

# Fosfaatverwijdering uit afvalwater

## Literatuurstudie

De snelle groei van de bevolking in de jaren na de oorlog alsmede het toenemende gebruik van fosfaten heeft een sterke bemesting van de oppervlaktewateren tengevolge. In enkele wateren gaat dit proces van de eutrofiëring reeds een probleem worden. Voor de problematiek van de eutrofiëring zij verwezen naar de literaturopgaven 1 en 2. Aangezien bij dit proces volgens de huidige inzichten fosfaatlozingen van overwegend belang worden geacht zal in de volgende beschouwing hieraan uitsluitend aandacht worden besteed. Door het beperken van de lozingen van fosfaat denkt men het ontstaan van een hypertrofe toestand te kunnen voorkomen of een reeds aanwezige hypertrofe situatie teniet te doen.

Het oppervlaktewater in ons land wordt uit vele bronnen met fosfaatverbindingen gevoed. Te noemen zijn: huishoudelijk afvalwater, industrieel afvalwater, afvalwater van de bio-industrie, uitspoeling van landbouwgronden, regenwater, het van over de grenzen binnenstromende oppervlaktewater en het in bodemslib aanwezige fosfaat.

Technisch grijpbaar zijn de bronnen huishoudelijk- en industrieel afvalwater en het afvalwater van de bio-industrie. Het afvalwater van de bio-industrie (varkens-, kippen- en kalvermesterijen) is gering in hoeveelheid, doch zeer geconcentreerd (fosfaatgehalte ca. 1200 mg/l, uitgedrukt als  $P_2O_5$ ; door zuivering terug te brengen tot ca. 200 mg/l). Te overwegen ware het afvalwater van deze bedrijfstak in droogtrommels te behandelen; zuivering van het afvalwater en lozing op het oppervlaktewater blijven dan achterwege. De totale hoeveelheid fosfaat die per inwoner per dag wordt geloosd bedraagt 2-4 gram P of 6-12 gram  $PO_4^{3-}$ . Circa 1/3 deel hiervan is afkomstig van het gebruik van wasmiddelen. Het gebruik van wasmiddelen zonder fosfaat zou dus tot een aanzienlijke reductie van de fosfaatlozingen kunnen leiden. Dit zou tevens tot een verbetering in de kwaliteit in dit opzicht van buiten onze grenzen binnenstromende oppervlaktewateren kunnen leiden (in 1969 bedroeg de gemiddelde aanvoer van fosfaat bij Lobith 2235 gram per sec.).

De meest geëigende plaats voor de defosfatering van huishoudelijk afvalwater is de zuiveringsinrichting. De toevoer aan de zuiveringsinrichting geschiedt in Nederland veelal via een gemengd rioleringsstelsel. Dit feit kan ten gevolge hebben dat bij regen aanzienlijke hoeveelheden fosfaatbevattend water aan een defosfatering ontsnappen. Fosfaatverwijdering op een zuiveringsinstallatie is alleen dan zinvol wanneer daardoor het fosfaatgehalte van het ontvangende water tot beneden een maximaal toelaatbaar te stellen niveau kan worden teruggebracht respectievelijk kan worden gehouden. Dit kan betekenen, dat naast fosfaatverwijdering op de installatie nog andere maatregelen nodig zijn. Aan de hand van een fosfaatbalans dient te worden nagegaan of met fosfaatverwijdering op de installatie kan worden volstaan. Hoe groot nu is het percentage fosfaat, dat op een zuiveringsinstallatie, waar geen speciale voorzieningen voor de fosfaatverwijdering zijn getroffen, ten gevolge van voorbezinking en biologische zuivering wordt verwijderd? Daar het grootste deel van de fosfaten in huishoudelijk afvalwater in opgeloste vorm aanwezig is (faecaliën, wasmiddelen) kan van het bezinkproces slechts een geringe fosfaatreductie worden verwacht. Bij onderzoekingen aan twee verschillende installaties vond Köchler slechts 6 resp. 0 % reductie als gevolg van de mechanische voorzuivering. In het eerste geval werd gedurende het onderzoek geen slijkwater teruggevoerd [3].

In de literatuur vindt men voor de fosfaatverwijdering ge-

durende het proces van de voorbezinking 0-20 %, soms tot 50 % reductie aangegeven [4].

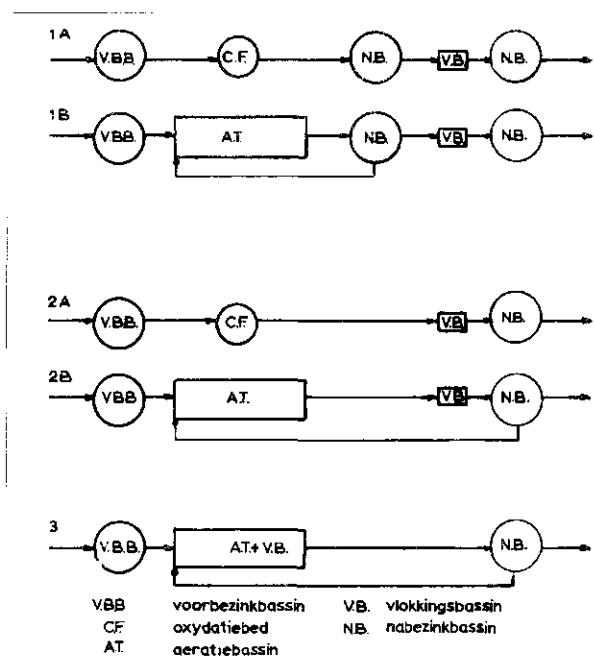
Thomas vermeldt voor het proces van voorbezinken en biologische zuivering als gemiddelde waarde van een onderzoek op 6 installaties een reductie van totaal fosfaat van 38,7 % ten opzichte van het ruwe afvalwater en van 26,4 % ten opzichte van de toeloop naar het biologisch deel van de installatie [5]. Uit een recent RIZA-onderzoek op de installatie te Elburg blijkt, dat daar te rekenen is met een fosfaatreductie ten opzichte van het ruwe afvalwater van 30-60 %. De fosfaatconcentratie in het ruwe afvalwater bedroeg gemiddeld 21 mg/l uitgedrukt als  $PO_4^{3-}$  en varieerde van 10-32 mg/l. Hierbij is op te merken dat de terugvoer van slijkwater niet werd onderbroken tijdens het onderzoek. De fosfaatconcentratie van dit slijkwater bedraagt 150-500 mg fosfaat/l uitgedrukt als  $PO_4^{3-}$ .

Een verdergaande fosfaatverwijdering uit het afvalwater is slechts te verkrijgen door precipitatie met chemicaliën. De hiertoe meest gebruikelijke middelen zijn  $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$  en  $Ca(OH)_2$ . Het mechanisme van de fosfaatverwijdering door chemische precipitatie is niet geheel duidelijk. Het fosfaat kan door vorming van een in water onoplosbaar metaalzout en/of door adsorptie aan het gevormde neerslag worden verwijderd.

