

Biologische fosfaatverwijdering in een actief slib installatie

Inleiding

Recentelijk zijn enkele publicaties verschenen over biologische fosfaatverwijdering in actief slib installaties. Het verschijnsel werd het eerst geconstateerd op de 'San Antonio Rilling Plant' in de staat Texas door Vacker e.a. [1]. Het percentage fosfaatverwijdering schommelde tussen 85 en 97%. Het type installatie was een langwerpige aeratietank met persbeluchting. Het afvalwater en het retourslib stroomden het kopeinde van de installatie binnen. De slibbelasting bedroeg bijna 500 g BZV₅/kg



IR. J. H. RENSINK
Vakgroep Waterzuivering
LH Wageningen



H. J. DONKER
Vakgroep Waterzuivering
LH Wageningen



H. J. BRONS
Vakgroep Waterzuivering
LH Wageningen

slib . dag, terwijl de gemiddelde verblijftijd van het afvalwater-retourslibmengsel 6 uur bedroeg. In het eerste deel van de aeratietank was het zuurstofgehalte laag en liep halverwege tot aan het eind van de installatie op tot boven 5 mg/l.

Latere publicaties [2, 3 en 4] meldten soortgelijke resultaten bij biologische fosfaatverwijdering in Baltimore, Los Angeles en Tuscon. Eveneens in Zuid-Amerika werd een vergaande biologische fosfaatverwijdering gesignaleerd op enkele proef- en praktijkinstallaties [5, 6, 7], waarin aan het kopeinde van de aeratietank een denitrificatie zone was ingebouwd. De installaties hadden geen hoge slibbelasting en er trad een vergaande nitrificatie op. Levin e.a. [8] waren de mening toegedaan, dat fosfaatverwijdering alleen kon plaatsvinden wanneer het opgehoopte fosfaat in het slib continu werd gestript. Daartoe leidden zij het retourslib door een indikker, waar tengevolge van het ontstaan van een zuurstofloos slibwatermengsel het fosfaat uit het slib in oplossing ging. Het slib — deels ontdaan van fosfaat — werd wederom naar het kopeinde van de installatie geleid. Levin en Shapiro [9] concludeerden dat de zgn. 'luxury uptake' van fosfaat moet wor-

den toegeschreven aan de activiteit van micro-organismen. Dit bewezen zij door aan een hoeveelheid actief slib 2,4 dinitrofenol — een stof, die de oxydatieve fosforylering blokkeert — toe te voegen. Er werd dan geen hoge fosfaatopname meer waargenomen. Fuhs en Chen [10] en de auteurs van dit artikel kwamen tot dezelfde bevindingen. Fuhs en Chen [10] isoleerden bacteriestammen uit actief slib, die geleken op de *Acinetobacter-Moraxella* groep. Deze bacteriën verschillen van andere micro-organismen doordat zij grote hoeveelheden fosfaat in hun bacterieel opslaan. De granulaire opslag van fosfaat in de bacteriecel is zichtbaar te maken m.b.v. een methyleenblauw- of Neisserkleuring. De bacterie *Acinetobacter* is strikt aerob, gramnegatief, een kort, dik staafje van $\pm 1,5$ bij $2-3 \mu$ en is onbeweeglijk. De bacterie is vrij groot in vergelijking met de overige bacteriën in actief slib. In actief slib waar sprake is van biologische defosfatering, vormden de acinetobacters microkolonies die bijeengehouden werden door capsulair materiaal van een nog onbekende samenstelling.

Volgens Fuhs en Chen zouden de acinetobacters voor hun groei voorkeur hebben voor lagere moleculaire stoffen, zoals bijv. azijnzuur en boterzuur. Een ophoging van deze lagere verbindingen, zo meldden zij, doet zich voor in installaties, die in het eerste deel van de aeratietank een zeer laag zuurstofgehalte vertoonden.

