

# Zuurstofoverdracht en denitrificatie in actief-slib

## 1. Inleiding

Bij het zuiveren van huishoudelijk of industrieel afvalwater worden veelal aerobe biologische methoden toegepast. Bij deze processen worden de ammoniakale en organische stikstofverbindingen uit het influent ten dele geassimileerd (15 - 25 %) en ten dele omgezet in geoxideerde stikstofverbindingen (nitrificatie). De mate van nitrificatie wordt voornamelijk bepaald door de slijbleeftijd en de temperatuur, terwijl eveneens een voldoende hoog zuurstofgehalte in de slijbsuspensie dient te heersen.



IR. B. A. HEIDE

Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Delft



R. R. KRUIZE

Landbouwhogeschool Wageningen (stage bij IMG-TNO)

Practische ervaringen wijzen uit dat beneden een zuurstofgehalte van ongeveer 1 mg/l de nitrificatie kan teruglopen bij overigens gelijkblijvende slijbleeftijd en temperatuur.

Een andere observatie die met name opgedaan wordt bij zeer laag belaste actief-slijbsystemen, zoals de oxydatiesloot, is het niet sluiten van de stikstofbalans. De verklaring die hiervoor gehanteerd wordt, is gebaseerd op het proces van denitrificatie waarbij de gevonden produkten, met name  $N_2$ , het actief-slijbmengsel via de gasfase verlaten. Als voornaamste voorwaarde voor het optreden van denitrificatie wordt zuurstofloosheid of anaërobie van de slijbvlokken, of een gedeelte daarvan, gezien. Wanneer het gehalte aan fysisch opgeloste zuurstof in het actief-slijbmengsel 0 mg/l bedraagt, wordt de maximale denitrificatiecapaciteit benut. Bij hogere zuurstofgehalten is het eveneens mogelijk dat denitrificatie, zij het in mindere mate, wordt bereikt mits een gedeelte van de actief-slijbvlokken in anaërobie toestand verkeert.

De zuurstofoverdracht naar en de  $O_2$ -huishouding in biomassa vormt reeds geruime tijd een onderwerp van studie. Mueller, Boyle en Lightfoot [1] stelden de maximale zuurstofopname door *Zoogloea ramigera*-cellen in suspensie vast bij een zuurstofgehalte boven 0,1 mg/l.

Afhankelijk van vlogkrooote en vorm werd bij vlokken de maximale zuurstofopname vastgesteld bij waarden tussen 0,6 en 2,5

mg/l. In een meer recente publicatie van Krul [2] worden analoge bevindingen vermeld die opgedaan zijn met denitrificerende micro-organismen; te weten *Alcaligenes*. Wanneer de zuurstofconcentraties in het medium, met biomassa in vlokken, beneden de 1,5 mg/l komt neemt de nitraatreductie of denitrificatie aanzienlijk toe. Voor gesuspenderde cellen geldt dit pas bij een zuurstofconcentratie die minder bedraagt dan dan 0,1 mg/l.

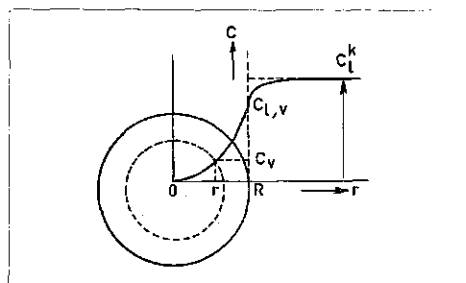
In dit verslag zijn de opzet en de resultaten van een onderzoek beschreven, waarin getracht is een koppeling te maken tussen zuurstofoverdracht en denitrificatie in actief-slib. Als voornaamste parameters zijn bestudeerd de zuurstofverbruiksnelheid in de vlok en in de suspensie, de afmeting van de slijbvlok (gerelateerd aan het ingeroerd vermogen) en de zuurstofconcentratie in de suspensie. Het praktisch onderzoek is door een tweetal stagiaires verricht in de periode van maart-december 1978 [3, 4].

## 2. Zuurstofoverdracht in actief-slib

Het model voor de zuurstofoverdracht in actief-slib is gebaseerd op de huidige theorieën, waarvan Kossen [5] onlangs een samenvatting presenteerde. In dit onderzoek wordt de nadruk gelegd op het vastleggen van de zgn. kritische zuurstofconcentratie; dit is de zuurstofconcentratie in de slijbsuspensie, waarbij de kern van de slijbvlok juist nog niet anaëroob wordt. De actief-slijbvlokken zijn bolvormig en tevens homogeen van samenstelling verondersteld. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen microvlokken en macrovlokken die opgebouwd zijn uit microvlokken. Het eenvoudige zuurstofoverdrachtsmodel is weergegeven in afb. 1.

De zuurstofconcentratie in de vloeistof is aangegeven met  $C_1$  (kg  $O_2/m^3$ ). In afb. 1 is de kritische zuurstofconcentratie in de vloeistof (slijbsuspensie) aangeduid waarbij in de kern van de slijbvlok nog juist geen anaërobie optreedt  $C_{1,k}$  (kg  $O_2/m^3$ ). De zuurstofconcentratie ter plaatse van  $r$  in de slijbvlok is  $C_v$ ; de zuurstofconcentratie aan de

Afb. 1 - Zuurstofoverdracht bij de kritische zuurstofconcentratie  $C_{1,k}$  in het actief-slijbmengsel (vloeistof).



rand van de slijbvlok bedraagt  $C_{1,v}$  (kg  $O_2/m^3$ ).

