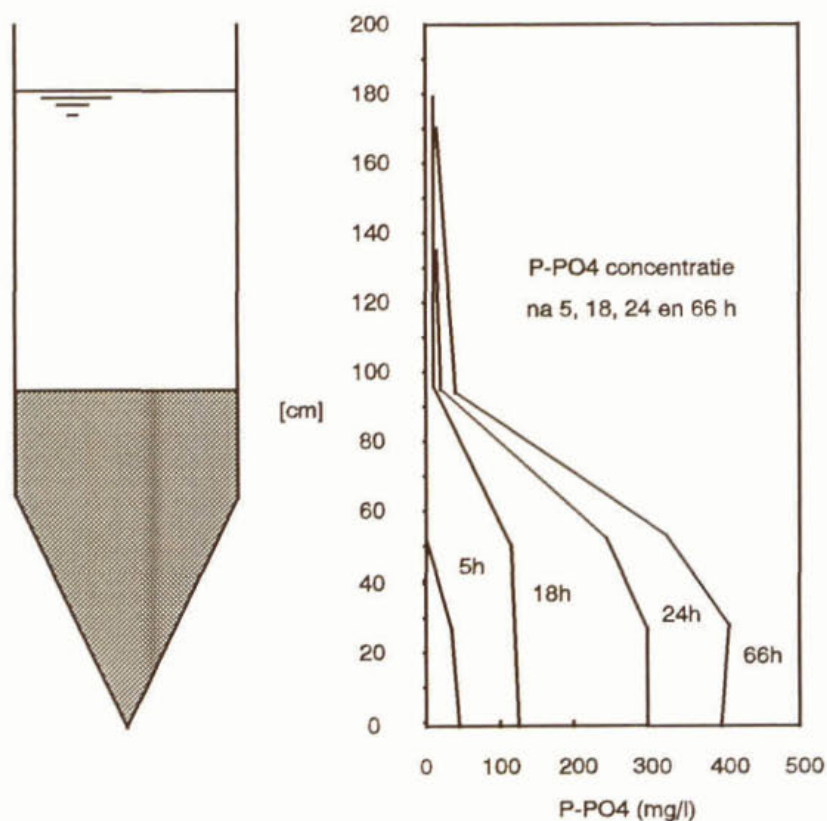
Figuur 4: Percentage afgebroken poly-fosfaat ten opzichte van de totale hoeveelheid ingaand poly-fosfaat als functie van de temperatuur en de verblijftijd.

### Indikking

Om de fosfaatafgifte tijdens gravitatie-indikking te onderzoeken zijn fosfaatprofielen gemeten in een gravitatie-indikker. De resultaten van de profielmetingen voor indikking van secundair slib zijn weergegeven in figuur 5. Uit de figuur blijkt dat transport van fosfaat door diffusie uit de ingedikt-sliblaag naar het overloopwater nihil was. Proeven met gravitatie-indikking van een mengsel van primair en secundair slib gaven een grotere fosfaatafgifte in de ingedikt sliblaag te zien. Ook in dit geval was transport van fosfaat naar het overloopwater echter nihil. Hierbij wordt opgemerkt dat in de praktijk de gravitatie-indikkers zijn voorzien van een roerwerk, waardoor de uitwisseling van fosfaat groter zal zijn.

Tijdens storingen in de bedrijfsvoering van de indikker (turbulentie) zijn hoge fosfaatconcentraties in het overloopwater waargenomen.

De onderzoekers concludeerden dat bij biologisch defosfaterende RWZI's, gravitatie-indikking van secundair slib kan worden toegepast in geval van goed bezinkbaar slib (SVI < 80 ml/g), lage slibverblijftijden (< 24 h) en een goede bedrijfsvoering van de indikker (geen verticale stromingen). Het fosfaat in de ingedikt-sliblaag werd niet als een probleem beschouwd, omdat het fosfaat in de slibgisting weer grotendeels werd vastgelegd. (In Duitsland zijn veel RWZI's met biologische defosfatering en vergisting van het secundair slib).



Figuur 5: Fosfaatprofielen in een gravitatie-indikker van secundair slib.

### Slibgisting

Van het uitgegist slib van de pilot plant en van RWZI's met verschillende vormen van fosfaatverwijdering zijn de slibsamenstelling en de fosfaatfracties bepaald. De diverse metaalfosfaatverbindingen zijn bepaald door middel van röntgendiffractie, het vrijkomen van metalen en fosfaat tijdens de zuurtitratie en het vrijkomen van metalen en fosfaat tijdens het verdunnen van slibmonsters (zie bijlage 2). In tabel 5 en 6 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 5: Samenstelling van het uitgestist slib.

Uitgestist slib van	ds g/l	pH	P mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	K mg/g	Al mg/g	Fe mg/g
Pilot plant	28,8	7,3	46,9	45,2	11,2	16,9	23,8	10,5
RWZI met biologische defosfatering	38,6	7,3	29,3	51,5	9,8	7,4	17,1	15,2
RWZI met biologische defosfatering	29,8	6,8	43,6	40,6	10,0	13,0	35,0	11,6
RWZI met simultane precipitatie (FeSO <sub>4</sub> )	49,3	7,8	29,6	85,4	5,8	2,0	17,0	49,7

Tabel 6: Fosfaatfracties in het uitgestist slib.

Uitgestist slib van	PO <sub>4</sub> -P/P <sub>tot</sub> (%)	Al-P/P <sub>tot</sub> (%)	MAP-P/P <sub>tot</sub> (%)	org-P/P <sub>tot</sub> (%)	som P/P <sub>tot</sub> (%)
Pilot plant	15,6	41	37	12,5	106,1
RWZI met biologische defosfatering	3,8	43	36	17,6	100,4
RWZI met biologische defosfatering	17,4	52	25	13,7	108,1
RWZI met simultane precipitatie (FeSO <sub>4</sub> )	0,4	51	12,5	18,9	82,8

Door de hoge temperatuur en lange verblijftijd in de gisting is vrijwel alle poly-fosfaat omgezet. Een groot deel van het fosfaat was in de gisting chemisch gebonden. Er heeft een verschuiving plaatsgevonden van poly-fosfaat (50-70% van het fosfaatgehalte in het slib) naar chemisch gebonden fosfaat.

Het aandeel PO<sub>4</sub>-P/P<sub>tot</sub> in het uitgestist slib van de biologisch defosfaterende pilot plant en RWZI's lag tussen 4-17%. Voor de pilot plant was dit 16%.

In het gistingsslib van de biologische defosfaterende RWZI's was 43-52% van het fosfaat gebonden aan aluminium. Voor de pilot plant was dit 41%. De vorm waarin fosfaat aan aluminium werd gebonden was niet goed duidelijk. Een deel van het fosfaat zal neerslaan als AlPO<sub>4</sub>, complex worden gebonden aan aluminium en/of worden geadsorbeerd aan aluminiumverbindingen. In de zuurtitratie kwamen aluminium en fosfaat vrij in een verhouding van 1,45 mol Al/mol P, hetgeen wijst op een ander bindingsmechanisme dan vorming van AlPO<sub>4</sub>.

Bij de biologisch defosfaterende RWZI's was 25-36% van het fosfaat in het uitgestist slib gebonden aan magnesium. Voor de pilot plant was dit 37%. In de slibgisting komt magnesium vrij door de afbraak van organisch materiaal en de afbraak van poly-fosfaat. Precipitatie van magnesium met fosfaat vond voornamelijk plaats in de vorm van struviet (= MAP = MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O).

Calciumfosfaatverbindingen waren waarschijnlijk niet in het slib aanwezig.

Bij de RWZI met simultane precipitatie (FeSO<sub>4</sub>) was slechts 0,4% van het fosfaat in de gisting in de vorm van PO<sub>4</sub>-P aanwezig. In vergelijking met de biologisch defosfaterende RWZI's was de fractie Al-P ongeveer gelijk en de fractie MAP-P lager. De som van de verschillende fracties bij de RWZI met simultane precipitatie was 83%. Blijkbaar werd bij deze RWZI de rest van het fosfaat (ongeveer 20%) met ijzer vastgelegd.

#### Maatregelen om fosfaatterugvoer tegen te gaan

Er is onderzocht welke metalen het beste kunnen worden toegepast om fosfaat in het slibwater (van de slibgisting) te binden. Hierbij zijn oplopende doseerverhoudingen Al/P, Ca/P en Fe/P aan het slibwater van de slibgisting van de pilot plant toegevoegd. Gebleken is dat meer dan 80% van het fosfaat in het slibwater werd geprecipiteerd bij een molaire doseerverhouding ten opzichte van het fosfaat in het slibwater van:

- Al/P = 1; aluminium in de vorm van Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O (10 g/l),
- Ca/P = 2; calcium in de vorm van Ca(OH)<sub>2</sub> (1,7 g/l),
- Fe/P = 1,5; ijzer in de vorm van FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O (5 g/l).

### 3.3 Zweden; RWZI Sjölanda in Malmö

In Zweden is gedurende enkele jaren een pilot plant bij de RWZI Sjölanda in Malmö bedreven om de introductie van biologische defosfatering en de toepassing van slibgisting hierbij na te gaan<sup>[6],[14]</sup>. Op de RWZI vindt simultane precipitatie met ijzersulfaat plaats.

De pilot plant bestond uit een voorbezinktank en twee parallelle straten met een anaërobe zone, een aërobe zone en een nabezinktank. Eén straat werd hoog belast en één straat werd laag belast. De slibleeftijden waren respectievelijk 4 en 20 dagen. Er vond geen chemicaliëndosering plaats. Experimenten met slibgisting werden op lab-schaal uitgevoerd (gedurende 5 maanden). De gisting werd dagelijks handmatig met slib van de pilot plant gevoed. Als entmateriaal is slib uit de gisting van de RWZI gebruikt. Het drogestofgehalte van het ingaand slib was circa 4% ds (ingedikt door een lab-centrifuge). De slibverblijftijd was 15 dagen, de temperatuur 35 °C en de pH 7-7,4. De fosfaatconcentratie in het voorbezonden afvalwater was 5 mg P/l. De effluent-fosfaatconcentratie van de pilot plant was zonder terugvoer van slibwater circa 0,5 mg P/l.

#### Slibgisting

Er zijn experimenten uitgevoerd met de vergisting van vier soorten slib:

- primair slib;
- secundair slib van het hoogbelast systeem;
- mengsel (2:1) van primair en secundair slib van het hoogbelast systeem;
- secundair slib van het laagbelast systeem.

De bepaling van de fractie metaalgebonden fosfaat was gebaseerd op extractie in koud zuur (zie bijlage 2, methode Mino). Het poly-fosfaat gehalte werd bepaald door middel van meting van de kaliumconcentraties.

In tabel 7 zijn de resultaten van de experimenten weergegeven.

Tabel 7: Resultaten van de experimenten met slibgisting.

	Primair slib		Hoogbelast secundair slib		Mengsel primair en secundair slib		Laagbelast secundair slib	
	in:	uit:	in:	uit:	in:	uit:	in:	uit:
ds (%)	4,1	2,6	3,9	2,7	4,0	2,4	3,5	2,7
P <sub>tot</sub> (mg/l)	238	285	1.120	1.120	582	600	1.060	1.020
P <sub>tot</sub> -gefilt. (mg/l)	6	74	-	359	-	133	-	253
Metaalgebonden-P (mg/l)	101	153	199	718	134	367	216	650
Poly-P (mg/l)	-	-	410	-	137	-	370	-
Fe (mg/l)	246	395	385	495	292	420	449	545
Al (mg/l)	212	245	314	335	245	275	352	330
Ca (mg/l)	1.000	1.100	1.100	1.200	1.030	1.100	990	935
Mg (mg/l)	91	100	250	255	145	155	280	265
Aandeel fracties (%)								
- P-celgebonden	55	20	45	4	53	17	45	11
- Metaalgebonden-P	42	54	18	64	23	61	20	64
- Poly-P	-	-	37	-	24	-	35	-
- P <sub>tot</sub> -gefiltreerd	3	26	-	32	-	22	-	25

Uit de tabel blijkt dat een groot deel van het ortho-fosfaat dat in de slibgisting bij de hydrolyse van poly-fosfaat wordt gevormd aan metalen wordt gebonden.

De reactoren zijn geënt met slib van de RWZI met simultane precipitatie (Fe). De reactoren zijn gevoed met slib van een pilot plant zonder ijzerdosering. Uit het hogere ijzergehalte van het uitgegiste slib ten opzichte van het ingaande slib blijkt dat geen (volledige) steady state is bereikt.

De onderzoekers concludeerden dat de fosfaatafgifte in de slibgisting tot een interne fosfaatbelasting van 20-30% leidt (ten opzichte van de fosfaataanvoer). Bij introductie van



biologische defosfatering op de RWZI dient het slibwater te worden behandeld (precipitatie) om verhoging van de effluent-fosfaatconcentratie met 1-1,5 mg P/l te voorkomen. De magnesiumconcentratie in het influent was ongeveer 16 mg/l. Zeolieten kwamen in het onderzoek niet aan de orde.

#### *Maatregelen om fosfaatterugvoer tegen te gaan*

Een aantal tests is uitgevoerd met slibwater van de slibgisting en ijzerchloride ( $\text{FeCl}_3$ ). Een doseerverhouding van 1-2 mol Fe/mol P ten opzichte van het fosfaat in het slibwater was nodig om het fosfaat in het slibwater te precipiteren.

### **3.4 Drinkwaterslib voor het binden van fosfaat in de gisting**

Bij de zuivering van grondwater en oppervlaktewater ontstaat drinkwaterslib. Het slib bestaat uit anorganische bestanddelen zoals ijzer(hydr)oxiden, aluminiumhydroxiden, mangaanoxiden, calciumcarbonaat, en organische bestanddelen zoals poederkool. Het watergehalte van drinkwaterslib is 97 tot 99%. Drinkwaterslib kan aanzienlijke hoeveelheden ijzer bevatten in de vorm van  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (gemiddeld 80% van de drogestof). Drinkwaterslib kan worden gebruikt om waterstofsulfide of fosfaat in de gisting te binden.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  wordt in de slibgisting omgezet in  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , als een elektronendonator beschikbaar is. De elektronendonator wordt geleverd uit microbiologische reacties (hydrolyse, methanogenese).

De kwaliteit van drinkwaterslib is over het algemeen beter dan de kwaliteit van zuiverings-slib met uitzondering van het element arseen. De arseenconcentratie in ijzerhoudend slib is gemiddeld 8 tot 15 keer hoger dan die in zuiverings-slib. Het slib moet in sommige gevallen volgens het Besluit Aanwijzing Gevaarlijke Afvalstoffen (BAGA) worden gekenschetst als "gevaarlijk afval". De grenswaarde voor arseen ligt in Nederland bij 50 mg/kg drogestof.

De kosten voor toepassing van drinkwaterslib op RWZI's worden bepaald door veel factoren zoals het ijzergehalte van het slib, de transportafstand van het waterleidingbedrijf naar de RWZI en de kosten voor de slibverwerking bij het waterleidingbedrijf. Door toepassing van drinkwaterslib in plaats van andere chemicaliën (bijvoorbeeld  $\text{FeCl}_3$ ) kunnen kosten worden bespaard<sup>[25]</sup>.

#### *Onderzoek op de Landbouwniversiteit Wageningen*

Op de LUW is onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van drinkwaterslib voor het precipiteren van fosfaat in de slibgisting<sup>[14]</sup>. Het onderzoek is uitgevoerd in batch- en continu-reactoren die werden gevoed met vooringedikt secundair slib (1,6% ds) van de RWZI Bennekom. Op deze RWZI vindt biologische defosfatering plaats. Het fosfaatgehalte van de slib-drogestof was 3%. Het gebruikte drinkwaterslib had een ijzergehalte van 335 g/kg ds.

In batch-reactoren is de benodigde Fe/P-doseerverhouding onderzocht. In de reactor zonder dosering van drinkwaterslib werd 17 dagen na de start van de reactoren de maximale fosfaatconcentratie in de reactor bereikt: circa 190 mg  $\text{P-PO}_4/\text{l}$ . Deze concentratie was 40% van het totale fosfaatgehalte in het slib. Na 17 dagen daalde de fosfaatconcentratie tot circa 160 mg  $\text{P-PO}_4/\text{l}$ , mogelijk als gevolg van precipitatie (Ca, Mg).

Uit de reactoren met ijzerdosering is gebleken dat bij een doseerverhouding van 0,7 en 1,1 mol Fe/mol P respectievelijk 80% en 98% van het fosfaat werd geprecipiteerd. Deze doseerverhouding is gebaseerd op het totale fosfaatgehalte van het slib. De pH in de reactoren was 6,5-7.

In een continu-reactor is het effect van de dosering van drinkwaterslib op de slibgisting onderzocht bij een Fe/P-verhouding van 0,8 mol Fe/mol P ten opzichte het P-gehalte in het slib. De slibverblijftijd was 20 dagen en de temperatuur 35°C. Twintig dagen na de opstart van de reactor werd drinkwaterslib aan het ingaande slib toegevoegd. De fosfaatconcentratie in de slibgisting was op dat moment opgelopen tot 222 mg  $\text{P-PO}_4/\text{l}$ . Op dag 40 werd in de reactor de Fe/P-verhouding van 0,8 bereikt en was de fosfaatconcentratie gedaald tot 30 mg P/l. Het fosfaatverwijderingsrendement was 90%.

