

Verlag van een studiereis naar de Verenigde Staten van Noord-Amerika, 19 augustus tot 3 september 1973

Inleiding

De afvalwaterbehandeling in de USA heeft zich tot op heden voor een overwegend deel ($\approx 60\%$) beperkt tot de mechanische zuivering. Waar aanvullende biologische zuivering plaatsvindt is deze van het hoog belaste type (75% BOD-reductie). Oxydatiebedinstallaties zijn hierbij qua aantal verre in de meerderheid. Voorts vinden in dit uitgestrekte land lagoons en stabilization ponds veel toepassing. Evenals in Europa komt men tot het besef dat de strijd tegen de voortschrijdende watervervuiling voor wat betreft de te



IR. R. KAPER
Rijksinstituut voor
Zuivering van Afvalwater



IR. A. H. DIRKZWAGER
Rijksinstituut voor
Zuivering van Afvalwater

nemen maatregelen meer inspanning vraagt dan voorheen en dat bovendien de eisen te stellen aan de te lozen effluënten stringenter dienen te zijn. Hierbij wordt men in menig stedelijk conglomeraat geconfronteerd met de problematiek van het uitbreiden en opvijzelen van door bebouwing ingesloten bestaande zuiveringsfaciliteiten.

Het gebruik van zuivere zuurstof in het beluchtslibproces blijkt het stadium van toepassing op kleine schaal reeds te zijn ontgroeid. De veel gehoorde uitspraak dat dit een gevolg zou zijn van de aanwezigheid van goedkope zuurstof door een overproductie is onjuist. De benodigde zuurstof wordt nl. ter plaatse gemaakt. Toepassing vindt vooral plaats op inrichtingen die op enigerlei wijze moeten worden aangepast, hetzij doordat hogere effluenteisen worden gesteld dan voorheen hetzij een hogere belasting moet kunnen worden verwerkt of beide en waarbij de mogelijkheid tot ruimtelijke uitbreiding in onvoldoende mate aanwezig is.

De techniek van de zgn. Advanced treatment, waarmee wordt beoogd die componenten uit het afvalwater te elimineren die met de van ouds bekende biologische werkwijzen niet of in onvoldoende mate worden verwijderd, bevindt zich over het algemeen nog in het 'pilot plant' stadium.

De South Tahoe Water Reclamation Plant is een van de weinige doch bekende voorbeelden waar de advanced treatment

op produktieschaal wordt toegepast. Hier wordt getoond wat met dit soort technieken bij de behandeling van afvalwater onder praktijkomstandigheden is te bereiken. Veel onderzoek wordt verricht onder auspiciën van de Environmental Protection Agency (EPA). Deze organisatie adviseert de overheid inzake alle aangelegenheden het milieu betreffende. Voor wat betreft de trend in de afvalwaterbehandeling voor de komende jaren ziet men die hier eerder liggen in de richting van een oxydatief-biologische behandeling aangevuld met een fysisch-chemische proces stap dan van een zuivering gebaseerd op uitsluitend fysisch-chemische klaring.

Bezocht werden de volgende organisaties en instellingen:

- Union Carbide Corporation, New York;
- UNOX-plant Lederle Laboratories (American Cyanamid), Pearl River, New York;
- Newtown Creek Pollution Control Project, City of New York;
- The EPA-District of Columbia Pilot Plant, Washington;
- National Environmental Research Center, Cincinnati;
- Morris Forman Wastewater Treatment Plant, Louisville;
- Hyperion Treatment Plant, Los Angeles;
- South Tahoe Water Reclamation Plant;
- Detroit Wastewater Treatment Plant;
- Town of Speedway, Indiana Wastewater Treatment Plant.

In het nu volgende wordt gerapporteerd over de bij deze bezoeken opgedane indrukken.

Union Carbide Corporation, New York

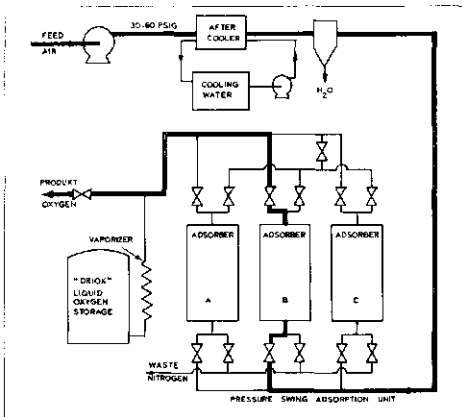
Van de Union Carbide Corporation is een systeem bekend geworden, waarbij voor de beluchting in het actief slib proces zuurstof in plaats van lucht wordt gebruikt. De zuurstof voor het zogeheten UNOX-systeem wordt ter plaatse van de zuiveringsinstallatie in een zuurstofgenerator geproduceerd. Daarbij worden twee typen onderscheiden:

South Tahoe Water Reclamation Plant.



Detroit Wastewater Treatment Plant; nabezinkbassin.





Afb. 1 - Flow diagram of a 'Lindox' PSA oxygen generating system.

- het Lindox pressure-swing adsorption (PSA) systeem voor zuurstofcapaciteiten tot 36 ton per etmaal;
- het traditionele 'Cryogenic air separation' proces voor grotere capaciteiten.

Het Lindox PSA systeem (afb. 1) is voornamelijk uit de volgende eenheden samengesteld: een lage druk luchtcompressor; de PSA-kern, bestaande uit drie of vier adsorptie-kolommen met bijbehorende leidingen en regelkleppen; stuurapparatuur en droogapparatuur voor de toelevering van schone droge lucht. De adsorptie-kolommen zijn parallel geschakeld. Het systeem maakt van meer adsorptie-kolommen gebruik om een constante stroom zuurstofgas te kunnen leveren, 3 stuks voor een capaciteit van 0 - 25 ton per dag, 4 stuks voor 0 - 25 - 36 ton zuurstof per dag. De gecompriëerde lucht wordt in de adsorptiekolommen

gescheiden in een stroom zuurstof en een stroom stikstofrijk gas; zij zijn gevuld met een korrelig materiaal (moleculaire zeef), dat door adsorptie van koolzuur, waterdamp en stikstof zuurstofgas met een relatief hoge zuiverheid levert. Op het moment dat één van de kolommen zuurstof produceert, bevinden zich de overige kolommen in opeenvolgende stadia van regeneratie. Is de moleculaire zeef verzadigd dan wordt de luchttoevoer naar een geregenereerde kolom overgeschakeld, terwijl in de oorspronkelijke zuurstof-producerende kolom het regeneratieproces op gang wordt gebracht. De adsorptie vindt onder druk plaats, de regeneratie bij verlaagde druk. Het regeneratieproces verloopt in drie trappen: 1. de druk in de adsorptiekolom wordt tot atmosferische druk verlaagd om de moleculaire zeef van 'onzuiverheden' te ontdoen en het eenvoudiger te maken de resterende verontreinigingen te verwijderen; 2. de 'zeef' wordt behandeld met zuurstof uit het proces ter verwijdering van de overgebleven vervuiling; 3. de kolom wordt weer op druk gebracht en kan voor de zuurstofproductie worden ingeschakeld.

Het 'Cryogenic air separation' proces impliceert het vloeibaar maken van lucht, gevolgd door gefractioneerde destillatie voor de scheiding van de lucht in zijn samenstellende componenten, voornamelijk stikstof en zuurstof. Het principe van het vloeibaar maken van lucht is gebaseerd op herhaalde compressie gevolgd door expansie van het gecompriëerde gasmengsel.

