

## Het systeem Attisholz

Ongetwijfeld zullen *Ardern* en *Lockett* zich bewust geweest zijn van het revolutionaire karakter van hun voorstellen, die vervat waren in hun op 3 april 1914 gehouden voordracht voor de Society of Chemical Industry te Manchester.

De titel van de voordracht, namelijk „The Oxidation of Sewage without the Aid of Filters” was al even opzienbarend als het resultaat van hun proeven, dat toen werd gepubliceerd. Met deze publicatie werd namelijk het tijdperk van de zuivering van afvalwater door middel van het belucht slib systeem ingeluid. Het lijkt waarschijnlijk, dat de uitvinders wel verwacht zullen hebben, dat in de loop der tijden zowel de eigenlijke werkwijze als het door hen gebruikte beluchttingsmechanisme wijzigingen zouden ondergaan. Het is evenwel zeer de vraag of zij hebben voorzien de enorme ontwikkelingsgang, die het systeem in betrekkelijk korte tijd heeft doorgemaakt. Ook in dit opzicht bestaat er een opmerkelijk verschil met de methode van de oxydatiebedden.

Wat laatstgenoemde methode betreft, hebben zich nl. weinig ingrijpende wijzigingen voorgedaan in de oorspronkelijke zowel door *Dibdin* in Londen, *Corbett* in Salford en *Stoddard* in Bristol onafhankelijk van elkaar en vrijwel gelijktijdig — namelijk in het begin van de negentiger jaren van de vorige eeuw — aangegeven constructie. Terwille van de curiositeit zij vermeld dat zowel de ontwerpers van de oxydatiebed methode als *Ardern* en *Lockett* zijn geïnspireerd door kennisneming van proeven die door het Lawrence Experiment Station in de Amerikaanse Staat Massachusetts waren genomen. Doch hiermede houdt de overeenkomst tussen beide methoden vrijwel op.

De oxydatiebedden met kunstmatige beluchting, die zowel door *Waring* in New York als door *Lowcock* in Malvern tegen het einde van de vorige eeuw werden gepropageerd, worden thans nog slechts op bescheiden schaal toegepast en meestal alleen dan wanneer de locale omstandigheden het vermijden van hinder door stank of door een vliegenplaag noodzakelijk maken. Het oxydatiebed verkrijgt dan bij deze methode een overdekking, waarin een ventilator is aangebracht, die de buitenlucht in opwaartse richting aanzuigt.

Het verwarmde oxydatiebed van *Ducat*, dat omstreeks 1897 in Hendon tot uitvoering kwam, heeft de concurrentie tegen de normale constructies als gevolg van de hoge exploitatiekosten niet kunnen volhouden.

Wel heeft de terugvoer van gezuiverd water hetzij als filtereffluent naar het ruwe rioolwater, hetzij als effluent van

de nabezinktank direct naar het biologische filter, waaraan resp. de namen „bio-filtratie” en „acelo-filtratie” zijn gegeven, een vrij grote toepassing gevonden, vooral in de Verenigde Staten van Amerika.

Dit geldt zij het in mindere mate ook voor een zuivering in twee trappen. Deze werkwijze verdient in het bijzonder aanbeveling voor de behandeling van industrieel afvalwater, bijv. dat van een zuivelfabriek, dat aanleiding geeft tot verstopping van het filterbed. Door periodieke omschakeling van eerste op tweede trap en omgekeerd kan deze verstopping worden voorkomen.

Terwijl zoals uit het bovenstaande blijkt variatie van de recirculatiehoeveelheid vrijwel de enige mogelijkheid is om het effect van een oxydatiebed bij een bepaalde belasting te beïnvloeden, biedt de belucht slib methode een uitgebreid gamma van wijziging van allerlei factoren, die voor het bereiken van een bepaald effect van belang zijn. Het is echter niet moeilijk de oorzaak hiervan aan te wijzen: het belucht slib proces leent zich veel beter voor een wetenschappelijke benadering dan de oxydatiebed methode. Dit moedigt als het ware initiatieven aan om te komen tot een verdere ontwikkeling van het systeem. In dit verband dient in de eerste plaats genoemd te worden het werk van *Ribbius* over de bepaling van het zuurstoftoevoervermogen van een beluchttingsapparaat. Door *Pasveer* en later door *Sweeris* is dit werk nader voortgezet, waarbij de theorie van het oplossen van zuurstof in water nader is uitgewerkt. Uit beschouwingen van *Koot* blijkt hoezeer het belucht slib proces zich leent voor een meer exacte bepaling van de het proces beheersende factoren en het in de hand houden daarvan dan de zuivering met behulp van oxydatiebedden.

Het gaat hierbij niet alleen om wijziging van de diepte van de beluchtingstanks, van verblijftijden, slibgehalten, aanpassing van de beluchttingsintensiteit aan het verloop van de oxydatie in de tank („tapered aeration”), verdeling van het afvalwater over de lengte van de tank („step aeration” van *Gould*), e.d.m. Ook de beluchttingsapparatuur is een onderwerp geweest van veel studie en spuurwerk, waardoor thans een groot aantal beluchttingsmogelijkheden en apparaten ter beschikking staan.

Reeds bij de door *Ardern* en *Lockett* toegepaste beluchttingsmethode, namelijk door middel van het inblazen van fijn verdeelde lucht, hebben zich al ingrijpende ontwikkelingen voorgedaan. Men denke aan de plaatsing van de beluchttingselementen in de richting van de slibwaterstroom („spiral flow”) dan wel

loodrecht daarop („ridge and furrow”), aan de wijziging van de afmetingen van de luchtbellen (fijn, middel grote en grote bellen) en aan de plaatsing van de beluchttingselementen op betrekkelijk geringe diepte (Inca-beluchting).

Uiteraard zijn ook dergelijke elementen (diffusers) van verschillend makelij aan de markt gebracht.

De alleenheerschappij van de luchtdoorblazingsmethode heeft betrekkelijk kort geduurd. Vermoedelijk mede om de patentrechten, die aan deze methode verbonden waren, te ontgaan kwam reeds vrij spoedig de oppervlaktebeluchting aan bod. Op dit gebied waren de pioniers *Haworth* in Sheffield en *Bolton* in Bury. De ondiepe beek met grote stroomsnelheid en opgevoerd zuurstoftoevoervermogen van *Haworth*, die min of meer als een voorloper van de oxydatiesloot zou kunnen worden beschouwd, is eerst gemodificeerd door het aanbrengen van de zgn. *Hardley-paddles*, terwijl later het voorstuwmechanisme en daarmee ook de zuurstofinbreng in de bestaande installatie in Sheffield is verbeterd door *Edmundson*.

De werkwijze van *Bolton* kenmerkt zich door een vrij diepe tank met een centraal geplaatste beluchter. Deze zgn. *Simplex-conus* pompt het slib-water mengsel vanaf de bodem en verspreidt het over de oppervlakte. Deze puntbeluchters hebben zowel in Europa als in Amerika veel navolging gevonden en worden in verschillende uitvoeringsvormen in de handel gebracht. Zij zijn echter alle gebaseerd op het door *Bolton* aangegeven principe.

Een oppervlaktebeluchter in de breedterichting van de tank kan genoemd worden het kenmerk van de *Kessenerborstel*. De uitvoering hiervan heeft een bijzonder sterke evolutie ondergaan. Zowel de toepassing van het oorspronkelijke materiaal van de borstel (piassava) als de uitvoering in roestvrij staal behoren tot het verleden. Spuurwerk van TNO heeft niet alleen de vorm en het materiaal, maar ook de afmetingen sterk gewijzigd. De kooi-rotor met een diameter van 70 cm in plaats van de oude roestvrij stalen borstel met een diameter van 35 cm is thans de meest gebruikte. Voor grote installaties worden zelfs rotoren met een diameter van 1 m („mammothrotoren”) toegepast.