Met ijzer (III) en aluminium vormt orthofosfaat het overeenkomstige zout met oplosbaarheidsprodukten van  $\pm 10^{-23}$  voor  $Fe \times PO_4$  resp.  $6 \cdot 10^{-19}$  voor  $Al \times PO_4$ . Volgens Stumm zijn de metaalfosfaten colloïdaal, zodat voor een vlotte verwijdering uit het afvalwater een neerslagvorming tezamen met de metaalhydroxyden nodig is. Uitgaande van uitsluitend de zoutvorming moet men bij orthofosfaatgehalten van 5-10 mg/l stoichiometrisch 9-18 mg  $Fe^{3+}/l$  (1,8 mg  $Fe/mgP$ ) resp. 4,9-9 mg  $Al^{3+}/l$  (0,9 mg  $Al/mgP$ ) doseren. Een zekere overmaat aan aluminium- en ijzerdosering is dus vereist om een werkzame uitvlokking van hydroxyde te krijgen. De overdosering voor bovenvermelde situatie (de stad Zürich) bedroeg bij een pH van ca. 7,5 ongeveer 10-20 mg  $Fe^{3+}/l$ . Voor een bevredigende fosfaatreductie komt men zodoende op een dosering van 20-30 mg  $Fe^{3+}/l$ , d.w.z. dat ten minste 2x de stoichiometrisch bepaalde hoeveelheid  $FeCl_3$  aan het biologisch gereinigd afvalwater moet worden toegevoegd. De fosfaatreductie bedroeg in het onderhavige geval ca. 95 %. Op het laboratorium van het RIZA werd onderzoek verricht naar de mogelijkheid om met behulp van ferrichloride het fosfaat uit het effluent van de installatie te Elburg te elimineren, hetgeen goed mogelijk bleek. De toe te voegen hoeveelheid ferrichloride moet ten minste 2x de equivalente hoeveelheid fosfaat bedragen wil men een fosfaatreductie verkrijgen van ten minste 85 %. Dit komt goed overeen met de bovenaangehaalde ervaringen van Wuhman [6, 7]. Uit het RIZA-onderzoek blijkt dat de mate van fosfaatverwijdering van de zuurgraad afhankelijk is.

De temperatuur van het monster tijdens de toevoeging van ferrichloride lijkt belangrijk voor de vorming van een al dan niet fijn verdeeld ferrihydroxyde. Een duidelijke uitspraak over de pH- en temperatuur afhankelijkheid is op grond van het globaal verrichte onderzoek nog niet mogelijk. De bezinkbaarheid van het gevormde neerslag was van dien aard dat na 1 uur bezinken en decanteren niet al het bezinksel kon worden verwijderd („slibindex" 300-600 ml/g).

Behalve aluminium- en ijzertzouten wordt ook kalk als uitvlokingsmiddel gebruikt.  $Ca^{2+}$  vormt bij een pH > 10,5 met orthofosfaat hydroxylapatiet  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ . Bij deze hoge pH wordt bovendien de calciumhardheid van het water meer of minder als calciumcarbonaat neergeslagen.



Afb. 1

De beide reactieproducten ontstaan in een zeer fijne kristalvorm. Zij kunnen slechts met behulp van een vlokkingsmiddel kwantitatief uit de vloeistof afgescheiden worden. Volgens Wuhrmann kan vermoedelijk met een dosis van 1-2 mg/l  $Fe^{3+}$  in deze een uitstekend resultaat worden verkregen. Sawyer geeft aan dat de benodigde hoeveelheid kalk voor het verkrijgen van een pH = 11 ongeveer 2-2,5 x de alkaliteit van het water is. Hij wijst er op dat er een verschil bestaat in fosfaatverwijdering tussen ruw afvalwater en biologisch gezuiverd afvalwater. In ruw afvalwater zou de hoeveelheid orthofosfaat slechts 40-60 % van het totaal fosfaat zijn, in effluent daarentegen maakt het gewoonlijk meer dan 90 % van het totaal fosfaat uit, een en ander afhankelijk van het soort afvalwater. Aan organische stof gebonden fosfaat en de polyfosfaten zijn aanzienlijk minder eenvoudig te verwijderen dan het orthofosfaat [8].

Op grond van waarnemingen van Wuhrmann zal bij toenemende waterhardheid de benodigde hoeveelheid  $Ca(OH)_2$  om een pH = 10,5 te bereiken zeer groot worden. Dienovereenkomstig wordt ook de hoeveelheid te behandelen slib groot. Hier staat tegenover, dat het bij de kalkbehandeling gevormde slib zich eenvoudig laat indikken, in tegenstelling tot  $Fe(OH)_3$ -slib. Ook als middel om de indikking van biologisch surplus-slib te bevorderen is het kalk-apatiet slib goed bruikbaar.

Behalve de grote hoeveelheid slib krijgt men bij deze methode een effluent met een hoge pH-waarde zodat eventueel nog neutralisatie nodig is. Doordat het water meer of minder onthard is zijn hiervoor slechts geringe hoeveelheden zuur nodig.

Wuhrmann stelde vast, dat voor het Züricher afvalwater (ca. 9 duitse hardheidsgraden) een gecombineerde dosering van driewaardig ijzer en kalk uitstekende resultaten opleverde.

De hoeveelheid slib is bij deze wijze van werken aanmerkelijk geringer dan bij behandeling met uitsluitend  $Ca(OH)_2$ . In afb. 1 zijn schematisch enige in Europa toegepaste werkwijzen van fosfaatverwijdering op rioolwaterzuiveringsinstallaties aangegeven. Bij 1A en 1B wordt het effluent van de installatie voor fosfaatverwijdering in een separate tank behandeld; alle gebruikelijke vlokkingsmiddelen kunnen worden toegepast. Bij 2A en 2B wordt het vlokkingsmiddel aan de afloop van de aerietank of van het oxydatiebed toegevoegd. Bij laatstgenoemde werkwijze kan met één nabezinkbassin worden volstaan. Pöpel acht met betrekking

tot de eliminatie van organische stof en fosfaat de oplossingen 1 en 2 gelijkwaardig. Ten aanzien van de oplossing 2B is nog op te merken dat het resultaat door het slibgehalte wordt beïnvloed; voorts dat het chemisch slib mee loopt in de kringloop van het actieve slib en ten slotte de chemische vlokken door de sterke turbulentie in de aeratieruimte vernield kunnen worden, hetgeen de bezinkbaarheid niet ten goede komt. Vanwege de hoge pH moet de kalkprecipitatie methode in schema 2B worden ontraden. Volgens Pöpel worden met behulp van kalk afgezien van een hoge pH van het effluent en een grote hoeveelheid slib, in het algemeen betere en gelijkmatiger resultaten verkregen dan met ijzer resp. aluminium [4]. Door Wuhrmann wordt dit bevestigd. Voor het schema 3 van afb. 1 gelden dezelfde overwegingen als voor 2. Beide genoemde onderzoekers stellen, dat functiesplitsing (schema 1) de grootste fosfaatreductie geeft.