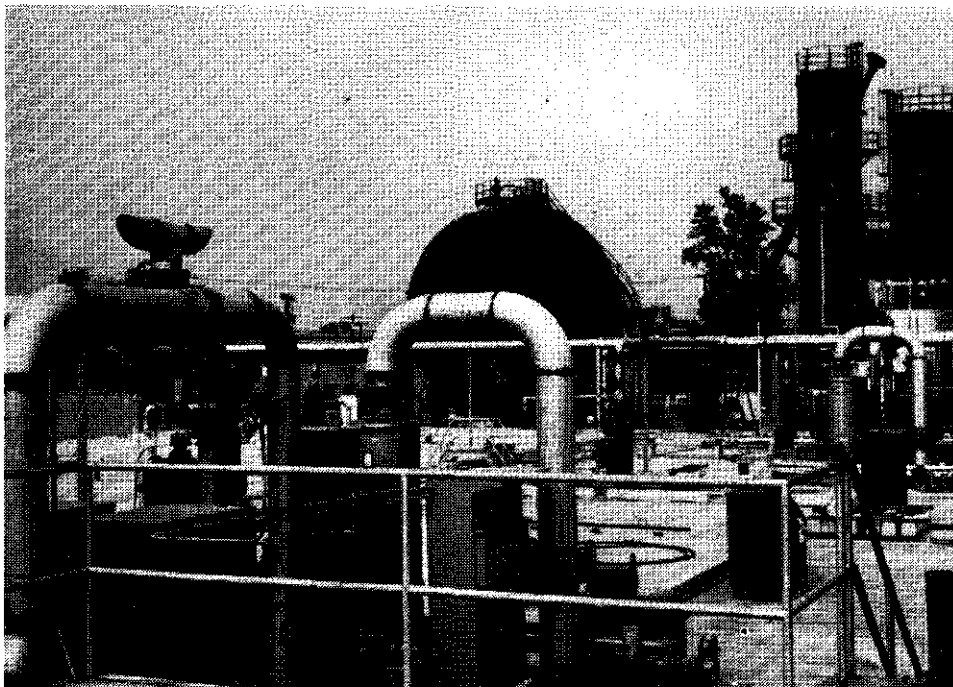
Om economische redenen heeft de beluch-

ting van het slibwatermengsel bij het UNOX-systeem in gesloten tanks plaats die in een aantal afdelingen zijn verdeeld. De zuivere zuurstof wordt met behulp van compressoren of oppervlaktebeluchters ingebracht. Wanneer compressoren gebruikt worden is een extra voorziening vereist om de tankinhoud in voldoende mate te mengen. De oplosbaarheid van gas in water is afhankelijk van de partiële spanning van het gas (wet van Henry). Daar de partiële spanning van zuurstof in de lucht slechts 160 mm Hg bedraagt, maar 760 mm Hg in zuivere zuurstof is bij gebruik van zuivere zuurstof een 4,8 x hogere zuurstofconcentratie in de oplossing mogelijk. De energie voor het oplossen wordt dus bij toepassing van zuivere zuurstof efficiënter gebruikt. Derhalve zijn aanzienlijk geringere hoeveelheden gas nodig dan het conventionele beluchttingsproces vereist. Rapporten over het gebruik van technische zuurstof tonen aan dat de toegevoerde zuurstof tot 90 % kan worden benut en dat het O₂-gehalte in de tank aanzienlijk hoger is dan in de normale actieve slib tanks, waardoor een hoger zwevende stofgehalte kan worden gehandhaafd en de BOD-ruimtebelasting kan worden opgevoerd. Als voordelen (aangegeven in de tot op heden verschenen publikaties) van de beluchting met zuurstof worden genoemd:

1. Betere bezinkbaarheid van het beluchtslib en hoge activiteit van de micro-organismen met als gevolg de mogelijkheid tot een verkorten van de reactietijd hetgeen inhoudt een hogere organische belasting bij een gegeven tankvolume resp. een geringere tankinhoud bij een bepaalde belasting.
2. Een geringere produktie van surplusslib in verhouding tot de conventionele methode waaruit een besparing op de kosten voor de slibbehandeling kan voortkomen.
3. Door afdekking van het biologisch gedeelte van de installatie en door de gereduceerde hoeveelheid gas die de installatie verlaat worden de problemen van stank, ijsvorming en een contaminatie van de omringende lucht met (ziekte)kiemen praktisch uitgesloten.
4. Een mogelijk hoger zuurstofgehalte in het behandelde afvalwater is voor het ontvangende water een voordeel.

De keerzijde van de medaille is dat speciale apparatuur is vereist; dat voor het werken met zuurstof bepaalde veiligheidsvoorschriften moeten worden nageleefd en dat het bedrijven van en het onderhoud aan de installatie minder eenvoudig is. Principieel is er geen verschil tussen een biologische zuivering met zuivere zuurstof

Detroit Wastewater Treatment Plant; cryogenic air separation plant.



	Newtown Creek	Lederle Laboratories	Speedway, Indiana
Plant flow m ³ /dag	7190	3400*	17800**
Retention Time, Hrs.	16	216	24**
Recycle Flow Fraction	0,3	10	0,3
MLSS, mg/l	5,000	10.000	7.000
MLVSS, mg/l	4,000	7.400	5,000
Mixed Liquor D.O., mg/l	8	> 6	> 6
Biomass Loading (F/M), kg BOD/kg. MLVSS - Day	0,5-0,7	0,2*	0,2**
Organic Loading kg BOD m ³ /dag	2,1-3,0	1,6*	1,0**
Influent Concentrations, mg/l			
BOD ₅	140-200	300-2.700	75-150
COD	290-440	540-4.000	250-450
SS	115-250	100-1.700	115-180
Effluent Concentration, mg/l			
BOD ₅	7-15	10-90	7-18
COD	50-90	50-300	55-100
SS	13-24	10-160	12-30
UNOX System Removals, %			
BOD ₅	90-95	97	90
COD	80-85	> 90	78
SS	> 90	> 90	85-90
Clarifier Overflow Rate, m ³ /m ² .dag	35,8	13,4	28,5
Recycle Sludge Conc., %	20	20	3,0
SVI, ml/gm	40	—	35
Oxygen Utilization Efficiency, %	92-96	90-92	90-92

* Design is for 5680 m³/dag
** Design is for 28400 m³/dag

TABEL I - UNOX system plant scale performance data.

en het conventionele actief slibproces met lucht.

In tabel I staan enige door Union Carbide verstrekte resultaten betrekking hebbend op drie bezochte installaties.

Toepassing van het UNOX-systeem is afhankelijk van lokale omstandigheden en van de kosten die met het gebruik van het systeem gemoeid zijn. Met name in die gevallen waar het gaat om verbetering van bestaande overbelaste installaties zoals te Newtown Creek kan het systeem economische voordelen bieden, vooral wanneer slechts een geringe ruimte voor uitbreiding van de installatie beschikbaar is. Verder

leent het systeem zich in het bijzonder voor de zuivering van afvalwater met een hoge organische belasting van variërend gehalte, en van afvalwater met vluchtige componenten, die tot stankbezwaren aanleiding kunnen geven.

Aansluitend aan een discussie met Union Carbide werd de UNOX-installatie van Lederle Laboratories (American Cyanamid), Pearl River te New York bezichtigd.

Behandeld wordt farmaceutisch afvalwater. Enkele gegevens betrekking hebbende op de installatie kunnen in tabel I worden teruggevonden. Het effluent van de zuiveringsinstallatie wordt naar het rioleringsstelsel

van de stad afgevoerd. Met het in werking treden van de installatie is een einde gekomen aan de vele klachten over stank in de directe omgeving van Lederle Laboratories.

Newtown Creek pollution control project, city of New York (Departement of Public Works)

De installatie Newtown Creek is ontworpen als hoogbelaste actiefslibinstallatie. De inrichting is gebouwd voor een gemiddelde waterhoeveelheid van 1.173.350 m³ per etmaal, afkomstig van 2.500.000 inwonerekwivalen van Manhattan, Brooklyn en Queens. Vanwege de beperkte ruimte (13 ha) is een compacte bouwwijze toegepast. De installatie bestaat uit de volgende units:

(roosters, pompstations), zandvangsers, actiefslibtanks, nabezinktanks, slibindiktanks, slibgistingstanks en slibvoorraadstanks. Het uitgestoste slib wordt met behulp van een vaartuig naar zee afgevoerd.

Roostergoed, zand en drijfslaag worden voor landophoging gebruikt. Het geproduceerde gas wordt voor energieopwekking benut.

Het effluent van de installatie wordt na chlorering door middel van diffusoren op grote diepte in de East River geloosd. De installatie is ontworpen voor een BOD₅ reductie van gemiddeld 60% en een zwevende stof reductie van gemiddeld 70%. De stad wordt geconfronteerd met het probleem een aan alle zijden door bebouwing ingesloten installatie zodanig te moeten aanpassen, dat een hoger gekwalificeerd effluent (90% BOD₅ reductie) kan worden afgeleverd. De oplossing van het probleem wordt gezocht in de toepassing van het UNOX proces.