Naast zijn werk over de theorie van het oplossen van zuurstof heeft *Pasveer* zich ook een reputatie in de afvalwaterwereld verworven door zijn uitvinding van de oxydatiesloot. Maar ook hier weer een stormachtige ontwikkeling van de oorspronkelijke conceptie van *Pasveer*, die

heeft geresulteerd in een groot aantal oxydatiesloot „types”.

Een van de laatste uitvoeringsvormen is het type „Carousel”. Als beluchttingsmechanisme is hier de kooirotor vervangen door een puntbeluchter, die tevens zorg draagt voor de stroming van het slib-water mengsel met de vereiste snelheid in het circuit. Een tweede afwijking met de andere typen bestaat daarin, dat de waterdiepte van de Carousel belangrijk groter is. Terwijl bij toepassing van mammothrotoren deze diepte maximaal 2,5 m bedraagt, gaat men bij de Carousel tot 4 m voor deze afmeting. Vooral voor installaties met grote tot zeer grote capaciteit wordt de Carousel aanbevolen. Ook ten aanzien van de slibverwerking heeft men zich wat de beluchtslib methode aangaat niet onbetuigd gelaten. Met name geldt dit voor het mineraliseren van het slib door een verdergaande oxydatie. Men spreekt dan wel zij het niet geheel ten rechte van „total oxydation”. Een vrij ver gaande mineralisatie van het surplus slib is als het ware inhaerent aan de oxydatiesloot. Deze omzetting wordt eveneens bereikt met de meer conventionele werkwijzen. Men noemt het proces, dat dan door beluchting in een apart reservoir tot stand wordt gebracht, slibstabilisatie.

Het bovenstaande geeft duidelijk aan, dat de ontwikkelingsgang van het belucht slib systeem belangrijk uitgebreider en gevarieerder is geweest dan die van de oxydatiebed methode.

Ook een tweetrappige behandeling zoals hierboven reeds bij de bespreking van de ontwikkeling van het oxydatiebed is aangestipt, is bij het belucht slib systeem zeer wel mogelijk. Evenals met de oxydatiebedden het geval is, vereist deze werkwijze bij het belucht slib systeem een verdubbeling van de nabezinkbassins. Hiertegenover staan echter belangrijke voordelen, die o.m. door *Imhoff* en *Jung* naar voren zijn gebracht.

Deze werkwijze is bepaald niet nieuw. Reeds in 1927 verkreeg *Imhoff* daarop een Amerikaans octrooi en sedert 1928 is een installatie van het Ruhrverband (Essen-Rellinghausen II) volgens het tweetrappige systeem in bedrijf. In 1955 vermeldt *Imhoff* een aantal installaties waarin deze werkwijze wordt toegepast en spreekt daarbij de verwachting uit dat deze in de toekomst een grotere toepassing zal vinden dan in het verleden het geval is geweest.

Vermelding verdient een door *Chasick* in New York City toegepaste tussenform. Van de uit vier eenheden bestaande belucht slib installatie Wards Island werden er twee bedreven volgens de zgn. „activated aeration” methode. Het kenmerkende daarvan is, dat het surplus slib van de eerste unit wordt afgevoerd naar de aërietanks van de tweede eenheid. Slechts van dit deel der beide eenheden wordt het surplus slib gespuid en wel door afvoer naar zee na indikking. Men is daartoe overgegaan,

omdat in de loop der jaren de belasting der installatie sterk gestegen was zonder enige uitbreiding. Noodgedwongen is men toen overgegaan tot het hoogbelaste systeem volgens *Gould*. Het daarmee bereikte zuiveringspercentage van 69 was evenwel onvoldoende. Door de methode *Chasick* kon dit effect worden opgevoerd tot gemiddeld 85 %.

Als voordelen van de zuivering in twee trappen geeft *Imhoff* aan:

- het surplus slib heeft een hoger droge stof gehalte dan bij ééntoppige behandeling en is dus minder volumineus;
- de beluchtingstanks kunnen kleiner worden bemeten;
- kleinere gevoeligheid voor plotseling optredende belastingstoten;
- de mogelijkheid van een regelbare gedeeltelijke zuivering door een deel van het effluent van de nabezinktank van de eerste trap direct af te voeren en slechts het dan resterende water in de tweede trap te behandelen.

Het is de vraag of laatstbedoeld voordeel voor Nederlandse toestanden van betekenis is, omdat steeds meer de overtuiging veld wint, dat lozing op onze binnenwateren slechts na vergaande oxydatief-biologische zuivering aanvaardbaar is. In uitzonderingsgevallen zou wellicht overwogen kunnen worden om bij regen wel de d.w.a. en de overcapaciteit door de eerste trap te voeren, doch de toevoer naar de tweede trap te beperken tot de maximum d.w.a. Dus een tussentijds lozing slechts voor de overcapaciteit. Dit zou echter slechts betekenen een kleinere dimensionering van de nabezinktank van de tweede fase.

Hieraan kan nog worden toegevoegd, dat ontregeling van het biologisch gedeelte slechts kan optreden in de beluchtingstank van de eerste trap. In een dergelijk geval kan na spuiing van de totale hoeveelheid slib uit dit deel van de installatie een gedeelte van het slib van de tweede fase worden benut als entmateriaal voor de eerste. Deze kan derhalve weer vrij spoedig op gang worden gebracht.

Tenslotte geeft het systeem nog de mogelijkheid om bij reparaties van één van de twee beluchtingstanks en/of de nabezinktanks het bedrijf met de resterende tanks voort te zetten. In een dergelijk geval kan nog een zuiveringspercentage van ca. 80 % worden verkregen.

Op de mogelijkheid die deze werkwijze biedt voor de fosforeliminatie zal later worden ingegaan.

Tegenover deze voordelen staan uiteraard de aanleg en het bedrijf van een extra nabezinktank. De beide nabezinkbassins moeten dezelfde afmetingen hebben. Dit vloeit voort uit de eis om tijdens reparaties nog met het blijvende gedeelte van de installatie een gedeeltelijke zuivering te kunnen realiseren.

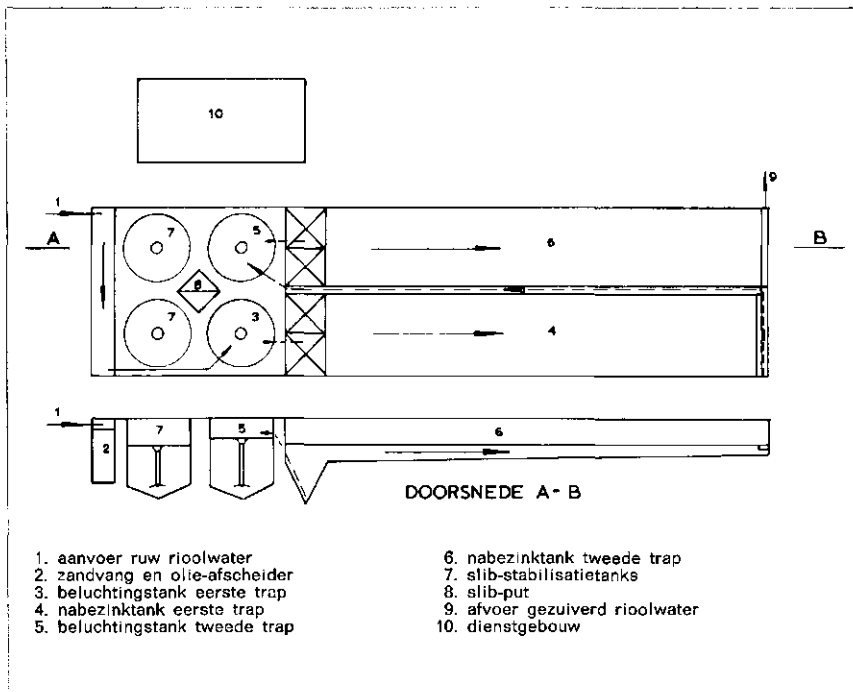
Het tweetrappige beluchtslibstelsysteem is

