

# Meertraps biologische zuiveringssystemen

## 1. Inleiding

Meertrapszuiveringssysteem, meertraps biologische zuiveringssystemen wel te verstaan, zijn het onderwerp van dit artikel. Iedere installatie kent een zeker aantal trappen, dat vrijwel altijd groter is dan één, en is derhalve als een meertrapsinstallatie te beschouwen. In dit artikel zullen echter alleen de tweetraps biologische systemen aan de orde komen, zoals dubbelfiltratie d.m.v. oxydatiebedden, oxydatiebedden-actiefslibsystemen, tweetraps actiefslibsystemen; dus geen twee



IR. M. K. H. GAST  
Hoogheemraadschap van de  
Uitwaterende Sluizen in  
Kennemerland en West-  
Friesland \*

trappen van mechanische- en biologische zuivering, chemische en biologische zuivering en dergelijke. Ook worden er geen systemen, die uit meer dan twee biologische trappen bestaan, behandeld.

Een drietal onderwerpen komt aan de orde. Begonnen zal worden met de vraag: 'waarom tweetrapsinstallaties?'

Daarna worden enige voorbeelden van tweetraps-zuiveringsinstallaties in Nederland genoemd.

In het grootste gedeelte van dit artikel wordt ingegaan op de dimensionering van tweetrapsystemen en op een keuze uit de mogelijkheden. Van deze keuze komt aan de orde wat verwacht mag worden t.a.v. BOD-verwijdering, N-oxydatie en N-eliminatie en P-verwijdering. De energiebehoefte, de energiebalans en de kosten vormen het besluit.

## 2. Waarom is het gewenst om in meerdere trappen biologisch te zuiveren?

Bij de zuivering van afvalwater wordt organische stof uit het afvalwater verwijderd. Dit proces vindt plaats door de organismen, die in het water leven. Bacteriën en andere saprofyten consumeren organische stof en zetten deze om in nieuw celmateriaal.

Deze bacteriën dienen tot voedsel aan hogere organismen zoals protozoën, welke op hun beurt genuttigd worden door rotiferen, nematoden, crustaceën e.d. Een lange voedselketen stelt zich in, die in het water eindigt bij de roofvissen.

Deze keten is nog langer wanneer ook degenen, die vissen uit het water halen, zoals mensen en vogels, er in betrokken

worden. Het vangen van vis is derhalve te zien als een daadwerkelijke bijdrage aan het verwijderen van organische stof uit het oppervlaktewater.

Bacteriën zetten echter ook organische stof om in minerale bestanddelen. Planten gebruiken minerale bestanddelen voor de vorming van nieuw celmateriaal. De planten worden gegeten door de herbivoren, de herbivoren door de kleine carnivoren, de kleine carnivoren door de grote carnivoren. Ook de planten zijn een onderdeel van dezelfde voedselketen. In dit verband is het schonen van sloten een tweede daadwerkelijke bijdrage aan het verwijderen van organische stof uit het oppervlaktewater. Langs beide lijnen blijkt er een groot aantal relaties van meerdere leden van het biologische milieu te bestaan. Nu houdt het woord relatie in dat er sprake is van een wederzijdse beïnvloeding. Wat dat betreft is geen verschil tussen mensen en deze organismen.

Ten gevolge van deze relaties ontstaat een levensgemeenschap. In deze levensgemeenschap zijn structuren te onderscheiden, waarvan de trofische structuur er één is (afb. 1). Onder deze trofische structuur wordt de hiervoor genoemde voedselketen verstaan [1].

Deze structuur heeft de vorm van een pyramide. Waarom nu van een pyramide en niet van een kubus of cylinder?

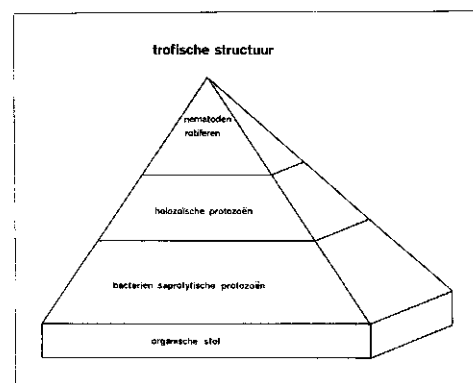
Bij iedere overgang in de voedselketen wordt niet alleen de ene organische stof omgezet in de andere, maar wordt tevens organische stof gebruikt als energiebron voor alle levensprocessen van deze organismen. Bovendien blijkt bij iedere overgang een deel van de organische stof niet bruikbaar en niet assimileerbaar te zijn.

Iedere stap in de voedselketen levert derhalve een verlaging van het energieniveau op en iedere stap is een stap voorwaarts in de waterzuivering.

Hoe langer de keten hoe beter het voor de waterzuivering is.

Iedere organisme in zo'n voedselketen stelt

Afb. 1 - Schematische weergave mogelijke voedselketen in water.



\* tot 1-5-1974 Ingenieursbureau Dwars, Heederik en Verhey te Amersfoort

zijn eigen eisen aan het milieu. Ter vergelijking kan de voedselketen insecten, zangvogels, roofvogels gezien worden. Insecten leven vrijwel overal, zangvogels hebben afgebakende territoria en leven bepaald niet overal. Roofvogels hebben zeer grote leefgebieden en stellen nog veel hogere eisen aan hun milieu.

In het water is het precies zo. Naarmate men verder komt in een proces van zelfreiniging in een rivier, men denke aan de Vecht van Utrecht naar Muiderberg, verandert het milieu en komen er andere dominante organismen voor. Naarmate men verder komt in een voedselketen stellen de leden ervan hogere eisen aan hun milieu.

In een biologische zuivering is dit natuurlijke zelfreinigingsproces in geconcentreerde vorm aanwezig. De deelnemende organismen blijven echter hun eigen specifieke milieu-eisen stellen. Bekend is dat in een laagbelast oxydatiebed een duidelijke zonerings aanwezig is van

- heterotrofe organismen;
- nitrificerende flora;
- denitrificerende flora;
- sessiel levende protozoën;
- nematoden, rotiferen;
- crustaceën etc.

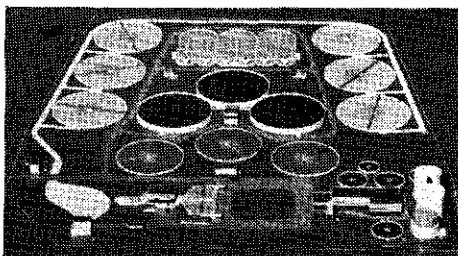
De zgn. grazende populatie van protozoën beweegt zich hierover heen.

In de actiefslibinstallatie met complete mixing moet de biomassa zich stabiliseren op één niveau dat optimaal is voor een bepaald soort organismen, terwijl het voor andere minder optimaal is. Deze komen dan minder massaal voor dan de eerstgenoemde. Omgekeerd wordt de soort protozoën, die massaal in actiefslib voorkomt, gebruikt als indicator voor de kwaliteit van het zuiveringsproces volgens een indeling zoals in tabel I weergegeven [2].