Met behulp van subsidie van EPA werd een UNOX-plant voor een ontwerp-capaciteit van 75.700 m³ nog niet voorbezonden afvalwater per etmaal gebouwd. Deze 'proefinstallatie', die werd verkregen door één beluchtingsbekken van de oorspronkelijke installatie af te dekken, functioneert sinds juni 1972 naar tevredenheid.

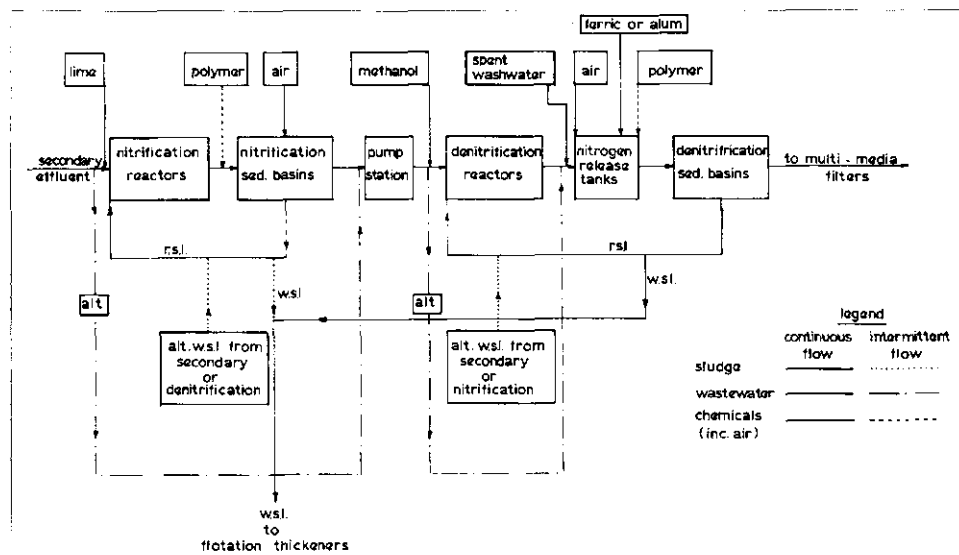
The EPA-district of Columbia (Blue Plains) pilot plant, Washington

The District of Columbia gaat de bestaande Blue Plains zuiveringsinstallatie ombouwen tot een zuiveringssysteem dat behalve mechanische- en biologische zuivering ook een ver doorgevoerde reinigingsfase zal omvatten.

Met deze installatie denkt men de volgende resultaten te verkrijgen:

BOD	van 206 mg/l	→ 4,5 mg/l
fosfor	van 8,4 mg/l	→ 0,21 mg/l
stikstof	van 22,3 mg/l	→ 2,4 mg/l

Afb. 2 - Schematic flow diagram nitrification and denitrification systems.



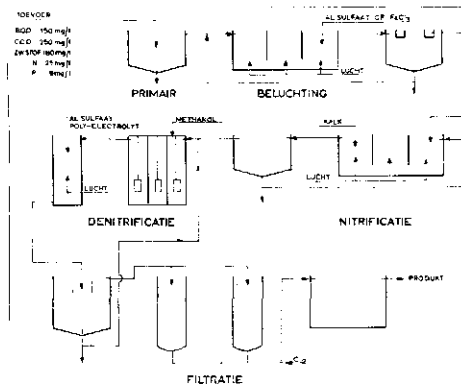
Een hoeveelheid tot tweemaal de droogweerafvoer (2 x 1.093.900 m³ per etmaal) zal volledig gezuiverd worden, de hoeveelheid daarboven tot 5 d.w.a. zal mechanisch gezuiverd en gedesinfecteerd worden.

Het actiefslibproces zal worden uitgerust met een aluminiumsulfaat- of ijzerchloride-dosering. Door deze toevoeging wordt naar verwachting een eerste fosfaatverwijdering van 60 - 70 % bewerkstelligd, alsmede een verhoging van de BOD reductie van 75 % tot 85 %. De afloop van de bezinktanks van het biologisch deel zal aan een aantal te bouwen nitrificatie- en denitrificatie-eenheden worden toegevoerd (afb. 2). Kalk zal worden toegevoegd om de invloed van het eerder gedoseerde metaalzout en van de nitraatproductie (pH-verlaging) te compenseren. Gedurende de zomer, wanneer de omstandigheden voor nitrificatie en denitrificatie gunstiger zijn dan in de winter, zal naar verwachting een aantal van deze eenheden buiten werking gesteld kunnen worden.

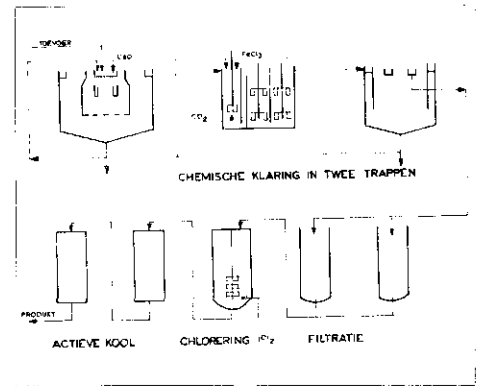
Als koolstofbron voor de denitrificatie zal methanol dienen. 'Nitrogen release tanks' zullen tussen de denitrificatiereactor en de bezinktank van deze fase worden geplaatst, voor de verwijdering van onverzadigd stikstofgas en om het verschijnsel van opdrijvend slib in de bezinktanks te voorkomen. Door beluchting zal tevens een overmaat methanol worden verwijderd. Voorts zal aan deze tanks een aluminium of ijzerzout worden gedoseerd ter verwijdering van het resterende fosfor. De afloop van het denitrificatie-systeem wordt nog behandeld in multi-mediafilters en gedesinfecteerd. De installatie zal vergaand geautomatiseerd worden. Ter voorbereiding van onder meer de hiervoor geschetste ombouw, is een intensief pilot plant studie programma in uitvoering. Dit onderzoek is een gezamenlijke aangelegenheid van EPA's Advanced Waste Treatment Research Laboratory en het District of Columbia's Department of Sanitary Engineering. Beoogd wordt ontwerpcriteria voor zuiveringsinstallaties aan het Potomac estuarium op te stellen en systemen van vergaande zuivering te ontwikkelen.

De in het onderzoekcentrum aanwezige semitechnische voorzieningen gaan uit van de twee basisbehandelingsmethodieken voor afvalwater, te weten de biochemische en de fysisch-chemische. Door combinatie van eenheden is het mogelijk diverse varianten van eerder genoemde basisprocessen te bestuderen.

De heer Bishop, die aan het National Environmental Research Center te Cincinnati is verbonden besprak aan de hand van een viertal schema's enige systemen van vergaande zuivering, waarbij de nadruk



Afb. 3 - Pilot Plant Blue Plains.

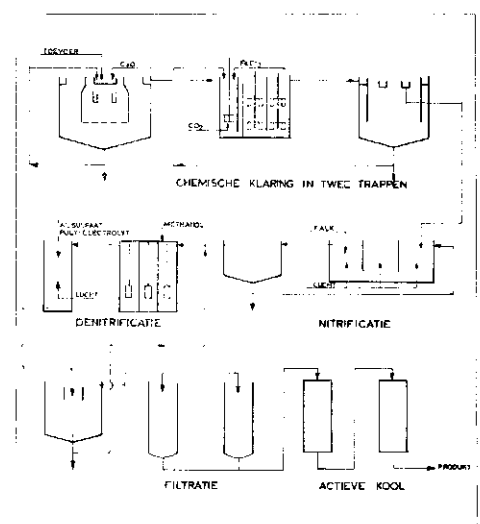


Afb. 4 - Pilot Plant Blue Plains.

ligt op de C, P en N verwijdering uit het afvalwater (afb. 3 t/m 6). Afb. 3 toont een bio-chemische benaderingswijze, afb. 4 een fysisch-chemische installatie, terwijl afb. 5 een combinatie van beide systemen laat zien. Het schema van afb. 6 tenslotte geeft de mogelijkheden met zuivere zuurstof weer.