Wuhrmann vermeldt, dat met 20 mg/l ijzer volgens schema 1 (= Nachfällung) 88 % reductie is te verkrijgen en volgens schema 3 (= Simultanfällung) 78 % ten opzichte van het voorbezonden afvalwater. Bij een dosering van 30 mg/l ijzer waren deze percentages 95 % resp. 87 %. De kwaliteit van het effluent van een installatie, waarbij gedoseerd wordt aan het water-actief slibmengsel is aan grotere schommelingen onderhevig en dikwijls is dit effluent troebeler dan wanneer gedoseerd wordt in het effluent. Het biologisch proces op zich zou niet merkbaar beïnvloed worden.

In Zweden daarentegen werd bij proeven met dosering aan het waterslibmengsel een geringere BOD afbraak waargenomen dan in het geval dat de chemicaliën niet aan de aerietank werden toegevoegd.

Men vond  $\pm$  85 % BOD-afbraak en 70-75 % fosfaatreductie. Bij separate biologische- en chemische behandeling van het water kon 90 % BOD- en fosfaatreductie worden verkregen [9]. Het gehalte aan organisch materiaal in het effluent is bij Nachfällung in het algemeen geringer dan bij de overige systemen. Wil men gelijkwaardige resultaten verkrijgen, dan moet men bij Simultan- en Zwischen-fällung het chemicaliënverbruik verhogen.

Een kostenberekening zal moeten uitwijzen of de besparing op de bouwkosten van een vlokkings- en een extra nabezinkbassin opwegen tegen de extra kosten voor chemicaliedosering [4]. Volgens Thomas zou echter voor het Simultan-Verfahren dank zij de fosfaatbindende werking van het teruggevoerde slib minder ijzerchloride nodig zijn dan de stoichiometrische berekende hoeveelheid [10].

Wuhrmann vond in het geval van Simultanfällung dat bij een dosering van 30 mg Fe/l de hoeveelheid droge stof en het volume aan surplus-slib verdubbeld werden ten opzichte van eenzelfde installatie zonder fosfaatverwijdering. Het proces van de Nachfällung leidt tot een volumineus en moeilijk bezinkbaar hydroxydeslib. Voor de ontwatering van dit slib is nog geen bruikbare methode aangegeven. Thomas geeft op grond van zijn onderzoekingen aan dat de slibhoeveelheden door de chemicaliën dosering geenszins in ernstige mate worden vergroot. Het vlokkingsmiddel bevordert blijkbaar een verdichting van het slib [5/10]. Onderzoek op dit punt is dus zeer gewenst. Bij de Simultanfällung moet het chemisch slib tezamen met het biologisch slib behandeld worden. Sommige onderzoekers vrezen dat anaerobe vergisting voor dit slib als behandelingswijze ongeschikt is wanneer  $FeCl_3$  gebruikt wordt. In het anaerobe-systeem zou het driewaardig ijzer tot tweewaardig ijzer kunnen worden gereduceerd waarbij een oplosbaar fosfaat wordt gevormd dat dan met het slijkwater weer in de biologische installatie wordt teruggevoerd. Thomas stelt dat eenmaal in een neerslag gebonden fosfaat bij de anaerobe gisting niet meer in oplossing gaat. Nog aan organische stof gebonden fosfaat komt ten gevolge van het gistingsproces gedeeltelijk in oplossing; daar staat tegenover dat het fosfaatgehalte van het slijkwater door het inpompen van ijzerfosfaatslib wordt gereduceerd. Ook bij slibverwerkingsmethoden als pasteurisatie, sterilisatie en thermische behandeling verwacht Thomas op grond van verricht onderzoek in deze zin geen proble-

men van enige betekenis. Ulmgren en Henrikson vermelden dat bij het gebruik van aluminium als precipitatiemiddel nergens vrijkomen van fosfaat werd geconstateerd. Ook uit globale onderzoeken bij het RIZA is niet gebleken, dat fosfaat van enige betekenis bij het gistingproces vrijkomt uit het ijzerfosfaat.

Door Thomas wordt het proces van de Simultanfällung, dat in Zwitserland onder de naam „Eisen-Rückschlamm Verfahren” bekend is, beschreven [5]. Volgens dit systeem werken momenteel ongeveer 20 installaties in Zwitserland. Kenmerkend voor het Eisen-Rückschlamm Verfahren zou zijn een goed fosfaat bindend vermogen van het chemisch-biologisch slib, dat uit de nabezinking in het beluchtingsproces wordt teruggevoerd. Dit zou tot een beperking van de benodigde hoeveelheid vlokmiddelen leiden. Een goede en snelle menging van chemisch agens en te behandelen water zijn van essentieel belang. Thomas preferereert een continu-dosering van het vlokmiddel in de afloop van de actiefslib-tank wanneer daar een snelle en volledige menging mogelijk is.

Voor degenen die in het effluent van de installatie een hoog ijzergehalte verwachten geeft Thomas als resultaat van een onderzoek: bij een dosering van 10 mg Fe<sup>3+</sup>/l was het ijzergehalte geringer dan 0,6 mg/l. Nog weinig onderzoek is verricht aan de fosfaatverwijdering bij installaties met oxydatiebedden. Thomas verwacht ook hier weinig moeilijkheden. Dosering van vlokmiddel kan in verband met verstoppingsgevaar voor het filterbed het beste in de afloop van het filter plaatsvinden.

Huber geeft voorbeelden van installaties voor fosfaatverwijdering in Duitsland [11]. Het principe van de „Nachfällung” is in Prien en Radolfzell gerealiseerd. Hier vindt de fosfaateliminatie plaats in een reactietank van het type Cyclator. De vloktingsruimte heeft een verblijftijd van 20 minuten; de bezinktank een verblijftijd van 2 uur. Deze tijden blijken in de praktijk voldoende lang. Bij de installatie te Moosburg wordt gebruik gemaakt van de „Simultanfällung”. Het vlokmiddel wordt in de aerietank gedoseerd. De totaal-fosfaatreducties bedragen: in Prien 88 %, in Radolfzell > 90 % en in Moosburg 75 %. Het totaal-fosfaatgehalte in het effluent is in alle gevallen omstreeks 0,5 mg/l P, d.i. ca. 1,5 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/l.