TABEL I

BOD-effluent	Meest voorkomende protozoën
in mg/l	(ciliaten)
0—10	Vorticella campanulata Stentor roesseli Aspilisca turricata Euplotes patella
10—20	Chilodonella uncinata Paramaecium caudata Aspidisca Lynceus
21—30	Weinig ciliaten qua aantal en soort
31—40	Zeer weinig ciliaten Colpidium colpoda Flagellaten

In deze tabel staat *meest* voorkomende, want het is bepaald niet zo dat er geen andere voorkomen, maar wel dat de genoemde massaal voorkomen. Het wordt vaak als doel gesteld om een



*Dit artikel is gebaseerd op de voordracht, die de auteur heeft gehouden op de 9e vakantiecursus in de behandeling van afvalwater, gehouden in de TH Delft op 18 en 19 april 1974.*

*Ir. M. K. H. Gast, tot 1 mei 1974 medewerker van het Ingenieursbureau Dwars, Heederik en Verhey, is op die datum in dienst getreden bij het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende sluisen in Kennemerland en West-Friesland als hoofd van de afdeling zuiveringsbeheer.*

*De voorbereiding voor deze voordracht viel samen met het gereedmaken van een aanbidding op basis van 'turn-key' voor de r.w.z.i. 'Nieuwgraaf' (330.000 i.e.) in opdracht van het Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland.*

*Een drietal aannemingscombinaties, elk met hun eigen adviesbureau, had na een voorselectie uit 21 kandidaten compleet besteksgerede ontwerpen met bijbehorende aanneemsom bij het ZOG ingediend.*

*Dat het artikel van ir. Gast uiterst actueel genoemd mag worden, blijkt wel uit het feit, dat het Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland zijn uiteindelijke keus heeft laten vallen op de door ons bureau ontworpen twee-trapsinstallatie. Dit type installatie wordt in het artikel van ir. Gast vergeleken met een laagbelaste actiefslibinstallatie en een oxydatiesloot, waarbij wordt uitgegaan van een capaciteit van 200.000 i.e.*

*De r.w.z.i. 'Nieuwgraaf' heeft een eerste trap, die bestaat uit een hoogbelast oxydatiebed en een tweede trap, die bestaat uit laagbelaste actiefslibb tanks. Door gebruik te maken van het gas van de slibgisting kan de installatie voor ca. 80 % in zijn eigen energie voorzien.*

*De installatie wordt gebouwd in de periode tussen juli 1974 en juli 1976 door de Nedam BV te Amstelveen in samenwerking met Machinefabriek W. Hubert en Co. te Sneek.*

*Ir. B. H. A. Molleman  
Hoofd Hoofdafdeling  
Gezondheidstechniek  
Ingenieursbureau Dwars,  
Heederik en Verhey BV*

waterzuiverend systeem zo gelijkmatig mogelijk te belasten. Dit zou de zuiverende werking ten goede komen en tevens een minimale zuurstoftoevoer mogelijk maken. De complete mixing bij het toepassen van oppervlakte beluchters en ook de stepped-loading bij het toepassen van bellenbeluchting zijn hiervan het gevolg. Vanuit het oog punt van milieudifferentiatie zijn deze methodieken een actie tot nivellering. Hoewel deze tendens tot nivellering

duidelijk samenvalt met vele soortgelijke tendenzen op allerlei gebieden in onze samenleving, wil dit nog niet zeggen dat het juist is.

Met name de biologie wijst nadrukkelijk op de grotere potenties en de grotere weerstanden die een ecosysteem als geheel heeft wanneer het rijk is aan differentiatie. Als voorbeeld valt te denken aan de inrichting van het landschap waarbij grote en kleine natuurterreinen van wezenlijk belang zijn, naast de gebieden die volgens economische landbouwmethoden bewerkt worden. Ook bij de inrichting van onze steden is er grote weerstand ontstaan tegen massale eenvormige ongedifferentieerde wijken, waarvan de Bijlmermeer een extreem voorbeeld is.

Principieel is de situatie t.a.v. het ecosysteem dat waterzuiveringsinstallatie heet, niet anders.

Een oxydatiesloot heeft, wat dit aspect betreft, ten opzichte van een actiefslibinstallatie met total-mixing een groot voordeel.

Nadat de zeer goede menging van de total-mixing bereikt is, maakt het zuiverend systeem tijdens het stromen van het afvalwater door het been van de sloot duidelijke veranderingen door, waardoor milieudifferentiatie optreedt. Men denke aan het uitvlokken van het actiefslib, aan het afnemen van het zuurstofgehalte, zo zelfs dat ook denitrificatie gaat optreden tijdens het stromen door het been en niet te vergeten de geweldige overgang die het systeem doormaakt, wanneer na een rondgang opnieuw zuurstof of zuurstof en afvalwater worden toegevoegd. Zo ontstaan in een systeem dat vanwege zijn lage belasting en lange verblijftijd toch al in staat is om een relatief lang deel van de successie van het natuurlijke zelfreinigingsproces door te maken, bovendien nog telkens weer periodieke milieuwijzigingen, waardoor binnen de totale verblijftijd het milieu afwisselend weer optimaal is voor diverse soorten organismen.

#### Conclusies van deze beschouwing

1. Een groot deel schakels in de voedselketen vergroot de eliminatie van organische stof door gebruik van de in de organische stof opgeslagen energie voor de levensprocessen van alle schakels.

2. Bij de aanwezigheid van differentiatie in het milieu in een zuiverend systeem kan beter aan de milieueisen van velerlei soorten organismen die elkaar al dan niet opvolgen in een voedselketen voldaan worden dan bij een systeem met een eenvormig milieu.

Deze conclusies zijn de basis voor de ontwikkeling van meertrapszuiverings-

systemen, waar in de diverse trappen duidelijk verschillende milieu's gecreëerd worden.

### 3. Welke tweetrapszuiveringen zijn er in Nederland?

Zonder de zekerheid van een volledige opsomming te kunnen geven kan gesteld worden dat er slechts weinig tweetrapsinstallaties in Nederland zijn.

#### Tweetrapsoxydatiebedden

Voorbeelden van tweetrapsoxydatiebedden zijn de r.w.z.i.'s te Beilen en Veenendaal. Van de zuivering Veenendaal (afb. 2) zal een aantal gegevens vermeld worden [3].

Het betreft hier het systeem van in serie geschakelde oxydatiebedden: voorbezinking, 1e trap oxydatiebed, tussenbezinking, 2e trap oxydatiebed en nabezinking. De installatie is gebouwd voor 100.000 i.e. Beide bedden zijn gelijk uitgevoerd, elk met een inhoud van 5.000 m<sup>3</sup> lava. Dit betekent dat het 1e bed met 20 i.e./m<sup>3</sup> . dag belast wordt, of wel 700 g BOD/m<sup>3</sup> . dag, zodat het hier een hoog-belast bed betreft.

De installatie wordt thans voor ongeveer 90 % belast. De zuiveringsgraad van het eerste bed is gemiddeld over een heel jaar 75 %.

De humus uit de tussenbezinktank wordt naar de voorbezinktank gevoerd. Langs deze weg wordt tevens gerecirculeerd. Het tweede bed is zeer laag belast: 5 i.e./

m<sup>3</sup> . dag, ofwel 175 g BOD/m<sup>3</sup> . dag, waarbij aangetekend moet worden dat het hier om moeilijker afbreekbare BOD gaat. Naarmate de zuivering voortschrijdt neemt de afbreekbaarheid van het nog af te breken materiaal af met een faktor, die in de Amerikaanse NCR-formules een functie is van het reeds bereikte zuiveringseffect:

$$c_1 = \frac{1}{(1 - E_1)^2},$$

waarin E<sub>1</sub> het reeds bereikte zuiverings-effect is.

In de tweede trap wordt nog eens 70 - 75 % van de BOD van het water uit de 1e trap verwijderd, wederom als gemiddelde over het gehele jaar.

Tevens bevat het effluent van de nabezinktank slechts weinig NH<sub>3</sub>-N (slechts enkele mg/l) en grote hoeveelheden nitraat. Bij deze gegevens mag men niet uit het oog verliezen dat de temperatuur van het aangevoerde rioolwater niet daalt beneden 20 °C, wat er ongetwijfeld, gezien alles wat bekend is over de temperatuursinvloed op de werking van oxydatiebedden, de oorzaak van is dat de zeer goede zuiveringsgraad gedurende het gehele jaar bereikt wordt.

De humus van de 2e trap wordt naar de tussenbezinking gevoerd en vandaar naar de voorbezinking afgelaten. Deze tussenstap wordt genomen om te voorkomen dat er nitraatrijk effluent met de humus mee in

de voorbezinking terecht komt. Door de snelwerkende denitrificerende flora wordt dit nitraat als enig aanwezige zuurstofbron direct gebruikt. Het vrijkomende N<sub>2</sub>-gas veroorzaakt opdrijven van slib en een slechte werking van de voorbezinktank. Zowel in Veenendaal als in Beilen werd hiermee geworsteld en de genoemde maatregel van humusafvoer via de tussenbezinking bleek een afdoende remedie.