als het ware nieuw leven ingeblazen door een onderzoek van de zuivering van het afvalwater van de cellulosefabriek Attisholz AG te Luterbach (Zwitserland). Cellulosefabrieken behoren tot de „groot producenten” van vloeibare afvalstoffen. Meer dan de helft van de in het bedrijf ingevoerde grondstof (hout) en hulpstoffen (zwavel en kalk) komt in de vloeibare afval terecht. De eisen, die van overheidswege aan het onschadelijk maken daarvan worden gesteld, hebben ertoe geleid dat drie van de vier cellulosefabrieken in Zwitserland het bijltje erbij neer hebben moeten leggen. Slechts Attisholz is het gelukt het hoofd boven het afvalwater te houden, dank zij het speurwerk, dat geleid heeft tot een oplossing, die zowel door de kantonale overheid als door de federale regering en de benedenstrooms liggende kantons kan worden aanvaard. De algemeen gebruikelijke werkwijze voor dergelijke bedrijven is het verdampen van de afvalloog, die ontstaan is bij het ontsluiten van het hout, en vervolgens verbranden van het residu. De verdere ontwikkeling van de bemoeiingen van de overheid t.a.v. de milieubescherming in Zwitserland hebben er echter toe geleid, dat de opvatting als zou met de indamping en verbranding van de afvalloog het vuilwaterprobleem zijn opgelost tot een illusie is verworpen. Er blijven namelijk nog een aantal bronnen van vervuiling over en wel:

a. het afvalwater, dat ontstaat bij de verwerking van de ontsloten grondstof tot een verhandelbaar product. Het voornaamste verontreinigende bestanddeel van dit afvalwater is vezemateriaal, dat door bezinking voor een groot deel verwijderd kan worden. De hierna resterende vloeistof is echter nog te sterk vervuild om zonder verdere behandeling te kunnen worden geloosd.

b. het afvalwater, dat bij eventuele utilisatie van de afvalloog ontstaat. Attisholz is van oordeel, dat een alcoholgisting en een torulagistproductie hier financieel de meest aantrekkelijke oplossingen bieden. Doch de afwerking en de zuivering van deze producten vereist water, dat vervuild moet worden afgestoten.

c. het afvalwater van de blekerij. De vervuiling van dit water is afhankelijk van de graad van ontsluiting van het hout en van de kwaliteit van het eindproduct. Voor de betere kwaliteiten cellulose gaat men minder ver met de ontsluiting door toepassing van lagere kooktemperaturen. Het halfproduct bevat dan echter vrij veel lignine en hemicellulosen. Deze stoffen moeten dan door het bleckproces worden verwijderd, waardoor het blekerijafvalwater sterk verontreinigd wordt. Het aandeel van dit afvalwater in de totale vervuiling van de vloeistoffen, die overblijven na indamping en verbranding van de afvalloog, bedraagt 5 tot 7 %.



- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. aanvoer ruw rioolwater      | 6. nabezinktank tweede trap    |
| 2. zandvang en olie-afscheider | 7. slib-stabilisatietanks      |
| 3. beluchtingstank eerste trap | 8. slib-put                    |
| 4. nabezinktank eerste trap    | 9. afvoer gezuiverd rioolwater |
| 5. beluchtingstank tweede trap | 10. dienstgebouw               |

Afb. 1 - Schema van een zuiveringsinstallatie voor gemeentelijk rioolwater volgens het systeem Attisholz, waarbij de twee zuiveringstrappen naast elkaar zijn geplaatst, met rechthoekige nabezinktanks.

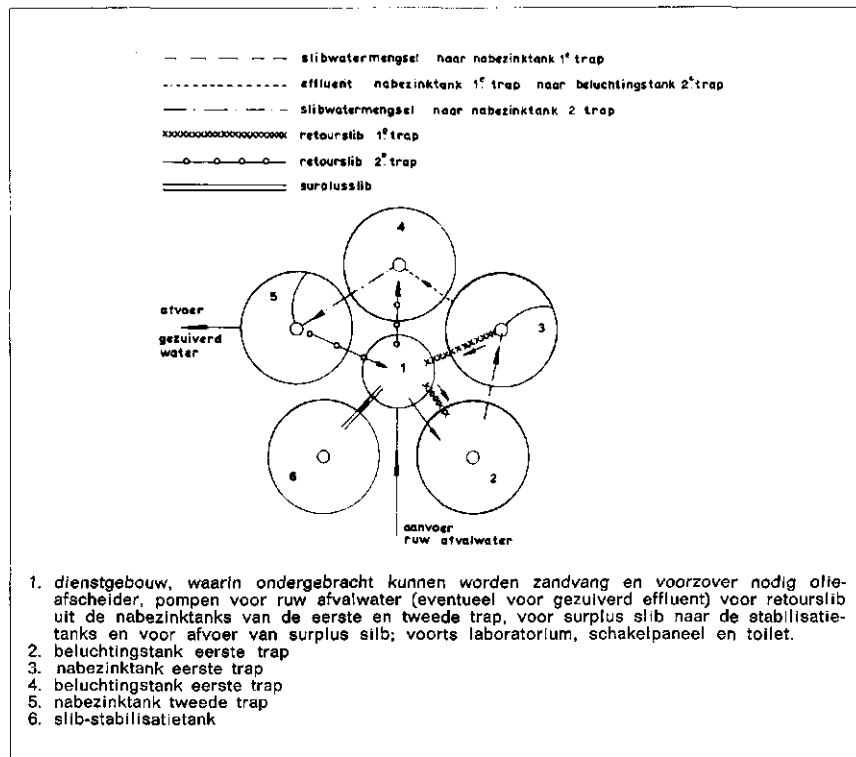
d. de condensaten, die ontstaan bij de indamping van de afvalloog. Deze bevatten in hoofdzaak azijnzuur en verder o.a. methanol en furfurol. Te Attisholz wordt een deel van deze stoffen met name cymol, furfurol, methanol en acetaten — in totaal rond 250.000 kg per jaar — teruggewonnen. Dit betekent natuurlijk een belangrijke vermindering van de hoeveelheid verontreinigende stoffen in de condensaten. Ruwweg levert de verwerking van 1 ton naaldhout ruim 30 kg BOD op in dit afvalwater. Wordt echter loofhout als grondstof gebruikt dan kan dit cijfer stijgen tot het viervoudige.

e. Ook bij het schillen van het hout bij toepassing van de natte methode ontstaat afvalwater. In Midden Europa wordt meestal de droge methode gebruikt.

Uiteraard tracht men door recirculatie van de afgewerkte kookloog, eventueel na behandeling daarvan, het in te dampen volume zo laag mogelijk te houden. Hieraan worden vanzelfsprekend grenzen gesteld door de toenemende vervuiling van de kookloog. Hierbij moet vooral worden voorkomen, dat zich daarin stoffen ophopen, die het kookproces ongunstig beïnvloeden. Door indampen van de afvalloog en verwerking van de condensaten is Attisholz er in geslaagd het oorspronkelijke verlies van 51,5 % van de grondstof in het afvalwater terug te brengen tot 9 %. Dit resultaat is evenwel nog onvoldoende om te voldoen aan de door de kantonale overheid gestelde eisen. Hierdoor werd het bedrijf gedwongen naar mogelijk-

heden te zoeken voor de zuivering van bovengenoemde restvloeistoffen. Deze werden gevonden in de tweetrappige behandeling volgens de belucht slib methode. Gebleken is dat dit systeem ook voordelen biedt voor de reiniging van huishoudelijk afvalwater al dan niet

Afb. 2 - Schema van een zuiveringsinstallatie voor industrieel afvalwater volgens het systeem Attisholz met ronde tanks.