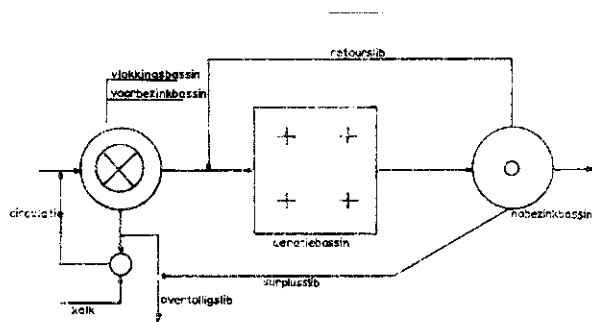
In Prien wordt het chemische slib op droogbedden gedroogd. Moeilijkheden werden ondervonden bij de dosering door verstopte leidingen of door problemen met de doseerapparatuur.

Ulmgren deelt mede, dat omstreeks maart 1969 in Zweden 8 installaties met fosfaatreductie in gebruik waren. In één installatie wordt kalk als vlokmiddel gebruikt. In alle overige installaties wordt aluminiumsulfaat toegepast; in twee installaties worden daarnaast polyelectrolyten toegevoegd. De volgende tabel geeft een overzicht van deze installaties.

installatie	methode*)	sinds	inwonerequivalenten	
			ontwerp	aangesloten
Aker	M+C	1961	3.000	2.000
Klägerup	M+C	1965	1.000	700
Klägerup	M+B+C	1967	600	500
Salemstaden	M+C	1967	10.000	3.000
Kungtör	M+B+C	1968	10.000	5.000
Orsa	B+C	1968	5.000	4.000
Rönninge	B+C	1968	5.000	2.000
Flen	M+B+C	1968	15.000	8.000

\*) M = mechanische behandeling; B = biologische behandeling; C = chemische behandeling.

De vlokking in de installaties te Klägerup, Salem, Kungstör en Flen vindt plaats in 4 achtereenvolgende bassins waarin met afnemende intensiteit wordt geroerd. De totale verblijftijd bedraagt 25-40 minuten. Te Aker en Bara zijn twee achtereenvolgende vloktingsbassins gebouwd. De chemica-



Afb. 2

liën kunnen droog of nat gedoseerd worden. Natte dosering ging gepaard met problemen: snellere slijtage van pompen en verstopping van leidingen en ventielen. In Rönninge en Orsa wordt met succes droge dosering toegepast. Onderstaande tabel geeft de resultaten voor verschillende installaties.

installaties	dosis	BOD <sub>5</sub>	reductie	fosfor	reductie
		effluent g/m <sup>3</sup>	%	effluent g/m <sup>3</sup>	%
	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> g/m <sup>3</sup>				
Aker	110	20	70	0,1-0,5	75-90
Klägerup	125	27	75	1,0-1,5	75-85
Salem	—	40-50	50-60	0,7-2,0	80-90
Kungstör	145	10	90-95	0,2	90-95
Orsa	475 kalk	10	90-95	0,4	90-95
Rönninge	140	6-26	90-95	0,4-1,0	90-95

Van de installaties Flen en Bara waren nog geen resultaten bekend. De resultaten van de installatie te Aker moeten met voorzichtigheid beschouwd worden; zij zijn beïnvloed door mechanische onvolkomenheden en moeilijkheden met de dosering. De geringe fosfaatreductie te Klägerup is waarschijnlijk een gevolg van de extreem lage fosfaatconcentratie van het water [9/12].

Bij Dorr-Oliver werd het zgn. PEP-systeem ontwikkeld (Phosphate Extraction Process). Afb. 2 geeft een schematische weergave van het proces. In een „Clariflocculator” wordt kalk gedoseerd in een zodanige hoeveelheid dat een pH van 9-10 wordt verkregen. Volgens Dorr-Oliver wordt het grootste gedeelte van het fosfaat, 85 % van de zwevende stof en 65-75 % van de BOD in dit stadium geëlimineerd. De resterende fosfaatreductie vindt in de biologische installatie plaats. De bij het biologische proces vrijkomende CO<sub>2</sub> en de beluchtingsapparatuur worden benut om de pH van het voorbezonden afvalwater te verlagen [8/13].

In het kort samengevat komt het voorgaande op het volgende neer:

- defosfatering is mogelijk in ruw afvalwater respectievelijk in biologisch gezuiverd water. De behandeling van het ruwe water lijkt aantrekkelijk door bijkomende extra's als BOD-reductie, enz. (zie PEP-systeem); er is echter nog weinig van bekend;
- defosfatering in biologisch behandeld water wordt momenteel het meest toegepast;
- te onderscheiden zijn hierbij de werkwijze waarbij de vloktingschemicaliën toegevoegd worden aan het mengsel van water-actief slib respectievelijk water-humus en die waarbij de behandeling plaatsvindt in een separate inrichting;
- bij gemengde behandeling wordt het gebruik van kalk ontraden;

- bij gemengde behandeling bestaan zekere twijfels omtrent beïnvloeding van de biologische zuivering door chemicaliën toevoeging respectievelijk het weer in oplossing komen van fosfaat onder anaerobe condities;
- bij separate behandeling bestaan de minste twijfels en risico's; in ieder geval is er geen invloed van de chemicaliën op het biologisch gebeuren;
- bij separate behandeling is nog weinig bekend over de ontwerpcriteria voor het bezinkbassin voor fosfaatslib en over de verdere behandeling van het fosfaatslib;
- separate behandeling zal ongetwijfeld tot hogere kapitaalslasten leiden; het chemicaliën-verbruik is mogelijk geringer dan bij gemengde behandeling. Thomas verschilt in dit opzicht van mening met overige auteurs.

Uit het voorgaande moge het duidelijk zijn dat er nog vele vragen bestaan ten aanzien van het defosfateringsproces.

Een antwoord daarop is het beste te verkrijgen door het nemen van proeven op technische schaal en zo mogelijk op een plaats waar de gevolgen voor het oppervlaktewater tevens zijn te bestuderen.

Dit laatste is het geval bij het Veluwemeer. Ca. 80 % van de totale fosfaatbelasting wordt via de zuiveringsinstallaties te Elburg en Harderwijk op het Veluwemeer gebracht [2].

Derhalve lenen de installaties in beide gemeenten zich goed voor het verrichten van duurproeven met fosfaatverwijdering. De plannen voor deze proefnemingen zijn thans in een vergevorderd stadium.

## Fosfaatverwijdering uit rioolwater in Zwitserland

Aansluitend aan voorgaande literatuurstudie werden voor het verkrijgen van een inzicht in de technische detaillering van een installatie met fosfaatverwijdering in Zwitserland een aantal van dergelijke installaties bezocht.

Een summier overzicht van een aantal van de bezochte installaties wordt gegeven in het artikel: „Over de fosfaatverwijdering uit rioolwater” van dr. H. L. Golterman (*H<sub>2</sub>O*, 1970, nr. 23, pag. 616).

Met prof. Stumm van de Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) en met prof. Thomas van het Universität und Kantonales Laboratorium te Zürich werd over het probleem van fosfaatverwijdering van gedachten gewisseld.