De zuurstofverbruiksnelheid kan beschreven worden met een nulde orde reactie in zuurstof indien geen stofoverdrachtslimitering optreedt. Ter plaatse van  $r$  in de slijbvlok geldt dus:

$$-\frac{dC_v}{dt} = r_v \quad (1)$$

waarin  $r_v$  de zuurstofverbruiksnelheid in de vlok (kg  $O_2/m^3$  natte vlok  $\cdot$  s) voorstelt. In de evenwichtssituatie geldt dat het zuurstofverbruik in de binnenste bol met het

volume  $\frac{4}{3} \pi r^3$  gelijk is aan de aanvoer

door het oppervlak van de binnenste bol. De aanvoer vindt plaats door middel van diffusie, zodat:

$$r_v \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = D_v \cdot \frac{dC_v}{dt} \cdot 4 \pi r^2 \quad (2)$$

Waarin  $D_v$  = diffusiecoëfficiënt van  $O_2$  in de vlok ( $m^2/s$ ).

Integratie van (2) levert op  $C_v = \frac{r_v}{6 D_v} \cdot r^2$ ,

terwijl voor situaties aan de rand van de slijbvlok geldt:

$$C_{1,v} = \frac{r_v}{6 D_v} \cdot R^2 \quad (3)$$

De zuurstofconcentratie aan het oppervlak  $C_{1,v}$  is in evenwicht met de kritische zuurstofconcentratie in de vloeistof  $C_{1,k}$ .

De zuurstoftoevoer vanuit de vloeistof naar het oppervlak van de slijbvlok wordt weergegeven door:

$$r_v = k_1 \cdot a (C_{1,k} - C_{1,v}) \quad (4)$$

waarin:

$k_1$  = stofoverdrachtscoëfficiënt (m/s);

$a$  = specifiek oppervlak van de slijbvlok =

$$\frac{3}{R} \quad (\text{in } m^2/m^3).$$

Onder aanname van een zeer gering snelheidsverschil tussen slijbvlok en omringende vloeistof kan  $k_1$  afgeleid worden uit het getal van Sherwood. Bij het zgn. starre bollen model geldt hiervoor:

$$Sh = \frac{2 R \cdot k_1}{D_1} = 2 \quad \text{ofwel} \quad k_1 = \frac{D_1}{R} \quad (5)$$

waarin:

$D_1$  = diffusiecoëfficiënt van  $O_2$  in de vloeistof ( $m^2/s$ ).

Combinatie van (3), (4) en (5) levert na

substitutie van  $a = \frac{3}{R}$  op:

$$C_{1,k} = \left[ \frac{r_v}{6 D_v} + \frac{r_v}{3 D_1} \right] \cdot R^2 \quad (6)$$

De zuurstofverbruiksnelheid in de slibvlok ( $r_v$ ) is af te leiden uit  $r_1$  de zuurstofverbruiksnelheid in de slib suspensie. Dit is de zuurstofverbruiksnelheid die bij de gebruikte respiratiemetingen wordt bepaald.

$$r_v = r_1 \cdot \frac{\text{totaal volume}}{\text{volume nat slib}} \quad (7)$$

Het volume van het natte slib hangt af van de porositeit van de slibvlokken. Hoe losser de structuur van de vlokken, hoe groter het volume van de slibvlokken zal zijn. Een indicatie voor het volume nat slib is de slibvolume-index. De index geeft het volume van het bezonken slib per gram droge stof materiaal weer. In dit onderzoek werd een constant volume gevonden na 40 min. bezinken. De SVI is na genoemde bezinktijd vastgesteld.

Combinatie van de SVI en het droge stofgehalte geven het volume nat slib, dat tesamen met (7) leidt tot:

$$r_v = \frac{r_1}{\text{SVI} \cdot \text{d.s.}} \quad (8)$$

waarin:

SVI = slibvolume index ( $\text{m}^3/\text{kg}$ );  
d.s. = droge stofgehalte ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Combinatie van (6) en (8) geeft:

$$C_1^k = \left[ \frac{1}{6 D_v} + \frac{1}{3 D_l} \right] \cdot \frac{r_1}{\text{SVI} \cdot \text{d.s.}} \cdot R^2 \quad (9)$$

Uit vergelijking (9) kan worden ontleend dat voor een gegeven actief-slib mengsel (SVI . d.s. = constant) en bij een bepaalde temperatuur ( $D_v$  en  $D_l$  constant) de kritische zuurstofconcentratie uitsluitend afhangt van de zuurstofverbruiksnelheid en de afmeting van de slibvlok (weergegeven door de straal R). Omgekeerd kan de 'afmeting' van de slibvlok worden berekend indien  $C_1^k$ ,  $r_1$  en d.s. worden gemeten en een schatting wordt gemaakt van de diffusiecoëfficiënten.