Fuhs en Chen verrichtten het fosfaatonderzoek in batchproeven, die 4 uur per etmaal werden belucht. Tijdens de beluchtingsperiode werd een hoge fosfaatopname gemeten, terwijl gedurende het niet-beluchten het fosfaat wederom in oplossing ging. Ook Davelaar e.a. [11] kwamen in hun onderzoek tot de conclusie, dat een zuurstofloze zone voorafgaande aan de aerobe zone beslissend was voor een hoge fosfaatopname.

Uit eigen onderzoek [12] in batchproeven met zuivelafvalwater bleek, dat per etmaal een zuurstofloze periode begon zodra het afvalwater werd toegediend. De zuurstofloze periode was het gevolg van een aanvankelijk grotere zuurstofbehoefte dan de zuurstof-

inbreng. Het fosfaat ging tijdens de zuurstofloze periode in oplossing en werd wederom opgenomen zodra het zuurstofgehalte ging stijgen. Biologische defosfatering was mogelijk bij verschillende slibbelastingen.

Nicholls [13] onderzocht welke micro-organismen in een actief slibinstallatie met fosfaatverwijdering polyfosfaten en poly β -hydroxyboterzuur (PHB) accumuleerden. Hij constateerde, dat de strikt aerobe bacterie *Acinetobacter*, die in grote aantallen voorkwam, zowel polyfosfaten als PHB in de cel had opgeslagen. Nicholls concludeerde dat de opslag van polyfosfaten voor de bacterie een middel was om de zuurstofloze periode te overbruggen.

Sinds een jaar is de Vakgroep Waterzuivering bezig onderzoek te verrichten naar de biologische fosfaatverwijdering op semi-technische schaal op de proefinstallatie te Bennekom. Het leek ons juist de aanpak en resultaten van dit oriënterend onderzoek te publiceren.

Uitvoering onderzoek

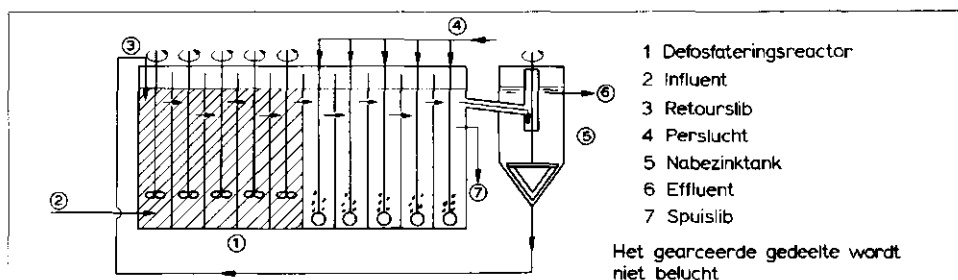
Beschrijving proefinstallatie

De zuiveringsinstallatie te Bennekom bestaat uit een langwerpige aeratietank met een nuttige inhoud van 1000 l. Zie afb. 1. De tank is in 10 compartimenten verdeeld, die door openingen — $\varnothing 30$ mm — in de tussenschotten onderling zijn verbonden. De eerste 5 compartimenten werden uitsluitend geroerd — teneinde een zuurstofloze periode in te lassen — en de daaropvolgende compartimenten werden belucht. De nabezinkruimte had een inhoud van 150 l. Een door een motor aangedreven schraper zorgde voor een gelijkmatige indikking van het slib, zodat een constante concentratie aan retourslib kon worden gegarandeerd.

Samenstelling afvalwater

Voor het onderzoek werd huishoudelijk afvalwater betrokken van de rioolwaterzuiveringsinstallatie Bennekom van het Zuiveringschap Veluwe. Nadat het afvalwater een voorbezinkruimte was gepasseerd, had dit bij droog weer-aanvoer de volgende gemiddelde samenstelling:

Afb. 1 - Een schematische voorstelling van de proefinstallatie.



