

# Bepaling van het zuurstoftoevoer-vermogen (OC) in carrouzels (2)

(het eerste deel van dit artikel van ir. S. Sweeris en ir. R. Trietsch verscheen in *H<sub>2</sub>O* (7) 1974 nr. 5, p. 90-94)

## 3. Toepassing op praktijkvoorbeeld (Losser)

### 3.1. Zuiveringsinstallatie te Losser

De zuiveringsinstallatie aan de Ravenhorsterweg te Losser, gebouwd in de periode 1970-1972 in opdracht van het Waterschap Regge en Dinkel, bestaat uit een carrousel voor 25.000 i.e. met zandvang, nabezinktanks, slibindiktank en droogbedden. Het eigenlijke carrouselcircuit (afb. 4) beslaat een oppervlak van ca. 25 bij 100 m. De ontwikkelde lengte van het circuit bedraagt 352,5 m en de waterdiepte is bij benadering 3 m.

In het circuit zijn twee Simcar-beluchters  $\varnothing$  2,85 m opgesteld, die een toerental hebben van 36 omw./min. Beide beluchters zijn in hoogte verstelbaar over een traject van maximaal 40 cm.

### 3.2. Meetprogramma

In april 1972 hebben het Ingenieursbureau Dwars, Heederik en Verhey BV te Amersfoort en het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO te Delft een aantal metingen verricht in het carrouselcircuit te Losser. Het meetprogramma omvatte stroomsnelheidsmetingen, vermogensmetingen en zuurstofmetingen.

#### Stroomsnelheidsmetingen

Ten behoeve van het verrichten van stroomsnelheidsmetingen in carrouselcircuits werd door DHV een aluminium meetbrug geconstrueerd. Een in verticale zin verstelbare Ott-molen type Arkansas 10156 is opgehangen aan een over de brug verrijdbaar wagentje, zodat in systematisch over de gehele dwarsdoorsnede van het circuit verdeelde meetpunten de stroomsnelheid kan worden bepaald. Op 10 april 1972 werd voor een aantal dompeldiepten bij één of twee beluchters in bedrijf de gemiddelde stroomsnelheid in het circuit bepaald. Voor bij de zuurstofmetingen geconstateerde afwijkende dompeldiepten werd vervolgens door interpolatie de bijbehorende gemiddelde stroomsnelheid berekend. De resultaten van de snelheidsmetingen zijn weergegeven in tabel I.

TABEL I Resultaat snelheidsmetingen.

aantal beluchters in bedrijf	1	2	2	2
dompeldiepte *) (cm)	+9	+9	0	-9
gemiddelde stroomsnelheid (cm/s)	23,9	31,4	27,3	23,9

\*) onder dompeldiepte wordt verstaan de verticale afstand tussen het waterniveau en de bovenkant van de beluchter. De dompeldiepte heeft een negatieve waarde als de beluchter (gedeeltelijk) boven water is, een positieve waarde als de beluchter geheel onder water is.

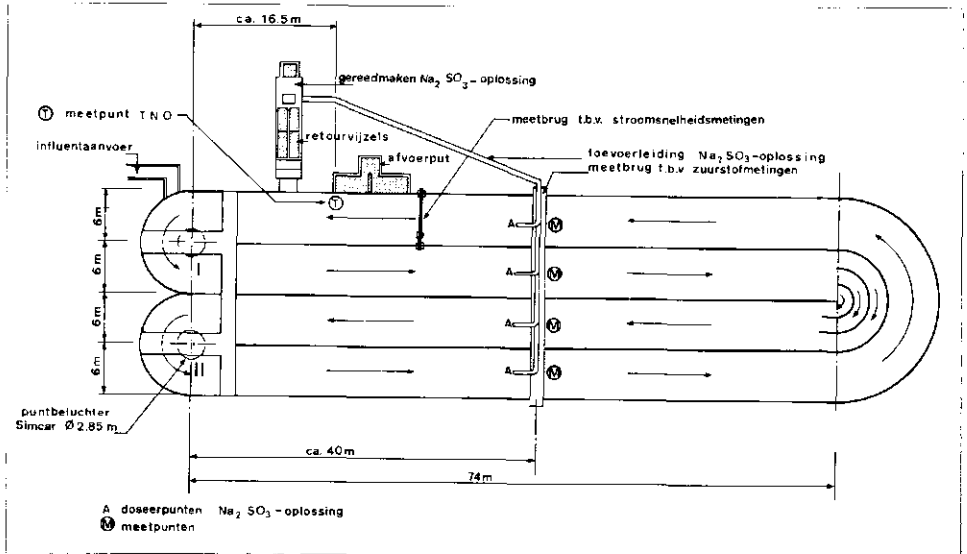
Een controle op de bepaling van de gemiddelde stroomsnelheid werd verkregen door na meting OC 5 bij beluchter II in één keer een oplossing van 40 kg  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 0 \text{ aq}$  in 160 l water, aan het water toevoegen. Even bovenstrooms van beluchter I werd vervolgens het verloop van het zuurstofgehalte met de tijd nagegaan (afb. 6). Het op één plaats in de watermassa gevormde zuurstofdeficiet werd na elke rondgang kleiner. De oorzaak was enerzijds een langzaam mengproces, anderzijds het feit dat bij elke rondgang tweemaal een beluchting plaats had.