Uit de onderzoeken werd geconcludeerd dat drinkwaterslib goed kan worden toegepast om fosfaat in de slibgisting te binden. In de praktijk wordt dit toegepast op de RWZI Holten.

### 3.5 Overige gegevens en ervaringen

Introductie van biologische defosfatering op de RWZI Hirblingen (Duitsland) had een beperkte verhoging van de fosfaatvracht uit de slibgisting tot gevolg (verblijftijd 55 dagen en vergisting van primair en secundair slib)<sup>[14]</sup>. Zonder biologische defosfatering was de fosfaatterugvoer circa 6%. Na inbedrijfname van de biologische defosfatering (fosfaatconcentratie in slib 3%) steeg de fosfaatterugvoer tot circa 10%.

In een onderzoek op de RWZI Alsfeld (Duitsland), die is aangepast voor biologische defosfatering (effluent-fosfaatconcentratie circa 2 mg P-PO<sub>4</sub>/l), bedroeg de terugvoer van fosfaat uit de slibontwatering van uitgegist slib gemiddeld 7% van de influent-fosfaatvracht<sup>[15]</sup>. De terugvoer van stikstof (ammonium) was circa 16%. Om piekbelastingen te voorkomen werd het filtraat gespreid over de tijd in het zuiveringsproces gevoerd (buffering van filtraat).

## 4 INVENTARISATIE VAN DE NEDERLANDSE PRAKTIJKERVARINGEN

### 4.1 Algemeen

In bijlage 9 zijn de resultaten weergegeven van een enquête onder de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders over ervaringen met slibverwerking bij biologische defosfatering. Er is een indeling gemaakt naar RWZI's met "spontane" biologische defosfatering (zonder anaërobe tank) en RWZI's die zijn ontworpen of aangepast voor biologische defosfatering (met anaërobe tank). Uit de inventarisatie en de gesprekken met de waterkwaliteitsbeheerders kan het volgende worden geconcludeerd.

- Er zijn circa 50 RWZI's met (spontane) biologische defosfatering naar voren gekomen. Hiervan zijn circa 45 uitgerust met gravitatie-indikking en 5 met slibgisting. Er zijn weinig ervaringen met fosfaatafgifte tijdens de slibverwerking. In de gisting worden chemicaliën ( $\text{FeCl}_3$ , drinkwaterslib) gedoseerd om vorming van  $\text{H}_2\text{S}$  tegen te gaan en/of fosfaat te binden. In enkele gevallen worden maatregelen getroffen om fosfaatterugvoer uit de gravitatie-indikking naar het zuiveringsproces tegen te gaan (chemicaliëndosering in de indikker).
- Bij RWZI's die geheel nieuw worden gebouwd en worden voorzien van een anaërobe tank, wordt gekozen voor mechanische indikking of directe ontwatering van secundair slib om fosfaatafgifte in de slibverwerking te voorkomen.
- Bij RWZI's die worden aangepast voor biologische defosfatering, worden in sommige gevallen de gravitatie-indikking en de slibgisting gehandhaafd. Indien fosfaatafgifte optreedt wordt dit tegengegaan door chemicaliëndosering in de waterlijn (ondersteunende defosfatering), in de indikker of in de gisting.
- In een systeem met indikking en gisting speelt bij het vervangen van de gravitatie-indikking door mechanische indikking ook het verhogen van de verblijftijd in de gisting een rol. Met mechanische indikking wordt een hoger drogestofgehalte (6% ds) verkregen dan met gravitatie-indikking (secundair slib: 2,5% ds), waardoor het ingedikt-slibdebiet bij mechanische indikking kleiner is.

### 4.2 Fosfaatterugvoer bij RWZI's

Om de fosfaatafgifte en fosfaatterugvoer tijdens de slibverwerking in beeld te brengen zijn fosfaatbalansen van RWZI's zonder voorbezinking en met voorbezinking opgevraagd. Er is zoveel mogelijk uitgegaan van  $\text{P-PO}_4$  balansen in plaats van  $\text{P}_{\text{tot}}$  balansen. Fosfaatafgifte tijdens de slibverwerking heeft betrekking op de afgifte van  $\text{P-PO}_4$ . Bij  $\text{P}_{\text{tot}}$  speelt ook het fosfaat in de drogestof een rol. Als gevolg van storingen in de procesvoering kan door uitspoeling van drogestof de interne fosfaatbelasting aanzienlijk worden verhoogd, waardoor een onjuist beeld van de fosfaatafgifte wordt verkregen.

De informatie van de RWZI's is weergegeven in bijlage 8. In tabel 8 zijn de gegevens samengevat. Gegevens over de verblijftijden in de indikers zijn niet weergegeven, omdat deze onvoldoende (nauwkeurig) beschikbaar zijn.

Het afgegeven fosfaat is in het overloopwater van de (voor-)indikker en in het slibwater van het ingedikt slib of uitgegist slib aanwezig. Het slibwater van het ingedikt slib komt vrij tijdens de ontwatering. Het slibwater van het uitgegist slib komt vrij in de na-indikker (overloopwater) en/of in de ontwatering van het uitgegist slib.

Tabel 8: Fosfaatterugvoer bij RWZI's.

RWZI en verwerking van secundair slib bij de RWZI	Dosering chemicaliën (Me/P in mol/mol)	Fosfaatconcentraties			Defosfateringscapaciteit (mg P/g ds.h en/of mg P/g ds)	Fosfaatterugvoer als percentage van de influent-fosfaatvrucht (%)			
		infl. (mg/l)	effl. (mg/l)	slib (%)		overloopwater (voor)-indikker	slibwater ingedikt of uitgestikt slib	totaal	
Beemster ('94) - gravitatie-indikking - centrifuge	FeSO <sub>4</sub> in waterlijn Fe/P = 0,15	5	1	2,5	3-5 mg P/g ds.h	5	14	19	
Nieuwe Wetering('92) - gravitatie-indikking - zeefbandpers		7	1	2,8	4 mg P/g ds.h 5 mg P/g ds	2	10	12	
Mastgat ('93) - gravitatie-indikking - buffer - droogbedden		7	1	2,4	5 mg P/g ds.h 7 mg P/g ds			5 <sup>1)</sup> (P <sub>i</sub> )	
		5	1,5	2,2	2 mg P/g ds.h 2 mg P/g ds			5 <sup>1)</sup> (P <sub>i</sub> )	
Bennekom ('90) - gravitatie-indikking		8	3 <sup>2)</sup>	3	4 mg P/g ds.h 7 mg P/g ds	30			
Coevorden ('90) - gravitatie-indikking		7	0,5	2,3		10 (P <sub>tot</sub> )			
Bunnik ('88) - gravitatie-indikking		13	1	3		2 (P <sub>tot</sub> )			
Aalsmeer ('92-'93) - gravitatie-indikking - zeefbandpers  experimenten met FeCl <sub>3</sub> in filtraat, indikker of influent (93)	FeCl <sub>3</sub> infl. Fe/P = 0,4; 0,2  FeCl <sub>3</sub> indik. Fe/P = 0,4; 0,1  FeCl <sub>3</sub> filt. Fe/P = 0,6; 0,5  geen Fe (92)	6	1	2,2	4 mg P/g ds.h 6 mg P/g ds			6; 3 <sup>3)</sup>	
								2; 2	
									8; 7 <sup>3)</sup>
									10
Maastricht-Boscherveld ('94) - gravitatie-indikking - centrifuge		8	2	2,3	6 mg P/g ds	3 (P <sub>tot</sub> )	3 (P <sub>tot</sub> )	6 (P <sub>i</sub> )	
Holten ('90-'93) - gravitatie-indikking (met primair slib) - gisting - na-indikker	FeCl <sub>3</sub> indik. drinkwater-slib gisting Fe/P = 1,4 (P <sub>verw.</sub> )  geen Fe (90)	12	1	4,5	10 mg P/g ds.h 20 mg P/g ds	=0	=0	=0	
						30	50	80	
Elburg ('94) - indikcentrifuge - gisting <sup>4)</sup>	AlCl <sub>3</sub> in waterlijn Al/P = 0,7-1	14	1,5		6 mg P/g ds			=0	
Etten ('95) - bandindikker - gisting - na-indikker - centrifuge		7	0,2	2,5			14 (na-indikker)	22	
							8 (ontwatering)		
Ede ('95) - indikcentrifuge - gisting secund.slib <sup>4)</sup>		7,5	1,5	3,7			20% afgifte t.o.v. aanvoer slibgisting		

- 1) Geen invoer van de interne stromen in het zuiveringsproces.
- 2) Bij een bedrijfsvoering zonder gravitatie-indikking is de effluent-fosfaatconcentratie < 1 mg P/l.
- 3) Grotere fosfaatterugvoer bij hogere dosering. Naast de doseerverhouding wordt de fosfaatterugvoer beïnvloed door andere factoren (bijvoorbeeld verblijftijd indikker), die in de verschillende onderzoeksperioden varieerden.
- 4) Gescheiden gisting van primair en secundair slib.

#### 4.2.1 RWZI's zonder voorbezinking

Uit de gegevens blijkt dat de fosfaatterugvoer bij gravitatie-indikking zonder chemicaliëndosering varieert van 2-30% van de influent-fosfaatvracht.

Het aandeel van het overloopwater in de fosfaatterugvoer kan aanzienlijk zijn (10-50% van het afgegeven fosfaat).

Bij de RWZI Nieuwe Wetering had in een proefperiode van drie maanden de interne fosfaatbelasting geen invloed op de effluent-fosfaatconcentratie. Bij de RWZI Coevorden had in een lange periode (langer dan één jaar) de interne fosfaatbelasting geen effect op de effluentkwaliteit.

Bij de RWZI Bennekom bleek tijdens een proefperiode van drie maanden door de interne fosfaatbelasting, als gevolg van het in bedrijf nemen van de gravitatie-indikker, een aanzienlijke verhoging van de effluent-fosfaatconcentratie op te treden.

#### 4.2.2 RWZI's met voorbezinking en gisting

Op de RWZI Holten is bij de introductie van biologische defosfatering zonder dosering van chemicaliën een zeer grote fosfaatterugvoer uit de voor-indikker en gisting waargenomen. De fosfaatterugvoer uit de voor-indikker en de gisting wordt tegengegaan door dosering van ijzerchloride in de indikker en drinkwaterslib (Fe) in de gisting. De doseerverhouding (indikker en gisting) bedraagt 1,4 mol Fe/mol  $P_{\text{verwijderd}}$ . De kosten voor de aanschaf van drinkwaterslib zijn lager dan die van ijzerchloride.

Op de RWZI Elburg vindt gescheiden gisting van primair en secundair slib plaats. Er wordt aluminiumchloride in de waterlijn gedoseerd om een effluent-fosfaatconcentratie van circa 1 mg P/l te halen (0,7-1 mol Al/mol  $P_{\text{inf}}$ ). Er treedt nauwelijks fosfaatterugvoer uit de gisting op.

Op de RWZI Ede vindt gescheiden gisting van primair en secundair slib plaats. In de gisting voor secundair slib is de totale fosfaatconcentratie (ongefiltreerd monster) circa 1.650 mg P/l. De concentratie  $P\text{-PO}_4$  in het slibwater is circa 330 mg P/l. Dit is 20% van het totale fosfaatgehalte in het slib. De fosfaatafgifte in de gisting voor secundair slib bedraagt derhalve 20% ten opzichte van de fosfaattoevoer naar de gisting. Het secundair slib heeft een hoog fosfaatgehalte (37 mg/g ds). Er werden geen chemicaliën gedoseerd.

Op de RWZI Etten bedraagt de fosfaatterugvoer uit de gisting ongeveer 20% van de influent-fosfaatvracht. Opgemerkt wordt dat de gegevens afkomstig zijn van een periode waarin extra slib uit het systeem werd onttrokken. Dit zal de hoeveelheid afgegeven fosfaat hebben vergroot.

Het slibwater van het uitgegist slib komt vrij in de na-indikker (overloopwater) en/of in de ontwatering van het na-ingedikt slib (slibwater). De fosfaatconcentraties in het overloopwater en in het slibwater zijn vrijwel gelijk omdat in de na-indikker geen fosfaatafgifte plaatsvindt.

Het terugvoeren van fosfaatrijk slibwater in het zuiveringsproces heeft in een periode van drie maanden nauwelijks een verhoging van de effluent-fosfaatconcentratie tot gevolg gehad.

In bijlage 5 zijn voor de RWZI Elburg en de RWZI Ede de metaalconcentraties in het influent, in het effluent en in het slib weergegeven. Ongeveer 5-25% van het magnesium en calcium in het influent wordt in het slib opgenomen en naar de gisting gebracht.

## 5 EVALUATIE

### 5.1 Totale RWZI bestand

Bij de RWZI's leidt interne fosfaatbelasting niet altijd tot een hoge effluent-fosfaatconcentratie. Er zijn RWZI's met een relatief grote interne fosfaatbelasting die een effluent-fosfaatconcentratie van 1 mg P/l halen. Om altijd te kunnen voldoen aan een effluenteis van 1 mg P/l als voortschrijdend gemiddelde van 10 etmaalmonsters zal echter rekening gehouden moeten worden met maatregelen tegen fosfaatterugvoer.

Een algemeen geldende eenduidige relatie tussen de interne fosfaatbelasting, de defosfateringscapaciteit van het slib en de effluent-fosfaatconcentratie is niet aan te geven.

Er zijn geen gegevens over het effect van het invoerpatroon van de interne stromen op het zuiveringsproces.

### 5.2 RWZI's zonder voorbezinking

#### 5.2.1 Fosfaatgifte en fosfaatterugvoer

Tijdens gravitatie-indikking van biologisch defosfaterend slib vindt altijd fosfaatgifte plaats. De fosfaatgifte van het secundair slib wordt bepaald door de slibverblijftijd in de indikker en de hoeveelheid poly-fosfaat in het slib ( $\approx$  fosfaatgehalte slib). Over het algemeen kan worden gesteld dat bij verblijftijden langer dan twee dagen vrijwel alle poly-fosfaat is omgezet. Bij een verblijftijd van één dag is ongeveer de helft van het poly-fosfaat omgezet.

*Indien het slib in de indikker niet wordt gemengd, blijft het fosfaat in de ingedikt-sliblaag.* Dit fosfaat komt in de slibontwatering vrij. Diffusie speelt een beperkte rol bij transport van fosfaat uit de ingedikt-sliblaag naar de bovenstaande waterlaag (overloopwater). Bij turbulentie kan het fosfaat uit de ingedikt-sliblaag naar het overloopwater worden getransporteerd. De hoeveelheid overloopwater en de daarin aanwezige fosfaatvracht zullen bovendien afhankelijk zijn van de indikgraad.

Uit de gegevens van de RWZI's blijkt dat de fosfaatterugvoer zonder chemicaliëndosering gemiddeld 2-20% van de influent-fosfaatvracht bedraagt. De terugvoer bedraagt maximaal 30% (RWZI Bennekom). Bij de RWZI's zonder chemicaliëndosering wordt 10-50% van het in de indikker afgegeven fosfaat met het overloopwater afgevoerd.

Een korte verblijftijd in de indikker beperkt de fosfaatgifte. De verblijftijd kan in veel gevallen echter niet worden verlaagd, wegens een slechter indikresultaat en/of de bufferfunctie van indikkers.

De afvoer van afgegeven fosfaat via het overloopwater wordt bevorderd door intensieve menging, sterk fluctuerende toevoer- en afvoerstromen en menging van de inhoud door toevoeging van effluent (geurbestrijding). Afvoer van fosfaat met het overloopwater kan worden tegengegaan door een rustige bedrijfsvoering van de indikker.

#### 5.2.2 Actieve binding van afgegeven fosfaat

In tabel 9 is aangegeven op welke plaatsen in een systeem zonder voorbezinking fosfaatgifte optreedt, waar afgegeven fosfaat in de waterfase terecht kan komen en waar het fosfaat kan worden gebonden.

De fosfaatterugvoer kan worden verminderd door chemicaliëndosering in de waterlijn, in de indikker of in de ontwatering (slibwater).

In geval van chemicaliëndosering in de waterlijn is in pilot plant onderzoek op de RWZI Roermond (zie § 3.1) bij een doseerverhouding van 0,4-0,6 mol Fe/mol  $P_{infl}$  ( $FeCl_3$ ) nauwelijks fosfaatgifte waargenomen. Op de RWZI Aalsmeer is een fosfaatterugvoer bereikt van 3% bij 0,2 mol Fe/mol  $P_{infl}$  ( $FeCl_3$ ). Op de RWZI Beemster is de fosfaatterugvoer 19% bij 0,15 mol Fe/mol  $P_{infl}$  ( $FeSO_4$ ).

Tabel 9: Fosfaatafgifte en chemicaliëndosering (Me) in een systeem zonder voorbezinking.

Onderdeel van de RWZI	Fosfaatafgifte	Fosfaat in het slibwater	Mogelijkheden voor fosfaatbinding in het systeem		
			1.	2.	3.
Aeratietank			Me		
Indikker	Ja	Ja		Me <sup>1)</sup>	
Ontwatering	Nee	Ja			Me <sup>2)</sup>

1) Dosering in de indikker. Indien alleen chemicaliën in het overloopwater worden gedoseerd, zal ook chemicaliëndosering in de ontwatering moeten plaatsvinden om alle afgegeven fosfaat te binden.