CZV: 500 mg/l
 BZV₅: 300 mg/l
 N_{Kjeldahl}: 70 mg/l
 P_{totaal}: 18 mg/l
 Alkaliteit: 7 meq. HCO₃⁻/l
 pH: 7,2
 BZV₅ : N : P = 100 : 23 : 6

Belasting proefinstallatie

De biologische fosfaatverwijdering werd bestudeerd bij verschillende hydraulische belastingen, hetgeen correspondeerde met bepaalde slibbelastingen. In tabel I zijn de verschillende debieten, slibbelastingen en verblijftijden van het afvalwater in de aeratietank weergegeven.

TABEL I - Een overzicht van de procesomstandigheden bij de verschillende proefperioden.

Aanvoer l/uur	Slibbelasting g CZV/kg slib . dag	Verblijftijd afvalwater in AT in uren
35	140	30
70	280	15
100	400	10
150	600	6,5

Tijdens de experimenten werd getracht het slibgehalte in de aeratietank te handhaven op ca. 3 g/l. Overtollig slib werd continu gespuid. De hoeveelheid retourslib bedroeg 100 % van de aangevoerde hoeveelheid afvalwater.

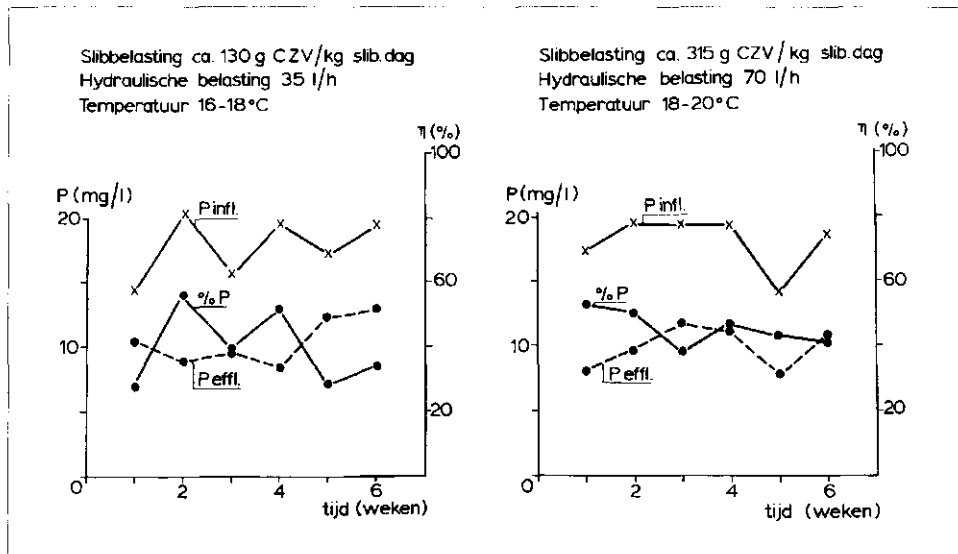
Uitgevoerde analyses

De analyses werden uitgevoerd volgens NEN 3225. Van het binnenkomende bezonken rioolwater werden de volgende analyses uitgevoerd: CZV, BZV₅, pH, N_{Kjeldahl} en P_{totaal}. Het effluent werd na filtratie geanalyseerd op CZV, pH, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, orthofosfaat en redox-potentiaal. Omdat het gebonden fosfaat al in het eerste compartiment overging in orthofosfaat werd de bepaling van het totaalfosfaat achterwege gelaten. Voorts werden van de gefiltreerde slibwatermengsels van de compartimenten 1 tot en met 5 met behulp van de gaschromatograaf lagere vetzuren bepaald. Van het slibwatermengsel werden bepaald: de bezinking van het slib, het droge stofgehalte, de gloeirest, alsmede het microscopisch beeld.