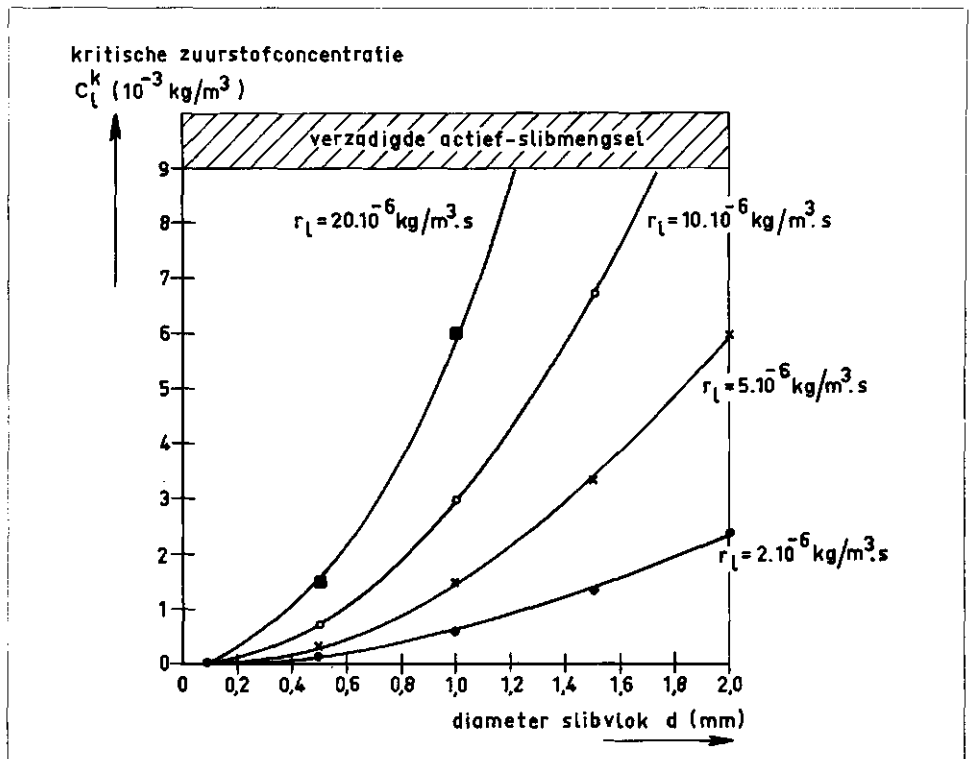
### 2.1. Berekening van de theoretische kritische zuurstofconcentratie

In de volgende schatting worden diffusiecoëfficiënten gebruikt met de volgende afgeronde waarden:  $D_l = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  en  $D_v = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ . Matson et al [6] hebben ondermeer de grootte van de diffusiecoëfficiënt van het zuurstoftransport in diverse biomassa's onderzocht.

Voorts wordt voor goed bezinkbaar slib aangenomen, dat:  
SVI = 75 ml/g =  $75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$  en d.s. =  $4 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Wordt tevens de gemiddelde (of model) vlok diameter  $d = 2 R$  ingevoerd, dan gaat (9) over in:

$$C_1^k \approx 3 \cdot 10^8 \cdot r_1 \cdot d^2 \quad (10)$$

De zuurstofverbruiksnelheid in de slib suspensie  $r_1$  ligt veelal, afhankelijk van de gemiddelde en/of momentane slibbelasting,



Afb. 2 - De kritische zuurstofconcentratie als functie van de vlok diameter en het zuurstofverbruik van het actief-slibmengsel (SVI d.s. = 0,35).

tussen 2 - 20 g  $\text{O}_2/\text{kg}$  d.s.h. of wel bij 4 kg d.s./ $\text{m}^3$  tussen globaal  $2 \cdot 10^{-6}$  -  $20 \cdot 10^{-6} \text{ kg O}_2/\text{m}^3 \cdot \text{s}$ . In dit gebied van zuurstofverbruiksnelheden zijn voor vlokafmetingen tussen 0,1 tot 2 mm de kritische zuurstofconcentraties berekend. De resultaten zijn opgenomen in afb. 2.

### 3. Apparatuur en uitvoering

De proefopstelling bestaat uit een plexiglas vat ( $\varnothing 28,8 \text{ cm}$ ), waarin vier keerschotten en een beluchtingselement zijn aangebracht. De vloeistofhoogte bedraagt 30 cm. Het vloeistofoppervlak kan worden afgedekt met een eveneens van plexiglas vervaardigd deksel. Deze deksel dient tevens voor de lagering van de as van de hekroerder (zie

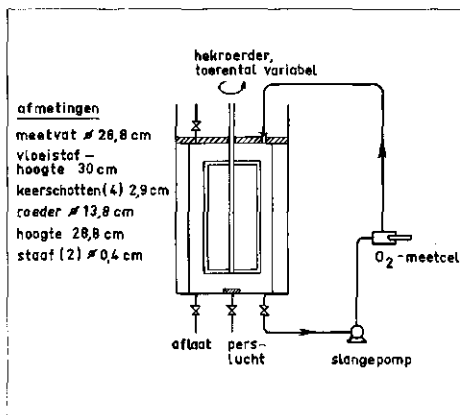
afb. 3). Het toerental van de roerder is gevarieerd tussen 0,33 - 1,67 (1/s). De bepaling van de zuurstofconcentratie in het meetvat geschiedt met behulp van een rondpompcircuit. Een slangenpomp verzorgt de benodigde stroomsnelheid ( $> 0,3 \text{ m/s}$ ) in de doorstroomcel waarin de zuurstof elektrode is geplaatst (WTWEO 16 nr. 57010/04 met standaardmembraan 0,012 mm zonder lenspapier). Deze werkwijze is nodig omdat anders bij lage vermogenstoevoer in het meetvat (teneinde vlokken van relatief forse afmeting te verkrijgen) de zuurstofelektrode niet voldoende wordt aangestroomd.