2) Fosfaat dat met het overloopwater van de gravitatie-indikker wordt afgevoerd, wordt niet gebonden.

Dosering van ijzer in de indikker in een doseerverhouding van 0,4 en 0,1 mol Fe/mol P<sub>inff</sub> resulteerde op de RWZI Aalsmeer in een fosfaatterugvoer van 2% ten opzichte van de influent-fosfaatvracht.

Bij dosering in het slibwater van de ontwatering in een doseerverhouding van 0,5 en 0,6 mol Fe/mol P<sub>inff</sub> is op de RWZI Aalsmeer een relatief grote fosfaatterugvoer van 7 respectievelijk 8% waargenomen. Deze grote terugvoer is waarschijnlijk veroorzaakt door fosfaatrijk overloopwater van de indikker, dat bij chemicaliëndosering in de ontwatering niet met chemicaliën is behandeld.

Op basis van literatuurgegevens kan worden verwacht dat bij dosering van ijzer in het slibwater in een doseerverhouding van 1,5 mol Fe/mol P<sub>slibwater</sub> (= afgegeven P) vrijwel alle fosfaat in het slibwater wordt gebonden.

Bij de RWZI Aalsmeer had ijzerdosering in alle gevallen een gunstig effect op de effluentkwaliteit.

Bij ijzerdosering in de waterlijn of in de sliblijn is een doseerverhouding van respectievelijk circa 0,5 mol Fe/mol P (influent) en 1,5 mol Fe/mol afgegeven P nodig om fosfaatterugvoer tegen te gaan.

Bij de keuze van het doseerpunt moet rekening worden gehouden met de fosfaatafvoer via het overloopwater van de indikker.

### 5.3 RWZI's met voorbezinking en gisting

#### 5.3.1 Fosfaatafgifte en fosfaatterugvoer

In een systeem met voorbezinking kan het secundair slib worden ingedikt door gravitatie-indikking (eventueel gezamenlijk met primair slib) of mechanische indikking.

De verblijftijd in de indikker en de hoeveelheid poly-fosfaat in het slib beïnvloeden de fosfaatafgifte. Daarnaast versterkt het gezamenlijk indikken van primair en secundair slib de fosfaatafgifte van het secundair slib. De relatief grote fosfaatterugvoer uit de voor-indikker bij de RWZI Holten (zonder chemicaliëndosering 30% van het fosfaat in het influent) werd wellicht mede veroorzaakt door het gezamenlijk indikken van primair en secundair slib.

Tijdens mechanische indikking vindt geen fosfaatafgifte plaats.

In de slibgisting vindt door de hoge temperatuur en verblijftijd een volledige afbraak van poly-fosfaat plaats. Bovendien komt fosfaat vrij uit de afbraak van drogestof. Uit experimenten in Duitsland en Zweden blijkt dat ook zonder chemicaliëndosering een gedeelte van het afgegeven fosfaat in de slibgisting aan metalen wordt gebonden (spontane fosfaatbinding). De metalen zijn afkomstig van het influent en worden met het slib in de slibgisting gebracht. Bij biologische defosfatering wordt in het slib extra magnesium opgenomen als tegenion van poly-fosfaat. Tijdens afbraakprocessen in de gisting komen metalen zoals magnesium uit het slib vrij en kunnen een rol spelen bij de binding van fosfaat.

De fosfaatterugvoer uit de slibgisting van RWZI's in Duitsland bedraagt zonder chemicaliëndosering ongeveer 15% van de influent-fosfaatvracht. In Duitsland slaat veel fosfaat met magnesium in MAP neer, ondanks een relatief ongunstige pH (pH = 7,5) in de gisting voor de

vorming van MAP. Een groot gedeelte van het fosfaat in de gisting is gebonden aan aluminium.

Zeolieten in het influent spelen waarschijnlijk een belangrijke rol bij de vastlegging van fosfaat in de gisting door precipitatie van fosfaat aan aluminium en/of adsorptie van fosfaat aan zeolieten. Het mechanisme van de afbraak van zeolieten, het vrijkomen van aluminium en de fosfaatbinding zijn nog niet goed begrepen. Zeolieten hebben een katalytische werking bij verschillende precipitatiereacties en kunnen door ionenwisseling grote hoeveelheden calcium bevatten.

In Nederland is op de RWZI Holten een grote fosfaatterugvoer waargenomen (ongeveer 80% van de influent-fosfaatvracht). Er zal derhalve niet of nauwelijks spontane fosfaatbinding zijn opgetreden. Op de RWZI's Ede en Etten is de fosfaatafgifte respectievelijk de fosfaatterugvoer kleiner (voor RWZI Ede 20% van het fosfaat naar de secundair-slibgisting en voor RWZI Etten 20% van het fosfaat in het influent). De fosfaatconcentratie in het secundair slib van de RWZI Ede is 3,7%. Deze hoge fosfaatconcentratie in het slib wijst op een grote hoeveelheid poly-fosfaat die in de gisting geheel zal worden afgebroken. Uitgaande van 1,5-2% organisch fosfaat bestaat circa 50% van het fosfaat uit poly-fosfaat. Omdat de fosfaatafgifte geen 50% maar 20% bedraagt moet een groot gedeelte van het uit poly-fosfaat vrijgekomen fosfaat weer gebonden zijn.

#### *Influent- en slibsamenstelling*

In een systeem zonder chemicaliëndosering wordt de hoeveelheid metalen (magnesium, calcium) in de gisting bepaald door de hoeveelheid metalen in het ingaande slib. Op basis van gegevens over de slibsamenstelling (Mg en Ca) en het gebruik van zeolieten in wasmiddelen, is in Nederland en Duitsland een zelfde mechanisme van spontane fosfaatbinding in de gisting te verwachten. Informatie over de Duitse slibsamenstelling respectievelijk de Nederlandse influent- en slibsamenstelling is in tabel 5 respectievelijk bijlage 5, 6 en 7 weergegeven.

In het influent van RWZI's worden metaalconcentraties incidenteel gemeten, waardoor hiervan weinig gegevens beschikbaar zijn. Magnesium en calcium in het slib worden meestal bepaald bij toepassing van slib in de landbouw. Toevoegen van kalk in het zuiveringsproces (bijvoorbeeld voor slibconditionering) verhoogt de calciumconcentratie van het afgezet slib.

In bijlage 5 is de influent- en slibsamenstelling van enkele RWZI's en de gemiddelde influent- en slibsamenstelling per gebied weergegeven. De calciumconcentratie in het influent van de verschillende RWZI's is 11, 55, 70 en 45 mg/l. De calciumconcentratie in het slib van deze RWZI's (zonder kalkdosering) is respectievelijk 23, 20, 21, 20 mg/g ds. De concentraties in het slib zijn bij een grote variatie van de concentratie in het influent vrijwel gelijk. De magnesiumconcentratie in het influent van de RWZI's is 8,4, 10,5, 4 en 6,8 mg/l. De magnesiumconcentratie in het slib is hierbij respectievelijk 2,4, 7,5, 4,8 en 6,8 mg/g ds. De RWZI met een relatief hoge magnesiumconcentratie in het influent van 8,4 mg/l heeft een relatief lage magnesiumconcentratie in het slib (2,4 mg/g ds).

De provincie Limburg, met name het zuidelijk gedeelte, heeft een relatief hoog magnesiumgehalte in het influent. De magnesiumconcentratie in het afgezet slib is echter relatief laag. Uit de gegevens over de influent- en slibsamenstelling blijkt dat een hoge influentconcentratie aan metalen niet altijd tot een hoge metaalconcentratie in het slib leidt. Een eenduidige relatie tussen de influent- en slibsamenstelling is niet aan te geven.

De drinkwaterbedrijven streven naar een maximale totale hardheid (Mg en Ca) van 1,5 mmol/l binnen 5-10 jaar. Dit betekent dat de hoeveelheid metalen in het afvalwater met maximaal 50% zal verminderen. Afhankelijk van het mechanisme van de opname van metalen in het slib zal een verlaging van de hardheid van invloed zijn op de beschikbaarheid van metalen in de slibgisting. Zeolieten worden vooral door adsorptie aan het slib uit het afvalwater verwijderd. De concentratie zeoliet in het slib verschilt niet per gebied, indien ervan uitgegaan wordt dat het wasmiddelenverbruik per inwoner gelijk is.

De metaalgehalten in het influent van de RWZI Holten en de RWZI Ede komen ongeveer overeen (gegevens 1995). Dit kan dus niet het grote verschil in fosfaatterugvoer tussen beide RWZI's verklaren.



### 5.3.2 Actieve binding van afgegeven fosfaat

In tabel 10 is aangegeven op welke plaatsen in een systeem met voorbezinking fosfaatafgifte optreedt, waar afgegeven fosfaat in de waterfase terecht kan komen en waar het fosfaat kan worden gebonden.

Tabel 10: Fosfaatafgifte en chemicaliëndosering (Me) in een systeem met voorbezinking en gisting.

Onderdeel van de RWZI	Fosfaatafgifte	Fosfaat in het slibwater	Mogelijkheden voor fosfaatbinding in het systeem				
			1.	2.	3.	4.	5.
Voorbezinktank of Aeratietank			Me				
Voor-indikker <sup>1)</sup>	Ja	Ja		Me <sup>2)</sup>			
Gisting	Ja	Ja <sup>3)</sup>			Me <sup>4)</sup>		
Na-indikker	Nee	Ja <sup>3)</sup>				Me <sup>4)</sup>	
Ontwatering	Nee	Ja <sup>3)</sup>					Me <sup>5)</sup>

1) Bij mechanische indikking in plaats van gravitatie-indikking vindt geen fosfaatafgifte plaats.

2) Dosering in de indikker. Bij alleen dosering in het overloopwater zal ook dosering in de volgende stap moeten plaatsvinden om alle afgegeven fosfaat te binden.

3) De hoeveelheid is ondermeer afhankelijk van de mate van spontane fosfaatbinding in de gisting.

4) Fosfaat dat met het overloopwater van de voor-indikker wordt afgevoerd, wordt niet gebonden.

5) Fosfaat dat met het overloopwater van de voor-indikker en na-indikker wordt afgevoerd, wordt niet gebonden.

De fosfaatterugvoer kan worden verminderd door chemicaliëndosering in de waterlijn, in de indikker, in de gisting, in de na-indikker of in de ontwatering. Van dosering in de na-indikker en ontwatering zijn geen praktijkgegevens.

Op de RWZI Elburg (met mechanische indikking) wordt bij dosering van  $AlCl_3$  in de waterlijn in een doseerverhouding van 0,7-1 mol Al/mol P nauwelijks fosfaat uit de gisting teruggevoerd. Er is niet bekend in hoeverre naast het effect van de chemicaliëndosering tevens spontane fosfaatbinding optreedt.

Op de RWZI Holten (met gravitatie-indikking) vindt geen fosfaatterugvoer uit de gravitatie-indikking en gisting plaats bij ijzerdosering in de indikker ( $FeCl_2$ ) en gisting (drinkwaterslib) in een totale doseerverhouding (indikker én gisting) van 1,4 mol Fe/mol P<sub>verwijderd</sub>. Er treedt bij deze RWZI nauwelijks spontane fosfaatbinding op, gezien de grote fosfaatterugvoer voor aanvang van de ijzerdoseringen.

Bij dosering in het slibwater van het uitgegist slib, dat vrijkomt in de na-indikker en/of in de ontwatering, bedraagt de benodigde ijzerdosering volgens literatuurgegevens circa 1,5 mol Fe/mol P<sub>slibwater</sub>.

Bij ijzerdosering in de sliblijn is een doseerverhouding van circa 1,5 mol Fe/mol afgegeven P nodig om fosfaatterugvoer tegen te gaan. Bij de keuze van het doseerpunt moet rekening worden gehouden met de fosfaatafvoer bovenstrooms van het doseerpunt.

## 6 MODELMATIGE BENADERING VAN DE FOSFAATTERUGVOER

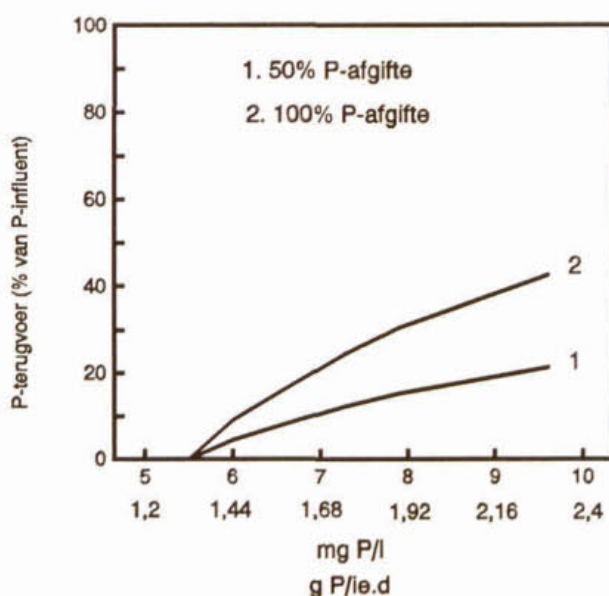
### 6.1 RWZI zonder voorbezinking

De fosfaatterugvoer in een systeem zonder voorbezinking wordt modelmatig uitgewerkt aan de hand van een hypothetische Nederlandse RWZI met gravitatie-indikking, die is weergegeven in bijlage 3 (systeem 1).

In figuur 6 is de fosfaatterugvoer ten opzichte van de fosfaatvracht in het influent als functie van de fosfaataanvoer weergegeven, bij een fosfaatafgifte in de indikker van 50 en 100% (ten opzichte van poly-P). Aangenomen is dat alle afgegeven fosfaat via het overloopwater van de indikker of het slibwater van de ontwatering wordt teruggevoerd.

Bij een grotere fosfaataanvoer moet meer fosfaat als poly-fosfaat in het slib worden opgeslagen (hogere fosfaatconcentratie in het slib), waardoor tijdens de indikking een grotere fosfaatterugvoer mogelijk is.

Bij een aanname dat actief slib zonder luxury uptake 2% fosfaat bevat, is bij een influent-fosfaatconcentratie kleiner dan 5,5 mg P/l geen biologische defosfatering nodig (geen opslag van poly-fosfaat), zodat geen fosfaatafgifte in de gravitatie-indikking optreedt. De fosfaatterugvoer bedraagt 0-40% van de influent-fosfaatvracht.



Figuur 6: De relatie tussen de maximale fosfaatterugvoer uit de gravitatie-indikker en de fosfaataanvoer voor een hypothetische RWZI zonder voorbezinking ( $P_{\text{eff.}} = 1 \text{ mg/l}$ ).

### 6.2 RWZI met voorbezinking en gisting

De fosfaatterugvoer in een systeem met voorbezinking en gisting wordt modelmatig uitgewerkt aan de hand van een hypothetische Nederlandse RWZI met indikking en gisting van primair en secundair slib, die is weergegeven in bijlage 3 (systeem 2).

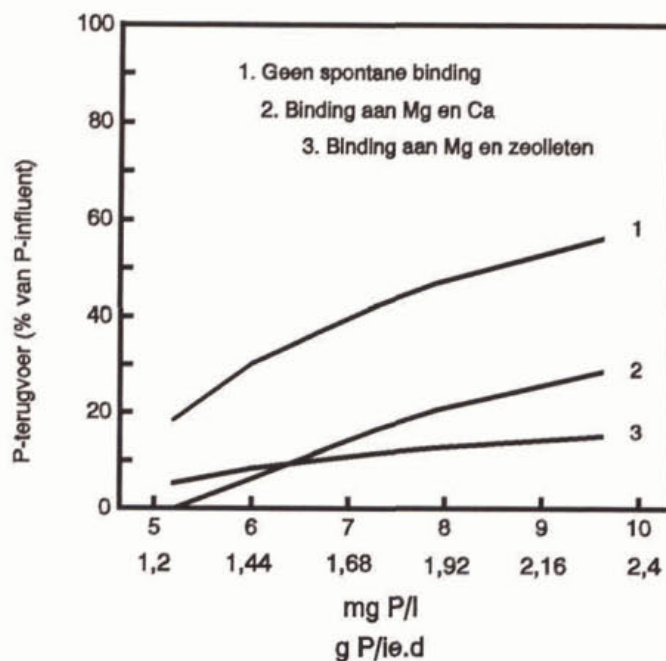
Het secundair slib kan door gravitatie-indikking of mechanische indikking worden ingedikt. In een systeem met slibgisting wordt onafhankelijk van de methode van indikking alle poly-fosfaat afgebroken. Bovendien komt fosfaat vrij uit de afbraak van drogestof in de gisting. Het afgegeven fosfaat kan door spontane fosfaatbinding in de gisting worden gebonden.

In figuur 7 is de fosfaatterugvoer uit de gisting ten opzichte van de fosfaatvracht in het influent als functie van de fosfaataanvoer weergegeven, met en zonder spontane fosfaatbinding in de gisting.