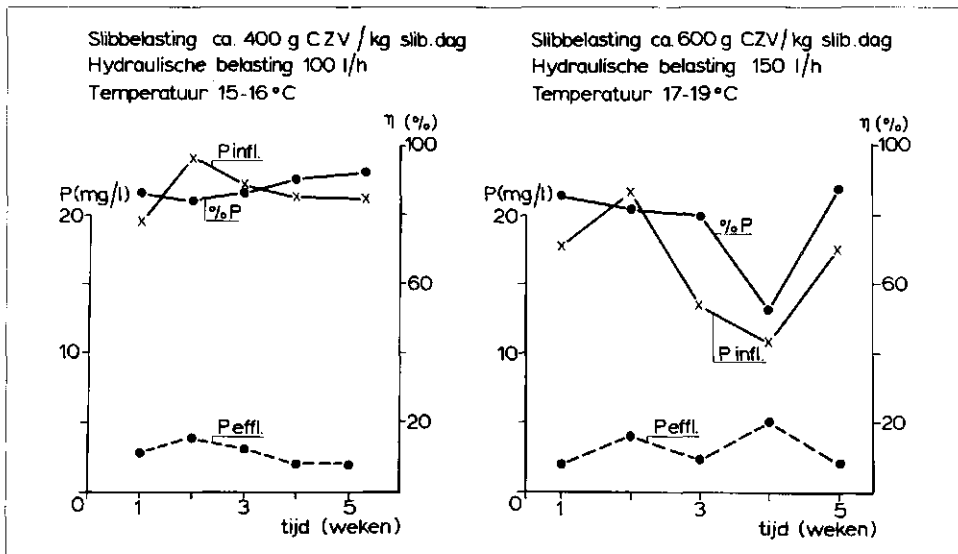
Resultaten onderzoek

Fosfaatverwijdering

In afb. 2 en 3 is het P-gehalte van influent, effluent, alsmede het percentage P-verwijdering bij de vier verschillende slibbelastingen gedurende het onderzoek weergegeven. De punten in de afbeelding zijn week-gemiddelden. De biologische defosfatering werd gestoord bij regenval; dit is wellicht



Afb. 2 - Het verloop van P-influent, P-effluent en het P-verwijderingspercentage tijdens de duur van de experimenten bij slibbelastingen van 140 en 280 g CZV/kg slib . dag.



Afb. 3 - Het verloop van P-influent, P-effluent en het P-verwijderingspercentage tijdens de duur van de experimenten bij slibbelastingen van 400 en 600 g CZV/kg slib . dag.

toe te schrijven aan een tijdelijk lagere slibbelasting. In tabel II zijn de gemiddelde P-verwijderingspercentages bij de verschillende slibbelastingen vermeld. In de laatste kolom van tabel II zijn tevens de P-verwijderingspercentages weergegeven, bij twee slibbelastingen, die zijn verkregen onder conventionele bedrijfsomstandigheden, waarbij

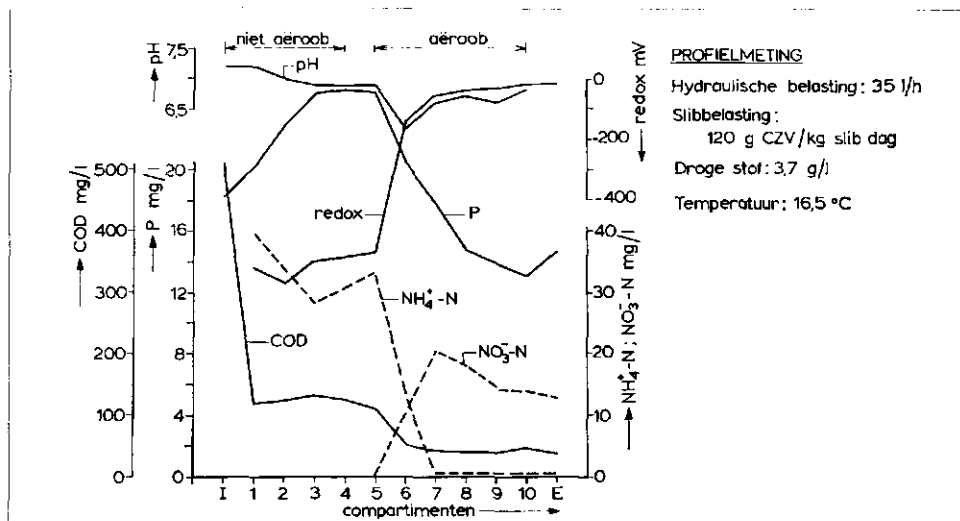
alle compartimenten werden belucht.