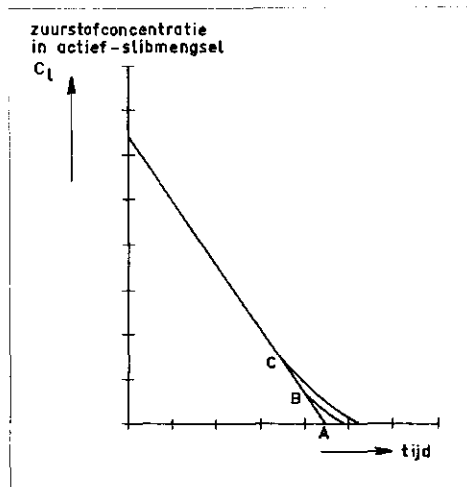
#### 3.1. Uitvoering

Het gebruikte actief-slib mengsel is afkomstig van de continue oxydatie-denitrificatie zuiveringsinrichting van het IMG-TNO. Teneinde verstopping van de zuurstofmeetcel te voorkomen wordt de slib suspensie gezeefd door een huishoudzeef. De zuurstofverbruiksnelheid per eenheid van volume wordt beïnvloed door het droge stofgehalte (d.s.) te variëren, terwijl tevens voedsel wordt toegevoegd dat afkomstig is van ruw afvalwater. Hierbij wordt het actief-slib vooraf gemengd met het afvalwater. Bij het denitrificatie onderzoek is natriumacetaat gebruikt om de zuurstofverbruiksnelheid te verhogen.

Om een zuurstofverbruikslijn op te nemen wordt allereerst de zuurstofconcentratie in het meetvat met behulp van perslucht op ongeveer 5 mg/l gebracht. De perslucht

Afb. 3 - Meetopstelling.





Afb. 4 - Principe van de meting van de zuurstofverbruikssnelheid  $r_1$  en de kritische zuurstofconcentratie  $C_{1k}$ .

zuurstofverbruikssnelheid  
 $r_1 = - \frac{dC_1}{dt}$  nulde orde

A, B en C geven het verloop in de kritische zuurstofconcentratie  $C_{1k}$  aan bij toenemen van de vlok grootte

wordt afgesloten en de roerder wordt op het gewenste toerental ingesteld. Het zuurstofgehalte neemt linear af in de tijd, indien een overmaat aan voedsel aanwezig is ofwel de zuurstofverbruikssnelheid ( $r_1$ ) constant is. Op een zeker moment neemt de zuurstofconcentratie minder snel af of, de lineaire afname (nulde-orde reactie) gaat over in een exponentiële afname [4]. Dit punt stelt voor de kritische zuurstofconcentratie  $C_{1k}$  waarbij de kern van de slibvlok juist nog niet anaeroob is (zie afb. 4). Bij elke meting wordt derhalve bij een bepaald toerental of ingeroerd vermogen, waarmee de vlok diameter samenhangt, zowel  $C_{1k}$  als  $r_1$  bepaald. De metingen zijn uitgevoerd bij kamertemperatuur.

4. Resultaten

4.1. Zuurstofoverdracht en anaerobie in de slibvlok

In het eerste deel van het onderzoek zijn het toerental van de hecroerder en het produkt SVI . d.s. ingesteld en is de kritische zuurstofconcentratie bij verschillende zuurstofverbruikssnelheden vastgesteld. De meetresultaten zijn weergegeven in tabel I. Tevens is hierin opgenomen het berekende toegevoerde vermogen. Uit de metingen blijkt dat de kritische zuurstofconcentratie hoger wordt naarmate de zuurstofverbruikssnelheid toeneemt en/of het ingeroerde vermogen afneemt. Deze observaties zijn in overeenstemming met het model. Bij zeer laag belaste actief-slibsystemen is de gemiddelde vermogenstoevoer ongeveer

TABEL I - Resultaten van de zuurstofoverdrachtsmetingen.