#### Oxydatiebedden-actiefslib

De zuivering Elburg (afb. 3) is een voorbeeld van een tweetrapsinstallatie die bestaat uit een oxydatiebed en een actief-slibinstallatie [4]. Deze r.w.z.i. is eveneens gebouwd voor 100.000 i.e. en thans voor 60 % belast. De oxydatiebedden hebben een ontwerpbelasting van 40 i.e./m<sup>3</sup> . dag of wel 1,4 kg BOD/m<sup>3</sup> . dag met een spoelbelasting van 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> . h., hetgeen hoog-belaste bedden genoemd mogen worden. De huidige belasting bedraagt ±25 i.e./m<sup>3</sup> . dag. De BOD-reductie in de 1e trap is 65 - 75 %. In de zomer treedt zelfs een aanzienlijke nitrificatie in deze trap op.

De actiefslibinstallatie is gedimensioneerd voor 30 i.e./m<sup>3</sup> . dag. Bij een slibgehalte van 3 g/l geeft dit een slibbelasting van 0,35 kg BOD/kg sl.dr.st. dag, hetgeen niet geheel een laag belast actiefslibdeel genoemd kan worden.

De huidige belasting is ca. 0,2 kg BOD/kg sl. dr. st. dag.

Deze slibbelasting is voldoende om een goede BOD-afbraak van het gehele systeem te bereiken. De stikstofslibbelasting is echter zo hoog (door de hoge stikstof-BOD verhouding), dat slechts een gedeeltelijke nitrificatie kan worden bereikt.

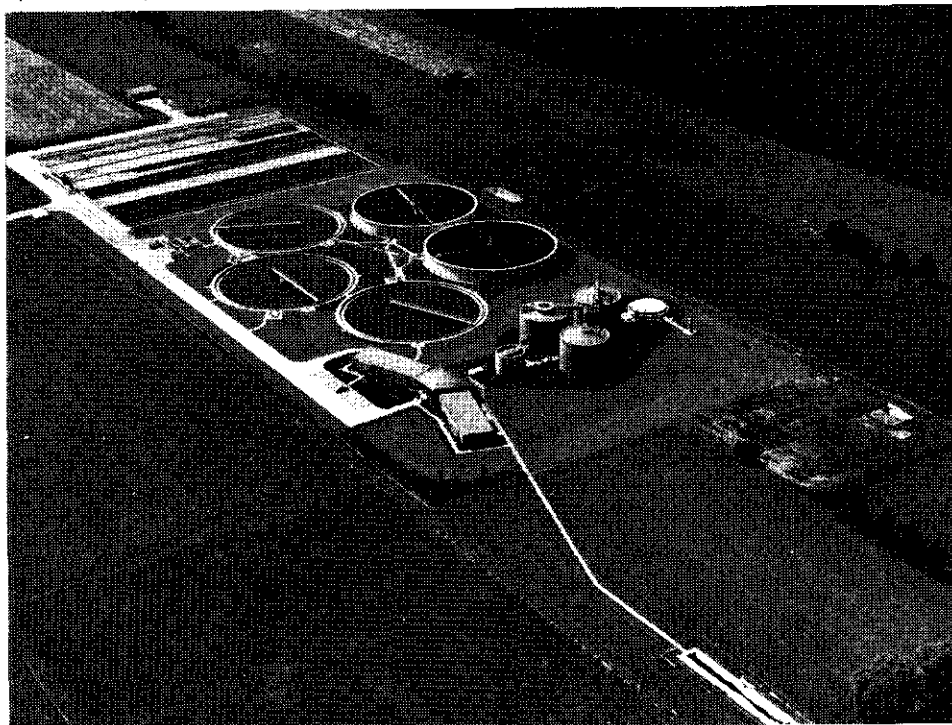
#### Tweetraps-actiefslib

De zuivering Hengelo is een voorbeeld in Nederland van een tweetrapsactiefslibinstallatie; ontworpen voor 230.000 i.e., in bedrijf gesteld in de loop van 1973 en thans reeds ongeveer volbelast [5] (afb. 4). De installatie bestaat uit drie gelijke sets, elk bestaande uit: voorbezinking, 1e trap AT, tussenbezinking, 2e trap AT en nabezinking.

De voorbezinking heeft een verblijftijd van 50 min. bij r.w.a. Uitgegaan is van verwijdering van 14 g BOD/i.e. etm., zodat de beluchting belast wordt met i.e.'s van 40 g BOD.

De verblijftijd in de 1e trap van de AT is vrij kort (25 min. bij r.w.a.). De slibbelasting in deze trap bedraagt bij een slibgehalte van 2 g/l 1,6 kg BOD/kg sl. dr. st. dag. De geïnstalleerde OC is berekend op 20 g O<sub>2</sub> per i.e. per dag, zodat de OC/load 0,5 bedraagt. De tussenbezinking is gedimensioneerd als een nabezinktank, minimale

Afb. 2 - Luchtfoto r.w.z.i. Veenendaal: tweetraps oxydatiebedden.



verblijftijd 2 uur met een oppervlaktebelasting van  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ .

De tweede AT is ruim het dubbele van de 1e trap. De verblijftijd in de tweede trap is minimaal 65 min. Bij 65 % reductie van de BOD in de 1e trap en een slibgehalte van  $3 \text{ g/l}$  wordt de slibbelasting  $1/10$  deel van die van de 1e trap:  $\pm 0,17 \text{ kg BOD/kg sl. dr. st. dag}$ .

De geïnstalleerde OC is het dubbele van die in de 1e trap, zodat bij 65 % reductie in de 1e trap de OC/load  $2,5$  bedraagt.

Het slib in de beide trappen ziet er sterk verschillend uit. In de 1e trap is het een heel fijne vlokstructuur, zwart van kleur, overigens wel zwaar (de index is  $\pm 50$ ).

In de 2e trap zijn het mooie vlokken, bruin van kleur, die zich duidelijk afscheiden van de vloeistof (index is  $\pm 100$ ).

Iedere AT heeft zijn eigen recirculatie en slibretour. Het surpluslib uit de 2e trap wordt afgevoerd via de 1e trap. De reden hiervoor is onduidelijk, omdat dit nu juist heel ander, protozoënrijk, slib is. In de 1e trap gaan deze organismen dood en vormen aldus een extra BOD last.

Over de werking van de installatie is nu nog niets te zeggen, omdat de installatie nog in de aanloopfase verkeert. De BOD van het effluent bevindt zich thans tussen  $10$  en  $20 \text{ mg/l}$ . De nitrificatie is nog niet goed op gang gekomen, wat overigens niet verwonderlijk behoeft te zijn bij winterse temperaturen. In de praktijk van de bedrijfsvoering blijkt het de kunst te zijn in de 1e trap de juiste verhouding tussen OC en slibgehalte te vinden om te voorkomen dat deze trap zuurstofloos wordt en gaat stinken.

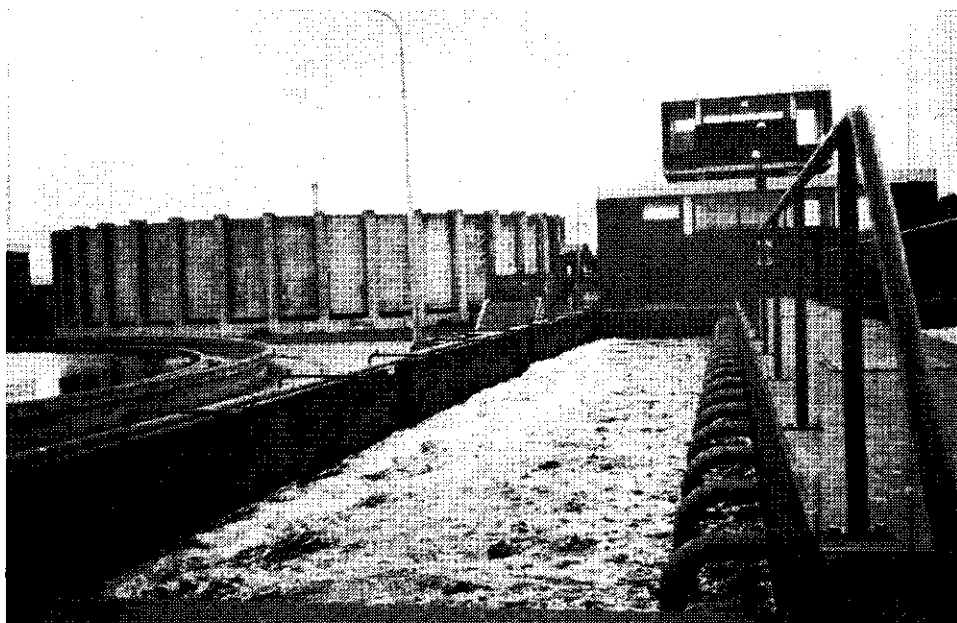
Zowel in Veenendaal als in Hengelo was de aanwezigheid van veel textielafvalwater de aanleiding om een tweetrapsinstallatie te kiezen.