Het is duidelijk dat zelfs na een uur een plaatselijk toegevoegde stof zich nog niet over het gehele circuit zal hebben verdeeld. Het maximum van het deficiet verplaatste zich met een snelheid van 31,7 cm/s. Uit de stroomsnelheidsmetingen volgde voor de gemiddelde stroomsnelheid een waarde van 31,4 cm/s.

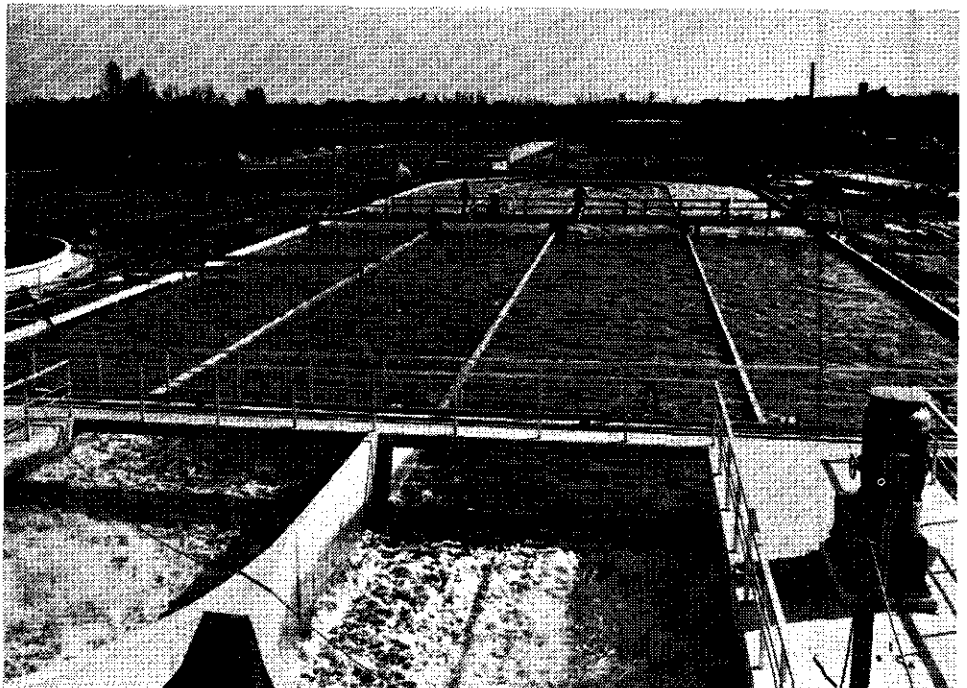
#### Vermogensmetingen

Op 8 en 9 april 1972 zijn vermogensmetingen verricht, waarbij het door de elektromotoren opgenomen bruto vermogen voor verschillende dompeldiepten werd bepaald.

Afb. 4 - Meetopstelling OC-metingen RWZI Losser.



Afb. 5 - Beluchtingscircuit Losser tijdens OC-metingen. In het midden links de meetbrug voor de snelheidsmetingen; daarachter de houten loopbrug voor de zuurstofmetingen. De foto is genomen tijdens het doseren van het natriumsulfiet.



Uit deze bruto vermogens zijn met behulp van de rendementsgrafieken van de motoren en de tandwielreductiekasten de aan de beluchteras afgegeven netto vermogens berekend. Ook hier zijn de waarden voor afwijkende dompdiepten door interpolatie gevonden.