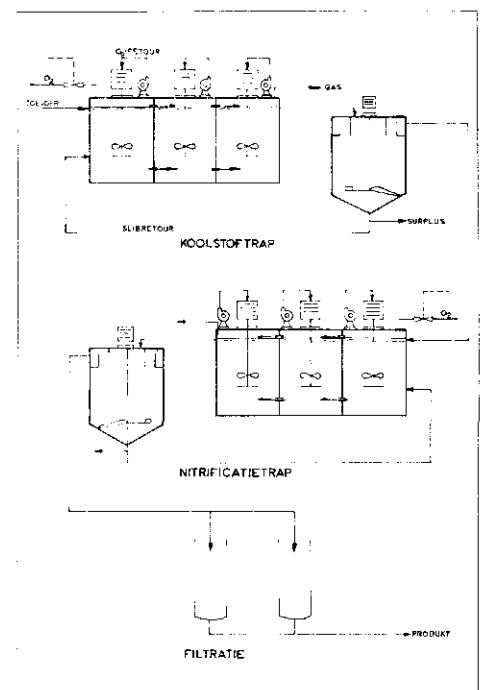
De opstelling uit afb. 3 geeft de in Blue Plains opgestelde procesgang weer voor de C-P-N eliminatie langs biologische weg. Duidelijk is hier gekozen voor een gescheiden houden van de nitrificatie en denitrificatie stap van de procesgang voor C- en P-verwijdering. De heer Bishop wees op het belang hiervan in verband met de gevoeligheid voor storingen van het nitrificatie-proces. Bovendien maakt deze opzet het mogelijk de procesomstandigheden voor iedere stap optimaal te kiezen, hetgeen onder meer tot uiting komt in de ontwikkeling van specifiek proces aangepaste micro-flora. De kalktoevoeging in de nitrificatie geschiedt voor pH-beheersing. Bij de denitrificatie wordt gebruik gemaakt van methanol als waterstofacceptor; afvalwater is, indien een hoge stikstofreductie gewenst is hiertoe minder geëigend met het oog op ammoniakdoorslag. Wil men in deze gang op kosten besparen dan is methanol te vervangen door een C en H bevattend N-vrij industrieel afvalwater. Tussen de denitrificatiereactor en de bezinkeenheid is een beluchtingstank met korte verblijftijd (30 min.) geschakeld. Het primaire doel van dit onderdeel is uitdrijven van een eventuele overmaat methanol alsmede van stikstofgas om te verhinderen dat het denitrificatieslib in de bezinktank zal opdrijven.

Poly-electrolyt wordt toegevoegd ter verbetering van de bezinkeigenschappen van het slib, de aluminiumsulfaat-dosering geschiedt ter verwijdering van nog aanwezige resten fosfaat. Ter verdere klaring van het effluent wordt dit geleid door 'mixed media' filters, waarna dit ten slotte wordt gedesinfecteerd met chloor. De totale verblijftijd van het afvalwater in



Afb. 5 - Pilot Plant Blue Plains.

Afb. 6 - Pilot Plant Blue Plains.



de geschetste procesgang bedraagt 19 h bij een nominale doorzet van 190 m³ per etmaal. Hiervan vragen nitrificatie en denitrificatie ieder 4 h.

Uitgaande van een influent met een COD = 350 mg/l, BOD = 150 mg/l, N = 25 mg/l, en P = 9 mg/l wordt een gezuiverd produkt verkregen van de volgende samenstelling:

COD = 15 - 20 mg/l
N = 1,5 mg/l
P = 0,1 mg/l

Indien gewent is de stikstof nog verder te reduceren tot 0,1 mg/l.

Door de mixed media filters te laten opvolgen door een kolom met actieve kool is een eind COD concentratie van 5 mg/l haalbaar.

Voor wat betreft het kostenaspect is te vermelden dat dit ten minste driemaal zo hoog is als voor een conventioneel zuiveringssysteem. Het proces wordt zeer bedrijfszeker genoemd.

De opstelling uit afb. 4 geeft een chemische klaring weer in twee trappen. In de eerste trap vindt door kalk en ijzerdosering C en P eliminatie plaats. In de tweede trap wordt na mixed media filtratie de stikstof verwijderd door breekpuntchlorering.

In vergelijking met de procesgang uit afb. 3 is de verblijftijd van het afvalwater in het systeem kort, nl. 7 uur; de reactietijd in de chlorinator bedraagt minder dan 1 sec. Er wordt een met het biologisch systeem vergelijkbare effluent kwaliteit verkregen. Afb. 5 is een combinatie van de twee voorgaande, in die zin dat de eerste trap van de chemische klaring wordt opgevolgd door het tweede deel (nitrificatie - denitrificatie) van het biologische systeem.

De heer Bishop heeft een zekere voorkeur voor deze werkwijze. Voor de behandeling van afvalwater uit een gemengd riolerings-systeem met zijn grote variatie in vuilconcentratie is een directe chemische klaring in verband met de dimensionering van de bezinktanks op concentratie minder geschikt.

Op te merken is nog dat de hoge pH van het met kalk geklaarde water het mogelijk maakt ammoniak te verwijderen door 'air stripping' (zie Lake Tahoe). Bij koud weer is deze handelwijze niet toepasbaar, vanwege het lage rendement.

Afb. 6 toont het processchema voor het gebruik van zuivere zuurstof in het biologisch systeem (zie ook beschrijving UNOX). Een goede beheersing van de pH van het beluchtslibwatermengsel is nodig in verband met een toename van de CO₂-concentratie in de loop van het biologisch afbraakproces. Het aanbrengen van apparatuur voor de detectie van en alarmering bij het aanwezig

zijn van vluchtige koolwaterstoffen in het aangevoerde afvalwater is vanwege explosiegevaar noodzakelijk.

National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio

De directeur van het National Environmental Research Center (NERC), dr. A. W. Breidenbach gaf een beknopte uiteenzetting over de doelstelling en de organisatie van het Environmental Protection Agency (EPA). De EPA is 3 - 4 jaar geleden in het leven geroepen ten einde de president van de USA over milieuzaken te adviseren, in technisch en in politiek opzicht ('how far can people go'). De EPA oefent o.a. controle uit op de 'standards' van de Staten en heeft ten aanzien van onderzoek in de USA een coördinerende taak. Bepaalde onderzoeken kunnen door een financiële bijdrage geëntameerd worden.

Het National Environmental Research Center behoort tot de Environmental Protection Agency.

Het NERC doet weinig aan werkelijke fundamentele research. De basis research wordt door een andere rijksinstelling verricht, de National Science Foundation. Het NERC heeft tot taak de toegepaste research. 1. health effect research; 2. ecological effect research; 3. technology development en 4. monitoring development zijn de zaken, die de aandacht vragen. Met dr. R. L. Bunch en R. C. Brenner werd over de onderwerpen: beluchting met zuivere zuurstof, nitrificatie-denitrificatie en fosfaatverwijdering gediscussieerd. Brenner ziet voor de beluchting met zuurstof economische voordelen, wanneer bestaande overbelaste biologische installaties moeten worden verbeterd, zoals te Newtown Creek. De resultaten van Newtown

Creek zijn niet rechtstreeks voor andere installaties te gebruiken aangezien het afvalwater niet wordt voorbezonden. Dit heeft o.a. tot gevolg dat de slibproductie verhoogd wordt. Het systeem maakt een grote spreiding in de belasting mogelijk. Het is waarschijnlijk, dat vele beslissingen om dit systeem te bouwen niet zo zeer op economische gronden gemaakt worden als wel op basis van de grote betrouwbaarheid en stabiliteit van het proces en het snelle herstel van het biologische systeem na ontregeling door giftige stoffen.

Stikstofverwijdering door middel van ammoniak-strippen is met het oog op klimatologische omstandigheden voor ons land niet aantrekkelijk. Breekpunt-chlorering is een mogelijkheid voor de verwijdering van stikstof, het is echter een kostbaar proces. Voor Nederland lijkt het onder 'Blue Plains' beschreven biologische systeem met nitrificatie gevolgd door denitrificatie vooralsnog het meest doelmatig.