#### 4. Het ontwerp van tweetrapsinstallaties

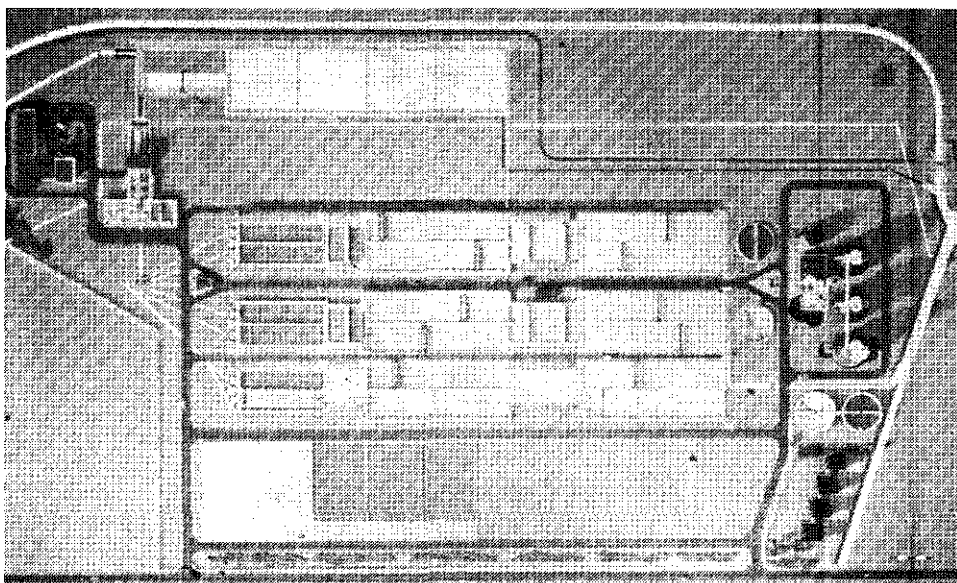
Wanneer we een tweetrapsinstallatie willen ontwerpen hebben we de keuze uit drie mogelijkheden:

1. Tweetrapsoxydatiebedden.
2. Oxydatiebedden als 1e trap, actief slib als 2e trap.
3. Tweetrapsactiefslib.

De vierde mogelijkheid is actiefslib in de eerste trap en oxydatiebedden in de tweede. Theoretisch zijn er niet direct bezwaren tegen een dergelijke combinatie aan te voeren. Een actiefslibinstallatie zou zich uitstekend lenen voor de zuivering van het merendeel van de BOD, terwijl in een oxydatiebed, waarin op zich al vrij veel stratificatie optreedt, zich een groot aantal milieu's voor de nazuivering zou kunnen ontwikkelen.

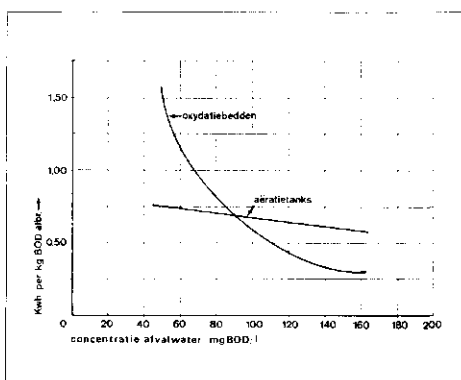


Afb. 3 - R.w.z.i. Elburg: oxydatiebedden 1e trap, actief slib tweede trap.



Afb. 4 - R.w.z.i. Hengelo: tweetraps actief slib (maquette).

Afb. 5 - Verband tussen energieverbruik van BOD-afbraak en de concentratie van het afvalwater voor verschillende typen installaties.



Een aanwijzing voor het feit dat deze combinatie toch niet zo zinvol is, geeft afb. 5, waarin zowel voor oxydatiebedden als voor actiefslib het stroomverbruik per kg BOD afbraak is uitgezet tegen de concentratie van het aangevoerde afvalwater in  $\text{mg BOD/l}$  [6]. Als het afvalwater erg dun wordt, worden oxydatiebedden relatief duur. Hoewel het duidelijk is dat de situatie in het geval van een tweetrapsinstallatie genuanceerder ligt dan uit een dergelijk grafiek blijkt, is het in ieder geval zo dat de grote kracht van oxydatiebedden ligt bij concentraties boven  $100 \text{ mg BOD/l}$ . Met name in Duitsland is in het verleden wel een aantal van deze installaties

gebouwd. Gezien ook de kwetsbaarheid van de tweede trap bij lage temperaturen (de bedden bevroren in de winter) zijn deze echter weer opgeruimd.

4.1. *Het ontwerp van tweetrapsoxydatiebedden*

Wanneer men een tweetrapsoxydatiebeddeninstallatie wil ontwerpen, wordt de gewenste milieudifferentiatie verkregen wanneer het eerste filter hoogbelast en het tweede laagbelast wordt. Daarnaast is er in de ontwerptechniek tot dusverre altijd een specifieke aanleiding om een tweetrapsinstallatie te kiezen. Dit kan zijn de concentratie van het afvalwater, de aanwezigheid van veel industrieel afvalwater, moeilijk afbrekbare of giftige stoffen, etc. Ook dit soort factoren vraagt om een ongevoelige 1e fase en de keuze zal dan ook vaak op een hoogbelast bed vallen.

Nu is er theoretisch een eindeloos aantal combinatiemogelijkheden in de dimensionering van elk van de bedden.

Gezocht is naar een optimale combinatie van volumina bij een bepaalde zuiveringsprestatie van het totale systeem. Daartoe is afb. 6 opgesteld m.b.v. de NRC-formule voor de werking van een oxydatiebed:

1e trap:

$$E1 = \frac{100}{1 + C \sqrt{\frac{Ba'}{V1 \cdot F1}}}$$

2e trap:

$$E2 = \frac{100}{1 + c \sqrt{\alpha \cdot \frac{Ba''}{V2 \cdot F2}}}$$

$$\text{waarbij } \alpha = \frac{1}{(1 - E1)^2}$$

Berekend is hoe bij een constant totaal-zuiveringspercentage van 93 % de zuiveringspercentages van de beide bedden variëren als het volume van het 1e bed variabel wordt gesteld. Uit deze berekening resulteert dan een bijbehorend volume van het 2e bed en van het totale systeem. Het minimum in het totale volume blijkt te liggen bij ongeveer gelijke grootte van beide bedden.

Om een goed effluent met een BOD tussen 10 en 20 mg/l en, in ieder geval in de zomer, een aanzienlijk nitrificatie te bereiken moet het 2e bed niet hoger belast worden dan met 150 à 200 g BOD/m<sup>3</sup> filtermateriaal . dag (stel 4 à 5 i.e./m<sup>3</sup> . dag). Dit resulteert dan in een belasting van het 1e bed met ± 700 g BOD/m<sup>3</sup> lava . dag of wel 20 i.e./m<sup>3</sup> lava . dag. Bij dit eerste

bed moet fors gerecirculeerd worden om verstopping te voorkomen als de aanvoer beperkt is. Minimaal moet een oppervlaktebelasting van ± 0,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> . h gehandhaafd worden. In de praktijk blijkt men het 1e bed wel hoger te kunnen belasten bijv. met 30 i.e./m<sup>3</sup> . dag en een minimale spoelbelasting van ruim 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> . h zonder de goede werking van het 2e bed te verhinderen.