toerental hecroerder (l/s)	ingeroerd vermogen (W/m <sup>3</sup> )	slibvolume SVI d.s. (—)	zuurstofverbruik-snelheid $r_1$ (10 <sup>-6</sup> kg/m <sup>3</sup> . s)	kritische zuurstof-conc. $C_{1k}$ (10 <sup>-3</sup> kg/m <sup>3</sup> )	berekende vlok diameter (vgl. 9) (mm)	berekende vlok diameter (gemiddeld) (mm)
0,33	0,20	0,45	2,8	0,8	1,2	1,0
0,33	0,20	0,45	8,3	1,4	1,0	
0,33	0,20	0,45	10,8	1,8	0,9	
0,33	0,20	0,45	17,5	2,7	0,9	
0,67	1,3	0,40	1,7	0,5	1,2	0,85
0,67	—	0,40	6,0	0,85	0,8	
0,67	—	0,40	9,2	1,1	0,8	
0,67	—	0,40	10,4	1,5	0,8	
0,67	—	0,40	12,5	1,8	0,8	
0,67	—	0,40	14,6	1,9	0,8	
0,83	2,5	0,40	1,7	0,5	1,2	0,8
0,83	—	0,35	5,8	0,8	0,8	
0,83	—	0,40	10,8	1,3	0,8	
0,83	—	0,40	13,3	1,5	0,7	
0,83	—	0,40	15,0	1,7	0,7	
0,83	—	0,40	22,2	2,8	0,8	
1,0	4,3	0,35	1,7	0,4	1,0	0,7
1,0	—	0,35	7,2	0,65	0,6	
1,0	—	0,35	10,0	1,0	0,7	
1,0	—	0,35	10,0	1,2	0,7	
1,0	—	0,35	11,1	1,2	0,7	
1,0	—	0,35	11,7	1,5	0,7	
1,33	10	0,35	7,5	0,6	0,6	0,6
1,33	—	0,35	9,2	0,8	0,6	
1,33	—	0,35	9,2	0,9	0,6	
1,33	—	0,35	10,0	0,8	0,6	
1,33	—	0,35	12,1	1,1	0,6	
1,67	20	0,25	7,1	0,55	0,5	0,5
1,67	—	0,25	7,1	0,6	0,5	
1,67	—	0,25	9,2	0,6	0,4	
1,67	—	0,25	9,4	0,7	0,5	
1,67	—	0,25	9,6	0,75	0,5	
1,67	—	0,25	11,3	0,8	0,5	

10 W/m<sup>3</sup>. Ter plaatse van de beluchter is de turbulente hoog, elders in de beluchtungsruimte is de turbulentie gering en kunnen vlokagglomeraten van soms enige mm grootte worden onderscheiden. In de nabezinker is de vermogenstoevoer zeer laag, opdat bezinkbare vlokken kunnen worden gevormd.

De gemiddelde zuurstofverbruikssnelheid van aerob gestabiliseerd slib is in het actief-slibmengsel ongeveer 2.10<sup>-6</sup> kg/m<sup>3</sup>. s. Er zijn pieken in de aanvoer van afvalwater, waarbij de zuurstofverbruikssnelheid ten behoeve van de COD reductie alsmede de nitrificatie aanzienlijk hoger ligt dan de hiervoor geschetste waarde. Bij hoger belaste systemen ligt de zuurstofverbruikssnelheid hoger, maar is eveneens de vermogenstoevoer groter teneinde de zuurstof door middel van beluchting aan het actief-slib-systeem over te dragen.

4.2. Zuurstofoverdracht en diameter van de slibvlok

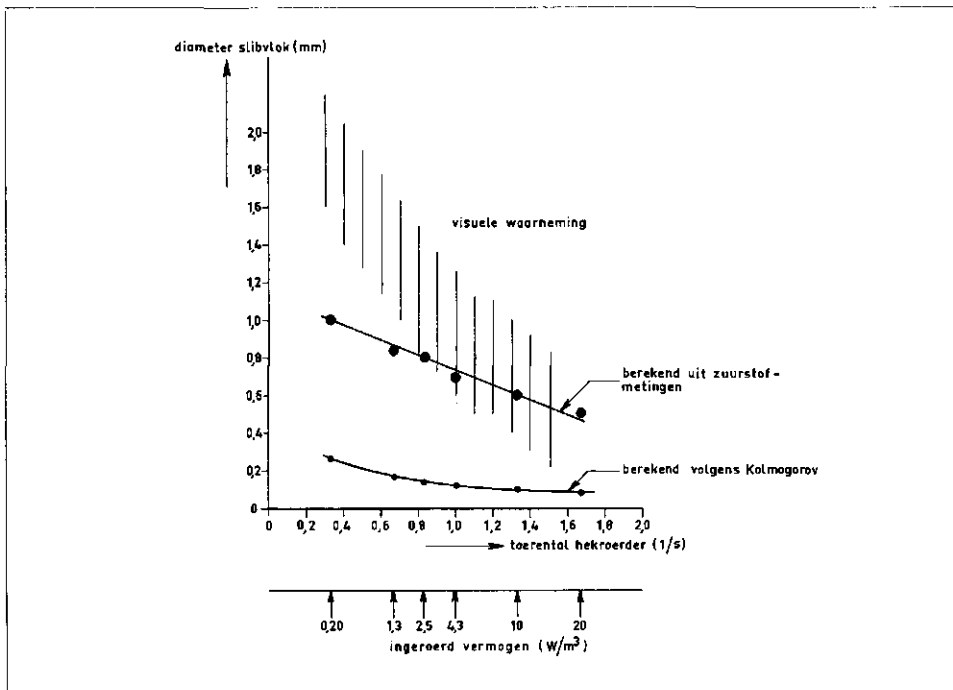
Het bepalen van de diameter van de actief-slibvlokken is een moeilijke opgave. De afmetingen die met behulp van een microscoop worden vastgesteld duiden de microvlokken (veelal 50 tot 250 μm) aan. De theorie van Kolmogorov wordt wel

gehanteerd om een schatting te maken van de grootte van de slibvlok onder bedrijfsomstandigheden. In afb. 5 zijn de berekende diameters van de slibvlok opgenomen, waarbij vgl. 11 is gebruikt.

$$d = \frac{\mu^{3/4} \epsilon^{-1/4}}{\rho^{1/2}} \text{ (m)} \tag{11}$$

waarin:  
 $\mu$  = dynamische viscositeit (kg/m.s.);  
 $\epsilon$  = toegevoerd vermogen (W/m<sup>3</sup>);  
 $\rho$  = soortelijke massa actief-slib mengsel (kg/m<sup>3</sup>).