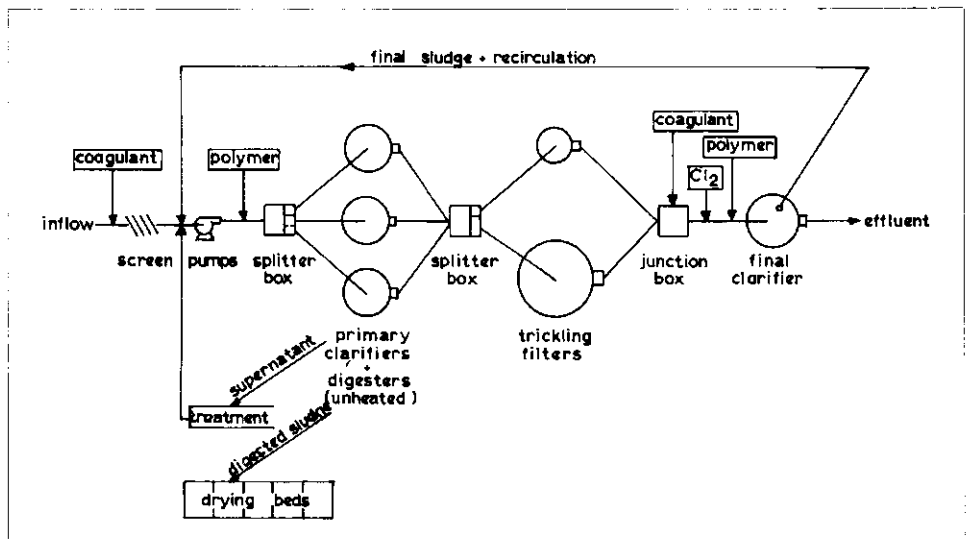
De fosfaatvrucht wordt in de USA door Bunch op 1590 gram per inwoner per jaar, als P gemeten geraamd. Deze waarde komt overeen met 4,4 g/inw. etm. Van deze 4,4 g zou 1,5 g afkomstig zijn van de excrementen.

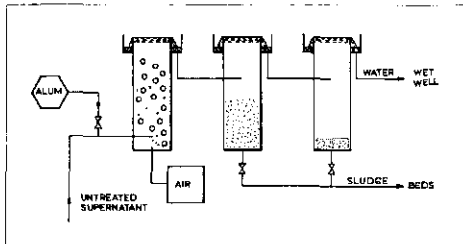
Ten behoeve van het 'Office of Research and Development' van de EPA is door NERC een onderzoek verricht naar rendementsverhoging op een oxydatiebedinstallatie met behulp van chemische-precipitatie (afb. 7).

Enige conclusies met betrekking tot de onderhavige studie zijn:

1. De toevoeging van aluminiumsulfaat in vloeibare vorm voor de nabezinktank bleek het meest eenvoudig en efficiënt. Een mol-

Afb. 7 - Plant modified for chemical addition.





Afb. 8 - Improved continuous supernatant treatment system.
(Total of 30 minutes of treatment included chemical treatment plus two-stage setting. Operation became largely unattended.)

verhouding $\frac{\text{Al}}{\text{P (ruw afvalwater)}}$ van $\frac{1,6}{1,0}$ leverde een concentratie van 0,5 mg/l voor fosfor, 5 mg/l voor BOD₅ en 7 mg/l voor zwevende stof in het effluent van de installatie op. De overeenkomstige waarden zonder chemische behandeling waren: 8 mg/l P, 20 mg/l BOD₅ en 15 mg/l zwevende stof. Het aangevoerde onbehandelde afvalwater had de volgende samenstelling: 11 mg/l P, 166 mg/l BOD₅ en 155 mg/l zwevende stof.

2. Verhoging van de vlokmiddel-dosering ten opzichte van genoemde mol-verhouding tot 50 % en meer leverde slechts een geringe verbetering in de resultaten op.

3. De dosering van het aluminiumsulfaat voor de voorbezinktanks was minder effectief dan de toevoeging voor de nabezinktanks.

4. IJzerchloride vertoonde een minder goede werking dan aluminiumsulfaat.

Zelfs bij een mol-verhouding $\frac{\text{Fe}}{\text{P}} = \frac{2}{1}$ bleef de kwaliteit van het effluent beneden die bij de behandeling met aluminiumsulfaat.

5. Polymeren hadden een gunstig effect op het terughouden van colloïdale deeltjes, maar waren bij de aluminium-dosering niet nodig.

6. Het bleek wenselijk de dosering van vlokmiddel met behulp van een tijd klok te regelen en aan te passen aan de fosfaat-aanvoer over het etmaal.

7. Voor een optimaal functioneren van de installatie was het noodzakelijk het overloopwater van de gistingstanks afzonderlijk te behandelen (afb. 8).

Het was mogelijk het verontreinigend vermogen van het overloopwater te reduceren tot een niveau beneden dat van onbehandeld afvalwater.

8. De vervuilingswaarde van het effluent kon met 50 % en meer worden verminderd door nabehandeling over multi-mediasnel-

filters. Door inschakelen van actieve kool adsorptiekolommen kon de verontreinigingswaarde tot 'sporenniveau' verder worden gereduceerd.

9. Door de chemische behandeling verdubbelde het volume uitgegist slib. Het slib kan echter in de helft van de gebruikelijke tijd gedroogd en geruimd worden.

In vergelijking met het onderzoek naar de fosfaatverwijdering op de installatie te Elburg (H₂O, nr. 9 van 27 april 1973) is de vlokmiddeldosering op het eerste gezicht opvallend gering:

$$\frac{\text{Al (mol)}}{\text{P (ruw afvalwater, mol)}} = 1,6 \rightarrow \frac{\text{Al (g)}}{\text{P (g)}} = 1,39$$

$$\text{en } \frac{\text{Fe (mol)}}{\text{P (mol)}} = 2 \rightarrow \frac{\text{Fe (g)}}{\text{P (g)}} = 3,6$$

in Richardson tegenover $\frac{\text{Fe (g)}}{\text{P (afloop ox. bedden, g)}} = \infty 7,5$ in Elburg.

Hierbij is aan te tekenen dat de verhoudingsgetallen van Richardson betrokken worden op de P (ruw afvalwater) en te Elburg op de P (afloop oxydatiebedden). Dit betekent dat uitgaande van een P-reductie in de biologische installatie zonder vlokmiddeldosering van 30 % de met Elburg vergelijkbare verhoudingswaarde (in g) voor Richardson op 5,15 gesteld kan worden. Bovendien vindt in Richardson in tegenstelling tot in Elburg separate behandeling van het overloopwater van de gistingstanks plaats. Bij nadere beschouwing blijkt het verschil in chemicaliedosering minder saillant dan aanvankelijk dezerzijds werd aangenomen. De toevoeging van Fe (III) bleek zoals een recent verricht onderzoek op de installatie te Elburg uitwees een gunstiger resultaat op

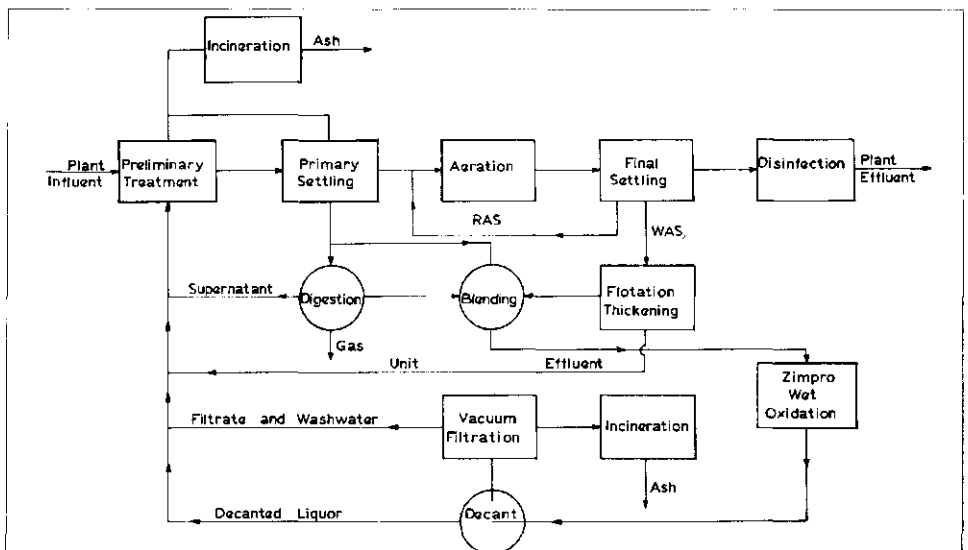
te leveren dan de dosering van het product AVR, waarvan aluminiumsulfaat de actieve component is. Voor dit kenmerkend verschil tussen de resultaten van de proefneming te Richardson en te Elburg kan geen verklaring worden gegeven. Over de vergelijking van de beide precipitatiemiddelen op de installatie te Elburg zal nog in een afzonderlijke publicatie bericht worden.