In bijlage 4 zijn de uitgangspunten voor de spontane fosfaatbinding en een voorbeeld van de berekening van de fosfaatbinding weergegeven. Er is van uitgegaan dat alle fosfaat in de gisting wordt gebracht (bij gravitatie-indikking geen afvoer van fosfaat met het overloopwater). In onderzoeken in Duitsland was sprake van binding van fosfaat aan magnesium en zeolieten (aluminium). Calciumfosfaatverbindingen waren waarschijnlijk niet aanwezig. Een binding van fosfaat met calcium zal echter in principe wel mogelijk zijn. Voor de spontane fosfaatbinding zijn daarom twee mechanismen beschouwd, namelijk binding van fosfaat aan magnesium en zeolieten respectievelijk binding van fosfaat aan magnesium en calcium.

Zonder spontane fosfaatbinding bedraagt de fosfaatterugvoer, afhankelijk van de fosfaat-aanvoer, 20-50% van de influent-fosfaatvracht. In geval van spontane fosfaatbinding bedraagt de fosfaatterugvoer 0-25%, afhankelijk van de fosfaataanvoer en de soort binding. Er wordt gemiddeld 65% van het afgegeven fosfaat gebonden door spontane binding. In de gisting zijn voldoende metalen beschikbaar om een groot deel van het afgegeven fosfaat te binden.

Bij een aanname dat actief slib zonder luxury uptake 2% fosfaat bevat, is bij een fosfaat-concentratie in het influent kleiner dan 5,2 mg P/l geen poly-fosfaat in het slib aanwezig. De fosfaatterugvoer bedraagt dan zonder fosfaatbinding 20% van de influent-fosfaatvracht als gevolg van de afbraak van drogestof.



Figuur 7: De relatie tussen de fosfaatterugvoer uit de gisting en de fosfaataanvoer voor een hypothetische RWZI met voorbezinking en gisting ( $P_{eff.} = 1 \text{ mg/l}$ ).

## 7 KOSTEN VAN DE MAATREGELEN TEGEN FOSFAATTERUGVOER

Fosfaatterugvoer uit de gravitatie-indikking en slibgisting kan worden tegengegaan door chemicaliëndosering. Een alternatief is het toepassen van mechanische indikking en/of directe ontwatering in plaats van gravitatie-indikking en gisting.

De kosten zijn uitgewerkt aan de hand van een RWZI zonder voorbezinking en een RWZI met voorbezinking en gisting die moeten worden aangepast voor biologische defosfatering. De volgende situaties en mogelijkheden zijn beschouwd.

### Systeem 1: RWZI zonder voorbezinking

RWZI met gravitatie-indikking en ontwatering van secundair slib, die wordt aangepast voor biologische defosfatering (bijvoorbeeld door het plaatsen van een anaërobe tank).

Mogelijkheden:

- a. Handhaven van de gravitatie-indikking, en fosfaatterugvoer tegengaan door chemicaliëndosering.
- b. Vervangen van de gravitatie-indikking door mechanische indikking.

In figuur 8 zijn deze situaties schematisch weergegeven.

### Systeem 2: RWZI met voorbezinking en gisting

RWZI met (gezamenlijke) gravitatie-indikking van primair en secundair slib, slibgisting en ontwatering, die wordt aangepast voor biologische defosfatering (bijvoorbeeld door het plaatsen van een anaërobe tank).

Mogelijkheden:

- a. Handhaven van de gravitatie-indikking en de slibgisting, en fosfaatterugvoer tegengaan door chemicaliëndosering in de indikker en gisting.
- b. Vervangen van de gravitatie-indikking en gisting (voor secundair slib) door mechanische indikking.
- c. Vervangen van de gravitatie-indikking door mechanische indikking en fosfaatterugvoer tegengaan door chemicaliëndosering in de gisting

In figuur 8 zijn deze situaties schematisch weergegeven.

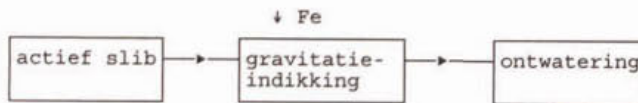
Er is uitgegaan van de hypothetische RWZI's in hoofdstuk 6 en bijlage 3. De extra kosten voor het tegengaan van fosfaatterugvoer bij de introductie van biologische defosfatering zijn beschouwd. De volgende posten zijn in de kostenberekening betrokken:

- Extra kosten van chemicaliën voor binding van het afgegeven fosfaat.
- Extra kosten van de afzet van slib (extra kosten door chemisch slib, extra kosten door het niet afbreken van secundair slib in de gisting).
- Extra kosten van de apparatuur (mechanische indikking, doseerinstallatie voor chemicaliën).
- Extra kosten voor bediening van de apparatuur (mechanische indikking).

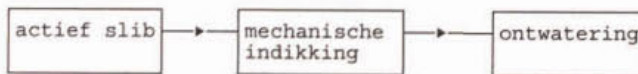
In tabel 11 zijn de uitgangspunten voor de kostenberekening weergegeven.

**SYSTEEM 1:**

a. Handhaven van de gravitatie-indikking:

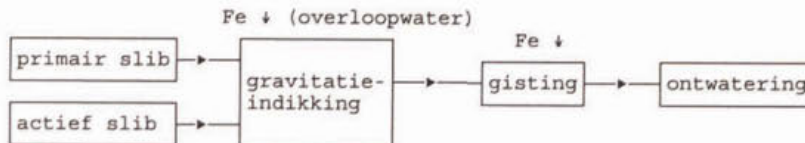


b. Toepassen van mechanische indikking (direct ontwateren):

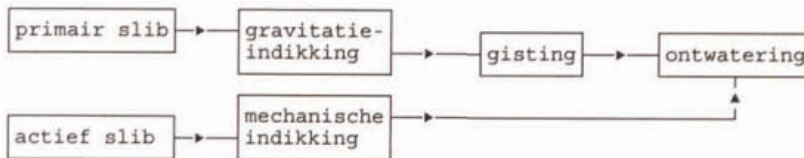


**SYSTEEM 2:**

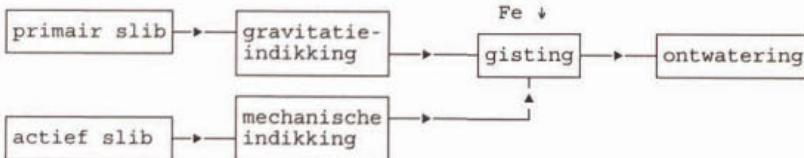
a. Handhaven van de gravitatie-indikking en gisting:



b. Vervangen van de gravitatie-indikking en gisting door mechanische indikking:



c. Vervangen van de gravitatie-indikking door mechanische indikking:



Figuur 8: Schematische weergave van de systemen 1a en 1b respectievelijk 2a, 2b en 2c.

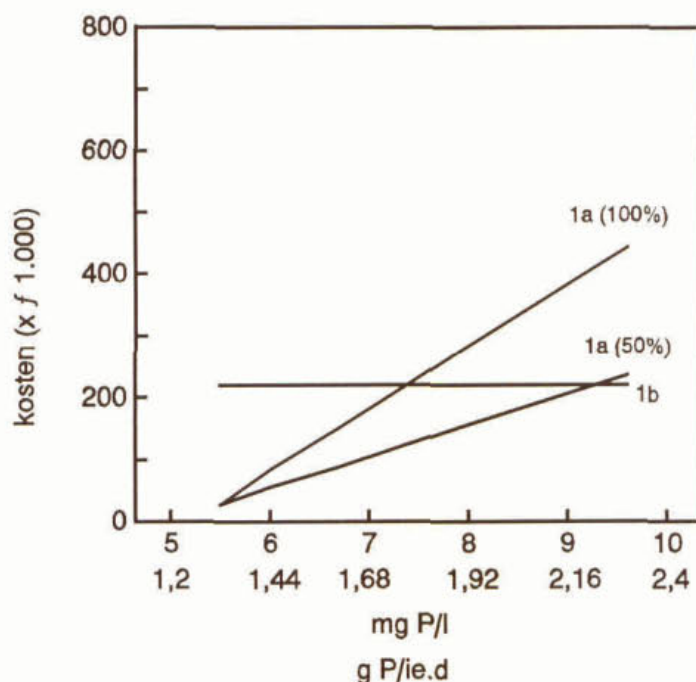
Tabel 11: Uitgangspunten van de kostenberekening.

Hypothetische RWZI's	system 1 van bijlage 3 system 2 van bijlage 3
- gegevens RWZI zonder voorbezinking	100.000 ie
- gegevens RWZI met voorbezinking en gisting	
- capaciteit	
Mechanische indikking	bandindikker <sup>1)</sup>
- soort	2,5 g actief PE/kg ds
- doseerverhouding poly-electroliet (PE)	f 12,-/kg
- kosten voor poly-electroliet	f 1.350.000,-
- investeringskosten voor systeem 1 (incl. PE-installatie e.d.)	f 1.150.000,-
- investeringskosten voor systeem 2 (incl. PE-installatie e.d.)	1 h/d
- benodigde tijd voor toezicht en bediening	
Fosfaatbinding	FeCl <sub>3</sub>
- soort chemicaliën	1,5 mol Fe/mol P (afgegeven P)
- doseerverhouding	f 2,-/kg Fe
- kosten chemicaliën	f 250.000,-
- investeringskosten Fe-doseerinstallatie	f 1.000,-/ton ds
Kosten voor slibontwatering en afzet slib	0,113
Annuititeit (rente 7,5%, afschrijving 15 jaar)	

1) Een centrifuge voor mechanische indikking is ook mogelijk.

In figuur 9 zijn de extra jaarlijkse kosten voor systeem 1a en 1b als functie van de fosfaat-aanvoer weergegeven. Voor 1a is de situatie bij een fosfaatafgifte van 50 en 100% (ten opzichte van poly-P) weergegeven.

Uit de figuur blijkt dat, afhankelijk van de fosfaatafgifte, bij een lage fosfaataanvoer toepassen van mechanische indikking duurder is dan chemicaliëndosering in de gravitatie-indikking. Een specificatie van de kosten is in tabel 12 weergegeven.



Figuur 9: Jaarlijkse extra kosten voor systeem 1a en 1b.

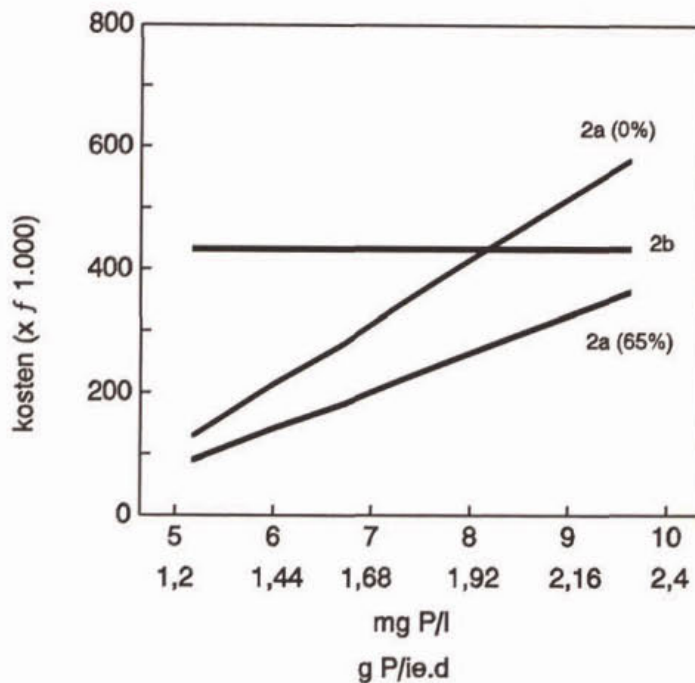
- 1a (50%) = gravitatie-indikking, 50% fosfaatafgifte;
- 1a (100%) = gravitatie-indikking, 100% fosfaatafgifte;
- 1b = bandindikker.

In figuur 10 zijn de extra jaarlijkse kosten voor systeem 2a en 2b als functie van de fosfaat-aanvoer weergegeven.

Voor de fosfaatafgifte in de gravitatie-indikker (systeem 2a) is uitgegaan van 100% fosfaatafgifte waarvan 50% via het overloopwater wordt afgevoerd (fosfaatafgifte ten opzichte van poly-P). Inclusief de fosfaatafgifte in de gisting (alleen fosfaat uit afbraak drogestof omdat alle poly-fosfaat in de indikker is vrijgekomen) is de afvoer van fosfaat via het overloopwater circa 40% van de totale fosfaatafgifte in het systeem. Deze hoeveelheid wordt met chemicaliën behandeld. De rest van het fosfaat (60%) wordt in de gisting door spontane fosfaatbinding of chemicaliëndosering gebonden. Voor spontane fosfaatbinding is uitgegaan van 0 en 65% ten opzichte van het fosfaat in de gisting. Er moet 100 respectievelijk 35% van het fosfaat in de gisting met chemicaliën worden gebonden.

Uit figuur 10 blijkt dat afhankelijk van de mate van spontane fosfaatbinding bij een grote fosfaataanvoer chemicaliëndosering in de gravitatie-indikking en de gisting duurder is dan mechanische indikking. De hoge kosten van directe ontwatering ten opzichte van gravitatie-indikking en gisting worden met name veroorzaakt door de hogere kosten voor de ontwatering en afzet van secundair slib (meer slib door het niet vergisten van secundair slib).

Een specificatie van de kosten is in tabel 12 weergegeven.



Figuur 10: Jaarlijkse extra kosten voor systeem 2a en 2b.

- 2a (0%) = grav. indikking + gisting, geen spontane binding;
- 2a (65%) = grav. indikking + gisting, 65% spontane binding;
- 2b = bandindikker.

In figuur 11 zijn de extra jaarlijkse kosten voor systeem 2a en 2c als functie van de fosfaat-aanvoer weergegeven.

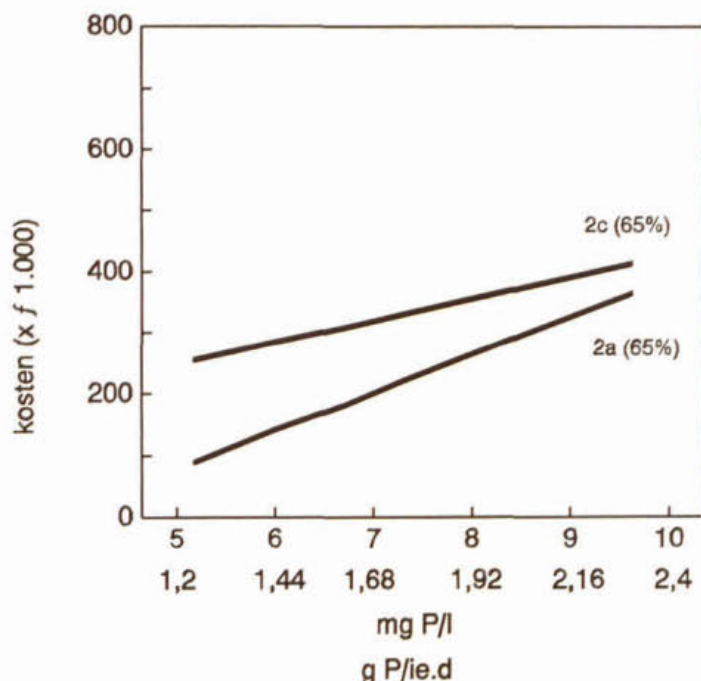
Door het toepassen van mechanische indikking in een systeem met gisting wordt alle fosfaat in de gisting gebracht, zodat ten opzichte van een systeem met gravitatie-indikking en gisting meer fosfaat door spontane fosfaatbinding kan worden gebonden.

De situatie bij 65% spontane binding is weergegeven. Zonder spontane fosfaatbinding zijn de kosten van 2c ten opzichte van 2a altijd hoger, wegens de extra kosten van de mechanische indikking voor 2c en gelijke kosten van chemicaliëndosering voor 2a en 2c.

Uit figuur 11 blijkt dat ook bij 65% spontane fosfaatbinding chemicaliëndosering in de indikker goedkoper is dan mechanische indikking.

Een specificatie van de kosten is in tabel 12 weergegeven.

De kosten in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op RWZI's met een capaciteit van 100.000 ie. De kosten bij een capaciteit van 50.000 ie geven een vergelijkbaar beeld te zien.



Figuur 11: Jaarlijkse extra kosten voor systeem 2a en 2c.  
 2a (65%) = gravitatie-indikking + gisting, 65% spontane binding;  
 2c (65%) = bandindikker + gisting, 65% spontane binding.

Tabel 12: Specificatie van de kosten bij een influent-fosfaatconcentratie van 8 mg P/l.