In afb. 5 zijn tevens de globale visuele waarnemingen gegeven alsmede de berekende vlok-diameters op basis van het zuurstofoverdrachtsmodel (vgl. tabel I). Geconcludeerd kan worden dat in het beschouwde gebied van vermogenstoevoer de vlok grootte niet berekend mag worden met behulp van vgl. 11. De afwijkingen zijn groot in vergelijking tot de andere resultaten. Het is mogelijk dat bij grotere vermogenstoevoer, of wel bij het beter voldoen aan de eis van isotrope turbulentie, de theorie van Kolmogorov wel met succes kan worden toegepast. In het gebied van de grotere vlokafmetingen is er sprake van agglomeraten waardoor er



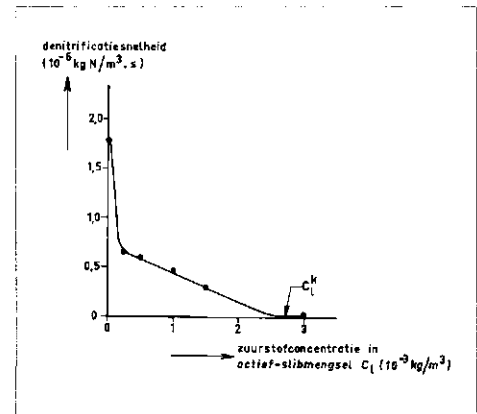
Afb. 5 - Vergelijking van verschillende methodes ter bepaling van de diameter van de slibvlok als functie van het ingeroerd vermogen.

een duidelijk verschil bestaat tussen de visueel waargenomen vlokken en de berekende (effectieve of model-) diameter op basis van de zuurstofmetingen. Bij afmetingen van 0,5 - 1 mm vallen de op deze wijze berekende waarden in het gebied van de visuele waarneming.

#### 4.3. Zuurstofoverdracht en denitrificatie

Nu aangetoond is dat anaërobie in de slibvlok op kan treden is het interessant om na te gaan of dan ook denitrificatie, en zo ja in welke mate, kan optreden. Immers het niet sluiten van de stikstofbalans wordt hieraan toegeschreven. Enkele experimenten zijn uitgevoerd, waarbij het nitraatgehalte als functie van de tijd is gemeten bij diverse ingestelde waarden voor de zuurstofconcentratie. Bij deze proeven is een hoge zuurstofverbruiksneldheid erg be-

langrijk, aangezien de denitrificatiesnelheid hier lineair van afhangt. Voedsel in de vorm van influent is echter niet mogelijk, aangezien dan ook stikstof in de vorm van N-kj of N-NH<sub>3</sub> in het meetvat wordt gebracht. Bij zuurstofgehalten boven 0 mg/l treedt nitrificatie op, hetgeen de N-NO<sub>3</sub> meting als functie van de tijd stoort. Bij het gebruikte slib blijkt natriumacetaat aan de gestelde eis te voldoen. Tijdens het onderzoek is gevonden dat de nitraatafname als functie van de tijd beschreven kan worden als een nulde orde reactie, mits het N-NO<sub>3</sub> gehalte niet beneden 1,5 à 2 mg/l komt. Dit is in overeenstemming met eerdere bevindingen [7]. Een voorbeeld van de gevonden relatie tussen denitrificatiesnelheid en de zuurstofconcentratie in het actief-slib mengsel is weergegeven in afb. 6 (ontleend aan lit. [4]).



Afb. 6 - De denitrificatiesnelheid als functie van de zuurstofconcentratie in het actief-slibmengsel bij de vermelde parameters. zuurstofverbruiksneldheid  $r_1 = 11.10^{-6}$  kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> . s vlok diameter 0,95 mm  $C_1 k = 2,7 \cdot 10^{-3}$  (kg/m<sup>3</sup>) slibvolume SVI d.s. = 0,35 toerental 0,5 (1/s)

Zoals te verwachten is de denitrificatiesnelheid maximaal, wanneer de gehele vlok anaëroob is. Aan de andere kant valt de denitrificatiesnelheid terug tot nul, indien de zuurstofconcentratie in het actief-slib mengsel de kritische waarde bereikt.