1. dienstgebouw, waarin ondergebracht kunnen worden zandvang en voorzover nodig olie-afscheider, pompen voor ruw afvalwater (eventueel voor gezuiverd effluent) voor retourslib uit de nabezinktanks van de eerste en tweede trap, voor surplus slib naar de stabilisatietanks en voor afvoer van surplus slib; voorts laboratorium, schakelpaneel en toilet.
2. beluchtingstank eerste trap
3. nabezinktank eerste trap
4. beluchtingstank tweede trap
5. nabezinktank tweede trap
6. slib-stabilisatietank

gemengd met industrieel afvalwater. Afb. 1 geeft een schema van een installatie volgens deze werkwijze en wel voor het geval, dat het gemeentelijke rioolstelsel volgens het gecombineerde systeem is uitgevoerd en dus grote hoeveelheden regenwater mede biologisch gezuiverd moeten worden. De slibstabilisatie geschiedt in afzonderlijke tanks, eventueel na indikking.

Voor de behandeling van geconcentreerd industrieel afvalwater ligt de verhouding tussen de oppervlakten van beluchtingstanks en nabezinkbassins geheel anders. Wanneer deze oppervlakten elkaar in omvang benaderen, geeft een opstelling met ronde tanks, als schematisch aangegeven in afb. 2 een clogante oplossing. Deze heeft tevens het voordeel van zeer korte water- en sibleidingen. In het centraal geplaatste dienstgebouw kunnen dan behalve de pompinstallaties voor water en slib het rooster, de zandvang en voorzover nodig de olievanger ondergebracht worden.

De afb. 3 en 4 geven een indruk van het uiterlijk van de ARA-installaties met rechthoekige nabezinktanks voor gemeentelijk rioolwater.

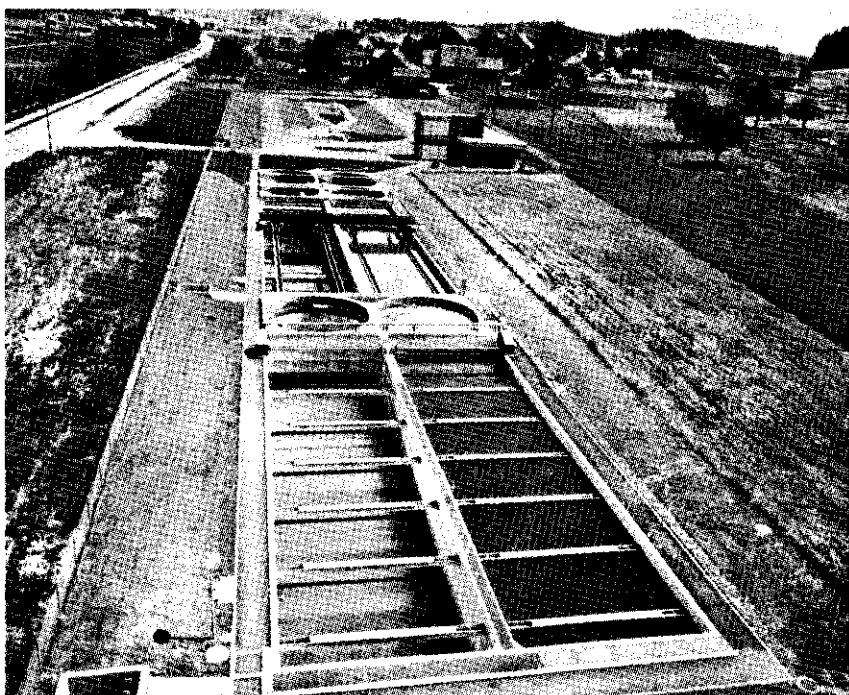
Het afvalwater wordt, eventueel na passage van een zandvang en een olieafscheider, direct naar de beluchtingstank van de eerste trap geleid. Ook dit is geenszins een nieuwe werkwijze. In optima forma is dit door Pasveer toegepast in de oxydatiesloten. Maar in Amerika is men reeds vóór de tweede wereldoorlog gegaan in de richting van een gedeeltelijke voorreiniging. In de be-

kende Southwest Sewage Treatment Plant van Chicago, een van de grootste zuiveringsinstallaties ter wereld, waarvan het ontwerp in 1934 gereed kwam, is de gemiddelde verblijftijd van het rioolwater in de voorbezinkbassins slechts 34 minuten. Deze tijd kan gedurende piekbelastingen dalen tot slechts ruim 20 minuten. Onder deze omstandigheden is het bezinkingseffect relatief gering.

Wel kenmerkend voor het door Attisholz ontwikkelde systeem is een hoge slibbelasting en een hoog slibgehalte, namelijk ca. 10 g/l, in de beluchtingstank van de eerste trap. Het zuurstoftoevoervermogen wordt zodanig ingesteld, dat het zuurstofgehalte in de eerste tank laag blijft. Men spreekt van hoogstens 0,5 mg/l. Het gevolg hiervan is een hoog rendement van de beluchtingsapparatuur. Voor dit deel van de installatie wordt zelfs opgegeven een OC/load waarde van 0,5. Dit uitzonderlijk lage cijfer heeft nog geen afdoende verklaring gevonden, ofschoon wel aangenomen mag worden, dat onder de geschetste omstandigheden een vrij groot deel van de ingevoerde verontreinigingen uit het systeem wordt verwijderd met het surplus slib.

Dubach is voorts van mening, dat de mineralisatie processen bij lage zuurstofspanningen in het substraat anders verlopen dan bij hoge zuurstofconcentraties. Hij wijst daarbij als voorbeeld op de mogelijkheid, dat in eerstbedoelde gevallen de oxydatie van suikers geschiedt met als tussentrap de vorming van alcohol. Bij een dergelijke gang van zaken zou slechts de helft van de zuurstof, die bij directe oxydatie nodig zou zijn, worden verbruikt. Bovendien zou de biomassa slechts met 50 % van de anders gevormde hoeveelheid toenemen. Hoe dit ook zij, in elk geval wordt gewerkt in de eerste trap met een BOD-ruimtebelasting van 4 kg/m<sup>3</sup>/etm. Dit gemiddelde kan incidenteel oplopen tot het dubbele. Het hoge slibgehalte kan uiteraard alleen gehandhaafd worden bij een lage slibindex en een terugvoer van retourslib van tenminste 100 % van de aangevoerde hoeveelheid afvalwater. Deze vrij hoge retourslibrecirculatie, die overigens ook bij de conventionele beluchtslibinstallaties van den beginne af in Nederland gebruikelijk was, is bovendien nodig om ongewenste omzettingen in het slib tijdens het verblijf in de nabezinktank te voorkomen als gevolg van anaërobie. Ten aanzien van de zuurstofhuishouding van het actieve materiaal van de eerste trap werkt men toch al op het scherp van het mes. De juistheid van de mededeling van Dubach als zou het grootste deel van de slibhoeveelheid zich bevinden in de nabezinktank, moet dan ook bepaald worden betwijfeld.

De situatie in de tweede trap wijkt zeer sterk af van de bovenomschrevene. Het zuurstofgehalte daarin moet ca. 4 mg/l belopen, terwijl daarentegen de slibcon-