De extra jaarlijkse kosten bij een influent-fosfaatconcentratie van 8 mg P/l (1,9 g P/ie.d) zijn weergegeven.  
 Voor systeem 1a bij een fosfaatafgifte van 50 en 100%.  
 Voor systeem 2a bij een spontane fosfaatbinding van 0 en 65%.  
 Voor systeem 2c bij een spontane fosfaatbinding van 65%

Systeem 1	extra kosten per jaar (x f 1.000) voor systeem 1a		extra kosten per jaar (x f 1.000) voor systeem 1b	
	50% P-afgifte	100% P-afgifte		
Fe	57	114		
PE			59	
bandindikker			153	
Fe-doseerinstallatie	28	28		
bediening			9	
ontwatering + afzet	66	131		
totaal	151	273	221	
Systeem 2	extra kosten per jaar (x f 1.000) voor systeem 2a		extra kosten per jaar (x f 1.000) voor systeem 2b en 2c	
			systeem 2b	systeem 2c
	binding = 0%	binding = 65%		binding = 65%
Fe	175	107		61
PE			38	38
bandindikker			130	130
Fe-doseerinstallatie	28	28		28
bediening			9	9
ontwatering + afzet	202	123	256	71
totaal	405	258	433	337



## 8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Om constant een effluenteis van 1 mg P/l te halen dient bij biologische defosfatering rekening gehouden te worden met maatregelen tegen fosfaatterugvoer.

De fosfaatafgifte in de gravitatie-indikking van secundair slib wordt bepaald door de verblijftijd in de indikker en het fosfaatgehalte van het slib. Het gezamenlijk indikken van primair en secundair slib bevordert de fosfaatafgifte van het secundair slib.

Een rustige bedrijfsvoering van de indikker vermindert het transport van fosfaat vanuit de ingedikt-sliblaag naar de bovenstaande waterlaag, waardoor de afvoer van afgegeven fosfaat via het overloopwater wordt beperkt.

De netto fosfaatafgifte in de gisting is een resultante van fosfaatafgifte en binding van het afgegeven fosfaat aan metalen die afkomstig zijn van het influent (spontane fosfaatbinding). In Duitsland wordt door spontane fosfaatbinding een geringe fosfaatterugvoer waargenomen. In Nederland lijkt op basis van praktijkgegevens ook spontane fosfaatbinding op te kunnen treden. Een theoretische beschouwing van de bindingsmogelijkheden in de gisting wijst daar ook op. De praktijkgegevens vertonen echter een grote variatie die niet geheel uit de afvalwatersamenstelling kan worden verklaard.

Het feit dat fosfaat onder anaërobe omstandigheden wordt afgegeven heeft ertoe geleid dat in Nederland bij biologische defosfatering meestal niet gekozen wordt voor het vergisten van secundair slib. Op basis van de gegevens over spontane fosfaatbinding blijkt echter dat de fosfaatterugvoer uit de gisting beperkt kan zijn tot circa 15-20% van de influent-fosfaatvracht.

De fosfaatterugvoer kan worden vermindert door chemicaliëndosering in de waterlijn en/of in de sliblijn. Bij RWZI's zonder voorbezinking is bij ijzerdosering in de waterlijn of sliblijn een doseerverhouding van circa 0,5 mol Fe/mol P respectievelijk 1,5 mol Fe/mol P-afgegeven nodig om fosfaatterugvoer tegen te gaan. Bij RWZI's met voorbezinking en gisting is bij ijzerdosering in de sliblijn de benodigde doseerverhouding circa 1,5 mol Fe/mol afgegeven P. De keuze van het doseerpunt en de dosering is een afweging tussen effectiviteit (= lage dosering per kg fosfaat die wordt verwijderd) en rendement (= totale hoeveelheid fosfaat die wordt gebonden).

Bij introductie van biologische defosfatering op een RWZI zonder voorbezinking kan fosfaatterugvoer worden tegengegaan door chemicaliëndosering of vervangen van de gravitatie-indikking door mechanische indikking.

Bij een grote fosfaataanvoer en een grote fosfaatafgifte is toepassen van mechanische indikking relatief goedkoop ten opzichte van chemicaliëndosering in de gravitatie-indikking.

Bij introductie van biologische defosfatering op een RWZI met voorbezinking en gisting kan fosfaatterugvoer worden tegengegaan door chemicaliëndosering of vervangen van de gravitatie-indikking en gisting door mechanische indikking.

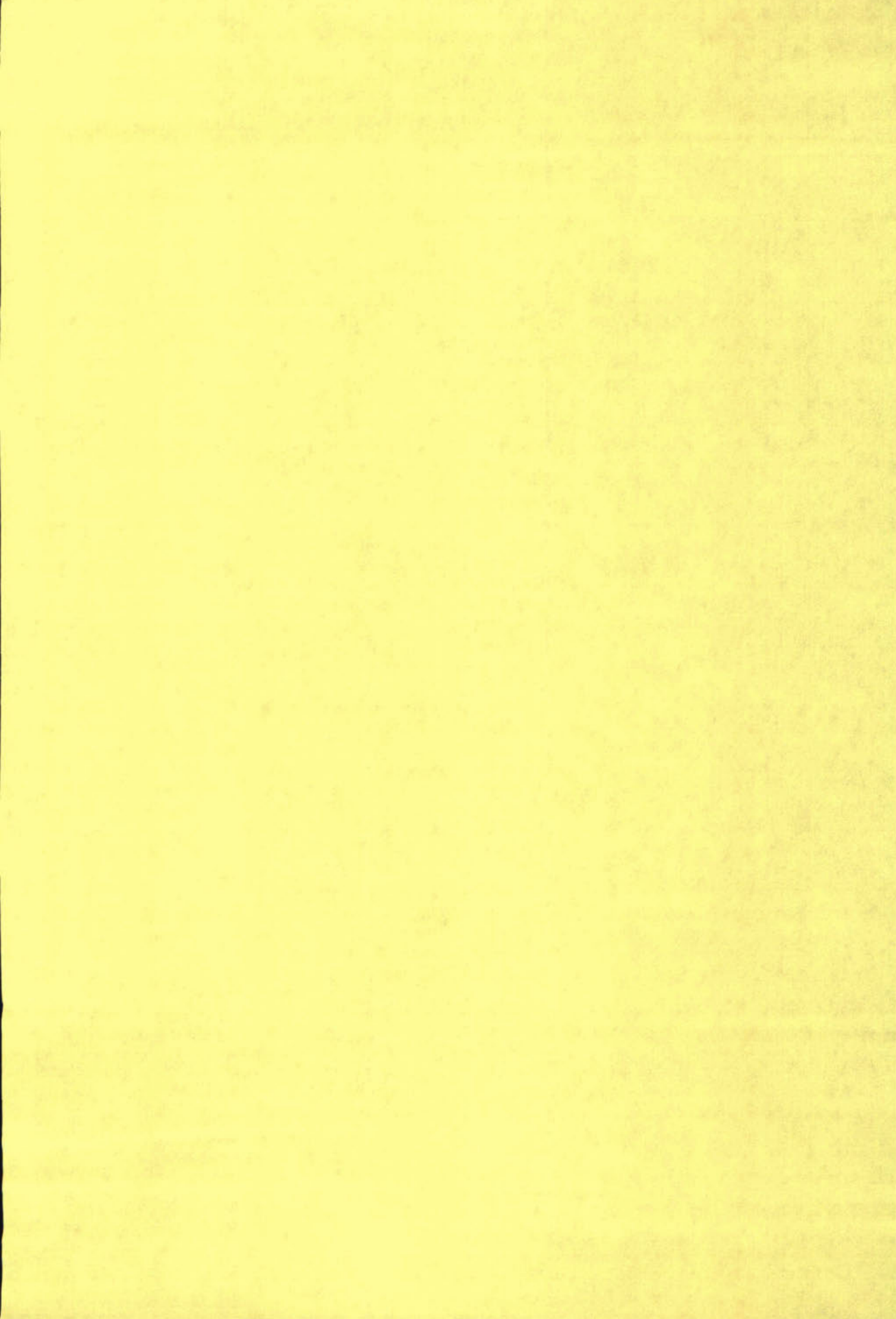
Bij een grote fosfaataanvoer en geringe spontane fosfaatbinding is toepassen van mechanische indikking goedkoper dan chemicaliëndosering in de gravitatie-indikking en gisting. Bij een grote mate van spontane fosfaatbinding is mechanische indikking altijd duurder.

Het vervangen van alléén de gravitatie-indikking door mechanische indikking is duurder dan chemicaliëndosering in de gravitatie-indikking.

Drinkwaterslib kan worden toegepast voor het binden van fosfaat in de gisting. Bij de kostenberekening moet rekening worden gehouden met het inerte deel van het drinkwaterslib, dat doorwerkt in de opslag-, transport-, ontwaterings-, en afzetkosten van het zuiveringsslib.

## 9 LITERATUUR

1. STOWA. Biologische fosfaatverwijdering, randvoorwaarden voor een goed rendement. Rapport in PNs-1992 reeks, 1993.
2. Scheer, H. Praxisorientierte Bestandsaufnahme zur vermehrten biologische Phosphorelimination im deutschsprachigen Raum. Korrespondenz Abwasser 9 (1994) p. 1546-1555.
3. Jardin, N., Pöpel, H.J. Phosphate release of sludges from enhanced biological P-removal during digestion. Presentatie symposium Boedapest, juli 1994.
4. Jardin, N., Pöpel, H.J. Behaviour of excess sludge from enhanced biological phosphorus removal during sludge treatment. Water Environment Federation, presentatie congres Chicago, oktober 1994.
5. Jardin, N., Pöpel, H.J. Phosphate fixation in sludges from enhanced biological P-removal during stabilization. Chemical Water and Wastewater Treatment III, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1994.
6. Nyberg, U. et al. Circulation of phosphorus in a system with biological P-removal and sludge digestion. Presentatie symposium Boedapest, juli 1994.
7. Mageda, C. et al. Study of struvite precipitation in anaerobic digesters. Wat. Res. vol. 28, No.2, p 411-416, 1993.
8. Jardin, N., Pöpel, H.J. Influence of enhanced biological phosphorus removal on sludge treatment. Wat. Sci. Tech. vol. 28, No.1, p 263-271, 1993.
9. Kroiss, H., Negm, M., The effect of nitrate and treatment proces on phosphate release in batch gravity thickener. Wat. Res. vol. 28, No. 10, p 2209-2217, 1994.
10. Röske, I., Schönborn, C., Interactions between chemical and advanced biological phosphorus elimination. Wat. Res. vol. 28, No. 5 p 1103-1109, 1994.
11. Müssig-Zufika, M. et al. Isolation and analysis of intact polyphosphate chains from activated sludges associated with biological phosphate removal. Wat. Res. Vol. 28, No. 8, p 1725-1733, 1994.
12. STOWA. Invloed van drinkwaterontharding op de P- en N-verwijdering uit afvalwater. Rapport in Pns-1992 reeks, 1992.
13. Hahn, H.H., Trauth, R., Wechselwirkungen der biologischen und chemischen Phosphorelimination. Symposiumbundel "Karlsruher Flockungstage", 1993.
14. Presentaties workshop "Auswirkungen der Phosphorelimination auf die Schlammbehandlung", TH Darmstadt, 24 en 25 november 1994.
15. Wolf, P., et al., Biologische Phosphatelimination, Betriebserfahrungen an drei Großanlagen. Wasser Abwasser 135 nr. 9, p 506-515, 1994.
16. Nijboer, W.J.M., Schyns, P.F.T., Slibontwatering op de RWZI Etten. H<sub>2</sub>O nr. 24, p 716-717, 1994.
17. Janssen, P.M.J. et al., Langdurige praktijkervaringen met biologische fosfaatverwijdering op de RWZI Bennekom. H<sub>2</sub>O nr. 15, p 427-432, 1993.
18. Schuiling, R.D., Zeoliet maakt opmars in milieutechniek. Milieumarkt, juli/aug. 1994.
19. Rossin, A.C. et al., Removal of zeolite type A during primary sedimentation and its affect on metal removal. Water research, vol. 16, p 1223-1232, 1982.
20. Baumann, E.R. et al., Field evaluation of the treatability of type A zeoliet in a trickling filter plant. Water research, vol. 15, p 889-901, 1981.
21. STOWA. Handboek chemische fosfaatverwijdering. Rapport in Pns-1992 reeks, 1993.
22. STOWA. Defosfatering met ijzerzouten en anaërobe gisting. Rapport in Pns-1992 reeks, 1993.
23. Uhlmann, D. et al., A simple method to distinguish between polyphosphate and other phosphate fractions in activated sludge. Water research, vol. 11, p 1355-1360, 1990.
24. Schlegel, S. Ergebnissen und folgerungen aus der behandlung von abwässern in anlagen mit weitergehender abwasserreinigung. Korrespondenz Abwasser, p 2030-2041, 1994.
25. STOWA. Toepassing van drinkwaterslib op rioolwaterzuiveringsinrichtingen. 1994.
26. Besluit van 13 juni 1990, houdende regelen met betrekking tot grenswaarden voor fosfaat in door rioolwaterzuiveringsinrichtingen te lozen afvalwater, Staatsblad 1990 no. 301.



## BIJLAGE 1: Definities

- Fosfaatafgifte: Vrijkomen van fosfaat uit het slib door afbraak van poly-fosfaat en/of afbraak van drogestof.
- Netto fosfaatafgifte: Resultante van fosfaatafgifte en spontane fosfaatbinding.
- Spontane fosfaatbinding: Binding van afgegeven fosfaat aan metalen in de gisting die afkomstig zijn van het influent (zonder chemicaliëndosering).
- Fosfaatterugvoer: Teruglevering van fosfaat vanuit de slibverwerking via de stroom afgescheiden slibwater.
- Interne fosfaatbelasting: Extra belasting van de RWZI als gevolg van het terugvoeren van fosfaatrijke interne stromen in het zuiveringsproces.

## BIJLAGE 2: Analyse van fosfaat in het slib

Onderstaand zijn de fractioneringsmethoden volgens Mino en Psenner weergegeven. De fractionering bestaat uit achtereenvolgende extracties van slib met verschillende chemicaliën, gevolgd door incubatie, centrifugering en analyse van het supernatant.

### Fosfaatfractionering volgens Mino et al. (1984)<sup>[14]</sup>

Extractiemiddel	Reactievoorwaarden	Geëxtraheerde P-verbindingen
0,5 N HClO <sub>4</sub>	2 x 30 min., 5 °C	Metaalgebonden fosfaat en korte poly-P verbindingen.
Ethanol Ethanol-Ether mengsel	4 x wassen, 5 °C 2 x 5 min., 60 °C	Lipiden.
1 N HClO <sub>4</sub>	2 x 10 min., 90 °C	Lange poly-P verbindingen.
0,5 N NaOH	10 min., 90 °C	Eiwitten, Nucleïne-zuren (org.-P).

### Fosfaatfractionering volgens Psenner et al. (1984), aangepast voor actief slib<sup>[5]</sup>

Extractiemiddel	Reactievoorwaarden	Geëxtraheerde P-verbindingen
Gedestilleerd water	15 min., 20 °C	H <sub>2</sub> O-DRP <sup>1)</sup> Opgelost en geadsorbeerd fosfaat. H <sub>2</sub> O-NRP <sup>2)</sup> Opgelost organisch fosfaat
NaHCO <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> oplossing	30 min., 20 °C	NaHCO <sub>3</sub> -DRP Fe-P, klein gedeelte MAP, P geadsorbeerd aan silicaten of hydroxiden, gehydrolyseerd poly-P dat is ontstaan in het verloop van de extractie. NaHCO <sub>3</sub> -NRP Opgelost organisch fosfaat.
1 N NaOH	24 h., 20 °C	NaOH-DRP MAP, Al-P, Fe-P, P-geadsorbeerd aan silicaten en hydroxiden. NaOH-NRP Organisch gebonden fosfaat en poly-P.
0,5 N HCl	24 h, 20 °C	HCl-DRP <sup>3)</sup> Ca-P, rest poly-P, rest P geadsorbeerd aan sili- caten en hydroxiden. HCl-NRP Rest organisch gebonden fosfaat.

1) DRP = opgelost reactief fosfaat (gemeten).

2) NRP = niet-reactief fosfaat (verschil tussen gemeten P<sub>tot</sub> en DRP).

3) Een groot gedeelte van Mg-P kan ook in deze fractie voorkomen<sup>[14]</sup>.

De som van NaHCO<sub>3</sub>-DRP, NaOH-DRP en HCl-DRP is een maat voor het chemisch gebonden of geadsorbeerd fosfaat. De som van NaHCO<sub>3</sub>-NRP, NaOH-NRP en HCl-NRP geeft het biologisch gebonden fosfaat weer, dus organisch gebonden fosfaat en poly-P. Het grootste deel van het biologisch gebonden fosfaat wordt met NaOH geëxtraheerd. Het NaOH extract bevat ook het poly-P.

Een nadeel van de methode volgens Mino is dat een precieze bepaling van de hoeveelheid metaalgebonden fosfaat niet mogelijk is. Metaalgebonden fosfaat komt samen met korte poly-P ketens in één fractie voor. Bij de methode van Psenner kan naast de bepaling van de hoeveelheid metaalgebonden fosfaat ook inzicht worden verkregen in de aard van de metaalfosfaatbinding (Fe-P, Mg-P, Ca-P, Al-P). In de fracties van metaalgebonden fosfaat kunnen de verschillende metaalconcentraties worden gemeten (atoom absorptie spectrometrie).

Een goede kwantificering van de hoeveelheid poly-P (biologische defosfatering) is bij beide methoden niet mogelijk.

Opgemerkt wordt dat het voorkomen van een metaalfosfaatverbinding in een bepaalde fractie niet altijd eenduidig is. Zo kwam in een onderzoek naar voren dat Mg-P in de "HCl-DRP" fractie aanwezig was<sup>[14]</sup>.