Volgens de „Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer” van 1 september 1966 mag bij lozing op de meren in Zwitserland 2 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  (0,67 mg P/l) als daggemiddelde worden afgevoerd. Geconcentreerde oplossingen van fosfaat moeten ter plaatse door vlokking gereduceerd worden. In het kanton Zürich is men het verst gevorderd met technische maatregelen t.b.v. de fosfaatreductie.

De meeste zuiveringsinstallaties in Zwitserland functioneren volgens het actief slibproces. Ervaring bij installaties met oxydatiebedden heeft men praktisch niet. Proeven van

Thomas bij dit type installatie met het Simultan-Verfahren waren weinig hoopvol. Stumm is duidelijk voorstander van de gescheiden behandeling. Hij adviseert in elk geval ruimte voor de bouw van een derde trap in een latere fase te reserveren ook al begint men met het Simultan-Verfahren. Het Simultan-Verfahren vereist een geringere investering en is direct te realiseren. Stumm is van mening, dat met het Simultan-Verfahren geen fosfaatreducties boven 80 % moeten worden nagestreefd. Verdere reductie zou ten koste van het zuiveringsrendement van de installatie gaan. Cijfers van onderzoekingen hiernaar konden niet getoond worden. Er is de laatste jaren een duidelijke verbetering van de waterkwaliteit in de Zürich-See merkbaar. De helderheid is toegenomen en de zuurstofconcentraties in de diepte vertonen een duidelijke stijging. Of deze verbetering een direct gevolg is van de fosfaatverwijdering op de installaties is nog niet duidelijk. Ook is nog moeilijk te voorspellen of deze tendens op de lange duur zal doorzetten.

Wat dit laatste betreft durft men in Zwitserland evenals in ons land geen „bindende” uitspraken te doen. Volgens Stumm is in de meren in Europa fosfor de beperkende factor, in estuaria zou evenwel stikstof de beperkende factor zijn.

De meeste rioleringen in Zwitserland zijn volgens het gemengde stelsel. Per inwoner wordt per dag ca. 3 g P afgegeven waarvan 1,5 g P afkomstig is van detergentia.

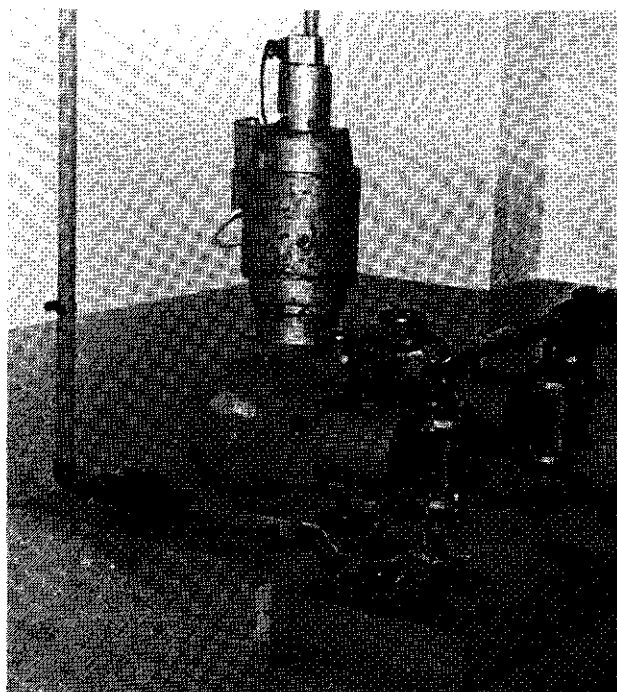
Het slib van de installaties wordt waar mogelijk door de boeren afgenomen en over het land verspreid, in de zomermaanden na pasteurisatie. Het eenmaal aan het ijzer gebonden fosfaat blijft voor zover het niet door de plantenwortels onttrokken wordt in de bodem opgeslagen.

In het gebied rond de Zürich-See wordt ijzerchloride als vlokkingsmiddel toegepast. Het vlokkingsmiddel wordt uit de rijk aan ijzer zijnde afvalbeitsen van verzinkerijen door neutraliseren van de restzuren met oud ijzer en oxydatie met chloor door de Schweizerische Sodafabriek vervaardigd. De chemische fabriek Uetikon vervaardigt een oplossing van ijzerchloride en ijzersulfaat, waarmee volgens Thomas gelijkwaardige resultaten worden verkregen als met het technisch zuivere ijzerchloride. Ferrisulfaat zonder meer is voor defosfatering niet geschikt. Het ruwe vlokkingsmiddel wordt bij veel installaties voor de doseerpompen gefiltreerd. Het wordt gedoseerd in een sterkte van 14 gew. %, 11 gew. % of 9 gew. % driewaardig ijzer ( $140 \text{ g Fe}^{3+}/\text{l} = 407 \text{ g FeCl}_3/\text{l}$ ;  $110 \text{ g Fe}^{3+}/\text{l} = 320 \text{ g FeCl}_3/\text{l}$ ;  $90 \text{ g Fe}^{3+}/\text{l} = 262 \text{ g FeCl}_3/\text{l}$ ). De oplossing van 14 gew. % ijzer is bijna verzadigd en gevoelig voor lage temperaturen.

Beneden  $-10$  tot  $-12^\circ\text{C}$  vindt uitkristallisatie plaats. Daarom wordt dikwijls een verdunning van de oplossing gebruikt.

De verdunning geschiedt met leidingwater. Ook wordt vaak een verdunning gemaakt wanneer zeer kleine hoeveelheden vloeistof gedoseerd zouden moeten worden. Volgens Thomas bedragen de kosten van een 32 % oplossing van ferrichloride

Afb. 3 - Doseerpomp voor ijzerchloride te Thalwil.



waarvan 100 kg ongeveer 11 kg ijzer bevat Zwits. Fr. 12,80 [5].

Door een medewerker van prof. Thomas werden als kosten voor de 41 % oplossing, inclusief transportkosten (10-20 km). Zwits. Fr. 20,— opgegeven, d.i. ongeveer f 17,—.

In Nederland bedragen de kosten van een oplossing die 41 gew. % technisch zuiver  $\text{FeCl}_3$  bevat bij een afname van 700 ton per jaar ongeveer f 23,— à f 25,— per 100 kg, transportkosten inbegrepen. Het is niet uitgesloten dat ook in ons land wanneer er voldoende belangstelling voor bestaat door een bedrijf als bij voorbeeld de Hoogovens een vlokkingmiddel uit afvalbeitsbaden geproduceerd zal gaan worden uiteraard tegen geringere kosten als het technisch zuivere produkt.

De dosering van het vlokkingmiddel geschiedt met uit kunststof vervaardigde membranen of plunjerpompjes. Meestal is geen reserve pomp gemonteerd. Als er moeilijkheden met de pompjes werden ondervonden waren deze vaak een gevolg van verontreinigingen in de te doseren vloeistof.

De leidingen zijn van polyetheen of PVC.