Verloop chemische en fysische grootheden in de verschillende compartimenten en in het effluent

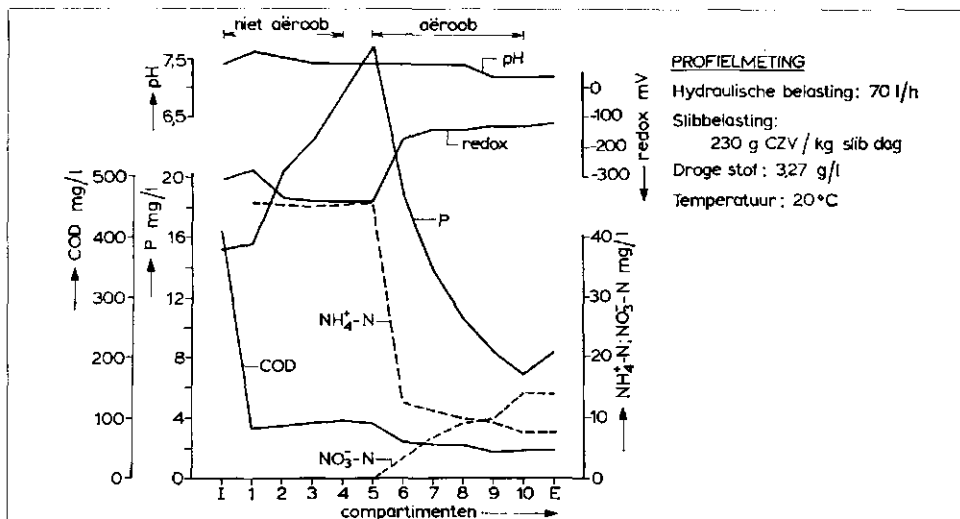
In de afb. 4, 5, 6 en 7 is ter illustratie een momentopname van het verloop der chemische en fysische grootheden in de verschillende compartimenten, in het influent en in het effluent bij de verschillende slibbelastingen afgebeeld. De momentopnamen zijn representatief voor het verloop van genoemde grootheden tijdens de duur van de verschillende experimenten. Bij alle vier slibbelastingen werd in het eerste compartiment van de aeratietank een vergaande eliminatie geconstateerd van de zich in het afvalwater bevindende organische stoffen. Het fosfaatgehalte in de zuurstof-

TABEL II - Een overzicht van de gemiddelde percentages fosfaatverwijdering bij de verschillende slibbelastingen.

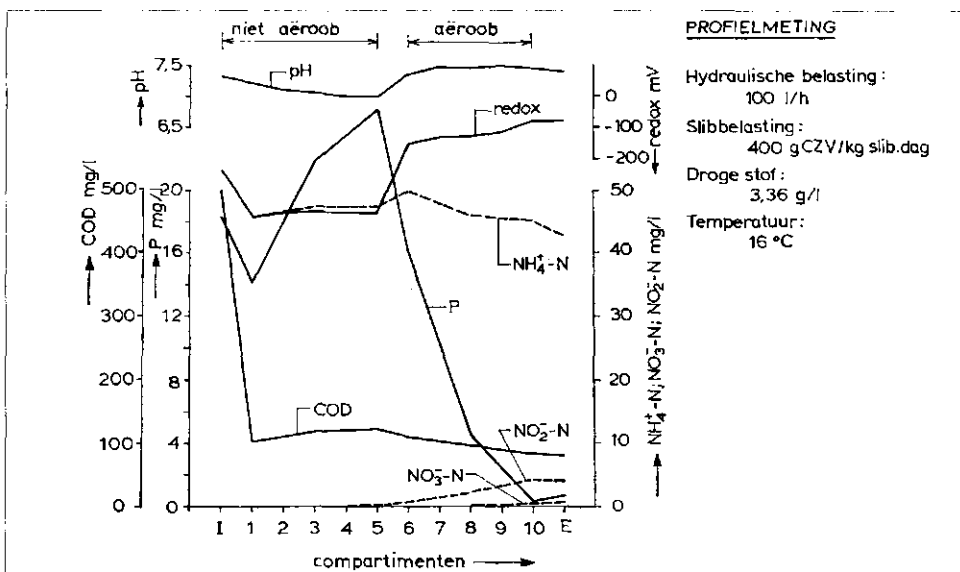
Slibbelasting g CZV/kg slib . dag	P-verwijdering in %	P-verwijdering in %, conventioneel
140	40	10
280	50	17
400	87,5	
600	80	