4.2. *Het ontwerp van tweetraps actieslibinstallaties*

Het systeem bestaat hieruit dat een 1e trap ontworpen wordt waarin alleen adsorptie van de organische stof aan de actieslibmassa optreedt, in dit geval vrijwel alleen aan de bacteriën. De te installeren OC kan dan namelijk laag blijven. De afbraak van de organische stof wordt uitgesteld tot de gisting, waar de oxydatie vervangen wordt door een reductie.

Het kritische punt is dus dat er weinig O<sub>2</sub>-behoefte is. Hiertoe moeten zeer korte slibleeftijden en verblijftijden gecreëerd worden.

De verblijftijd moet echter wel zodanig gekozen worden dat ook bij r.w.a. het systeem zuivert en er bovendien te allen tijde voldoende retourslib naar de AT wordt teruggevoerd, omdat anders het slib uit de AT spoelt, als de r.w.a. inzet. Toepassen van verblijftijden van ± 30 min. bij d.w.a. is, hoezeer het systeem het ook zou eisen, derhalve niet mogelijk, omdat dit bij een r.w.a. gelijk aan 3 d.w.a. in een verblijftijd van 10 min. zou resulteren. Men is dan al snel gedwongen tot verblijftijden bij r.w.a. van 25 à 30 min., hetgeen bij d.w.a. al respectabele verblijftijden oplevert.

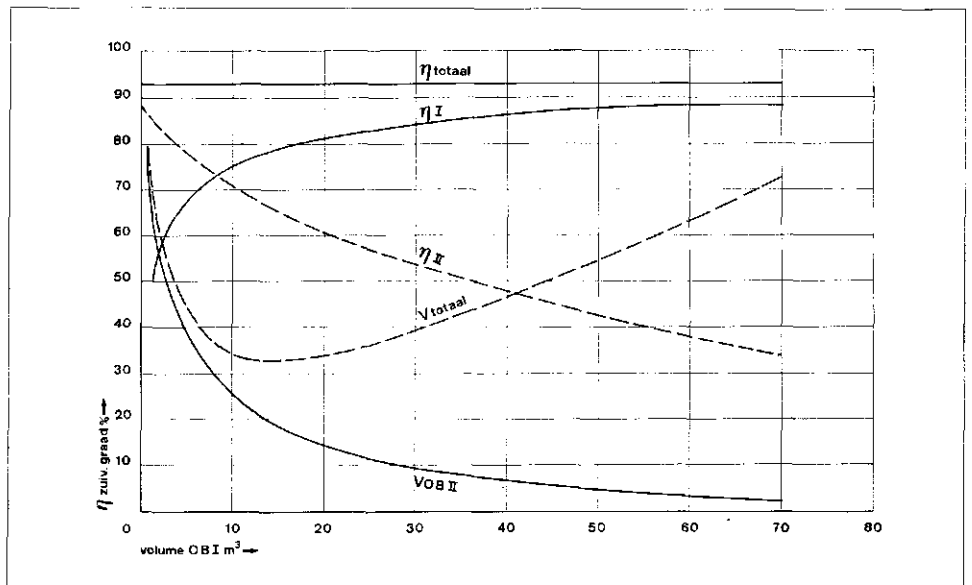
Tijden, die in ieder geval ruimschoots voldoende zijn om in de 1e trap niet alleen de adsorptie, maar ook de oxydatieprocessen in gang te zetten. Dat betekent weer ogenblikkelijk behoefte aan een grotere OC. Als deze niet geïnstalleerd is, zal deze trap vrij snel gaan stinken.

Bij het Attisholz systeem [7] doet men het weer totaal anders. In de 1e trap wordt een zeer hoog slibgehalte aangehouden (8 - 12 kg/m<sup>3</sup>). De slibbelasting is daardoor vrij laag. De te installeren OC zou slechts aan een OC-load verhouding van 0,5 behoeven te voldoen, waarbij in de tank lage O<sub>2</sub>-gehalten voorkomen en het rendement van de O<sub>2</sub>-inbreng maximaal is. Dit laatste is ongetwijfeld waar. Daarnaast zegt men ook slibmineralisatie te bereiken. Dit zou bij oxydatieve processen een nog veel grotere OC vereisen. Denk u maar aan de OC/load van ± 2,5 bij de oxydatiesloot. De verklaring voor het feit dat het toch mogelijk zou zijn slib te mineraliseren bij deze OC wordt gegeven door de afbraak van suikers via een alcoholtrap, welke slechts de helft van de O<sub>2</sub>, benodigd voor de volledige oxydatie, vraagt.

De bacteriemassa zal hiertoe ongetwijfeld in staat zijn, maar of stankproblemen altijd vermeden kunnen worden, lijkt de vraag. vraagt.

Bovendien is bekend uit de behandeling van industrieel afvalwater, waar het Attisholz systeem ontwikkeld is, dat bij geconcentreerd afvalwater een lage OC toepasbaar is. Wordt het afvalwater dunner, dan loopt de OC/load verhouding omhoog. De tweede trap bij de tweetrapsactieslibinstallatie wordt veel ruimer gedimensioneerd, afhankelijk van de mate van mineralisatie en nitrificatie, die men wil

Afb. 6 - Benodigd volume oxydatiebedden om 10 kg BOD te zuiveren in twee trappen bij een totaal-zuiveringspercentage van 93 %.



bereiken en het O<sub>2</sub>-gehalte waarbij men wil werken.  
 Net als bij de tweetrapsoxydatiebedden heeft iedere trap zijn eigen bezinktank en in dit geval zijn eigen slibretour.

In grote lijn kan van de nu besproken typen gezegd worden dat het probleem van de tweetrapsoxydatiebedden installatie is, dat de zuiveringsgraad van de tweede trap eigenlijk niet ver genoeg gaat, als men een hoogwaardig effluent wil hebben en dat de problematiek van de tweetrapsactiefslibinstallatie de dimensionering en vooral ook de bedrijfsvoering van de 1e trap is.  
*Wat ligt er dus meer voor de hand dan het goede van beide te combineren en te kijken naar de tweetrapsinstallatie, oxydatiebedden-actief slib?*

4.3. Het ontwerp van de tweetrapsinstallatie oxydatiebedden-actief slib

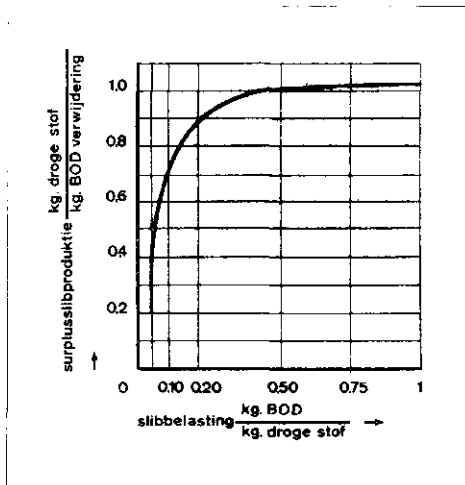
Als de 1e trap wordt gekozen een hoogbelast oxydatiebed (20 - 30 i.e./m<sup>3</sup> lava . dag), zeer robuust en bedrijfszeker in zomer en winter.

Aldus wordt de zorg m.b.t. de 1e trap van de AT gemist t.a.v. de hoeveelheid zuurstof, hoeveelheid slib, het continue balanceren op het scherp van het mes om stankproblemen te voorkomen. Afvalwaterzuiveringsinstallaties zijn geen verfijnde installaties, maar moeten liever een soort betrouwbare dommekrachten zijn.

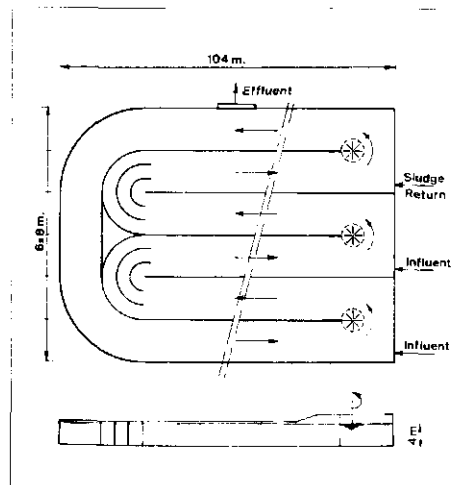
Om de spoelbelasting van ± 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> . h aan te houden zal doorgaans bij d.w.a. een forse recirculatie vereist zijn. Als deze via de aanvoer ontworpen wordt, wordt hiermee een groot deel van de humus van de voorbezinktank naar het slibbedrijf afgevoerd. De rest gaat door naar de AT van de 2e trap. Aangezien er maar een gering deel van een jaar maximale r.w.a. aangevoerd wordt, kan via de recirculatie bij een doorsneeinstallatie ca. 2/3 van het slib afgevoerd worden naar het silbbedrijf. Aangezien het geen bezwaar is, dat de rest van de humus in de AT komt, eerder nog een voordeel, omdat deze een basis voor de slibvorming is, kan een tussenbezinking achterwege blijven, hetgeen een belangrijk financieel voordeel is.