Morris Forman waste water treatment plant Louisville

In 1958 werd te Louisville een installatie voor mechanische zuivering in bedrijf genomen. De installatie was ontworpen voor een dagelijkse afvoer van gemiddeld 397.400 m³ en een piekafvoer van 1.279.300 m³ per etmaal. Op de installatie zijn ca. 1.000.000 inwonerekwivalenten aangesloten, waarvan de helft van de industrie afkomstig is. In 1969 werd met de voorbereiding tot uitbreiding van de installatie begonnen. De bouw startte in 1972 en zal naar verwachting in juli 1974 voltooid zijn.

Voor het biologisch deel van de installatie (afb. 9) werden een aantal alternatieve mogelijkheden bestudeerd. Behalve het conventionele belucht-slibproces en modificaties daarvan werd eveneens de werkwijze met zuivere zuurstof beproefd. Op grond van de ter plaatse beschikbare terreinruimte en de resultaten van de experimenten werd voor een UNOX-installatie gekozen. Het verschil in kosten tussen deze installatie en een conventionele beluchtslibinstallatie was niet van doorslaggevende betekenis. Het bezonken afvalwater zal in 5 aparte eenheden worden belucht. Elke eenheid zal uit vier compartimenten zijn opgebouwd. Het totale beluchtingsvolume zal 38.300 m³ bedragen, de beluchtingstijd gemiddeld 2,3

Afb. 9 - Morris formen waste water treatment Plant.



uur. Het gehalte aan opgeloste zuurstof in de tanks zal op een waarde van gemiddeld 4,0 mg/l ingesteld worden. De organische belasting per etmaal zal 24 g BOD₅/m³ bedragen en de slibbelasting 0,65. De voor biologische afbraak vereiste 100 ton zuurstof per dag zal door een cryogene installatie geleverd worden. De afloop van van de UNOX-installatie wordt bezonken in nabezinktanks, en zal op de Ohio River worden geloosd.

Het ontwerp van de installatie, uitgaande van een afvalwater met een gemiddelde BOD₅ en zwevende stofconcentratie van 300 resp. 400 mg/l is ten aanzien van beide parameters op 92% reductie gebaseerd. Een computer zal worden geïnstalleerd om de installatie te besturen en controle uit te oefenen op de goede werking van de verschillende onderdelen. De behoefte tot een versnelde automatisering komt voort uit de problemen rond het verkrijgen van voldoende getraind personeel.

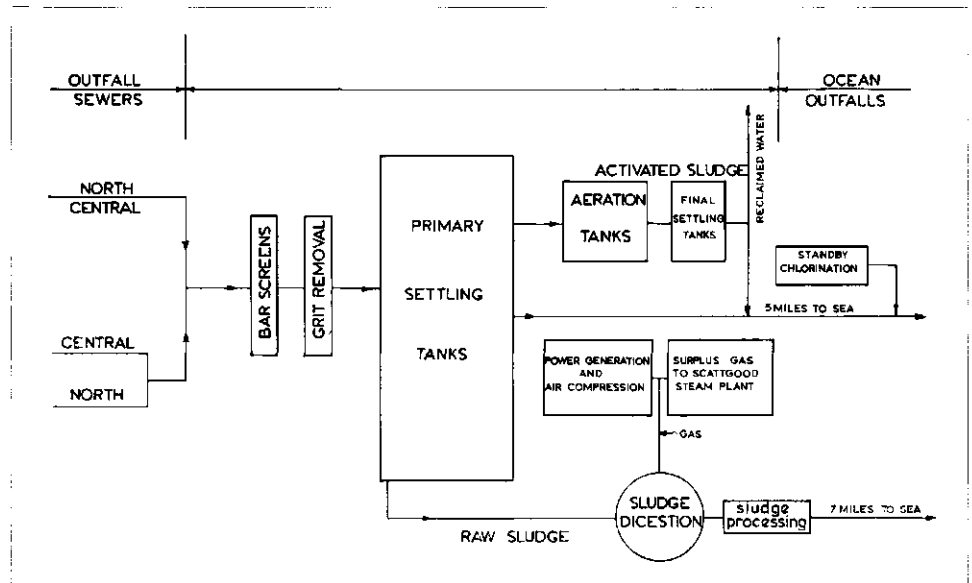
Hyperion Treatment Plant, Los Angeles

De Hyperion rioolwaterzuiveringsinstallatie is in 1950 in werking gesteld. Voordien passeerde het afvalwater alleen een roosterinstallatie. De installatie is voor een hydraulische belasting van 1.589.700 m³ afvalwater per dag ontworpen. De huidige belasting is ca. 1.305.000 m³ per etmaal. De helft van deze hoeveelheid is afkomstig van in hoofdzaak petrochemische industrieën. De in het gebied belangrijke papierindustrie beschikt in het algemeen over eigen zuiveringstechnische voorzieningen. De regentijd bedraagt slechts 3 maanden; 2 à 3 dagen per jaar wordt de afvoer door neerslag beïnvloed. Het afvalwater wordt dan ook door middel van een gescheiden rioolstelsel op de installatie aangevoerd. Het stelsel is berekend op basis van een hoeveelheid afvalwater van 570 liter per hoofd per dag, een waarde die is afgeleid van een drinkwaterverbruik van 760 liter per hoofd per dag. De BOD van het aangevoerde afvalwater bedraagt gemiddeld 250 mg/l als zodanig en 150 - 170 mg/l na bezinken en decanteren. Veel huishoudens beschikken over een 'garbage grinder'. In afb. 10 is de installatie schematisch weergegeven. Slechts een hoeveelheid van 378.500 m³ bezonken afvalwater per dag wordt in een biologische installatie behandeld. Het overige, alleen mechanisch gezuiverde afvalwater wordt tezamen met het effluent van de biologische installatie door middel van een pijpleiding van gewapend beton 8 km ver in zee geloosd, op een diepte van 60 m.

Het bezonken afvalwater kan alvorens via

de pijpleiding te worden geloosd gechloreerd worden. De chloorinstallatie wordt echter normaliter niet gebruikt. Het secundaire slib uit de nabezinktanks wordt naar de voorbezinktanks afgevoerd waar het tezamen met het primaire slib wordt afgezet, geruimd en afgevoerd naar de slibgistingstanks. De mogelijkheid bestaat het secundaire slib rechtstreeks naar de gistingstanks te transporteren of afzonderlijk te behandelen. Proefnemingen om het secundaire slib te mineraliseren hebben uitgewezen dat voor een goede slibstabilisatie ondanks het gunstige klimaat een (hydraulische) verblijftijd van 25 dagen nodig is. Menging in de gistingstanks vindt plaats met behulp van gas; de oorspronkelijke geïnstalleerde mechanische menging met propellers heeft niet voldaan. De verwarming heeft plaats door stoominjectie. Een gedeelte van het gas uit de tanks wordt aan het Department of Water and Power's Scattgood Steam Plant verkocht. De resterende gasproductie wordt voor eigen energieopwekking gebruikt. In één gistingsruimte wordt geëxperimenteerd met thermofiele gisting (= gisting bij een temperatuur van ± 55 °C in plaats van 30 °C). Het systeem levert, aldus luidt de voorlopige conclusie een beter te ontwateren slib waarmee het eenvoudiger werken is; het proces is echter zeer kostbaar. Aanvankelijk werd het gegist slib, alvorens als meststof te worden verkocht uitgewassen, geconditioneerd met ijzerchloride en ontwaterd op een vacuumfilter. Wegens de hoge kosten (\$ 20,— per ton) is deze werkwijze nu verlaten. Het slib wordt thans na gisting via een stalen pijpleiding met een diameter van 50 cm 11¼ km ver in de oceaan geloosd, op een diepte van 97,50 m.

Afb. 10 - Hyperion treatment Plant.



Onderzoek wordt verricht naar de mogelijkheid om de installatie zo vergaand mogelijk te automatiseren.

South Tahoe water reclamation plant

Het meer te South Tahoe behoort tezamen met Crater Lake in Oregon en het Bajkalmeer in Rusland van nature tot de hoogst gekwalificeerde meren in de wereld wat de waterkwaliteit betreft.

Om te voorkomen dat Lake Tahoe door menselijke activiteiten zou worden verontreinigd werd nadat vele studies waren verricht in 1968 de huidige South Tahoe Water Reclamation Plant in werking gesteld.