Afb. 4 - Een momentopname van het verloop van fysieke en chemische grootheden in de verschillende compartimenten en in het influent en het effluent, bij een slibbelasting van 120 g CZV/kg slib . dag.



Afb. 5 - Een momentopname van het verloop van fysieke en chemische grootheden in de verschillende compartimenten en in het influent en het effluent, bij een slibbelasting van 230 g CZV/kg slib . dag.



Afb. 6 - Een momentopname van het verloop van fysieke en chemische grootheden in de verschillende compartimenten en in het influent en het effluent, bij een slibbelasting van 400 g CZV/kg slib . dag.

loze zone nam toe en werd bij aankomst in de zuurstofzone vrij snel gereduceerd. De hoogte van de fosfaataf- en opname hing samen met de slibbelasting. In het effluent was het fosfaatgehalte doorgaans iets hoger dan in het laatste compartiment. Bij de lagere slibbelastingen vond er een vergaande nitrificatie en denitrificatie plaats met als resultaat een laag N-gehalte in het effluent. Bij de hogere slibbelastingen kwam de nitrificatie nauwelijks op gang, waardoor de stikstof als ammoniak met het effluent werd afgevoerd. Uit het verloop van de redoxpotentiaal is af te lezen, dat er in de zuurstofloze zone een lagere redoxpotentiaal heerste dan in de zuurstofzone. Het zuurstofgehalte bedroeg in de zuurstofloze zone nul en in de aeratiezone liep het zuurstofgehalte op van 2 tot 5 mg/l. De pH bleef over de gehele linie vrij constant. Bij alle vier slibbelastingen werden geen lagere vetzuren aangetoond.

Slibhuishouding

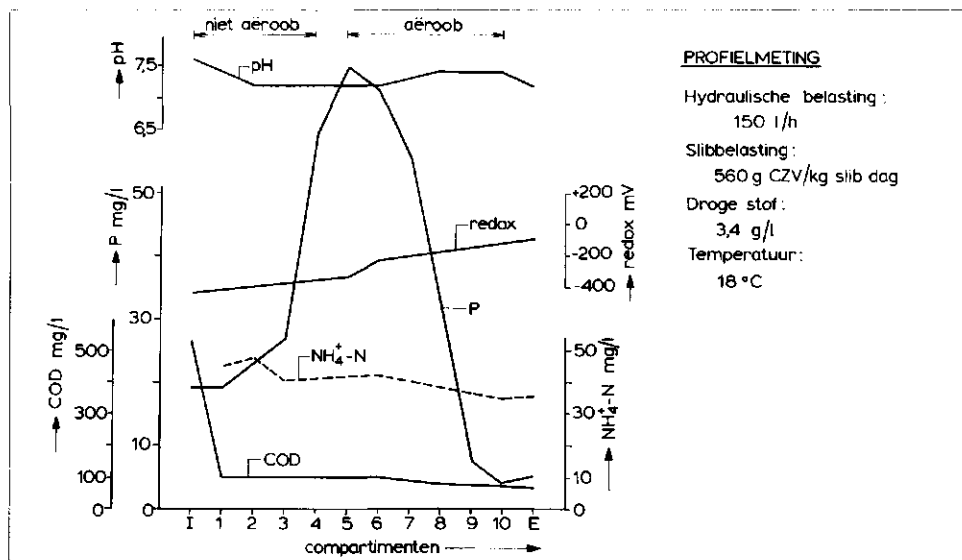
In tabel III zijn de gemiddelde waarden weergegeven van de slibindex, de slibaanwas, de slibleeftijd en het percentage groeirest en P van de droge stof. De tussen haakjes vermelde cijfers duiden op de resultaten verkregen onder conventionele omstandigheden.