Een ander financieel voordeel kan worden bereikt door de hoogbelaste oxydatiebedden niet uit te voeren als met lava gevulde bedden, maar als torens met kunststofvulling, zoals bijv. Flocortorens.

Vanwege hun grote specifieke oppervlak en hun grote poriënvolume zijn deze bij uitstek geschikt voor een hoge belasting. Deze torens worden ongeveer twee maal zo hoog als de lavabedden, wat hogere pompkosten met zich brengt.  
 De actiefslibinstallatie van de 2e trap kan



Afb. 7 - Relatie tussen slibaangroei en slibbelasting.



Afb. 8 - Inrichting Carrousel om denitrificatie te bereiken.

volgens velerlei eisen gedimensioneerd worden. Gekozen kunnen worden de graad van BOD-reductie, de mate van nitrificatie, de mate van denitrificatie, P-verwijdering, etc.

Er is een aantal redenen om te kiezen voor een zeer lage slibbelasting in deze AT:

- Nitrificatie alleen, zonder denitrificatie, geeft kans op verzuring van de AT, omdat reeds 75 % van de BOD in de 1e trap verwijderd is. Als de AT zodanig ingericht en gestuurd wordt, dan ook denitrificatie optreedt, wordt de kans op verzuren kleiner.
- Denitrificatie doet het stikstofgehalte van het effluent belangrijk afnemen. Wordt met de eis van nitrificatie een bijdrage aan de bescherming van de zuurstofhuishouding van het oppervlaktewater geleverd, eerst denitrificatie vermindert de totale belasting van het oppervlaktewater met voedingszouten.
- Bij denitrificatie wordt de in de nitraat opgeslagen zuurstof weer gebruikt, zodat de te installeren en te gebruiken OC beperkt kan worden. De te installeren OC wordt volgens v. d. Emde samengesteld uit zuurstof benodigd voor:

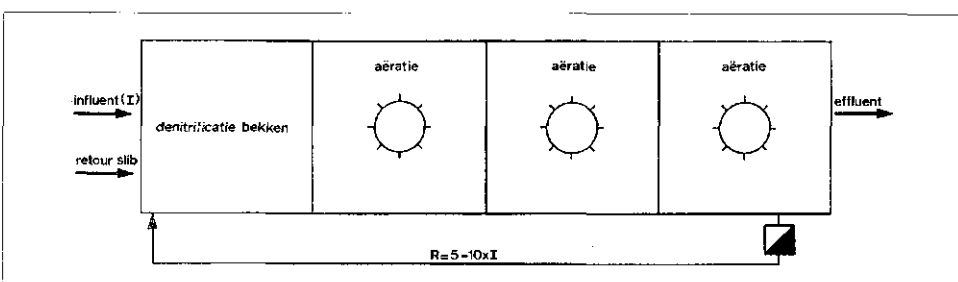
- a. afbraak rest BOD;
- b. endogene ademhaling slib;
- c. nitrificatie.

Door denitrificatie blijkt maximaal 60 % van de beschikbare nitraatzuurstof hergebruikt te kunnen worden voor de afbraak van de organische stof. T.o.v. de totale OC van de 2e trap levert dit een besparing van 25-30 % op.

- Slibmineralisatie beperkt de slibaangroei (afb. 7 [8]). Het gemineraliseerde slib kan direct na indikken naar het ontwateringsbedrijf gevoerd worden. Bovendien is minder ruimte voor slibstabilisatie (bijv. gisting) nodig.

Voor denitrificatie is vers af te breken organische stof nodig. Afb. 8 geeft de mogelijkheid om een carrousel in te richten voor denitrificatie. Aan het einde van een been tussen twee beluchters treedt reeds denitrificatie op, welke bovendien in het lange omloopbeen in versterkte mate plaats vindt, zeker als het influent gericht wordt ingebracht. Afb. 9 geeft de mogelijkheid aan om veel effluent (R = 5 — 10 x 1) in een AT met een eerste deel zonder beluchters te recirculeren waardoor de toegevoerde nitraat-zuurstof gebruikt wordt door het inkomende water.

Afb. 9 - Inrichting van een AT om denitrificatie te bereiken.



Aangezien bij een oxydatiesloot de denitrificatie eigenlijk vrijwel gratis plaats vindt en zelfs benut kan worden, verdient de voorkeur een installatie die in principe bestaat uit:

- 1e trap: hoogbelaste oxydatiebedden
- 2e trap: oxydatiesloot

**5. De te verwachten bedrijfsresultaten**

**BOD-verwijdering**

1e trap 75 %;  
2e trap volgens Wührmann 93 % [9] (voor de veiligheid misschien aan te houden 85 %).

Bij normaal huishoudelijk afvalwater en een aanvoer van 150 liter per inwoner per dag betekent dit dat het effluent een concentratie heeft van 5 - 10 mg/l BOD.

**Stikstof-verwijdering**

(zie afb. 10: N-balans)

Van de totaal aangevoerde hoeveelheid N-kjeldahl bestaat ca. 50 % uit NH<sub>3</sub>-N en 50 % uit N-organisch.

In de voorbezinktank verdwijnt met het primaire slib ca. 14 % van de N-kjeldahl. Van de rest van de N-organisch wordt een deel in het humusslib en in het surplusslib opgenomen en een deel in NH<sub>3</sub> omgezet. Bij een N-gehalte van de humus van 3,5 % en van het surplusslib van 6,5 % verdwijnen 4 resp. 3 % van de N-kjeldahl in deze soorten slib.

De omzetting van N-organisch in NH<sub>3</sub>-N in de oxydatiesloot is afhankelijk van de stikstofslibbelasting betrokken op de organische stof in het slib. Bij een slibgehalte van 3 g/l blijkt onder deze omstandigheden de omzetting voor ± 85 % te verlopen [10]. De resterende 4 % van de N-kj. wordt afgevoerd met het effluent.

De totale hoeveelheid te nitrificeren NH<sub>3</sub>-N is toegenomen tot 65 % van de N-kjeldahl.

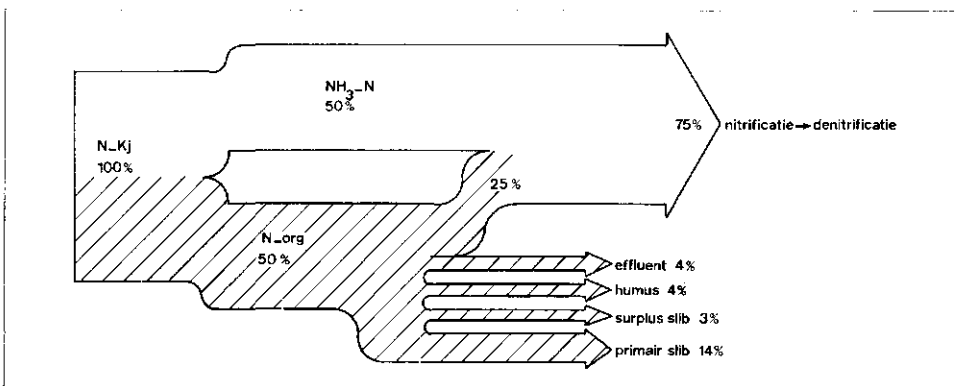
De slibleeftijd, benodigd voor nitrificatie bij 14 °C, is 6 dagen [11]. Onder de condities van de oxydatiesloot wordt deze ruimschoots bereikt.

De nitrificatiesnelheid is ook afhankelijk van de temperatuur. Afb. 11 geeft hiervan enige opgaven [12, 13, 14].