Het vrijkomen van metalen en fosfaat uit slib kan met behulp van zuurtitratie worden onderzocht<sup>[14]</sup>. Hierbij wordt door toevoegen van geconcentreerd zoutzuur aan een slibmonster een bepaalde pH ingesteld. Het monster wordt geïncubeerd (24 h) en vervolgens gecentrifugeerd en gefiltreerd. In het supernatant worden de metaalconcentratie en de fosfaatconcentratie gemeten. Een hoge correlatie tussen de verandering van metaalconcentratie en fosfaatconcentratie in het supernatant bij verschillende ingestelde pH-waarden is een aanwijzing voor het voorkomen van een metaalfosfaatbinding van het gemeten metaal. Uit de resultaten volgt in welke molverhoudingen metalen en fosfaat vrijkomen. Op basis hiervan kan de aard en de hoeveelheid van de metaalfosfaatbinding worden geschat.

Het vrijkomen van metalen en fosfaat uit slib kan ook door middel van het verdunnen van slibmonsters worden onderzocht<sup>[14]</sup>. Verschillende verdunningen van slibmonsters worden aangemaakt waardoor neerslagen in oplossing gaan. De metaalconcentratie en fosfaatconcentratie in het supernatant worden gemeten. Een hoge correlatie tussen de verandering van metaalconcentratie en fosfaatconcentratie in het supernatant bij verschillende verdunningen is een aanwijzing voor het voorkomen van een metaalfosfaatbinding van het gemeten metaal. Uit de resultaten volgt in welke molverhoudingen metalen en fosfaat vrijkomen. Op basis hiervan kunnen de aard en de hoeveelheid van de metaalfosfaatbinding worden geschat.

### BIJLAGE 3: Gegevens van de hypothetische RWZI's en fosfaatbalansen

#### Stroom 1: RWZI zonder voorbezinking

De effluenteis voor fosfaat is 1 mg P/l.

Het secundair slib wordt door gravitatie-indikking ingedikt.

Capaciteit	100.000	ie
Hydraulische belasting	240	l/ie.d
Hoeveelheid BZV per ie	54	g BZV/ie
Fosfaat in het influent		
- hoeveelheid	1,2-2,4	g P/ie.d
- concentratie	5-10	mg P/l
Fosfaatconcentratie in het effluent	1	mg P-PO <sub>4</sub> /l
Secundair-slibproductie	54	g ds/ie.d
Fosfaatconcentratie in het secundair slib		
- organisch gebonden P	20	mg P/g ds
- poly-P (afhankelijk van P <sub>infl.</sub> )	0-20	mg P/g ds
- totaal P (afhankelijk van poly-P)	20-40	mg P/g ds

Fosfaatbalans als functie van de fosfaataanvoer:

	Fosfaataanvoer						
	5	6	7	8	9	10	mg P/l
	1,2	1,44	1,68	1,92	2,16	2,4	g P/ie.d
	120	144	168	192	216	240	kg P/d
P-effluent	24 20	24 17	24 14	24 13	24 11	24 10	kg P/d % van Pinfl.
P-organisch	108 90	108 75	108 64	108 56	108 50	108 45	kg P/d % van Pinfl.
Vastleggen resterende P door vorming van Poly-P	0 0	12 8	36 21	60 31	84 39	108 45	kg P/d % van Pinfl.
Fosfaatgehalte spuislib	20	22	27	31	35	40	mg P/g ds

### Systeem 2: RWZI met voorbezinking

De effluenteis voor fosfaat is 1 mg P/l.

Het secundair slib wordt mechanisch of door gravitatie-indikking ingedikt (gravitatie-indikking eventueel gezamenlijk met primair slib). Het primair slib en secundair slib worden vergist.

Capaciteit	100.000	ie
Hydraulische belasting	240	l/ie.d
Hoeveelheid BZV per ie	54	g BZV/ie
Fosfaat in het influent		
- hoeveelheid	1,2-2,4	g P/ie.d
- concentratie	5-10	mg P/l
Fosfaatconcentratie in het effluent	1	mg P-PO <sub>4</sub> /l
Slibproductie		
- primair slib	30	g ds/ie.d
- secundair slib	35	g ds/ie.d
- percentage organische stof in het slib		
. primair slib	65	%
. secundair slib	70	%
Afbraak van drogestof		
- primair slib	30	% (45% van organische stof)
- secundair slib	20	% (30% van organische stof)
Fosfaatconcentratie in het slib		
- primair slib	10	mg P/g ds
- secundair slib		
. organisch gebonden P	20	mg P/g ds
. poly-P (afhankelijk van P <sub>infl.</sub> )	0-33	mg P/g ds
. totaal P (afhankelijk van poly-P)	20-53	mg P/g ds

Fosfaatbalans als functie van de fosfaataanvoer:

	Fosfaataanvoer						
	5	6	7	8	9	10	mg P/l
	1,2	1,44	1,68	1,92	2,16	2,4	g P/ie.d
	120	144	168	192	216	240	kg P/d
P-effluent	24 20	24 17	24 14	24 13	24 11	24 10	kg P/d % van Pinfl.
P-primair slib	30 25	30 21	30 18	30 16	30 14	30 13	kg P/d % van Pinfl.
P-organisch (secundair slib)	70 58	70 49	70 42	70 36	70 32	70 29	kg P/d % van Pinfl.
Vastleggen resterende P door vorming van Poly-P	0 0	20 14	44 26	68 35	92 43	116 48	kg P/d % van Pinfl.
Fosfaatgehalte secundair slib	20	26	33	39	46	53	mg P/g ds



## BIJLAGE 4: Berekening van de fosfaatbinding in de gisting

### Uitgangspunten

- RWZI: systeem 2 van bijlage 3.
- Vrijkomen van fosfaat uit afbraak van drogestof: afbraakperc. \* org. fosfaatconc. in het slib.
- Vrijkomen van magnesium (Mg) en calcium (Ca) uit het slib:
  - . Mg en Ca uit afbraak van drogestof: afbraakperc. \* metaalconc. in het slib.
  - . Vrijkomen van magnesium uit afbraak poly-P: 0,26 mg Mg/mg P.
- Fosfaatbinding:
  - . Binding van fosfaat met Mg in MAP ( $MgNH_4PO_4$ ).
  - . Binding van fosfaat met Ca in hydroxy-apatiet ( $Ca_5(PO_4)_3OH$ ).
  - . Binding van fosfaat ten gevolge van de aanwezigheid van zeolieten: 40% van het afgegeven fosfaat in de gisting wordt gebonden.
  - . Het vrijgekomen fosfaat en het vrijgekomen Mg (uit afbraak poly-fosfaat) in het systeem zijn in de gisting aanwezig.
  - . Alle vrijgekomen metalen in de gisting vormen een binding met het vrijgekomen fosfaat.
- Metaalconcentraties in het slib:
  - . Mg in secundair slib (niet biologisch defosfaterend slib): 4 mg Mg/g ds.
  - . Ca in secundair slib: 25 mg Ca/g ds.
  - . Mg in primair slib: 3 mg Mg/g ds.
  - . Ca in primair slib: 30 mg Ca/g ds.

### Berekening

Onderstaand is als voorbeeld de berekening van de fosfaat terugvoer weergegeven bij een aanvoer van 1,9 g P/ie.d (8 mg P/l). Er zijn twee mechanismen beschouwd:

1. Fosfaatbinding met Mg en zeolieten,
2. Fosfaatbinding met Mg en Ca.

	Primair slib	Secundair slib	Totaal
Gegevens van de RWZI bij een aanvoer van 1,9 g/ie.d			
- hoeveelheid organisch gebonden fosfaat in het slib (g/ie.d)	0,30	0,70	1,0
- hoeveelheid poly-fosfaat in het slib (g/ie.d)	0	0,66	0,66
- hoeveelheid magnesium in het slib (g/ie.d)			
. organisch gebonden	0,09	0,14	0,23
. als tegenion van poly-P	0	0,17	0,17
. totaal	0,09	0,31	0,40
- hoeveelheid calcium in het slib (g/ie.d)	0,9	0,9	1,8
Vrijkomen van fosfaat uit slib			
- organisch gebonden P uit afbraak drogestof (g/ie.d)	0,09	0,14	0,23
- P uit afbraak poly-P (g/ie.d)	0	0,66	0,66
- totaal vrijgekomen P (g/ie.d)	0,09	0,80	0,89
Vrijkomen van metalen uit slib			
- Mg uit afbraak drogestof (g/ie.d)	0,03	0,03	0,06
- Mg uit afbraak poly-P (g/ie.d)	0	0,17	0,17
- totaal vrijgekomen Mg (g/ie.d)	0,03	0,20	0,23
- Ca uit afbraak drogestof (g/ie.d)	0,27	0,18	0,45
Fosfaatbinding met Mg en Ca			
- hoeveelheid P in MAP (g/ie.d)			0,29
- hoeveelheid P gebonden aan Ca (g/ie.d)			0,21
- totaal P gebonden (g/ie.d)			0,50
- hoeveelheid P dat niet is gebonden (g/ie.d)			0,39
- hoeveelheid P gebonden t.o.v. afgegeven P (%)			56
- terugvoer P t.o.v. P-influent (%)			21
Fosfaatbinding met Mg en zeolieten			
- hoeveelheid P in MAP (g/ie.d)			0,29
- hoeveelheid P gebonden door zeolieten (g/ie.d)			0,40
- totaal P gebonden (g/ie.d)			0,69
- hoeveelheid P dat niet is gebonden (g/ie.d)			0,20
- hoeveelheid P gebonden t.o.v. afgegeven P (%)			73
- terugvoer P t.o.v. P-influent (%)			11

## BIJLAGE 5: Influent- en slibsamenstelling

Gegevens van de influent- en slibsamenstelling afkomstig van analyses van waterkwaliteitsbeheerders, het CBS en de drinkwatersamenstelling van Nederland.

### Influent en slibsamenstelling van RWZI's

		Concentratie metalen (analyses waterkwaliteitsbeheerders)			
		infl. (mg/l)	effl. (mg/l)	primaair slib (mg/g ds)	secundair slib (mg/g ds)
RWZI Bennekom:	Mg	4			4,8
	Ca	11			23
RWZI Holten (1995):	Mg	8,9			
	Ca	62			
	Al	4			
	Fe	3,9			
RWZI Elburg:	Mg	10,5	8,3		7,5
	Ca	55	43		20
	Al	2,1	0,64		47
	Fe	1,9	0,25		3,85
RWZI Barneveld:	Mg	8,4			2,4
	Ca	70			21
	Al	7,1			
	Fe	3			
RWZI Leiden-Noord:	Mg	8-25			
	Ca	70-110			
	Al	1-6			
	Fe	1-5			
RWZI Ede:	Mg	6,8	6,2	2,9 uit-	6,8
	Ca	45	43	30 gegist	20
	Al	2,8	0,1	20 slib	13
	Fe	1,3	0,2	15	7,2

### Slubsamenstelling in Nederland

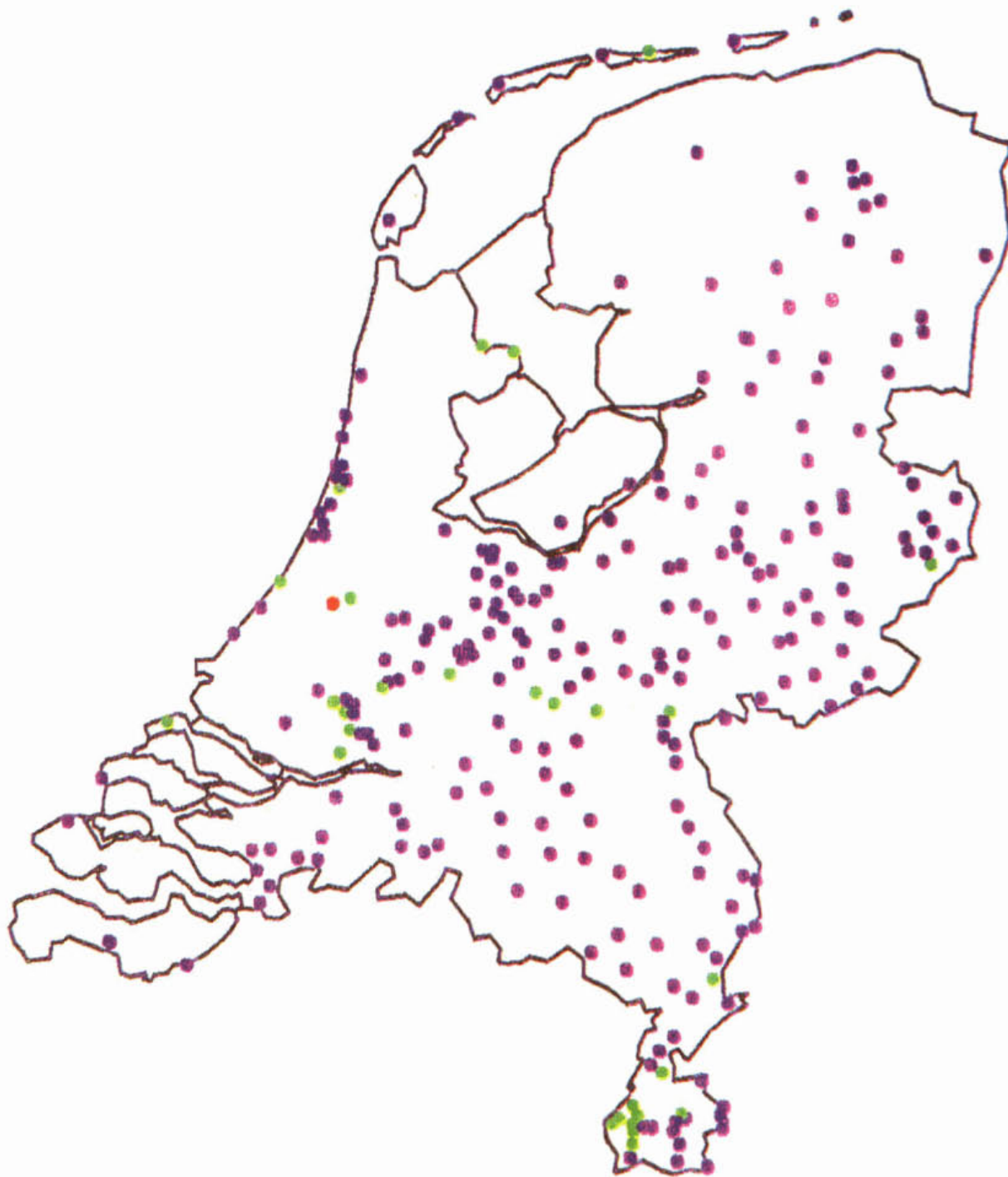
		Concentratie metalen (CBS)	
		slib mechanische RWZI's (mg/g ds)	slib biologische RWZI's (mg/g ds)
Nederland:	Mg	circa 2,8	circa 4,4 <sup>1)</sup>
	Ca	circa 35	circa 35

1) Concentratie in niet-biologisch defosfaterend slib (er zijn nog weinig RWZI's met biologische defosfatering in Nederland operationeel). De magnesiumconcentratie in het slib zal toenemen door biologische defosfatering.