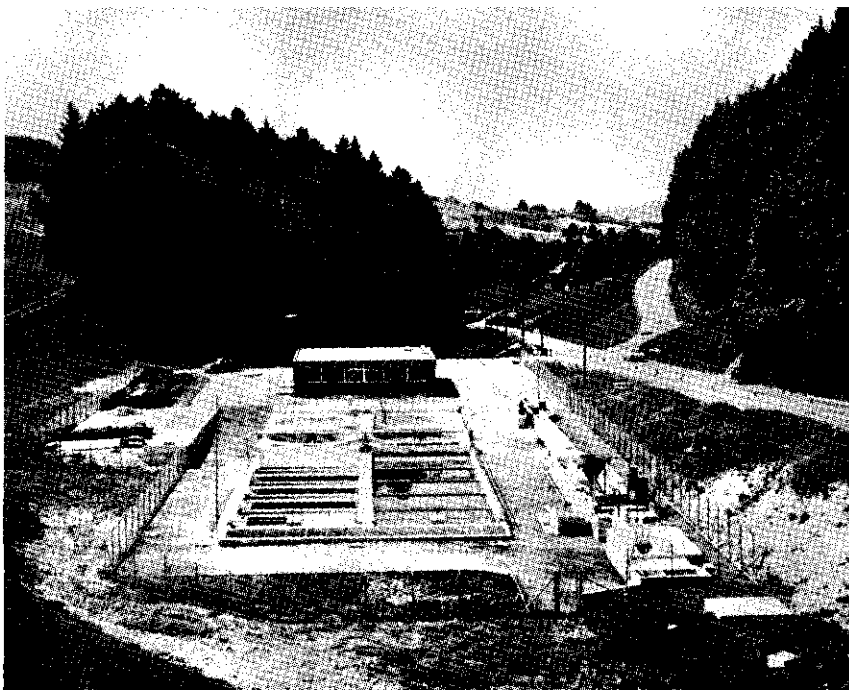
Afb. 3 - De gemeentelijke rioolwaterzuiveringsinstallatie Bossikon-Hinwil. Op de achtergrond de zandvang en het rooster; daarvoor achtereenvolgens het dienstgebouw, waarin o.m. de pasteurisatie-inrichting voor het surplus slib is geplaatst, twee slib-stabilisatietanks, twee beluchtingstanks eerste trap, twee nabezinkstanks eerste trap, twee beluchtingstanks tweede trap en twee nabezinkstanks tweede trap.

centratie veel lager is, namelijk 0,3 tot 1 g droge stof per liter.

Aangezien gerekend wordt op een zuiveringspercentage in de eerste trap van ongeveer 80 % gemeten aan het BOD-cijfer, varieert de slibbelasting in de tweede trap van 0,25 tot 0,8 kg/kg/etm.

tegen 0,4 kg/kg/etm. in de eerste fase. De OC/load wordt aangenomen op 1,25. Aangezien de belasting van de tweede trap slechts rond 1/5 van de totale BOD-aanvoer bedraagt, legt het geringere zuurstofinbrengrendement als gevolg van het hogere zuurstofgehalte hier relatief weinig gewicht in de schaal. De

Afb. 4 - De gemeentelijke rioolwaterzuiveringsinstallatie Teufen. Geheel rechts zandvang, rooster en olie-afscheider; eerste en tweede beluchtings- en bezinktrappen zijn naast elkaar geplaatst; tussen het dienstgebouw op de achtergrond en de beluchtingstanks de slib-stabilisatietanks.



„overall” OC/load zou volgens deze cijfers ca. 0,75 bedragen.

Onder de geschetste omstandigheden zou geen nitrificatie optreden. Indien een dergelijke verdergaande oxydatie wordt verlangd, zou de zuurstoftoevoer van de tweede fase belangrijk moeten worden verhoogd.

Zoals algemeen gebruikelijk wordt het surplus van de tweede trap gespuid naar de beluchtingstank van de eerste trap. Het is wel duidelijk dat de verschillen tussen de situaties in de eerste en de tweede fase van het proces tot uiting komen in afwijkingen tussen de levensgemeenschappen daarvan. Onderzoekingen van *Viehl*, van *Wuhrmann* en van *Möhle* hebben aangetoond, dat bij hoge slibbelastingen en lage zuurstofconcentraties het microbiologische beeld van het slib verschuift in de richting van de polysaprobe zone en dat omgekeerd meer oligosaprobe organismen op de voorgrond treden. Ook *Scherb* komt tot dezelfde conclusie en constateert bijv. dat de ciliaat *Aspidisca costata* bij het optreden van nitrificatie sterk toeneemt. Voorts bestaat volgens *Scherb* een oorzakelijk verband tussen de aantallen ciliaten in het slib en de doorzichtlengte van het effluent van een oxydatief biologische zuiveringsinstallatie. Deze laatste neemt toe met het aantal ciliaten. *Dubach*, die bij de ontwikkeling van het ARA-proces zeer nauw betrokken is, gaat in dit opzicht wel zeer ver. Deze auteur schrijft aan de werkzaamheid van protozoën in de eerste fase geen betekenis toe. Het zou daar uitsluitend gaan om de activiteiten van bacteriën. Voorzover protozoën in het slib van deze fase voorkomen, wordt dit veroorzaakt door de aanvoer van surplus slib uit de tweede trap en eventueel uit het ruwe rioolwater. In de tweede fase daarentegen zouden de bacteriën geen rol spelen en doen de protozoën het zuiveringswerk. De troebelheid van het effluent van de eerste nabezinktank wordt door *Dubach* toegeschreven aan de aanwezigheid van bacteriën. Indien dit inderdaad het geval is, zullen deze dan toch als conglomeraten, die door hun geringe afmetingen niet tot afzetting komen, in het effluent als zwevende stof aanwezig moeten zijn. De protozoën in de tweede fase zouden dan als bacteriënconsumenten voor de opruiming van deze organismen zorg moeten dragen en daarmee ook voor de helderheid van het afgevoerde water.

Door de verwijdering van de gesuspenderde stof door middel van filtratie wordt de BOD-waarde van het effluent van de eerste nabezinktank tot op de helft teruggebracht. Mede hieruit trekt *Dubach* de bovenvermelde conclusie. Deze moet echter beschouwd worden als een hypothese, die voorzover mij bekend niet wordt ondersteund door een nader onderzoek naar de aard van de zwevende stof. Evenmin worden van de slibsoorten in de eerste en tweede fase

vergelijkende microfoto's gegeven. Men zal dan ook voor deze verschilpunten afgaan op de meer algemeen gestelde uitspraken van de eerder genoemde auteurs.

Wel komen *Heukelekian* en *Gurbaxani* op grond van een onderzoek waarin het zuiveringseffect van normaal slib werd vergeleken met slib, waarin de protozoën onwerkzaam waren gemaakt, tot de conclusie: „Protozoa assist in clarification and appear to aid purification, but are of secondary importance to bacteria”. Dit onderzoek werd uitgevoerd onder normale condities, dus afwijkend van de situatie in de beluchtingstanks van het ARA-systeem. Over de aard van de troebeling van het behandelde afvalwater bij afwezigheid van de protozoën werd geen uitspraak gedaan.

Er zijn thans 27 installaties volgens het ARA-systeem in bedrijf voor huishoudelijk afvalwater, soms met bijmenging van industrieel afvalwater. Hiervan zijn er 14 in Zwitserland en 13 in Zweden. De capaciteiten daarvan lopen uiteen van 2.000 tot 37.500 inwonerequivalenten (i.e.). Voorts wordt in een viertal inrichtingen met een totale capaciteit van 215.000 i.e. industrieel afvalwater gereinigd in Zwitserland. In aanbouw bevinden zich in Zwitserland 2 en in Zweden 4 installaties voor gemeentelijk rioolwater en voor industrieel afvalwater één inrichting voor 140.000 i.e. (cellulosefabriek) in Zweden en twee in Italië voor resp. 4.500 en 112.000 i.e.

De gegevens over de aanlegkosten geven voor Nederland weinig houvast, omdat de prijzen in Zwitserland en Zweden in het algemeen hoger liggen dan bij ons. Evenals hier zullen de aanlegkosten per i.e. dalen naarmate de capaciteit stijgt. Voorts dient bedacht te worden, dat het waterverbruik per hoofd der bevolking in Zwitserland vrij wat hoger is dan in Nederland en dat aan de behandeling van het regenwater vrij hoge eisen worden gesteld. Voor grote industriële zuiveringsinrichtingen met capaciteiten tussen 100.000 en 200.000 i.e. (op basis van 54 g BOD per dag per i.e.) worden als aanlegkosten opgegeven bedragen tussen f 20,— en f 25,— per i.e.; evenwel zonder slibbehandeling. Ook de

relatief geringe afmetingen van de bezinkbassins als gevolg van de geringe hoeveelheden per tijdseenheid te behandelen afvalwater, werken hier kostenverlagend. De variabele bedrijfskosten zonder eventuele aankoop van chemicaliën ten behoeve van fosforeliminatie en zonder de kosten van de slijkverwerking, zijn relatief wel hoger dan bij ons. Zij variëren van 5 tot 7,5 % van de aanlegkosten per jaar. Gezien de lage investeringen zijn in absolute zin deze bedrijfskosten bepaald niet hoog te noemen.