Bij de ongunstige aanname van 50 g N-kj/kg org. stof/dag en een organisch stofgehalte van het slib van 70 % is de nitrificatiecapaciteit ± 85 % van de beschikbare hoeveelheid NH<sub>3</sub>-N.

Bij een gunstiger aanname van 75 g NH<sub>3</sub>-N/kg org. stof/dag is dit meer dan 100 %. In oxydatiesloten blijkt men gedurende het gehele jaar vergaende nitrificatie te kunnen bereiken.

Om tot N-eliminatie te komen moet men zoveel mogelijk denitrificatie zien te berei-



Afb. 10 - Stikstofbalans: omzetting N-Kjeldahl.

ken. Bij een goede zuurstofsturing kan deze vrijwel totaal zijn. Ook zonder sturing is deze reeds aanzienlijk.

Afhankelijk van de mate van denitrificatie is de totale output van de aangevoerde N-kjeldahl uit de installatie:

- Afvoer met slib 20 %;
- afvoer als N<sub>2</sub> 60 - 75 %;
- afvoer met effluent 20 - 5 %.

De N-eliminatie blijkt in dit systeem zeer aanzienlijk te kunnen zijn.

**Fosfor-eliminatie**

Door toevoegen van tweewaardig ijzer, dat in de installatie omgezet wordt in 3-waardig ijzer, kan volgens de methode van de simultane defosfatering 90 - 95 % van de aangevoerde P verwijderd worden. Behalve doseerapparatuur zijn geen extra voorzieningen nodig met uitzondering van een aanpassing van het slibbedrijf.

In deze vorm van twee-trapsinstallaties, waarin alleen de humus en het verse slib vergist worden, geldt dit echter alleen t.a.v. het ontwateringsbedrijf.

**6. Gebruik van energie**

**6.1. Zuurstoftoevoer**

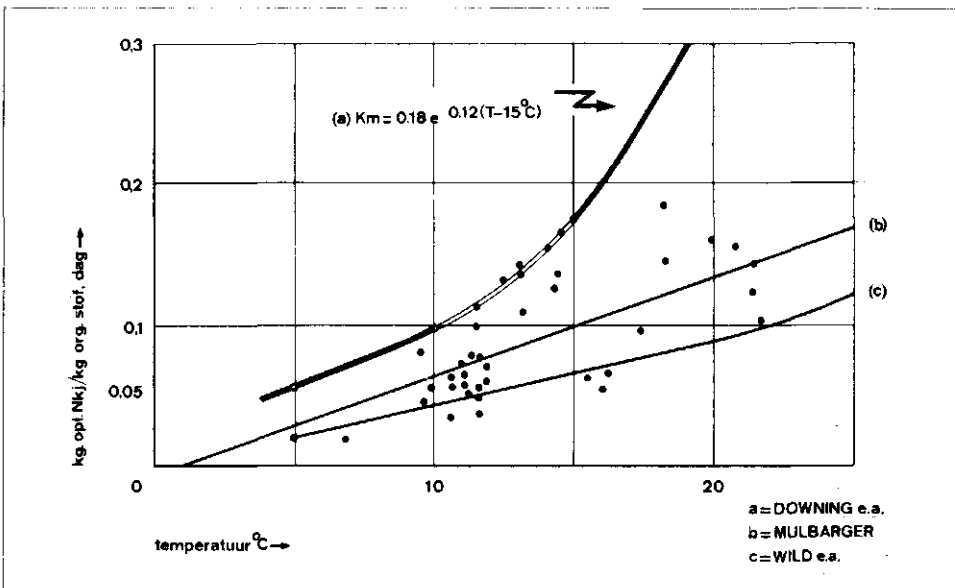
Energetisch is de tweetrapsinstallatie zeer interessant. Tabel II geeft een overzicht van de benodigde OC van de tweede trap volgens v. d. Ernde [9], bij een oxydatiesloot met een slibbelasting van 0,06 kg BOD/kg sl. dr. st. . dag en bij een slibbelasting van 0,20 kg BOD/kg sl. dr. st. zonder slib-mineralisatie en zonder aparte denitrificatievoorziening.

In beide gevallen is uitgegaan van een instalatie van 200.000 i.e.

TABEL II

Tweede trap:	oxydatiesloot kg O <sub>2</sub> /dag	laagbelaste AT kg O <sub>2</sub> /dag
BOD-afbraak	925	875
Endogene ademhaling	1950	1025
Nitrificatie	4675	3600
BOD-belasting humus	400	400
	— +	— +
	7950	5900
Denitrificatie	2800	—
	— —	—
Totaal	5150	5900

Afb. 11 - Enige opgaven voor de nitrificatiesnelheid bij diverse temperaturen.





Voor een lagere OC krijgt men in het geval van de oxydatiesloot veel betere resultaten:

- verdergaande BOD-afbraak;
- slibmineralisatie;
- verdergaande nitrificatie;
- N-eliminatie door denitrificatie.

Ook bij een ongunstiger hergebruik van de nitraatgebonden-zuurstof is er nog geruime tijd een lagere OC nodig en blijven de gunstige bedrijfsresultaten.

### 6.2. Energiebalans

De tweetrapsinstallatie biedt de mogelijkheid van hergebruik van energie door gas, dat bij de gisting vrijkomt, te gebruiken voor eigen energie-opwekking.

Bij de tweetrapsinstallatie oxydatiebed, oxydatiesloot worden het primaire slib en 2/3 van de humus vergist.

De energiebehoefte van de beluchting van de tweede trap is relatief laag, omdat 75 % van de BOD in het oxydatiebed afgebroken wordt.

Anderzijds kan het op te wekken vermogen alleen afgenomen worden door de continu-draaiende delen, omdat elektriciteit niet opgeslagen kan worden.

Hoewel er vele haken en ogen aan het terugwinnen van energie zitten, welke buiten het kader van dit artikel vallen, is toch een overzicht van de mogelijkheden opgesteld. Omdat getallen sec weinig zeggen is als vergelijkingsobject een gewone laagbelaste actiefslibinstallatie genomen. (Tabel III).

Tevens is het energieverbruik van de gehele installatie incl. slibverwerking in de beschouwing opgenomen. Alle getallen gelden voor een installatie van 200.000 i.e. De conclusie luidt dat deze tweetrapsinstallatie energetisch zeer gunstig is zowel door het lagere vermogen dat benodigd is per jaar, als door een gunstiger balans bij eigen energieopwekking.

### 7. Kosten

Wat gaat de tweetrapsinstallatie kosten? Dat de investeringen vergeleken met een conventionele actiefslibinstallatie vrij hoog zullen zijn, ligt voor de hand. Maar wat doen de jaarlijkse kosten en wat is de uitkomst van een berekening op kontante waarde.

Dit laatste is een maat voor het totale bedrag dat bij de bouw van de installatie apart zou moeten worden gelegd om over een aantal jaren (bijv. 15 of 30 jaar) de vaste en variabele kosten te kunnen betalen bij een bepaalde stijging van de variabele kosten per jaar.

Het gaat, wat dit laatste betreft, om kosten van lonen, energie en materialen.

TABEL III

	Tweetraps oxydatiebed/ oxydatiesloot	Eentraps laagbelast actief slib
Gasproductie in gisting	485 l/kg org. st.	450 l/kg org. st.
Toevoer organische stof naar gisting	850 kg/etm	1140 kg/etm
Gasproductie	4150 m <sup>3</sup> /etm	5150 m <sup>3</sup> /etm
Theoretisch op te wekken na aftrek van verwarming	2900.10 <sup>3</sup> kwh/jaar	3700.10 <sup>3</sup> kwh/jaar
Praktisch op te wekken (80 %) *	2300.10 <sup>3</sup> kwh/jaar	2950.10 <sup>3</sup> kwh/jaar
Benodigd vermogen	3300.10 <sup>3</sup> kwh/jaar	4300.10 <sup>3</sup> kwh/jaar
Tekort	1000 kwh/jaar	1350 kwh/jaar

\* Niet volledig op te wekken i.v.m.:

- onmogelijkheid buffering elektriciteit;
- onvoldoende bufferingsmogelijkheid gas;
- extra op te stellen aggregaten i.v.m. storingskans;
- niet toegestaan zijn van parallelschakeling eigen energie-opwekking met netvoorziening i.v.m. kans op netvervuiling.