In het artikel 'Gezuiverd afvalwater als grondstof voor de drinkwaterbereiding', dat in het tijdschrift H₂O van 27 april 1972 is verschenen, beschrijft Dirkzwager de installatie te South Tahoe (afb. 11). Aan de slibbehandeling wordt in het onderhavige artikel, gezien het onderwerp van de publicatie geen aandacht besteed. Daarom zal dit onderwerp in de navolgende beschouwing in het kort worden behandeld. In de installatie zijn 3 soorten vaste stof te onderscheiden, te weten primair- en surpluslib, verbruikt kalkslib en uitgeputte actieve kool. Deze 3 soorten vaste stof worden alle in etage-ovens behandeld; het zuiveringsslib wordt tot onoplosbare steriele as verbrand, de actieve kool in korrelvorm wordt thermisch geregenereerd en weer in het proces ingezet, het kalkslib wordt gebrand (grecalcineerd) en opnieuw gebruikt. Het zuiveringsslib wordt tot ca. 19 % droge stof gecentrifugeerd en bij 870 °C verbrand. De gaswassers koelen het afgas tot 43 °C; er ontstaan rook noch stoompluimen, stank noch luchtveront-

reiniging. Het verbruikte kalkslib wordt door roeren tot een droge stofpercentage van ca. 20 % ingedikt, door centrifugeren tot 50 % droge stof ontwaterd en bij 1000 °C tot een gehalte aan calciumoxyde van ongeveer 50 - 85 % gerecalcineerd. De uitgeputte actieve kool wordt tot een watergehalte van 40 % ontwaterd, bij 920 °C in een atmosfeer van stoom en beperkt zuurstofgehalte geregenereerd, geblust, ontdaan van fijn materiaal en weer in het proces gebruikt. De actieve kool behoudt volledig haar oorspronkelijke activiteit en schudgewicht. Het verlies aan actieve kool kan op 5 % per kringloop worden gesteld.

Afb. 12 geeft een indruk van de resultaten. Ten aanzien van de afbeelding wordt het volgende opgemerkt:

Figuur a. Zuiveringspercentage als jaargemiddelde BOD: 99,5 %, COD: 95,5 %.

Figuur b. De zwevende stof wordt in de filters volledig verwijderd; soms geraken fijne kooldeeltjes uit de kolommen actieve kool in het water.

Figuur c. Zuiveringspercentage als jaargemiddelde 97,5 %.

Figuur d. Zuiveringspercentage als jaargemiddelde 98 %; de toename in de eerste trap is toe te schrijven aan het terugvoeren van kalkcentrifugaat naar de voorbezink-tanks.

Figuur e. Zuiveringspercentage als jaargemiddelde (incl. reservoir) 86 %; de ammoniakstrip-toren behandelt slechts een gedeelte van de toevoer en blijft bij vorst buiten werking.

De kosten voor het bedrijven van de South Tahoe Water Reclamation Plant werden door Evens en Wilson voor het jaar 1969

berekend. Zij geven het navolgende overzicht voor de installatie, die een capaciteit van ca. 28.000 m³ per jaar heeft.

Conventionele waterzuivering *	\$ 1000/m ³
bedrijfskosten	27,6
kapitaalslasten	17,8
totaal	45,4
Geavanceerde waterzuivering	
bedrijfskosten	36,3
kapitaalslasten	19,7
totaal	56,0

Bedrijfskosten, voortvloeiend uit beide zuiveringssystemen 3,1

Totale bedrijfskosten en kapitaalslasten 104,5

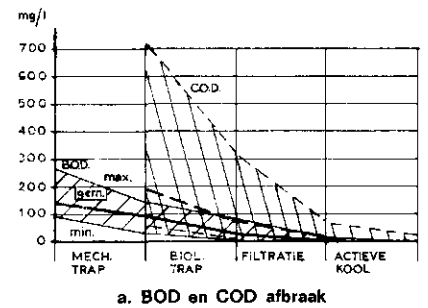
*) Inclusief de op afb. 11 aangegeven slibbehandeling, kosten voor chlorering van het effluent.

Uit dit overzicht blijkt, dat de kosten voor een geavanceerde behandeling zoals die te South Tahoe wordt toegepast weinig meer dan tweemaal de kosten voor het conventionele proces van waterzuivering bedragen. Niet iedere deskundige in de USA schijnt overigens deze mening te delen.

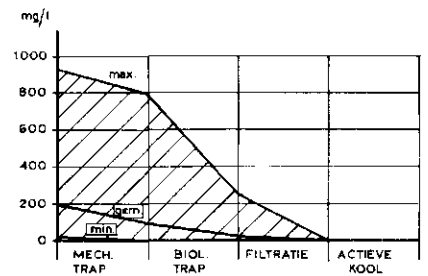
Detroit waste water treatment plant

De Detroit Metro Water Department ontwerpt zuiveringstechnische voorzieningen voor meer dan 3 miljoen personen uit ruim 70 kernen. Het afvalwater van deze kernen benadert een hoeveelheid, groot 3.028.000 m³ per dag. Deze kwantiteit wordt in één enkele zuiveringinstallatie behandeld. De staande installatie voorziet in bezinking met een voorbehandeling met polymeer en ijzer ten einde het bezinkingsproces en de fosfaatverwijdering te

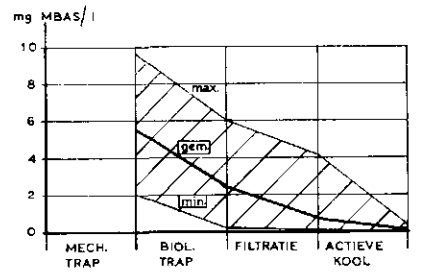
Afb. 12.



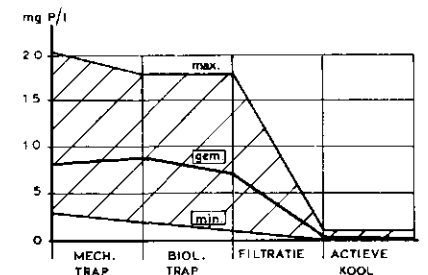
a. BOD en COD afbraak



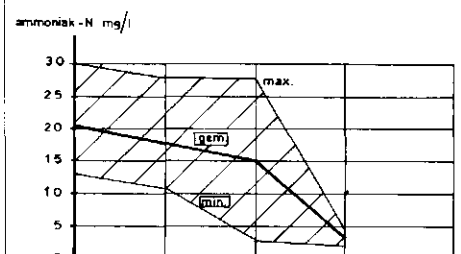
b. zwevende stof reductie



c. reductie anionactieve detergenten

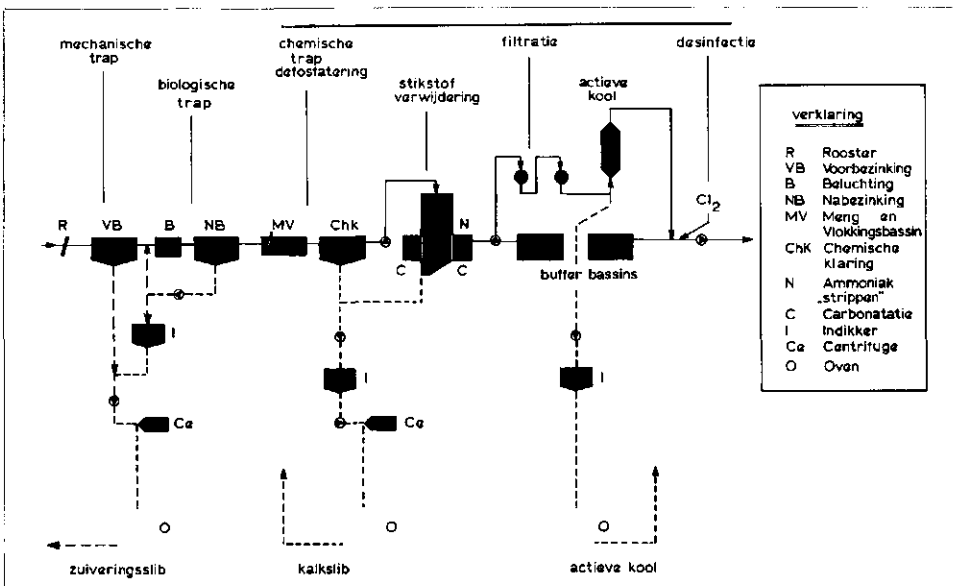


d. fosfor reductie



e. reductie ammoniak stikstof

Afb. 11 - South Tahoe Water Reclamation Plant.