Voor gemeentelijk rioolwater liggen de cijfers geheel anders. De volgende tabel geeft een overzicht van de aanlegkosten per i.e. en van de jaarlijkse bedrijfskosten (stroom, bediening, onderhoud, diversen) in procenten van de investering, alles weer per i.e.

Volgens *Dubach* is het energieverbruik van een ARA-installatie van dezelfde orde van grootte als dat van een conventionele inrichting met beluchtslibbehandeling bij gelijkblijvend zuiveringspercentage. Voor de beluchting van het voorbezonden afvalwater van een papierfabriek overeenkomend met rond 70.000 i.e. wordt opgegeven een dagelijks stroomverbruik van 2760 Kwh. Dit komt neer op 1,65 W per i.e. Het reinigingspercentage in het biologisch gedeelte is dan 91,8 % en het BOD van het effluent 25 mg/l. Het totale stroomverbruik bedraagt ruim het dubbele van het bovengenoemde. Voor de installaties te Hinwill en te Kirchberg wordt opgegeven, dat de stroomkosten ruim één derde van de totale bedrijfskosten uitmaken.

De hoeveelheden surplus slib variëren volgens metingen bij twee installaties over een langere periode tussen 23 en 40 g per i.e. en per dag. Hierin zijn niet begrepen eventuele extra hoeveelheden afkomstig van fosforeliminatie. Hierbij dient bedacht te worden, dat in Zwitserland een inwonerequivalent gelijk gesteld wordt aan een BOD-produktie van 75 g per dag. Merkwaardigerwijze werden de hogere produktiecijfers in de zomer gemeten, hetgeen toegeschreven wordt aan de grotere watertoevoer in de winter.

Door bezinking kan het surplus slib in-

*Aanlegkosten en bedrijfskosten van ARA-installaties in Zwitserland en in Zweden*

Installatie te	equivalentietotal	aanlegkosten in guldens per i.e.	jaarlijkse bedrijfskosten in % van de aanlegkosten
Ronneby (Zweden)	25.000 <sup>1)</sup>	130	7 <sup>2)</sup>
Umiken (Zwitserland)	3.500	215	2
Teufen (Zwitserland)	9.700	150	?
Riedholz (Zwitserland)	5.000	125	?
Märstetten (Zwitserland)	18.000 <sup>3)</sup>	100	2,5 <sup>3)</sup>
Hinwill (Zwitserland)	45.000 <sup>3)</sup>	70	1,3 <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Inclusief slibverwerking (filterpers).

<sup>2)</sup> Inclusief slibontwatering en fosforeliminatie.

<sup>3)</sup> Inclusief slibpasteurisatie.

<sup>4)</sup> Inclusief slibpasteurisatie, doch exclusief fosforeliminatie; de kosten van laatstbedoelde behandeling bedragen jaarlijks ca. 0,3 % van de aanlegkosten, in hoofdzaak aankoop chemicaliën bij toepassing van de simultaanprecipitatie.

gedikt worden tot 94 à 95 % water. De verdere ontwatering zal afhangen van de mate van stabilisatie. Het lijkt niet te verwachten, dat zich ten opzichte van andere gestabiliseerde belucht slibsoorten in dit opzicht significante verschillen zullen voordoen.

Tenslotte nog een en ander over de bestrijding van de eutrofiëring van de Nederlandse binnenwateren. Op de noodzakelijkheid daarvan is o.m. gewezen door *Leentvaar*. Het lijkt geen twijfel, dat men in Nederland op korte termijn en op grote schaal zal moeten overgaan tot de verwijdering van de voedingsstoffen, die aanleiding geven tot toename van de biomassa, uit het afvalwater. Hiervoor komen in de eerste plaats in aanmerking de fosforbevattende verbindingen. In een oxydatief-biologische zuiveringsinstallatie kunnen deze stoffen gedeeltelijk worden teruggehouden door adsorptie aan het bioactieve materiaal (humus of belucht slib) en door „incarnatie” in microorganismen. Volgens *Wuhrmann* bedraagt het op deze wijze bereikte zuiveringspercentage 20 tot 35 %. Hieraan wordt een grens gesteld door de koolstof-fosforverhouding in het aan het biologisch gedeelte toegevoerde afvalwater. Bij verhoging van het koolstofgehalte van het substraat door toevoeging van glucose werd bij oxydatief biologische behandeling meer fosfor in de biomassa gebonden. Op grond hiervan moet worden verwacht, dat bij het écarteren van de voorbezinking meer fosfaat zal worden gebonden in onoplosbare dus verwijderbare vorm. Toch zijn de zuiveringspercentages wat de fosforverbindingen betreft, die op deze wijze verkregen kunnen worden relatief laag. *Wuhrmann* vond hiervoor bij behandeling van het rioolwater van Zürich 25 %, *Thomas* en *Rai* kwamen tot wat gunstiger uitkomsten, namelijk in sommige gevallen althans tot 38,7 %. Beide cijfers hebben betrekking op het totale fosforgehalte. Voor de oplosbare fosfaten ligt dit percentage lager. Het op deze wijze te bereiken effect wordt in Zwitserland te laag geacht voor het tegengaan van de gevreesde eutrofiëring van de meren. En in het algemeen zal dit vrijwel overal het geval zijn. Laatstgenoemde onderzoekers stellen het vereiste zuiveringspercentage voor totaal fosfor bij lozing op Zwitserse rivieren en meren op tenminste 85 %. Dit verschijnsel is in dit land reeds vele jaren aan de orde. Het heeft o.m. geleid tot de vorming van een slijklaag op de bodem van vele voor het toerisme zo belangrijke meren door afgestorven algen en waterplanten. De door de rotting hiervan veroorzaakte anaërobie heeft zich in sommige gevallen voortgezet tot lagen van tientallen meters.

Op 1 september 1966 heeft de federale regering een poging gedaan hieraan paal en perk te stellen door het uitgeven van richtlijnen over de kwaliteit van te lozen afvalwater; in het bijzonder wordt daar-

*Fosforeliminatie in de installatie Hinwill en in 7 andere zuiveringsinstallaties (als gemiddelde)*

	Hinwill	overige installaties
Opgelost ortho-fosfaat ion (PO <sub>4</sub> <sup>'''</sup> ) in mg/l in:		
toevoer	18,6	9,35
id. id. in afvoer	1,0	1,2
zuiveringspercentage	94,6	87,—
totaal fosfor als PO <sub>4</sub> <sup>'''</sup> in mg/l in:		
toevoer	30,4	19,7
id. id. in afvoer	2,33	3,2
zuiveringspercentage	92,3	84,—

bij gewezen op het fosfaatgehalte van de te lozen vloeistoffen, dat ten hoogste 0,6 mg/l zou mogen bedragen. De tot nu toe daarvoor toegepaste werkwijze in Zwitserland bestaat in de toevoeging van ijzerzouten. Ook aluminiumverbindingen zijn daartoe in principe geschikt, doch de prijs daarvan is onevenredig veel hoger dan die van de ijzerzouten. Hierdoor worden in de eerste plaats de fosfaten in onoplosbare vorm vastgelegd en kunnen als slijkstoffen worden afgescheiden. Voorts wordt aan de extra neerslaghoeveelheden, die daarbij ontstaan, een adsorbief vermogen toegekend, waardoor ook organisch gebonden fosfaat en polyfosfaten als slijk worden geëlimineerd.

Zoals bekend bestaan er twee werkwijzen voor zover het gaat om zuivering door middel van belucht slib en wel:

- a. de zgn. simultaan precipitatie, waarbij het neerslagmiddel toegevoegd wordt hetzij aan het beluchtingsbassin, hetzij aan de toevoer naar de nabezinking;
- b. de zgn. separate neerslagmethode.