#### Samenvatting

Het optreden van zuurstofloosheid in actief-slibvlokken onder aerobe omstandigheden in de vloeistof is zowel theoretisch als praktisch bestudeerd. Op basis van bestaande theorieën is een model opgesteld om de kritische zuurstofconcentratie te berekenen, waarbij anaërobie in de slibvlok begint op te treden. Deze waarde is afhankelijk van de zuurstofverbruiksneldheid, de slibvolume-index, het droge stof gehalte en de vlokafmeting. Om de vlokafmeting te variëren zijn proeven uitgevoerd bij een ingeroerd vermogen tussen 0,2 - 20 W/m<sup>3</sup>. Op basis van zuurstofoverdrachtsmetingen kan de effectieve diameter van de slibvlokken worden bepaald. In het genoemde gebied van vermogenstoever zijn diameters berekend tussen 1 - 0,5 mm. De op deze wijze gevonden diameters sluiten beter aan bij de visuele waarnemingen, dan de berekende waarden op basis van de theorie van Kolmogorov. Uit het praktisch onderzoek kan tevens worden vastgesteld dat denitrificatie optreedt zodra de zuurstofconcentratie van het actief-slib mengsel beneden de kritische waarde komt.

#### Literatuur

- Mueller, J. A., Boyle, W. C. en Lightfoot, E. N. (1966). *Oxygen diffusion through a pure culture floc of Zoogloea ramigera*. Ind. Waste Conf. Purdue Univ. 2, 964-995.

#### Lijst van symbolen

$C_1$	zuurstofconcentratie in de vloeistof (slibsuspensie)	kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
$C_1^k$	kritische zuurstofconcentratie in de vloeistof, waarbij nog juist geen anaërobie in de kern van de slibvlok optreedt	kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
$C_{1,v}$	zuurstofconcentratie aan het oppervlak van de slibvlok	kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
$C_v$	zuurstofconcentratie in de slibvlok	kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
$D_1$	diffusiecoëfficiënt in het actief-slibmengsel (vloeistof)	m <sup>2</sup> /s
$D_v$	diffusiecoëfficiënt in de vlok	m <sup>2</sup> /s
$d$	diameter van de slibvlok	m
$r$	radiale afstand	m
$R$	straal van de slibvlok	m
$r_v$	zuurstofverbruiksneldheid van de slibvlok	kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> natte vlok . s
$r_1$	zuurstofverbruiksneldheid van het actief-slibmengsel	kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> slibsuspensie . s
$\rho$	soortelijke massa actief-slibmengsel	kg/m <sup>3</sup>
$\varepsilon$	ingeroerd vermogen	W/m <sup>3</sup>
$\mu$	dynamische viscositeit	kg/m . s

optreden wanneer water door middel van persputten in een watervoerende laag wordt gebracht. Uit de voorbereidende besprekingen is naar voren gekomen dat dit, overigens moeilijk te benaderen probleem, een onderdeel van de studie zal uitmaken.

Een ander element is de correlatie met de praktijk. De schrijver is van mening dat aandacht gegeven moet worden aan een controle van de gebouwde modellen aan de hand van praktijkvoorbeelden. Tevens is bekend dat dit erg moeilijk zal zijn omdat het aantal goed bekende en in de loop van langer tijd gevolgde praktijkgevallen, beperkt zal zijn. Niettemin zal het gebruik van de modellen bevorderd worden en het belang ervan groter zijn, als controle-berekeningen en voorbeelden uit de praktijk de relevantie onderstrepen.

#### Organisatie

De werkzaamheden van de werkgroep zijn goed voorbereid. Tal van afspraken zijn gemaakt. Daarin is ook voorzien dat een geohydroloog speciaal voor dit onderwerp en voor de duur van het onderzoek zal worden aangetrokken.

Het is een goede zaak dat tegelijk met de oprichting van de werkgroep niet alleen gezorgd is voor een kader dat kan dienen als klankbord en ondersteuning voor het te verrichten werk, doch ook dat — en in feite ligt dat voor de hand — een medewerker kan worden aangetrokken die een deel van dit onderzoek tot zijn dagtaak kan rekenen. Werkend binnen de waterleidingwereld met tal van commissies, blijkt steeds weer dat slechts goede resultaten worden bereikt als fulltime-werkkracht kan worden ingezet. De totale kosten van het onderzoek worden voor een periode van drie jaar geraamd op f 1.200.000,—.

#### Dankwoord

Namens het KIWA en namens de Commissie Infiltratie dankt de voorzitter van de Commissie Infiltratie alvast de leden voor hun bereidwilligheid zitting te nemen in deze werkgroep en vooral prof. dr. ir. A. Verruijt, die het voorzitterschap op zich heeft genomen. Prof. Verruijt heeft een belangrijke rol gespeeld bij het ontwerpen van mathematische modellen voor de grondwaterhydrologie en bij de bevordering van de toepassing. Met belangstelling wordt uitgezien naar het werk en het resultaat van de werkgroep.

#### Literatuur

Pennink, J. M. K. (1915). *Grondwaterstroombanen*.