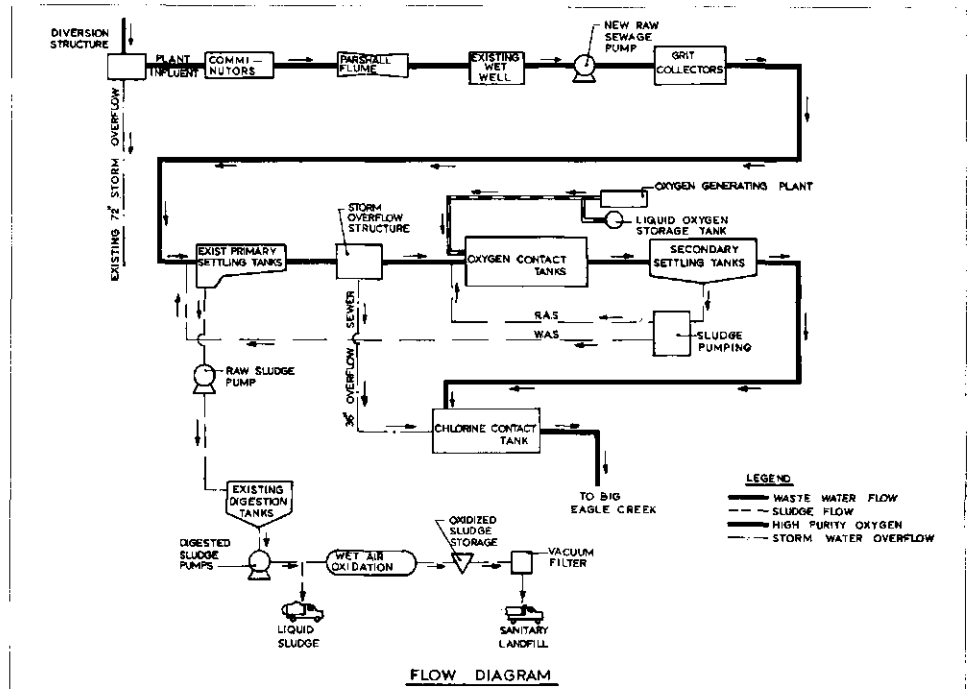


bevorderen. Het mechanisch gezuiverd afvalwater wordt daarna gechloreerd en naar de Detroit River afgevoerd. De eerste uitbreidingsfase betreft een hoeveelheid afvalwater van 1.703.250 m³ per dag.

Hierna volgende uitbreidingen zullen voorzien in behandeling van 3.974.250 m³ per dag en uiteindelijk 4.542.000 m³ per dag. De te bouwen zuiveringstechnische faciliteiten bestaan uit belucht-slibtanks met een waterdiepte van 9,15 m. Voor de beluchting zal in afzonderlijke eenheden van lucht en van zuurstof gebruik worden gemaakt; de nabezinktanks zijn ontworpen voor een oppervlaktebelasting van 65 m³ per m² per dag. Het ontwerp werd niet slechts gebaseerd op economische berekeningen, ook de noodzakelijkheid de installatie te bouwen in een woon- en werkgebied, waar slechts weinig terrein verworven kon worden en waar aandacht geschonken moest worden aan eventuele nadelen voor de bewoners speelde bij de keuze van het type installatie een belangrijke rol.

Een onderzoekprogramma toonde aan dat een 9,15 m diepe tank bij een correct gebruik van 'air lift' en duikschotten als een efficiënte beluchtingsunit gebruikt kan worden; het energieverbruik behoeft niet meer te bedragen dan voor een actief-slibtank met een conventionele tankdiepte van 4,50 m. Door de Linde Division van Union Carbide werd gesteld, dat in een belucht-slibtank van dezelfde grootte de dubbele hoeveelheid afvalwater zou kunnen worden behandeld wanneer in plaats van lucht zuivere zuurstof voor de beluchting wordt toegepast. Dit idee en een vergelijkend kostenonderzoek hebben ertoe geleid twee parallelle beluchtingsunits te bouwen, waarvan één met luchtinblazing is uitgerust en de ander met zuurstoftoevoer.

Elke unit zal bestaan uit een 202 m lange, 40 m brede en 10 m diepe actief slibtank met bijbehorende nabezinktank. Het ontwerp van de installatie is gebaseerd op 80 % BOD- en zwevende stofreductie bij concentraties van het aankomend afvalwater van 145, resp. 280 mg/l, 90 % reductie van fenol en 95 % fosfaatverwijdering. De installatie zal nog dit jaar in bedrijf gesteld worden. Na beëindiging van de bouw zullen beide beluchtings-systemen aan een grondig onderzoek worden onderworpen. De volgende vraagpunten staan daarbij voorop: de werkelijke criteria voor de beluchting met lucht en met zuurstof, de werking van de nabezinktanks en de doelmatigheid van zuurstof- en energiegebruik. De resultaten van het vergelijkend onderzoek kunnen niet voor 1974 verwacht worden.



Afb. 13 - Town of speedway waste water treatment plant.

Town of Speedway, Indiana waste water treatment plant

Afb. 13 geeft een 'flow sheet' van de installatie te Speedway, Indiana. Het ontwerp van de installatie is op de volgende grondslagen gebaseerd:

afvoer per etmaal	28.390 m ³
piekafvoer per etmaal	56.780 m ³
BOD ₅	180 mg/l = ≈ 5100 kg/etm
zwevende stof	240 mg/l = ≈ 6800 kg/etm

De reductie van BOD en zwevende stof wordt bij volle belasting op 90 % geraamd. Het afvalwater wordt via een gecombineerd rioolstelsel aangevoerd. Na passage van een verdeelput, een inrichting voor versnijding van grove bestanddelen en een meetgoot wordt het afvalwater opgevoerd door middel van drie afvalwaterpompen. Deze pompen, waarvan 1 reservepomp, hebben elk een capaciteit van 34.070 m³/etm. Vervolgens wordt het afvalwater in twee geruimde zandvangsers met een capaciteit van 74.490 m³/etm. van zand ontdaan.

Voordat de installatie werd uitgebreid waren voor de verwijdering van het zand twee beluchte zandvangsers in gebruik. Daar dit type zandvanger niet voldeed en de capaciteit van beide zandvangsers na de uitbreiding te gering zou zijn, werden ze vervangen. De voorbezinking van het afvalwater vindt plaats in 6 rechthoekige tanks; de 3 oorspronkelijke nabezinktanks werden voor de voorbezinking ingeschakeld en 3 tanks werden bijgebouwd.

Het voorbezonden afvalwater wordt belucht in een UNOX-installatie. Deze installatie bestaat uit twee units, elk met vier compartimenten. De afmetingen van elk compartiment zijn 6,71 x 6,71 x 4,88 m waterdiepte. De totale inhoud van beide units is ongeveer 1760 m³. Tabel I geeft een overzicht van de UNOX-installatie.

De PSA zuurstofgenerator kan 113 m³ zuurstof met 90 % zuiverheid leveren bij een overdruk van 0,17 at. De 8 oppervlaktebeluchters hebben elk een vermogen van 60 kW. Het afvalwater wordt na beluchting in 3 ronde nabezinktanks bezonden. Het effluent van de installatie wordt ten slotte gechloreerd. Voor dit doel is een chlorinator met een capaciteit van 680 kg Cl₂ per dag geïnstalleerd. De maximale chloordosering bedraagt volgens het ontwerp 15 mg/l. De chloorcontacttank heeft een inhoud van ca. 740 m³ bij een waterdiepte van 3 m. De verblijftijd bij de ontwerpcapaciteit (28.390 m³/etm) is 37 minuten.

Het primaire slib wordt tezamen met het in de voorbezinktanks afgescheiden surplus-slib in gistingstanks behandeld. Het uitgiste slib wordt in vloeibare vorm voor agrarische doeleinden gebruikt. Wanneer toepassing in de landbouw niet mogelijk is, kan het uitgiste slib in een zimpro-installatie met een capaciteit van 7,5 ton/etm geconditioneerd worden en daarna op een vacuumfilter ontwaterd. Het ontwaterde slib wordt in dit geval voor 'sanitary landfill' gebruikt.