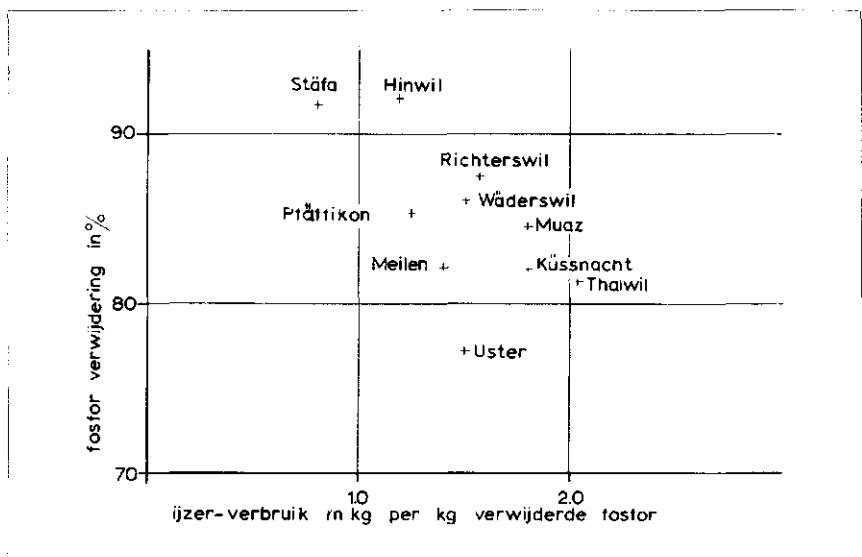
Hierbij geschiedt de chemicaliëntoevoeging aan het effluent van de nabezinktank. Deze methode vereist een afzonderlijke bezinktank met flocculatie-inrichting, bijv. een cyclator en als regel een afzonderlijke verwerking van het

daarin teruggehouden slijk. Daartegenover staat, dat deze bewerking in sterkere mate dan de simultane precipitatie bijdraagt tot een verlaging van de BOD-waarde van het effluent. Voorts is hierbij de mogelijkheid van enige ongunstige beïnvloeding van het beluchte slib door de chemicaliëntoevoeging uitgesloten.

*Wuhrmann* is van mening, dat een tweetrappige beluchtslibbehandeling, waarbij in de tweede trap het precipitatiemiddel wordt toegevoegd, beschouwd kan worden als een separate neerslagmethode. Deze opvatting is gebaseerd op de relatief geringe surpluslibvorming in de tweede fase, waardoor een onderlinge beïnvloeding van de biochemische en de precipitatieprocessen uitgesloten zou zijn. Het is echter nog geen uitgemaakte zaak of ook het andere hierboven genoemde voordeel volledig tot zijn recht komt. M.i. kan dan ook beter gesproken worden van een tussenvorm van de genoemde fosforverwijderingssystemen.

De resultaten van een onderzoek naar de fosforeliminatie bij een tiental zuiveringsinstallaties in het kanton Zurich, ingesteld door *Thomas* en *Rai* geven wel een gunstig beeld van het effect van de ARA inrichting te Hinwill. Dit blijkt in de eerste plaats uit een vergelijking van de cijfers van deze installatie met het gemiddelde van een zevental andere

*Afb. 5 - IJzerverbruik en fosforeliminatie voor een tiental zuiveringsinstallaties in het kanton Zürich.*



conventionele inrichtingen, die alle werken volgens het simultaansysteem, hetgeen impliceert een recirculatie. De desbetreffende tabel geeft daarover verdere informatie.

Ofschoon deze auteurs ook cijfers geven over de BOD-waarden van ruw en gezuiverd rioolwater, waarbij Hinwill gunstig afsteekt, kunnen daaruit geen conclusies worden getrokken omtrent extra reinigingseffecten door de toevoeging van het neerslagmiddel, aangezien vergelijkingsmateriaal ontbreekt.

Wel verstrekt dit onderzoek gegevens over het ijzerverbruik per kg verwijderde fosfor met betrekking tot het zuiveringspercentage. Een en ander is in afb. 5 weergegeven. Hinwill en Stäfa blijken in dit opzicht de gunstigste resultaten op te leveren. Enerzijds moet hierbij worden bedacht, dat het forforgehalte van het rioolwater te Hinwill hoger is dan dat van de andere gemeenten; anderzijds bestaat de mogelijkheid, dat te Stäfa het afvalwater van een aluminiumfabriek aldaar van gunstige invloed is geweest op het specifieke ijzerverbruik.

Dubach vond bij een onderzoek van een viertal ARA installaties met fosforeliminatie, dat dit specifieke chemicaliënverbruik zowel van het zuiveringspercentage als van de fosforconcentratie van het afvalwater afhankelijk is. Voorts werd een beter zuiveringseffect geconstateerd in vergelijking met installaties, waarin geen fosforverwijdering werd toegepast.

Uiteraard veroorzaakt deze ingreep een verhoogde slijkproductie, die volgens Dubach nog geaccentueerd wordt door een hoger watergehalte van het door bezinking ingedikte slijk.

In Zwitserland waren eind 1969 17 installaties met fosforprecipitatie in bedrijf, waarvan slechts één volledig volgens het separate systeem werkte. Verwacht wordt dat dit aantal sterk zal toenemen; vooral in het kanton Zürich, alwaar de overheid de betrokken maatregelen eist van alle gemeenten, die afvalwater in het neerslaggebied van de meren in het kanton lozen.

Hoezeer het treffen van dergelijke maatregelen urgent geworden is moge blijken uit de verhoogde invoer van oplosbare fosfaten in Zwitserland. Deze bedroeg in 1940 ca. 650 ton, in 1950 2500 ton en in 1965 32.000 ton. Aangenomen moet worden, dat van deze hoeveelheden het grootste deel, zo niet alles, met het afvalwater wordt afgevoerd.

Ook in Zweden houdt de bestrijding van eutrofiëring de gemeenten zwaar in beweging. Aldaar waren in 1969 een achttal installaties, in het algemeen van vrij kleine omvang, die fosforverwijdering toepasten, in bedrijf, terwijl 6 inrichtingen met fosforeliminatie van wat grotere capaciteit in aanbouw of in project gereed waren. Meestal wordt de separate precipitatie toegepast, die een verwijdering van ca. 90 % zou geven

tegen een reductie van 70 % bij gebruik van de simultane methode.

De ARA installatie te Rönninge wordt volgens mededelingen van de Zweedse Rijksdienst voor natuurbescherming beschouwd als een separate methode. Bij normaal bedrijf bedraagt in deze installatie de vermindering van het totale fosforgehalte ca. 90 %. In vergelijking met andere oxydatief-biologische zuiveringsinstallatie met fosfor-eliminatie in Zweden neemt Rönninge wat de totale jaarlijkse kosten betreft bij gelijkblijvend effect een gunstige plaats in, namelijk met f 12,50 per i.e. tegen gemiddeld

f 38,— per i.e. voor een drietal andere inrichtingen.

Het schijnt dat in Zweden door de Staat geen bepaalde eisen aan de behandeling van afvalwater worden gesteld. Wel blijkt de omvang van het Rijkssubsidie afhankelijk te zijn van de graad van zuivering, gemeten zowel aan de BOD-afbraak als aan de fosforeliminatie, beide uitgedrukt in procenten van de concentraties van het ruwe rioolwater. Deze bijdragen worden alleen verleend in de investeringskosten en variëren van 30 tot 50 % daarvan.