De voorraadtanks zijn meestal gemaakt van doorzichtig fiberglas waardoor men het vloeistofpeil eenvoudig kan aflezen. De tanks kunnen liggend of staand worden opgesteld en zijn voorzien van een overloop. De inhoud van de voorraadtank(s) is afhankelijk van de grootte van de dosering en de levering van het vlokkingmiddel. Aangezien het ijzerchloride bij morsen op beton zeer onaangename vlekken achterlaat, die moeilijk te verwijderen zijn wordt aangeraden de doseerinrichting en de voorraadtank in een bak, voorzien van een beschermende laag te plaatsen. Aanbevolen wordt het vlokkingmiddel te doseren op plaatsen met turbulente stroming.

Door verpompen kan de vlokvorming verstoord worden. Wanneer mogelijk dient men hiermee bij de keuze van de plaats van dosering rekening te houden.

Van de rioolwaterzuiveringsinstallaties met fosfaatverwijdering rond de Zürich-See werden achtereenvolgens die bezocht te: Thalwil, Wädenswil, Richterswil, Stäfa, Meilen, Jona en Hinwil. Van deze installaties heeft alleen die te Jona Nachfällung, de overige installaties hebben Simultanfällung.

#### Installatie Thalwil

De zuiveringsinstallatie bestaat uit een roosterinstallatie, zandvang, voorbezinking, aeratie, nabezinking, slibindiker, slibgisting en ontwatering met centrifuges. De installatie is ontworpen voor 32.000 inwoners. Men rekent met 500 l per inwoner en 2.000 à 3.000 m<sup>3</sup> industrieel afvalwater per dag. De maximale droogafvoer werd vastgesteld op 350 l/sec. Bij regen vloeit 3x d.w.a. naar de installatie; hiervan wordt 2x d.w.a. biologisch behandeld. Voor de dimensionering van het biologisch gedeelte van de installatie werd uitgegaan van 40.000 inwonerequivalenten. De installatie voor fosfaatverwijdering is opgebouwd uit een fiberglas voorraadtank van 30 m<sup>3</sup> — gebaseerd op een voorraad voor 15-20 dagen — polyetheen leidingen naar de doseerpomp en polyetheen doseerleidingen (uitwendig Ø 4 à 5 cm, inwendig Ø 1,8 cm). Deze installatie is sinds november 1968 in bedrijf. De doseerpomp is een dubbele plunjerpomp met traploze regeling van het merk „Dipl. Ing. Rudolf Hauke”, Gmünden in Oostenrijk (afb. 3). Het toerental van de pomp wordt geregeld door de hoeveelheid effluent. De maximale dosering is afgesteld op de huidige droogweerafvoer van 250 l/sec. Bij afvoeren hierboven (regen) verandert de in het water aanwezige hoeveelheid fosfaat niet meer, zodat de dosering van vlokkingmiddel niet behoeft te worden verhoogd. Vanwege de hoge kosten van het vlokkingmiddel wordt door het personeel op de installatie regelmatig het fosfaatgehalte in het effluent bepaald. Aan de hand van het gemeten fosfaatgehalte kan de slaglengte van de plunjer worden bijgesteld. De pomp is voorzien van een schaalverdeling, waarop de hoeveelheid gedoseerd driewaardig ijzer kan worden afgelezen. De schaal loopt van 0 tot 20 g  $\text{Fe}^{3+}$  per m<sup>3</sup>.

Ten tijde van het bezoek werd 15 g  $\text{Fe}^{3+}$  per m<sup>3</sup> gedoseerd. Het ijzerchloride wordt na de aeratietank in de afloopgoot gedoseerd (afb. 4). De  $\text{FeCl}_3$  oplossing wordt in de voorraadtank met leidingwater verdund tot een oplossing die 9 gew. %  $\text{Fe}^{3+}$  bevat. Op één van de plaatsen van dosering wordt nog verder verdund om een betere menging te verkrijgen.

#### Installatie Wädenswil

De zuiveringsinstallatie bestaat uit een roosterinstallatie, beluchte zandvang, voorbezinking, aeratie, nabezinking, aerobe slibmineralisatie, indikker en filterpersinstallatie. De installatie is ontworpen voor ongeveer 50.000 inwonerequivalenten.

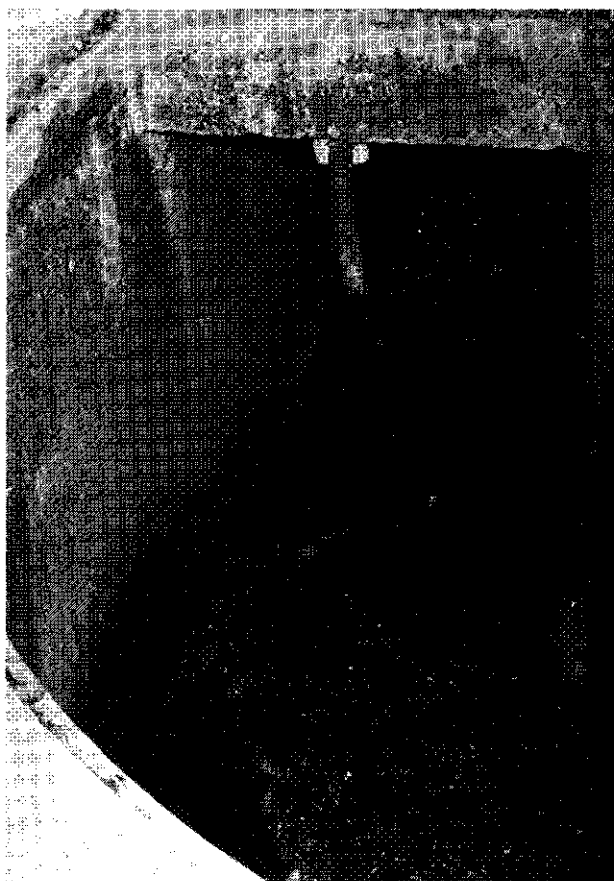
Men rekent met een droogweerafvoer van 320 l/sec. Op dit moment (december 1970) is de installatie nog zwaar onderbelast (ca. 50 %). Voor de fosfaatverwijdering is een dubbele plunjerpomp met stalen kogels als kleppen geïnstalleerd (merk Lewa, type FK2, Herbert Ott, Leonberg bij Stuttgart; aandrijfmotor 900 toeren per minuut, 1,65 ampère, 380 volt). Ook deze pomp is traploos regelbaar. De dosering wordt momenteel nog niet proportioneel met de waterhoeveelheid geregeld; toekomstig zal deze mogelijkheid wel gebruikt worden. De slaglengte van de plunjer kan met de hand ingesteld worden. De maximale capaciteit per pomp bedraagt 4 l per minuut (totaal dus 8 l per minuut). De pomp is 3 jaar in bedrijf. Het ijzerchloride wordt in twee met kunststof beklede betontanks gebufferd.