Bij slibbelastingen van 140 en 280 g CZV/kg slib . dag kenmerkte het slib zich door betrekkelijk kleine vlokken met een enigszins losse structuur, waarin Microtrixdraden voorkwamen. Dit leidde tot een minder goede bezinking van het slib, ofschoon in de nabezinkruimte hiervan geen hinder werd ondervonden. Van de protozoën waren de gesteelde Opercularia's en Vorticella's in gering aantal aanwezig.

Wat de slibaanwas betrof viel op dat er geen verschil was tussen deze proefomstandigheden en de conventionele. De groeirest was bij beide slibbelastingen beduidend hoger dan bij de conventionele belastingen. Aangenomen wordt dat dit verband houdt met de verhoogde P-opname door de slibvlok. Het percentage fosfaat van de slibvlok bedroeg bij een slibbelasting van 280 g CZV/kg slib . dag 5 %, terwijl bij een conventionele installatie meestal 1 à 2 % wordt gevonden.

Bij een slibbelasting van 400 g CZV/kg slib . dag bestond het slib uit vlokken met een compacte structuur. Er kwamen geen draden voor. Naast Opercularia en Vorticella kwam ook de kruipende protozoa *Aspidisca costata* voor.

Opvallend is het hoge percentage groeirest en P van de droge stof. Van dit slib — dat resulteerde in een vergaande P-verwijdering — zijn door Mw. Deinema — Vakgroep



PROFIELMETING
 Hydraulische belasting :
 150 l/h
 Slibbelasting :
 560 g CZV/kg slib dag
 Droge stof :
 3,4 g/l
 Temperatuur :
 18 °C

Afb. 7 - Een momentopname van het verloop van fysieke en chemische grootheden in de verschillende compartimenten en in het influent en het effluent, bij een slibbelasting van 560 g CZV/kg slib . dag.

TABEL III - Een overzicht van de slibparameters bij de verschillende slibbelastingen.

Slibbelasting g CZV/kg slib . dag	Slibindex ml/g slib	Slibaanwas g slib/g CZV	Slibleeftijd dagen	Gloeirest % v.d. dr.stof	P % v.d. dr.stof
140	220 (75)	0,24 (0,26)	30	19,7 (14)	
280	200 (100)	0,33 (0,32)	17	26,0 (14)	5,0
400	150	0,48	5,3	24,0	6,8
600	225	0,58	4,0	20,2	6,5

Microbiologie LH — foto's gemaakt (zie afb. 8 en 9). Duidelijk zijn de bacteriën waar te nemen, die verantwoordelijk zijn voor de hoge fosfaatopnamen. Bij de slibbelasting van 600 g CZV/kg slib . dag was de slibmassa uit kleine vlokken opgebouwd. Hoewel de bezinking slechter was dan bij de vorige proef, ontbraken draadvormige micro-organismen. Er kwamen zeer weinig protozoën voor. In vergelijking met de slibbelasting van 400 g CZV/kg slib . dag was de slibaanwas hoger en de gloeirest lager. Het percentage P van de droge stof was nagenoeg gelijk aan dat van het vorige experiment.