• vervolg van pagina 332

#### Zuurstofoverdracht en denitrificatie in actief-slib

- Mijnb. 41, p. 333-350.
23. Scheffer, F., und Schachtschabel, P. (1970): Lehrbuch der Bodenkunde. 7te Aufl., Enke, Stuttgart, 448 p.
24. Smith, R. W. (1971): *Relations among equilibrium and non equilibrium species of aluminium hydroxy complexes*. Adv. Chem. Ser. 106, p. 250-279.
25. Luciuk, G. M., and Huang, P. M., (1974): *Effect of monosilicic acid on hydrolytic reactions of aluminum*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38, p. 235-244.
26. Schlegel, H. G., (1974): *Allgemeine Mikrobiologie*, Enke, Stuttgart, p. 259-261.
27. Buresh, J., and Moraghan, J. T., (1976): *Chemical reduction of nitrate by ferrous iron*. J. Environm. Qual. 5, p. 320-325.
28. Stanford, G., Dzienia, S., and Pol, R. A. van der, (1975): *Effect of temperature on denitrification rate in soils*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39, p. 867-870.
29. Kohl, D. H., Vitahayathil, F., Whitlow, P., Shearer, G., and Chien, S. H., (1976): *Denitrification kinetics in soil systems: The significance of good fits of data to mathematical forms*. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40, p. 249-253.
30. Schachtschabel, P., (1940): *Untersuchungen über die Sorption der Tonminerale und organischen Bodenkolloide und die Bestimmung des Anteils dieser Kolloide an der Sorption in Boden*. Kolloid-Beihfte 51, p. 199-276.
31. Behnke, J. J., (1969): *Clogging in surface spreading operations for artificial groundwater recharge*. Water Resour. Res. 5, p. 870-876.
32. Goss, D. W., Smith, S. J., Stewart, B. A., and Jones, O. R., (1973): *Fate of suspended sediment during basin recharge*. Water Resour. Res. 9, p. 668-675.
33. Ripley, D. P. and Saleem, Z. A., (1973): *Clogging in simulated glacial aquifers due to artificial recharge*. Water Resour. Res. 9, 1047-1057.
34. Reymerink, A., en Bisdom, E. B. A., (1975): *Een micromorfologisch onderzoek naar de oorzaak van het niet of onvoldoende functioneren van een infiltratieproef op de Veluwe te Epe*. STIBOKA, rapp. 1267, Wageningen, 8 p.
35. Hrubec, J., (1975): *De proefinstallatie ten behoeve van het Veluwe onderzoek te Leiduin*. H<sub>2</sub>O 8, p. 315-319.



• vervolg van pagina 340

#### Reacties van Rijn-water in de Veluwe en in de duinen: een experimentele studie en een inflatieproef

2. Krul, J. M. (1976). *The relationship between dissimilatory nitrate reduction and oxygen uptake by cells of an Alcaligenes strain in flocs and in suspension and by activated sludge flocs*. Water Research 10, 337-341.
3. Rijvordt, A. (1978). *Zuurstofoverdracht in actief-slib*. (Afstudeeropdracht HTS-A'dam uitgevoerd bij IMG-TNO).
4. Kruijze, R. R. (1978). *Zuurstofoverdracht en denitrificatie in actief-slib bij voornamelijk lage*

zuurstofconcentraties. (Stage-periode van LH Wageningen bij IMG-TNO).

5. Kossen, N. W. F. (1978). *Oxygen transport into bacterial flocs and biochemical oxygen consumption*. Paper presented on the IAWPR Conferense on aeration (Amsterdam - september 1978).
6. Matson, J. V. and Characklis, W. G., (1976). *Diffusion into microbial aggregates*. Water Research 10, 877-885.
7. Heide B. A. (1977). *Biologische denitrificatie in zeer laag belaste actiefslibsystemen*. H<sub>2</sub>O 10 (3), 62-69.



#### Berekening van afvalwater-zuiveringsinstallaties

In de reeks 'Leefmilieu-Dossiers', uitgegeven door de Belgische Stichting Leefmilieu v.z.w., onder de auspiciën van de Kredietbank, verscheen de publikatie 'Berekening van afvalwaterzuiveringsinstallaties'.

De auteur Ir. Em. Van Vaerenbergh heeft met dit werk gepoogd de voornaamste methodes voor de berekening van waterzuiveringsinstallaties in een logisch verband te plaatsen en de bestaande informatie terzake — die veelvuldig, maar versnipperd aanwezig is — te bundelen tot één geheel. Uitgangspunt van het werk is dat het voor de dimensionering van zuiveringsinstallaties nuttig en wenselijk is uit te gaan van berekeningsmethodes die in hoge mate rekening houden met de verschijnselen en wetmatigheden die zich tijdens het zuiveringsproces voordoen.

De Stichting Leefmilieu is van oordeel dat dit dossier wellicht een bijdrage kan leveren tot een meer efficiënte aanpak van de afvalwaterzuivering. Men kan immers niet loochenen dat inzake waterzuiveringsinstallaties een zekere inflatie valt te bespeuren. Bovendien verloopt de zuivering in de bestaande installaties waarschijnlijk niet steeds even grondig en efficiënt, is de dimensionering niet altijd aangepast, aldus de stichting.

De uitgave 'Berekening van afvalwaterzuiveringsinstallaties' telt 267 pagina's en is (uitsluitend) te verkrijgen op het secretariaat van de STICHTING LEEFMILIEU v.z.w., p/a Rockoxhuis — Kredietbank, Keizerstraat 8 — 2000 Antwerpen (tel. 031/316448) tegen de prijs van Bfr. 350.

#### Kritiekperiode normontwerp over toleranties voor de bouw verlengd

Het in februari 1979 door het Nederlands Normalisatie-instituut gepubliceerde normontwerp NEN 2881 'Maattoleranties voor de bouw. Begripsomschrijvingen en algemene regels' ligt momenteel nog ter kritiek. De kritiekperiode op dit normontwerp is nu met vier maanden verlengd tot 15 december.