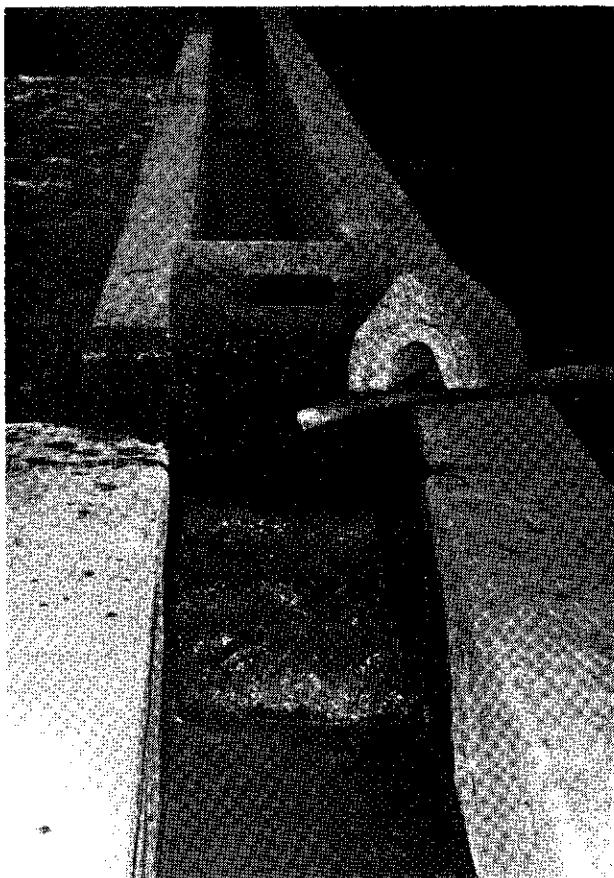
De leidingen zijn van hard PVC (toevoerleidingen naar de pomp Ø 36 mm inwendig en Ø 40 mm uitwendig; persleiding Ø 28 mm inwendig, Ø 30 mm uitwendig). De dosering van de 11 gew. % Fe oplossing vindt plaats in de afloop van de aeratieruimten.

#### Installatie Richterswil

De zuiveringsinstallatie is gedimensioneerd voor 6.600 in-

Afb. 4 - Dosering ijzerchloride te Thalwil.





Afb. 5 - Dosering ijzerchloride te Stäfa.

wonerequivalenten. De belasting bedraagt thans ongeveer 5.000 equivalenten. De installatie bestaat uit een roosterinstallatie, zandvangervoorbezing, aeratie, nabezinking en slibgisting.

Voor de fosfaatverwijdering zijn twee doorzichtige fiberglas voorraadtanks van elk 2,7 m<sup>3</sup> in verticale stand opgesteld. De doserpomp is een membraanpomp, merk ABA (Adam Baumüller GmbH, Markredwitz/Bayern, type DWF 56b — 2 S 1288 (0,18 KW). De capaciteit bedraagt 0-15 l per minuut. De dosering op de afloop van de aeratietank kan met de hand worden ingesteld (regelbare slaglente).

#### Installatie Stäfa

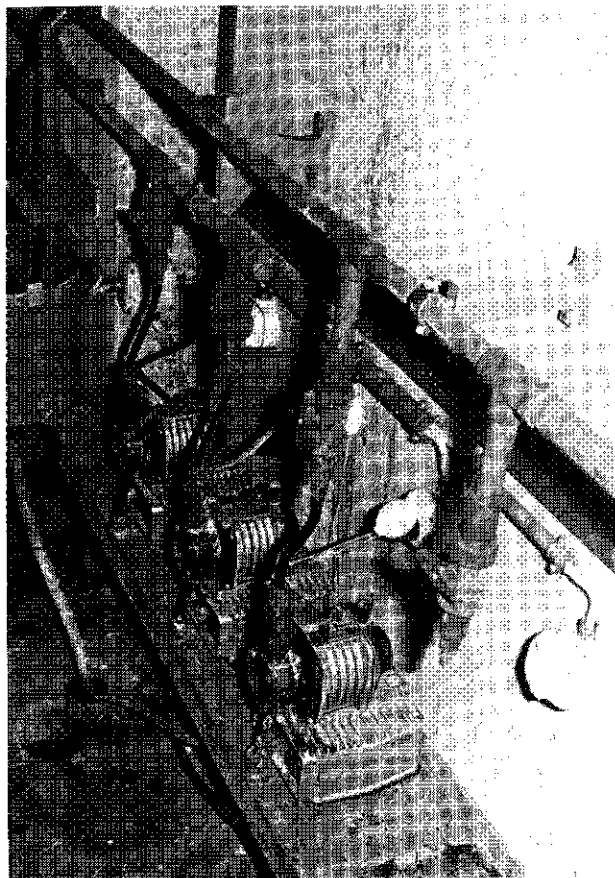
De zuiveringsinstallatie is gebouwd voor 5.500 inwonerequivalenten. Naar de installatie wordt maar een geringe hoeveelheid industrieel afvalwater afgevoerd (ca. 15 %). Bij piekafvoeren is de installatie overbelast. Te Stäfa werd de derde traps zuivering na voltooiing van de installatie bijgebouwd. Het was de tweede installatie met fosfaatverwijdering in Zwitserland. De apparatuur voor de defosfatering staat in de buitenlucht opgesteld; twee voorraadtanks van 2,5 m<sup>3</sup> elk en een dubbele membraanpomp van het merk ABA (capaciteit 1,5 l per minuut per pomp).

De dosering is constant ongeacht de waterhoeveelheid en vindt plaats vóór de aeratieruimten (afb. 5). Aanvankelijk werd 's-zomers een oplossing van ijzerchloride gedoseerd die 14 gew. % Fe<sup>3+</sup> bevatte en 's-winters een oplossing met 11 gew. % Fe<sup>3+</sup>.

Deze winter zal als proef de 14 gew. % Fe-oplossing worden gedoseerd. Momenteel wordt 7 mg Fe<sup>3+</sup> per liter gedoseerd. Hierbij bereikt men fosfaatreducties van 92 %. De derde trap functioneert ongeveer vijf jaren.

#### Installatie Meilen

De zuiveringsinstallatie bestaat uit een roosterinstallatie,



Afb. 6 - Membraanpompen voor dosering te Hinwil.

zandvangervoorbezing, aeratie, nabezinking en slibgisting. De maximale droogweerafvoer bedraagt 230 l per seconde. Vanuit de voorraadtanks wordt het ijzerchloride als oplossing met 14 gew. % ijzer met behulp van een plunjerpomp (merk Hauke) aan de toeloop van de aeratieruimten gedoseerd. De leidingen zijn van PVC. De pomp wordt met de hand geregeld. De vloeren zijn afgewerkt met een verf op polyester basis. Bij deze installatie heeft men vele moeilijkheden met de dosering ondervonden.