### Magnesium in het influent- en in het afgezet slib per gebied

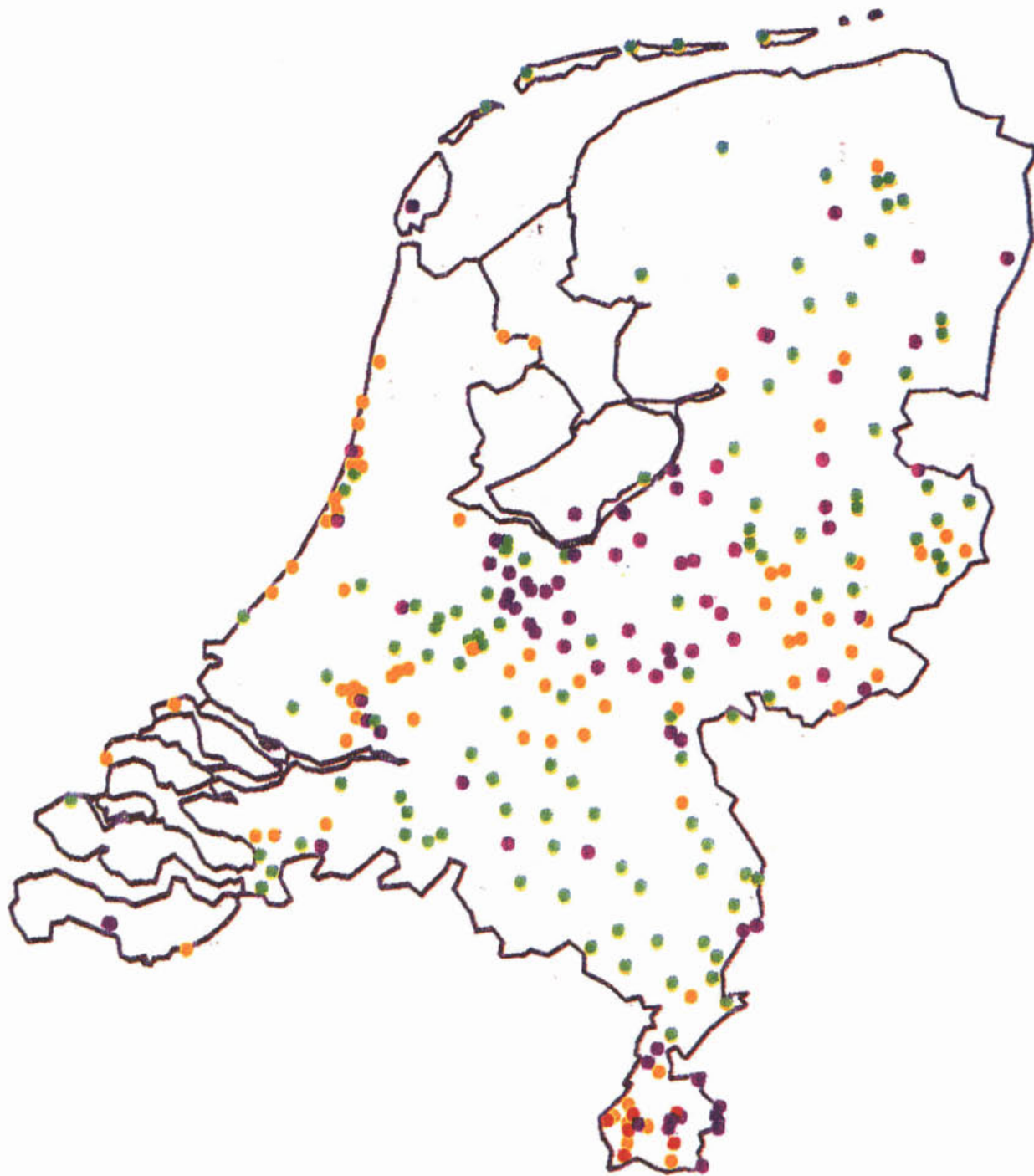
RWZI's in:	Concentratie magnesium	
	Influent volgens drinkwatersamenstelling in bijlage 6 (mg/l)	afgezet slib volgens analyses waterkwaliteitsbeheerders (mg/g ds)
Utrecht	< 12	4,1
westelijk gedeelte van Noord-Brabant	< 12	4,2
Limburg - noordelijk gedeelte - zuidelijk gedeelte	< 12	3,3
	< 12 tot 24	3,6

BIJLAGE 6: Magnesiumhardheid van drinkwater (af pompstation) in Nederland



blauw = < 12 mg/l  
groen = 12-24 mg/l  
geel = 24-36 mg/l  
rood = > 36 mg/l

BIJLAGE 7: Calciumhardheid van drinkwater (af pompstation) in Nederland



blauw = < 40 mg/l  
groen = 40-80 mg/l  
geel = 80-120 mg/l  
rood = > 120 mg/l

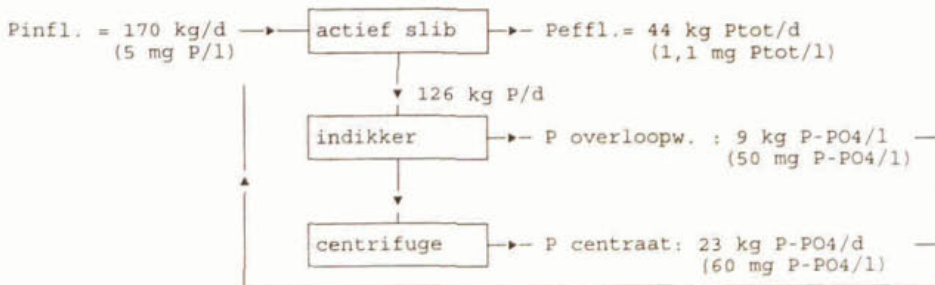
## BIJLAGE 8: Informatie van de RWZI's

### RWZI Beemster (1994)

Laagbelast actief-slibstelsysteem met anaërobe selector. Er wordt simultaan ijzersulfaat gedoseerd ( $Fe/P = 0,15$ ). Indikking van secundair slib met een gravitatie-indikker en ontwatering met een centrifuge.

Defosfateringscapaciteit: fosfaatafgiftesnelheid 3-5 mg P/g ds.h. Fosfaatgehalte slib: 2,5%. SVI: 125 ml/g.

#### P-stromen:



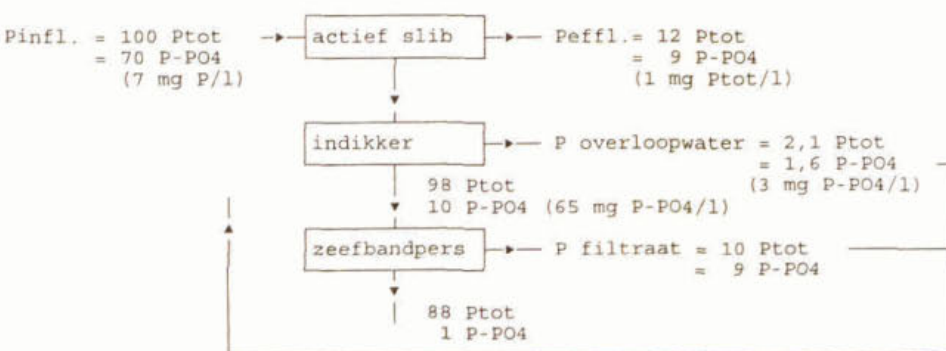
Het fosfaat in het centraat is de hoeveelheid fosfaat die het ingedikt slib in de indikker aan het slibwater heeft afgegeven. De P-PO<sub>4</sub> vracht in het overloopwater en in het centraat was respectievelijk 5% en 14% van de influent-fosfaatvracht. De totale terugvoer van P-PO<sub>4</sub> was 19%.

### RWZI Nieuwe Wetering (1992)

Laagbelast actief-slibstelsysteem. Er vindt biologische defosfatering plaats door anaërobe zones in het omloopsysteem. Indikking van secundair slib met een gravitatie-indikker en ontwatering met een zeefbandpers.

Defosfateringscapaciteit: 3,7 mg P/g ds.h en 4,9 mg P/g ds. Fosfaatgehalte slib: 2,8%. SVI: 100-140 ml/g.

#### P-stromen (uitgedrukt in percentage van influent-fosfaatvracht):



De P-PO<sub>4</sub> terugvoer met het overloopwater was 2%. De P-PO<sub>4</sub> terugvoer met het slibwater van het ingedikt slib was 10%. De totale P-PO<sub>4</sub> terugvoer was 12%.

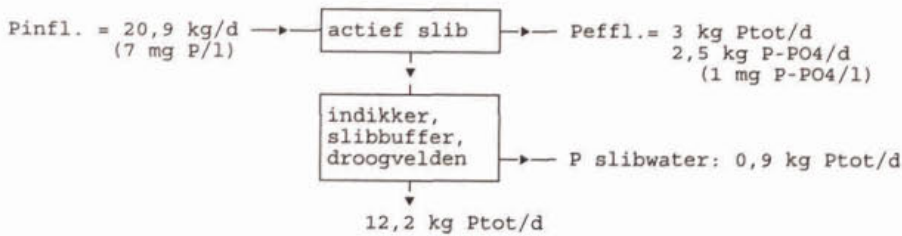
### RWZI Mastgat (1993)

Laagbelast actief-slibstelsysteem met anaërobe tank. Gravitatie-indikking van secundair slib gevolgd door buffering en ontwatering met slibdroogbedden.

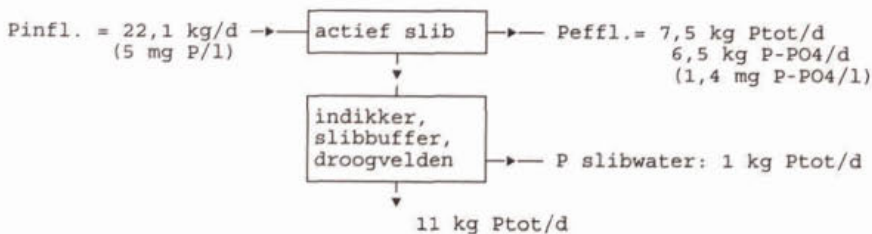
Een onderzoek naar het effect van de anaërobe contacttijd is onder te verdelen in een periode met een hoge respectievelijk lage defosfateringscapaciteit. De interne stromen werden tijdens het onderzoek niet naar de zuivering teruggevoerd.

Defosfateringscapaciteit: 5 mg P/g ds.h en 7 mg P/g ds respectievelijk 2 mg P/g ds.h en 2 mg P/g ds. Fosfaatgehalte slib: respectievelijk 2,4 en 2,2%. De SVI was circa 80 ml/g.

P-stromen tijdens grote defosfateringscapaciteit:



P-stromen tijdens lage defosfateringscapaciteit:



Zowel tijdens de periode met hoge als lage defosfateringscapaciteit was de fosfaatvracht in het slibwater ( $P_{tot}$ ) circa 5% van de influent-fosfaatvracht.

#### RWZI Bennekom (1990)

Laagbelast actief-slibstelsysteem met anaërobie tank. Het secundair slib wordt naar Ede verpompt. Er zijn proeven uitgevoerd met gravitatie-indikking van het slib.

Bij het overschakelen van een bedrijfsvoering zonder indikker (spuislib naar Ede verpompt) naar een bedrijfsvoering met indikker steeg de effluent-fosfaatconcentratie binnen korte tijd van circa 0,5 tot circa 3 mg P-PO<sub>4</sub>/l als gevolg van het terugvoeren van fosfaatrijk overloopwater. Na het afkoppelen van de indikker daalde de effluentconcentratie weer naar 0,5 mg P-PO<sub>4</sub>/l. Ongeveer 30% van de influent-fosfaatvracht werd met het overloopwater geretourneerd.

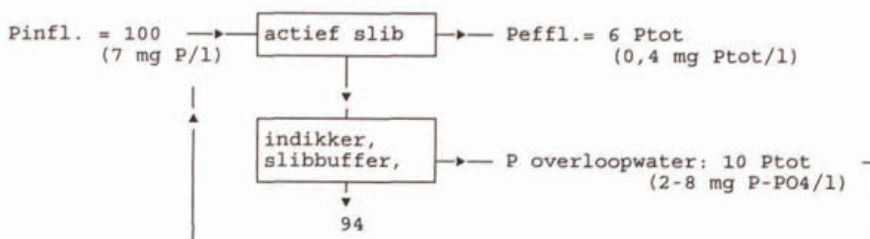
Defosfateringscapaciteit: 4 mg P/g ds.h en 7 mg P/g ds. Fosfaatgehalte slib: 3%. SVI: 120 ml/g.

#### RWZI Coevorden (1990)

Laagbelast actief-slibstelsysteem (Schreiber). Biologische defosfatering door een anaërobie periode in de beluchttingsruimte. Gravitatie-indikking van secundair slib gevolgd door slibbuffering.

Fosfaatconcentratie slib: 2,3%. SVI: 100 ml/g.

P-stromen (uitgedrukt in percentage van influent-fosfaatvracht):

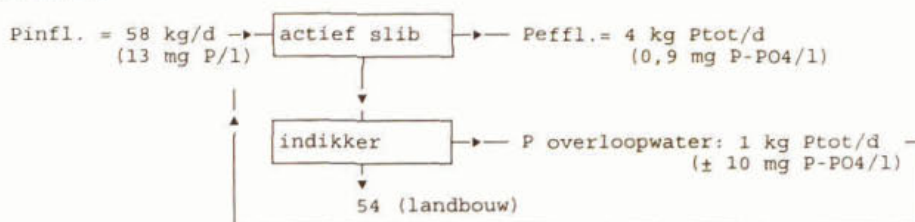


Er werd 10% van de influent-fosfaatvrucht met het overloopwater geretourneerd (P<sub>tot</sub>). Het terugvoeren van het overloopwater gaf geen verhoging van de effluent-fosfaatconcentratie.

*RWZI Bunnik (1988)*

Laagbelast actief-slibstelsysteem. Biologische defosfatering door alternerend beluchten. Gravitatie-indikking van secundair slib. Fosfaatgehalte slib: 3%. SVI: 100 ml/g.

P-stromen:



Er werd circa 2% van de influent-fosfaatvrucht met het overloopwater geretourneerd. Het terugvoeren van het overloopwater geeft geen verhoging van de effluent-fosfaatconcentratie.

*RWZI Aalsmeer (1992-1993)*

Laagbelast actief-slibstelsysteem. Biologische defosfatering door anaërobe zones in het omloopsysteem. Gravitatie-indikking van secundair slib gevolgd door ontwatering met een zeefbandpers.

Defosfateringscapaciteit: 4 mg P/g ds.h en 6 mg P/g ds. Fosfaatgehalte slib: 2,2%.

Op deze RWZI zijn proeven gedaan met dosering van ijzerchloride waarbij verschillende doseerpunten zijn toegepast: in het influent, in de indikker en in het filtraat van de zeefbandpers. Onderstaand zijn de resultaten weergegeven.

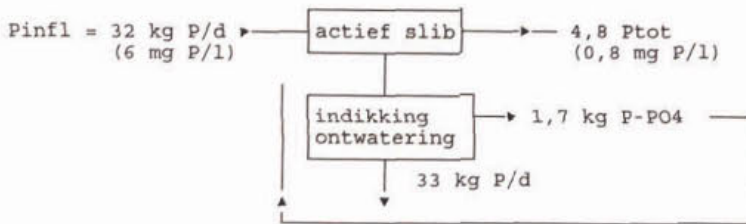
IJzerchloride-dosering afhankelijk van doseerpunten:

Fe/P <sub>infl</sub> (mol/mol)	Effluent-P-concentratie en P-terugvoer vanuit de gehele slibverwerking afhankelijk van de doseerpunten voor ijzerchloride (1993)							
	filtraat		indikker		influent		geen Fe (1992)	
	Pe <sub>effl</sub> (mg/l)	P-terug (%P <sub>infl</sub> )	Pe <sub>effl</sub> (mg/l)	P-terug (%P <sub>infl</sub> )	Pe <sub>effl</sub> (mg/l)	P-terug (%P <sub>infl</sub> )	Pe <sub>effl</sub> (mg/l)	P-terug (%P <sub>infl</sub> )
0,6	0,5 ± 0,2	8						
0,5	0,45 ± 0,05	7						
0,4			0,9 ± 0,15	2	0,9 ± 0,15	6		
0,3								
0,2	0,8 ± 0,2	5			0,7 ± 0,15	3		
0,1			1,7 ± 0,4	2				
0,0							1,6 ± 1	10

Uit de tabel blijkt dat bij toenemende ijzerchloridedosering de effluent-fosfaatconcentratie afneemt. Bij ijzerdosering in het filtraat en in het influent is bij hogere doseerverhouding de fosfaatterugvoer groter. Naast ijzerdosering wordt de fosfaatterugvoer bepaald door andere factoren (zoals de verblijftijd in de indikker) die niet gelijk waren tijdens de verschillende perioden. In het onderzoek met ijzerdosering bleek de effluent-fosfaatconcentratie stabiel en lager dan zonder aanvullende ijzerdosering.

**P-stromen:**

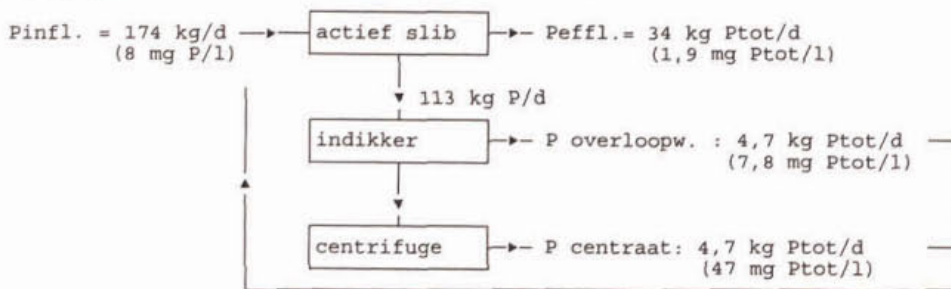
Bij dosering in het filtraat (0,2 mol Fe/mol P).



**RWZI Maastricht-Boscherveld (1994)**

Laag belast actief-slibstelsysteem (Schreiber). Biologische defosfatering door anaërobe periodes. Fosfaatgehalte in het slib 2,3%. Defosfateringscapaciteit: 6 mg P/g ds. SVI: 80 ml/g. Verblijftijd in de indikker 1 dag.

**P-stromen:**



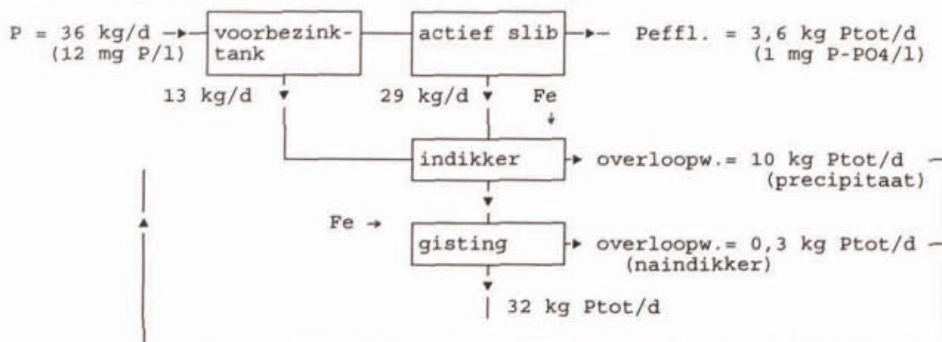
Het fosfaat in het centraat is de hoeveelheid fosfaat die het ingedikt slib in de indikker aan het slibwater heeft afgegeven. De fosfaatvracht in het overloopwater en in het centraat waren beiden 3% van de influent-fosfaatvracht. De totale fosfaatterugvoer was 6%.