Conclusie

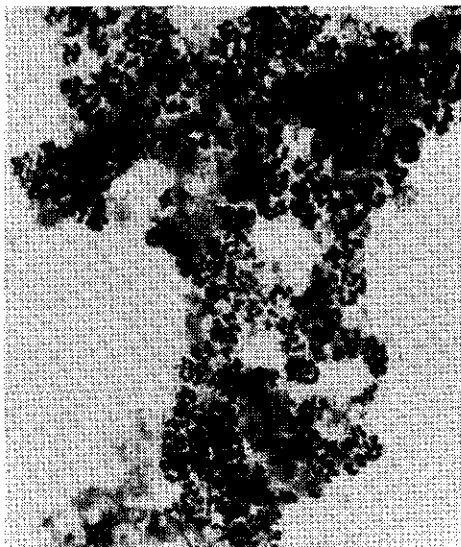
Het onderzoek naar de biologische defosfatering heeft onder de gegeven procesomstandigheden tot de volgende conclusies geleid:

1. Bij slibbelastingen van 140, 280, 400 en 600 g CZV/kg slib . dag werd een gemiddeld fosfaatverwijderingspercentage gevonden van resp. 40, 45, 87,5 en 80 %.
2. De zuiveringsgraad werd niet beïnvloed door de gewijzigde procesvoering.
3. In het aerobe gedeelte van de installatie werd het fosfaat door bacteriecellen opgenomen, terwijl in de zuurstofloze zone het

fosfaat weer in oplossing ging. De netto P-verwijdering bij een slibbelasting van 400 g CZV/kg slib . dag bedroeg gemiddeld 87,5 %.

4. In de zuurstofloze zone van de installatie waren lagere vetzuren niet in aantoonbare hoeveelheden aanwezig.

Afb. 8 - Actief slibvlak uit compartiment 10, de fosfaatopslag is m.b.v. een Neisser kleuring zichtbaar gemaakt. De Acinetobactercellen worden hier geheel donkerblauw gekleurd. Zwart op de foto. 940 x.



Nabeschuiving

Dit onderzoek naar de biologische fosfaatverwijdering in een actief slib installatie heeft aangetoond, dat het mogelijk is fosfaat te verwijderen zonder chemicaliën toe te voegen en zonder dat de zuiveringsgraad terugloopt. Hiertoe werd een actief slib installatie op semi-technische schaal zodanig gewijzigd dat een milieu werd geschapen voor een dominerende groei van fosfaatverwijderende micro-organismen. De hoge fosfaatopname door deze micro-organismen kon zowel door bepaling van het P-gehalte van de slibvlok als door kleuring met het reagens van Neisser worden aangetoond. Ook onderscheidden deze bacteriën zich door hun grootte van de overige bacteriën in actief slib.

Over de wijze waarop deze bacteriën bij aanwezigheid van zuurstof grote hoeveelheden fosfaat opnemen en dit fosfaat bij afwezigheid van zuurstof wederom uit de bacteriecel afvoeren is nog zeer weinig bekend. Uitgaande van het onderzoek van Nicholls en uit eigen verkregen resultaten zou men kunnen afleiden, dat de bacterie bij afwezigheid van zuurstof de zich in het afvalwater bevindende organische stoffen weet om te zetten in poly β-hydroxyboterzuur (PHB), waarbij de energie wordt verkregen van de omzetting van polyfosfaten — via ATP naar ADP — in orthofosfaat. De vorming van PHB zou mede ondersteund worden doordat tijdens de zuurstofloze zone geen merkbare verandering optrad in het ammoniumgehalte. In de zuurstofzone wordt het PHB m.b.v. zuurstof omgezet in dissimilatie- en assimilatieproducten. De bij de oxydatie van PHB verkregen energie zou kunnen dienen voor

Afb. 9 - Actief slibvlak uit compartiment 10, na 16 uur zonder zuurstof. De bacteriën bevatten nu praktisch geen fosfaat meer. 940 x.