Deze moeilijkheden waren het gevolg van verontreinigingen in het ijzerchloride.

Tijdens het bezoek werd niet gedoseerd als gevolg van vertraging in de aanvoer van de te doseren vloeistof.

#### Installatie Hinwil

De zuiveringsinstallatie te Hinwil is opgebouwd volgens het systeem Attisholz. Dit tweetrappige systeem is eveneens in Nederland vertegenwoordigd („Delta Engineering NV” te Schiedam).

De installatie is gebouwd voor 30.000 inwonerequivalenten. De maximale droogweerafvoer bedraagt 120 l per seconde. Aan de tweede beluchttings trap van de installatie wordt ijzerchloride toegevoegd in een oplossing die 11 gew. % Fe<sup>3+</sup> bevat. De vloeistof wordt aangevoerd als oplossing met 14 gew. % Fe<sup>3+</sup>. De oplossing wordt geïnjecteerd in de stijgbuis van de mammothpomp-beluchter. De dosering is constant en geschiedt met behulp van regelbare magnetische membraanpompen van Chemical Pump Corporation Altham Mass (afb. 6). Capaciteitsregeling door variatie van frequentie en slaglente is mogelijk.

Deze pompen zijn in vergelijking tot de Lewapompen (Zwits. Fr. 3000,— à 4000,—) goedkoop (Zwits. Fr. 800,—). Gedurende hun 4-jarig bedrijf heeft nog geen reparatie plaats gehad. De maximale capaciteit is 6 l per uur. De leidingen zijn van PVC. Het ijzerchloride wordt opgeslagen in twee met kunststof beklede voorraadtanks van elk 15 m<sup>3</sup>.

	*)	aantal proeven	Fe <sup>3+</sup> +mg/l dosering	mg/l PO <sub>4</sub> totaal aanvoer	fosfaat effluent	reductie %	Fe <sup>3+</sup> + mg/l effluent
Thalwil	+	12	11,4	20,9+	3,9	81,3+	0,27
Wädenswil	O	26	10,5	23,6	3,3	86,0	0,56
Richterswil	+	1	(3,4)	7,0	(0,9)	(87,2)	(0,12)
Stäfa	+O	29	5,9	24,1	1,9	92,1	0,14
Meilen	+	6	5,1	13,5	2,4	82,2	0,17
Hinwil	O	29	10,5	30,4	2,33	92,3	0,17

+ afloop voorbezinktank

\*) O geen terugvoer van slibwater of geen slibgistingstanks

+ met terugvoer van slibwater

Het chemische slib wordt teruggevoerd naar het biologische gedeelte van de eerste trap. Het gemengde biologische-chemische slib kan door gravitatie niet verder worden ingedikt dan tot 2 % droge stof.

### Installatie Jona

De zuiveringsinstallatie te Jona dient min of meer als proefinstallatie voor de EAWAG. De installatie is ontworpen voor 12.000 inwonerequivalenten en is momenteel voor ca. 50 % belast. Het biologische deel van de installatie is een aero-accelator van Lurgi.

Bij deze installatie geschiedt de fosfaatverwijdering afzonderlijk in tegenstelling tot de werkwijze bij de hiervoor beschreven installaties.

De separate behandeling vindt plaats in een cyclator. De cyclator is gedimensioneerd op twee uur verblijftijd. De werkelijke verblijftijd is thans veel hoger. De dosering vindt plaats met Lewapompen, type nr. HL1.

Er is een reservepomp geïnstalleerd. Het chemische slijk wordt met het gemineraliseerde slib naar een indikker afgevoerd en wordt daarna in een filterpersinstallatie behandeld.

De dosering van de chemicaliën aan de derde trap is discontinu, maar proportioneel met de afgevoerde hoeveelheid afvalwater. Na elke x m<sup>3</sup> afgevoerd water draait de pomp een aantal seconden.

Het onderzoekprogramma in Jona is nog niet afgesloten. Door toepassing van verschillende vlokmiddelen-ijzer en ijzer + kalk wordt getracht een optimale dosering vast te stellen.

In ieder geval is reeds gebleken, dat men aan de gestelde eisen van < 0,6 mg P per l in het effluent kan voldoen.

Bovenstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten van de fosfaatverwijdering op de overige bezochte installaties. Deze tabel is ontleend aan Thomas [10]. In het algemeen waren tijdens het bezoek de doseringen hoger dan in de tabel is aangegeven.

### Literatuur

1. Leentvaar, P. *Het probleem van de eutrofiëring*. H<sub>2</sub>O (3) 1970, nr. 5, blz. 100 e.v.
2. Golterman, H. L. *Mogelijke gevolgen van de fosfaateutrofiëring van het oppervlaktewater*. H<sub>2</sub>O (3) 1970, nr. 10, blz. 209 e.v.
3. Köhler, R. *Beitrag zur Phosphatelimination durch das Belebtschlammverfahren*; Wasser, Luft und Betrieb, 13. Jahrg. Mai 1969, Heft 5.
4. Pöpel, J. *Die Phosphatentfernung als dritte Stufe der Abwasserreinigung*. H<sub>2</sub>O (3) 1970, nr. 17, blz. 416 e.v.
5. Thomas, E. A. *Die Elimination der Phosphorverbindungen aus dem Abwasser*. Europäische Abwassersymposium 1969, München.
6. Wuhmann, R. *Stickstoff- und Phosphor-Elimination*. Ergebnisse von Versuchen in technischem Massstab. Eidg. Techn. Hochschule Zürich, Fortbildungskurs der EAWAG 1964.
7. Wuhmann, R. *Probleme der dritten Reinigungsstufe von Abwässern*. Föderation Europäischer Gewässerschutz. Informationsblatt Nr. 14, Mai 1967.
8. Albertson, E. and Sherwood, R. J. *Phosphate Extraction Process*. Journal Water Pollution Control Federation August 1969, Vol. 41, No. 8. part 1.
9. Ulmgren, L. *Erfahrungen mit Phosphorabbau in einigen schwedischen Abwasserreinigungsanlagen*; Nationales Schwedisches Naturschutzamt — Bureau für Gewässerschutz, Solna, März 1969 (Uebersetzung aus dem Englischen).
10. Thomas, E. A. und Rai, H. *Betriebserfahrungen mit Phosphatelimination bei 10 kommunalen Kläranlagen im Kanton Zürich*, 1969 Gaz-Eaux-Eaux usées 50<sup>e</sup> année 1970, no. 7.
11. Huber, L. *Praktische Erfahrungen bei Anlagen zur Phosphatelimination*. Wasser- und Abwasser-Forschung, Nr. 3, 1968.
12. Henrikson, S. *Chemical purification of waste water and sludge treatment in connection with a waste incineration plant*. Europäische Abwassersymposium 1969, München.
13. Albertson, E. and Sherwood, R. J. *Removing Phosphates from waste water*. Industrial Water Engineering, November 1967.