**RWZI Holten (1990-1993)**

Laagbelast actief-slibstelsysteem. Biologische defosfatering door een anaërobe tank. Primair en secundair slib worden gezamenlijk ingedikt en vervolgens vergist (verblijftijd gisting 60 dagen). Er vindt dosering van ijzerchloride en drinkwaterslib plaats in respectievelijk de voorindikker en de slibgisting (totale doseerverhouding 1,4 mol Fe/mol P<sub>verwijderd</sub>). Een deel van het fosfaatrijk water uit de anaërobe tank wordt naar de indikker geleid waar het met ijzer wordt geprecipiteerd. Vóór dosering van ijzerchloride was de interne fosfaatbelasting afkomstig van de indikker 20-30% van de influent-fosfaatvracht. Inclusief het slibwater van de gisting werd een fosfaatterugvoer van 80% waargenomen. De fosfaatconcentraties in het overloopwater en in het slibwater van de gisting waren zonder ijzerdosering respectievelijk 65 en 300 mg P-PO<sub>4</sub>/l.

Defosfateringscapaciteit: 10 mg P/g ds.h en 20 mg P/g ds. Fosfaatgehalte slib: 4,5%. SVI: 90 ml/g.

**P-stromen (situatie met chemicaliëndosering):**

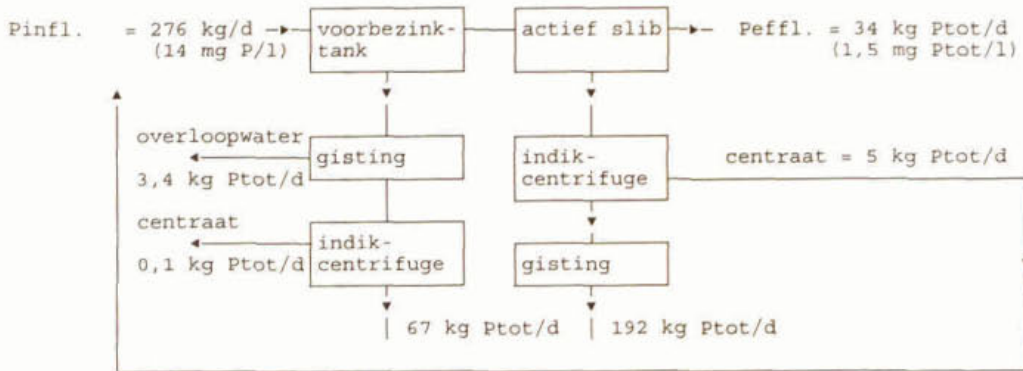




*RWZI Elburg (1994)*

Laag belast actief-slibstelsysteem. Biologische defosfatering door een anaërobe tank. Er vindt aanvullende chemische defosfatering plaats door dosering van aluminiumchloride in de waterlijn in een doseerverhouding van 0,7-1 mol Al/mol P. Het secundair slib wordt mechanisch ingediktd (centrifuge) en vervolgens vergist. Er vindt nauwelijks fosfaatterugvoer vanuit de gisting plaats (20 mg P-PO<sub>4</sub>/l). Het uitgedigste slib gaat naar de Vertech (natte oxidatie). Defosfateringscapaciteit: 6 mg P/g ds.h.

P-stromen (situatie met chemicaliëndosering):



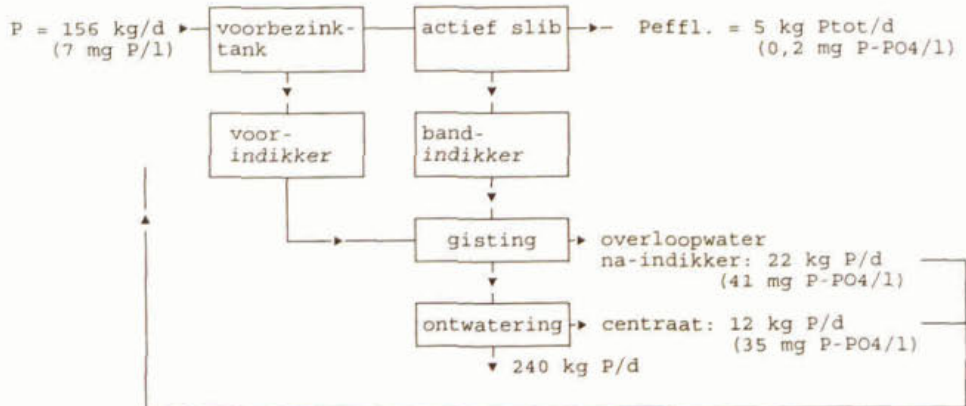
*RWZI Ede (1995)*

Laag belast actief-slibstelsysteem. Biologische defosfatering door een anaërobe tank. Het primair slib wordt door gravitatie-indikking ingediktd en vervolgens vergist. Het secundair slib wordt mechanisch ingediktd (centrifuges) en vervolgens vergist. Het uitgedigste slib gaat naar de Vertech (natte-oxidatie).

*RWZI Etten (1995)*

Laag belast actief-slibstelsysteem. Biologische defosfatering door een anaërobe tank. Het primair slib wordt door gravitatie-indikking ingediktd. Het secundair slib wordt mechanisch ingediktd. Het primair en secundair slib worden gezamenlijk vergist. De verblijftijd in de gisting is circa 20 dagen. De fosfaatterugvoer uit de gisting bedraagt 20%. De fosfaatbalans is niet sluitend door een periode van extra onttrekken van slib uit het systeem.

P-stromen:



## **BIJLAGE 9: RWZI's met spontane defosfatering of anaërobe tank**

Bij spontane biologische defosfatering: fosfaatverwijderingsrendement groter dan circa 75% en/of effluentconcentratie < circa 2-3 mg Ptot/l.

**RWZI'S MET SPONTANE BIOLOGISCHE DEFOSFATERING:**

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Waterschap Friesland	Houlerwijk	> 1 jaar	gravitatie-indikking secundair slib en slibbuffering	nee	nee	nee; Peffl. ± 1,6 mg P/l
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Provincie Groningen	Maarem Hoogkerk Oude Pekela Scheve Klap	> 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar	alle RWZI's met gravitatie-indikking secundair slib en slibbuffering	nee nee nee nee	nee nee nee nee	nee; Peffl. < 2 mg P/l nee; Peffl. < 2 mg P/l nee; Peffl. < 2 mg P/l nee; Peffl. < 2 mg P/l
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Zuiveringsschap Drenthe	Coevorden	> 1 jaar	gravitatie-indikking secundair slib	nee	ja	nee
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Waterschap Regge en Dinkel	Almelo-Vissedijk Almelo-Sumpel Haaksbergen Goor Denekamp	> 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar	alle RWZI's gezamenlijke gravitatie-indikking van primair en secundair slib, gevolgd door aerobe slibstabilisatie.	nee nee nee nee nee	nee nee nee nee nee	nee nee nee nee ja
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Zuiveringschap Oostelijk Gelderland	Aalten Lichtenvoorde	> 1 jaar > 1 jaar	beide rwzi's gravitatie-indikking secundair slib en slibbuffering	nee nee	nee nee	nee; Peffl. ± 1 mg P/l nee; Peffl. ± 2 mg P/l

RWZIS MET SPONTANE BIOLOGISCHE DEFOSFATERING:

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Zuiveringschap Rivierenland	Culemborg Dodewaard Druuten Hek en Wiel Gorkum Zetten Beest	> 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar	alle RWZI's met gravitatie-indi- king secundair slib, enkele ook met buffering ingedikt slib	nee nee nee nee nee nee nee	nee nee nee nee ja ja	nee; ± 1,3 nee; ± 1,3 nee; ± 1,6 nee; ± 1,5 nee; ± 0,8 nee; ± 1,6 nee

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Zuiveringschap Amstel en Gooiland	Horstermeer Amstelveen	> 1 jaar > 1 jaar	gravitatie-indi- king secundair slib; slibgisting	nee nee	nee nee	vanaf 1995; Peffl. ± 2,5 mg P/l nee; Peffl. ± 2,5 mg P/l

Opmerkingen: Op de RWZI Amstelveen start binnenkort onderzoek naar het ontstaan van P-rijke interne stromen tijdens de ontwatering van uitgegist slib.

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Heemraadschap Fleverwaard	Almere	> 1 jaar	gravitatie-indi- king secundair slib	nee	nee	nee; Peffl. ± 2-3 mg P/l

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
HHRS van de Uiterwater- ende Sluizen	Beemster Wervershoof Geester Ambacht	> 1 jaar > 1 jaar juist opgestart; kor- relreactor	gravitatie-indi- king secundair slib gravitatie-indi- king secundair slib en slibbuffering	nee nee	ja nee	ja; Peffl. ± 1 mg P/l ja; Peffl. ± 1 mg P/l

Opmerkingen:

Op RWZI Beemster is onderzoek gaande naar P-balansen.

RWZI'S MET SPONTANE BIOLOGISCHE DEFOSFATERING:

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Provincie Utrecht	Ronde Venen Utrecht	> 1 jaar > 1 jaar	beide RWZI's 'twee-traps': gescheiden gravitatie-indikking slib 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> trap gevolgd door gisting	ja; drinkwaterslib gisting ja; drinkwaterslib gisting	nee nee	nee; ± 2 mg P/l nee; ± 3 mg P/l
	Veenendaal	> 1 jaar	gravitatie-indikking primair slib; slibbuffering secundair slib en vervolgens mechanische indikking; gisting	nee	nee	nee; ± 2,5 mg P/l
	Bunnik Houten Loenen Lopik Breukelen Montfoort	> 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar > 1 jaar	RWZI's met gravitatie-indikking secundair slib, enkele RWZI's met slibbuffering	nee nee nee nee nee nee	ja nee nee nee nee nee	nee; ± 0,5 mg P/l nee; ± 2,5 mg P/l nee; ± 1 mg P/l nee; ± 1,5 mg P/l nee; ± 1,2 mg P/l nee; ± 2,5 mg P/l
Opmerkingen: RWZI Veenendaal is betrokken in een analyseprogramma, resultaten over enige tijd in een rapport.						

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn
HHRS van Rijnland	Aalsmeer	> 1 jaar	gravitatie-indikking secundair slib	ja; ijzerdosering in influent of slibverwerking	ja	ja/nee; Peffl. ± 1 mg P/l
	Nieuwe Wetering Reeuwijk Randenburg	> 1 jaar > 1 jaar	gravitatie-indikking secundair slib gravitatie-indikking secundair slib	ja; ijzerdosering in slibgisting	ja nee	nee; Peffl. ± 1 mg P/l
	Leiden-Zuidwest	< 1 jaar	gravitatie-indikking primair slib indikcentrifuge voor secundair slib, vervolgens slibgisting	ja; ijzerdosering in slibgisting	nee	nee; Peffl. ± 1 mg P/l
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn
Waterschap Noord- en Zuid-beveland	Waarden	> 1 jaar	gravitatie-indikking secundair slib en slibbuffering	nee	nee	nee; Peffl. ± 2 mg P/l

## RWZI'S MET SPONTANE BIOLOGISCHE DEFOSFATERING:

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport ver- werkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
HHRS van Schieland	Kortenoort	> 1 jaar	gravitatie-indikking secundair slib	nee	nee	nee
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport ver- werkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Zuiveringschap Holland- se Eilanden en Waarden	diverse RWZI's	> 1 jaar	gravitatie-indikking secundair slib	nee	nee	nee; Peffl. $\pm$ 2 mg P/l
	Berg-Ambacht	> 1 jaar	natte afvoer secundair slib	nee	nee	nee; Peffl. $\pm$ 2 mg P/l
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport ver- werkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn
HHRS West-Brabant	Geen RWZI's met biologische defosfatering					
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport ver- werkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn
Waterschap De Dommel	Maarheze	> 1 jaar	sliblagunes voor secundair slib	nee	nee	nee
Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	Tijdsduur optreden biol. defosfatering	Slibverwerking	Maatregelen tegen P-afgifte	In dit rapport ver- werkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Zuiveringschap Limburg	Gennip Maastricht/ Bosscherveld	> 1 jaar > 1 jaar	beide RWZI's met gravitatie- indikking secundair slib en slib- buffering	nee nee	nee ja	nee nee

## RWZI'S MET ANAEROBE TANK:

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	In bedrijf	Slibverwerking	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Zuiveringsschap Drenthe	Meppel	1995	Bij aanpassing voor biologische defosfatering is de gravitatie-indikker voor secundair slib vervangen door een indikcentrifuge. Vervolgens wordt het secundair slib vergist in een bestaande gistingstank samen met primair slib. Er zijn voorzieningen om in de gisting ijzer te doseren voor P-binding.		nee
Waterschap Regge en Dinkel	Enschede-West	1996	Bij aanpassing voor biologische defosfatering wordt de gravitatie-indikker voor secundair slib vervangen door een bandindikker om de verblijftijd in de gisting te verhogen. Het secundair en primair slib zal gezamenlijk worden vergist. Er zullen voorzieningen worden getroffen voor chemicaliëndosering in de waterlijn.		ja
Zuiveringsschap West-Overijssel	Genemuiden	1993	Indikking van secundair slib door een centrifuge. Ontwatering vindt plaats op een andere locatie met een centrifuge. Er wordt ijzer (FeCl <sub>3</sub> ) gedoseerd tijdens de ontwatering.		nee; ± 1 mg P/l
	Holten	1990	Gravitatie-indikking van secundair slib gezamenlijk met primair slib. Vervolgens gisting van primair en secundair slib. Ontwatering vindt plaats op een andere locatie met een centrifuge. In de indikker en gisting wordt ijzer (drinkwaterslib) gedoseerd om fosfaatterugvoer tegen te gaan.	ja	ja (op het stripperwater); ± 1 mg P/l
Zuiveringschap Oostelijk Gelderland	Etten	1994	Bij aanpassing voor biologische defosfatering is de gravitatie-indikker voor secundair slib vervangen door een bandindikker. Het ingedikte slib wordt in een centrifuge ontwaterd. Het primair slib wordt door gravitatie-indikking ingedikt en vervolgens vergist.	ja	nee; ± 1 mg P/l
	Zutphen	-	Aanpassing voor biologische defosfatering gepland. Er zal worden uitgegaan van directe ontwatering.		
Zuiveringsschap Veluwe	Bennekom	1990	Het spuislib wordt naar Ede verpompt.	ja	nee; ± 0,7 mg P/l
	Elburg	1994	Indikcentrifuges voor secundair slib. Vergisting van primair en secundair slib (gescheiden). Het uitgegiste slib wordt afgevoerd naar de Vertech.	ja	ja; ± 1 mg P/l
	Ede	1995	Indikcentrifuges voor secundair slib. Vergisting van secundair slib en primair slib (gescheiden). Het uitgegiste wordt afgevoerd naar een Vertech-installatie.	ja	ja; ± 1 mg P/l (onderzoek naar P-afgifte in de gisting heeft plaatsgevonden voordat is overgegaan op chemicaliëndosering)
Zuiveringsschap Rivierenland	Arnhem-Zuid	1995	Bij aanpassing voor biologische defosfatering is de gravitatie-indikker voor secundair slib vervangen door een bandindikker en zeefbandpers in cascade-opstelling. Het primair slib wordt vergist.		

RWZI'S MET ANAEROBE TANK:

Waterkwaliteitsbeheerder	RWZI	In bedrijf	Slibverwerking	In dit rapport verwerkte ervaringen	Aanvullende chemicaliëndosering in de waterlijn; mg Ptot/l in effl.
Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden	Hoogvliet	1995	Geheel nieuwe RWZI. Indikking en ontwatering van secundair slib zal plaatsvinden door een bandindikker en zeefbandpers in cascade-opstelling.	nee	nee
HHRS van Rijnland	Alphen Kerk & Zanen	1994	Directe ontwatering (bandindikker en zeefbandpers in cascade-opstelling).	nee	nee
Waterschap Schouwen-Duiveland	Mastgat	1993	Bij aanpassing voor biologische defosfatering is de gravitatie-indikking voor secundair slib gehandhaafd.	ja	nee; ± 1 mg P/l
	Westerschouwen	1990	Bij aanpassing voor biologische defosfatering is de gravitatie-indikking voor secundair slib gehandhaafd.		
	Verseput	1990	Bij aanpassing voor biologische defosfatering is de gravitatie-indikking voor secundair slib gehandhaafd.		
Zuiveringschap Limburg	Roermond en Susteren	na 1995	De RWZI's zullen worden aangepast voor biologische defosfatering. Het secundair slib zal niet meer worden ingedikt maar direct worden ontwaterd. De beschikbaar gekomen gravitatie-indikker kan worden benut voor uitbreiding van de indikecapaciteit voor primair slib.		