Twee soorten installaties zijn als vergelijkingsbasis gekozen: de ééntropslaagbelaste actiefslibinstallatie als traditioneel zuiveringssysteem, de oxydatiesloot als een alternatief waarvan dezelfde bedrijfsresultaten verwacht mogen worden.

De kosten betreffen complete installaties, inclusief fundering op palen, met slibontwatering d.m.v. filterpersen na chemische conditionering.

Het heeft geen zin om in de kostenvergelijking alleen naar het biologisch deel van de installatie te kijken, omdat de verschillen in opzet in alle onderdelen doorspelen.

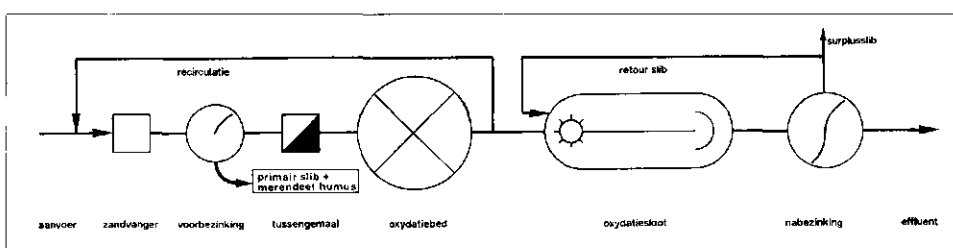
De kosten zijn tevens inclusief directie-kosten en BTW, doch exclusief eigen energie-opwekking. (Tabel IV).

TABEL IV

Zuivering 200.000 i.e.	Sticht.kosten incl. BTW	Jaarl. kosten incl. Rijksheff.
Tweetraps oxydatiebedden/oxyd.sloot	f 25.600.000,—	f 3.645.000,—
Eentrapslaagbel-actief slib	f 22.400.000,—	f 3.700.000,—
Eentrapsoxydatiesloot	f 19.400.000,—	f 3.155.000,—

In investeringskosten blijkt de tweetrapsinstallaties het duurste te zijn. In jaarlijkse kosten ligt hij ongeveer op het zelfde niveau als de traditionele actiefslibinstallatie. De oxydatiesloot blijkt echter aanzienlijk goedkoper te zijn.

Afb. 12 - Opzet van een tweetrapsinstallatie oxydatiebedden, oxydatiesloot.



TABEL V - Contante waarde (berekend voor verschillende toekomstige ontwikkelingen).

Uitgangspunten	A		B	
	hoge variabele kosten	hoge investeringskosten	hoge variabele kosten	hoge investeringskosten
Gunstig voor				
Termijn	15 jaar	30 jaar		
Rentevoet	10 %	7 %		
Stijging per jaar van				
— loonkosten	10 %	10 %		
— materialen	10 %	10 %		
— energie	12 %	15 %		
<b>Uitkomst</b>				
Tweetraps oxydatiebedden/oxyd.sloot	f 40.780.000,—	f 84.500.000,—		
Eentraps actief slib	f 40.310.000,—	f 97.950.000,—		
Eentraps oxydatiesloot	f 35.570.000,—	f 85.850.000,—		

Afhankelijk van de gekozen uitgangspunten verschilt de uitkomst van deze vergelijking. Bij uitgangspunten, gunstig voor installaties met weinig investeringskosten en hoge variabele kosten, is de tweetrapsinstallatie eigenlijk even duur over 15 jaar als de laagbelaste actiefslibinstallatie.

Bij uitgangspunten gunstig voor installaties met hoge investeringskosten blijkt de tweetrapsinstallatie zelfs de goedkoopste te zijn.

### 8. Conclusie

Conclusie van deze beschouwing is dat niet alleen wanneer er zeer speciale



omstandigheden zijn met bijzonder industrieel afvalwater e.d., maar ook bij het maken van een plan voor een rioolwaterzuiveringsinstallatie voor 'gewoon' stedelijk afvalwater, moet worden overwogen om een tweetrapsinstallatie te bouwen, die een eerste trap van hoogbelaste oxydatiebedden en als tweede trap een oxydatiesloot heeft (afb. 12).

Deze tweetrapsinstallatie heeft de volgende kenmerken:

1. Zeer grote differentiatie van het biologisch milieu waardoor lange voedselketens in het zuiveringsproces kunnen ontstaan.
2. Zeer grote bedrijfszekerheid doordat twee robuuste, ongevoelige systemen achter elkaar geschakeld zijn; anderzijds een grote flexibiliteit in de bedrijfsvoering van de installaties.
3. Zeer vergaande BOD-verwijdering.
4. Volledige N-oxydatie en daarna N-eliminatie door denitrificatie, waardoor niet alleen de zuurstofhuishouding maar ook het voedingsstoffenniveau van het oppervlaktewater beschermd wordt.
5. Mogelijkheid van P-verwijdering door toepassing van simultane defosfatering, welke methode weinig extra voorzieningen eist.
6. Beperkt energieverbruik doordat het grootste deel van de BOD in het oxydatiebed afgebroken wordt en de humus en het primaire slib vergist worden.
7. Mogelijkheid van hergebruik van energie door gebruik van het methaan-gas dat bij de gisting vrijkomt voor eigen energie-opwekking, naast gebruik voor verwarming. Bovendien een gunstige energiebalans.
8. Geen hogere jaarlijkse kosten dan bij toepassing van een traditionele laagbelast actiefslibinstallatie.

#### 9. Slotwoord

Voor het tot stand komen van deze voordracht is dank verschuldigd aan de heer Wouda van het Zuiveringsschap Veluwe, de heer Voos van de gemeente Veenendaal en de heer Geurkink van het Waterschap Regge en Dinkel voor het ter beschikking stellen van gegevens en aan prof. Koot en de staf van het Ingenieursbureau Dwars, Heederik en Verhey, met name de heren De Man, Vermeulen en Van der Geest, voor hun begeleiding en bijdragen.

#### Literatuur

1. Kuiper, J. *De rol van protozoën in de waterzuivering*. H<sub>2</sub>O 1973, nr. 19, blz. 491 t/m 495.
2. Koot, prof. ir. A. C. J. *Behandeling van Afval-*

*water*, Dictaat TH-Delft, uitg. 1973, deel III, tabel 10-13.

3. Voos, H. H. *Bedrijfsresultaten Tweetrapszuivering Veenendaal*, voordracht voorjaarsvergadering NVA 1972.
4. Wouda, Ing. D. *Praktijkresultaten van de zuiveringsinrichting te Elburg*, voordracht voorjaarsvergadering NVA 1972.
5. Witteveen en Bos. RWZI Hengelo, uitgave november 1971.
6. ATV. Lehr- und Handbuch des Abwassertechnik, Band 2, 1969.
7. Delta Engineering BV, Rotterdam. *Abwasserreinigung nach system Attisholz*, Documentatiemap van Cellulose Attisholz AG, Luttersbach, Schweiz, 1972.
8. Hopwood, A. P., Downing, A. L. *Factors affecting the rate of production and properties of activated sludge in plants treating domestic sewage*, J. a. Proc. Inst. Sew. Pur. 1965.
9. Ende, W. von der. *Entwurf Belebungsbecken*, Wiener Mitteilungen, Wasser, Abwasser und Gewässer, Band 4, 1969.
10. Wuhmann, K. Dictaat Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich.
11. Downing, A. L., Painter, H. A., Knowles, B. A. *Nitrification in the activated sludge process*, J. Inst. of Sew. Pur., 1964, part 2, blz. 130.
12. Wild jr., H. E., Sawyer, C. N., Mahar, T. C. Mc. *Factors affecting Nitrification Kinetics*, JWPCF, vol 43 (1971), bl. 1845 (curve bij pH 7).
13. Hopwood, A. B., Downing, A. L. *Some observations on the kinetics of nitrifying activated sludge plants*, Schw. Zeits. f. Hydrol. 26, 271 (1964).
14. Mulbarger, M. C. *Nitrification and denitrification in activated sludge systems*, JWPCF, vol. 43 (1971), blz. 2059.