#### Literatuur

1. Hopmans, J. J. *Overzicht van de geschiedenis van de verwijdering en onschadelijkmaking van de vloeibare afvalstoffen*, Land en Water 1959, nrs. 3 en 4.
2. Montgomery, J. A. *Sewage Work Journal* september 1941, p. 105.
3. Tribler, H. A. en Harding, H. G. *Proc. 4th Ind. Waste Conference*, Purdue University 1949, p. 670.
4. Lugt, M. van der *Enkelvoudig werkende of in serie geplaatste hoogbelaste oxydatiebedden*, H<sub>2</sub>O, 1971, nr. 6, p. 128.
5. Wishart, J. M. en Wilkinson, R. J. & *Proc. Inst. f. Sew. Pur.* 1941, p. 15.
6. Kessener, H. en Ribbius, F. J. *Comparison of aeration systems for the activated sludge process*, Sew. Works J. 6, nr. 3, 1934, p. 423.
7. Kessener, H. en Ribbius, F. J. *Beiträge zur Belüftung des Abwassers mit und ohne Belebtschlamm*, Techn. Gemeindeblatt, 37, nr. 23, 1934, 270.
8. Kessener, H. en Ribbius, F. J. *Practical Activated Sludge Research*, J. & Proc. f. Sew. Pur. 1935 I, p. 50.
9. Tomlinson, T. G. en Hall, H. *Treatment of settled sewage in percolating filters*, J. & Proc. Inst. f. Sew. Pur. 1951, p. 110.
10. Pasveer, A. *Research on activated sludge*, Sew. & Ind. Waste, 1953, nrs. 11 en 12, 1954, nrs. 1 en 2.
11. Sweeris, S. *Meting van het zuurstoftoevoermogen*, H<sub>2</sub>O, 1969, p. 610.
12. Koot, A. C. J. *De oxydatiesloot*, H<sub>2</sub>O 1971, p. 449.
13. Karper, R. *Beluchtingssystemen, Lucht- en waterverontreiniging*, Machevocongres 1965, p. 88.
14. Karper, R. *De technologie van de beluchting*, H<sub>2</sub>O 1969, p. 643.
15. Wismeyer, A. A. *Beluchting onder hoge druk*, H<sub>2</sub>O 1969, p. 650.
16. Kalbskopf, K. H. *Systeme und Wirkungsweise der Kreislaufbelüfter*, H<sub>2</sub>O 1969, p. 660.
17. Baars, J. K. *Aeratie van water met behulp van rotoren*, H<sub>2</sub>O 1969, p. 670.
18. Zeper, J. en Man, A. de *Grote oxydatiesloten type „Carousel”*, H<sub>2</sub>O 1970 p. 467.
19. Zeper, J. *Grote oxydatiesloten*, H<sub>2</sub>O 1971, p. 458.
20. Pasveer, A. *Eenvoudige afvalwaterzuivering*, De Ingenieur 1957, G. 1-6.
21. Pasveer, A. *Eenvoudige afvalwaterzuivering*, Rapport nr. 26 TNO 1958.
22. Pasveer, A. *A contribution to the development in activated sludge treatment*, J. & Proc. Inst. f. Sew. Pur. 1959, part 4.
23. Pasveer, A. *Eenvoudige zuiveringsmethode voor kleinere hoeveelheden afvalwater*, Polytechn. Tijdschrift B, 13, p. 9, 1958.
24. *Eenvoudige afvalwaterzuivering*, IG-TNO, juni 1960.
25. *De oxydatiesloot*, IG-TNO.
26. Sierp, F. *Die Biologische und chemische Abwasserreinigung mit Hilfe von Luft*, Kleine Mitteilungen nr. 5, 1927, Berlin-Dahlem.
27. Imhoff, K., Sierp, F. en Fries, F. *Duits Patent nr. 486071*, 27 april 1927.
28. Imhoff, K. *USA Patent nr. 1.717.780*, 26 april 1926.
29. Imhoff, K. *Die Gould-Stufenbelüftung bei der Abwasserreinigung mit belebtem Schlamm*, Ges. Ing. 1949, p. 393.
30. Imhoff, K. *Two stage operation of activated sludge plants*, Sew. & Ind. Waste, 1955, 1, p. 431.
31. Imhoff, K. *Das zweistufige Belebungsverfahren für Abwasser*, G.W-F, 1955, p. 43.
32. Plümer, C. H. *Der Eintrag und der Abbau der organischen Substanz mit feinblasiger Belüftung*, Münchener Beiträge B.5, 1958, p. 210.
33. Jung, H. *Zur technischen Entwicklung des Belüftungsschlammverfahrens*, Vom Wasser, B. XVIII 1950/1951, p. 207.
34. Chasik, A. H. *Activated Aeration at the Ward Island Plant*, Sew. & Ind. Waste, 29. 9. 1959, 1954.
35. Rütishauer, M. *Die Abwässer von Cellulosefabriken und Möglichkeiten zu deren Sanierung*, Chem. Rundschau 4, 1965.
36. Rütishauer, M. *Möglichkeiten und Grenzen der Reinigung von Cellulosefabrikabwässern*, Wochenblatt für Papierfabrikation, 99, nr. 17 1971, p. 684.
37. Trinkaus, W. H. *The Southwest Treatment Works*, Civ. Eng. mei 1939.
38. Viehl, K. *Der Einfluss des Sauerstoffgehaltes auf den biochemischen Sauerstoffbedarf und auf die natürliche Selbstreinigung des Wassers sowie auf die Wirkungsweise des Belebtschlammes*, Zeitschr. f. Hygiene 1940, p. 533.
39. Wubermann, K. *Ergebnisse von Grossversuchen an hochbelasteten Belebtschlamm-anlagen und Tropfkörpern*, Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, 14, 1, 1953.

## NIEUWSBERICHTEN

40. Möhlc, H. *Das hochbelastete Belebungsverfahren auf der Kläranlage Wuppertal - Buchenhoven*, GWF 96, 1955, p. 239.
41. Scherb, K. *Zur Biologie des belebten Schlammes*, Münchener Beiträge B. 5, 1958, p. 86.
42. Heukelekean, H. en Gurbaxani, M. *Effect of certain physical and chemical agents on the bacteria and protozoa of activated sludge*, Sew, W. J. 1949, p. 811.
43. Dubach, M. en Müller, E. *Das System Attisholz als Abwasserreinigungsverfahren in einem Industriebetrieb*, Intern. Jahrbuch Chem. Ind. 1969.
44. Dubach, M. *Abwasserreinigung nach System Attisholz*, Voordracht Stockholm 1966.
45. Dubach, M. *Ueber eine Weiterentwicklung der zweistufig-biologischen Abwasserreinigung*, Münchener Beiträge, B. 5 nieuw bewerkte uitg. 1968.
46. Leentvaar, P. *Het probleem van de eutrofiëring*, H<sub>2</sub>O nr. 5, 1970.
47. Wuhrmann, K. *Die dritte Reinigungsstufe: Wege und bisherige Erfolge in der Eliminierung eutrophierender Stoffe*, Schw. Z. f. Hydrologie, Pasc. 1, 1957, p. 409.
48. Wuhrmann, K. *Probleme der dritten Reinigungsstufe von Abwässern*, Inf. Blatt der FEG nr. 14, mei 1967.
49. Wuhrmann, K. *Evidence and open questions regarding phosphorremoval in biological treatment*, 4th. Int. Conf. on Water Pollution Research, Praag 1968.
50. Wuhrmann, K. *Entwurf der dritten Reinigungsstufe*, Wiener Mitteilungen, Wasser, Abwasser, Gewässer, H. 4 Weenen, 1969.
51. Thomas, E. A. en Rai, H. *Betriebserfahrungen mit Phosphorelimination bei zehn kommunalen Kläranlagen im Kanton Zürich 1969*, Schw. Zeitschrift f. Gasversorgung und Siedlungswasserwirtschaft, nr. 7, 1970.
52. Dubach, M. *Praktische Erfahrungen mit der Phosphorelimination beim Abwasserreinigungssystem Mibbis-Attisholz*.
53. Ulmgren, Lars *Erfahrungen mit Phosphorabbau in eigenen schwedischen Abwasserreinigungsanlagen*, Zweedse Rijksdienst voor natuurbescherming maart 1969.
54. Ulmgren, Lars *Phosphorelimination in den schwedischen Abwasserreinigungsanlagen*, Modern Kemi 3, 1969.
55. Golterman, H. L. *Over de fosfaatverwijdering uit rioolwater*, H<sub>2</sub>O, 1970, p. 616.