### 3.3. Zuurstofmetingen

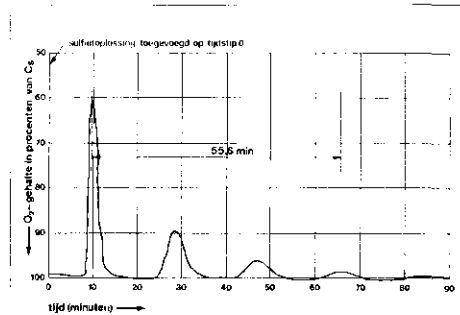
#### Vorbereiding

Voordat het carouselcircuit kon worden gevuld, moest het zo goed mogelijk waterdicht worden gemaakt. Bij de constructie was men er namelijk van uitgegaan dat de voegen tussen de bodemplaten tijdens bedrijf door het dan aanwezige slib zouden worden afgedicht. Omdat voor OC-metingen een vulling met schoon water noodzakelijk is, moesten de voegen toch worden afgekit.

Leidingwater was beschikbaar, maar de door het waterleidingbedrijf toegestane afname was beperkt tot 10 m<sup>3</sup>/h, hetgeen bij een circuitinhoud van ca. 6.300 m<sup>3</sup> een vultijd van ruim 26 dagen zou hebben betekend.

Omdat een periode van slechts 14 dagen beschikbaar was, is daarom tevens gebruik gemaakt van grondwater, dat met behulp van een bronbemaling werd gewonnen.

Ondanks de kitafdichtingen bleef enige lekkage van water uit het circuit optreden, zodat ook tijdens de zuurstofmetingen water gesuppleerd moest worden.



Afb. 6 - Controle gemiddelde stroomsnelheid m.b.v. sulfietstoot.

Het debiet van dit suppleren was zo klein dat de invloed ervan op de meetresultaten kan worden verwaarloosd.

#### Meetopstelling

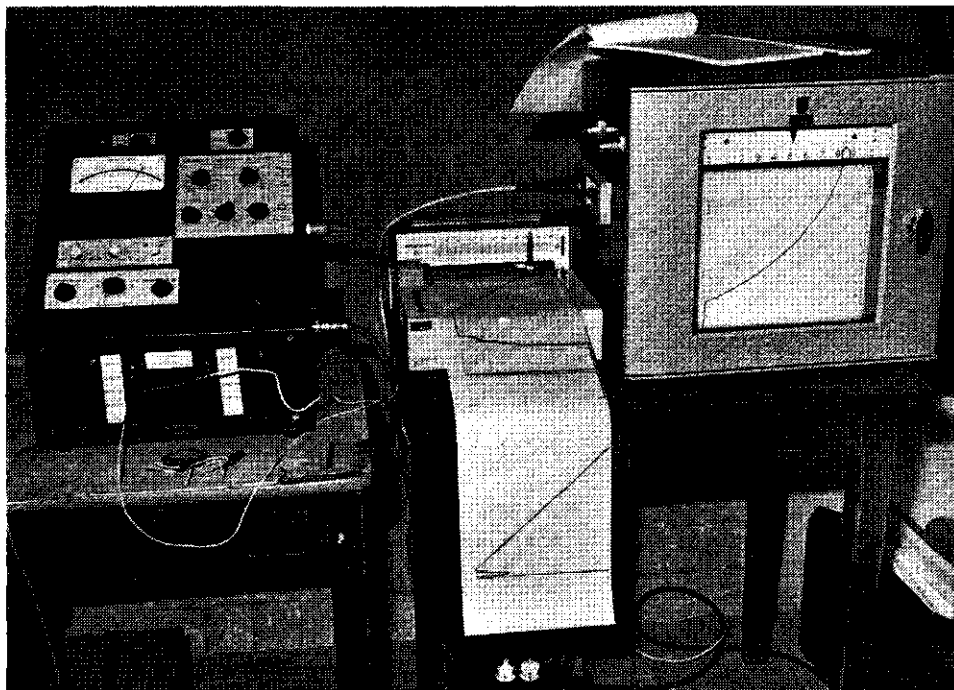
Voor de zuurstofmetingen zelf waren vijf meetpunten ingericht, waar het zuurstofgehalte als functie van de tijd kon worden bepaald. Voor de punten 1 t/m 4 was een houten hulpbrug over het circuit gemon-teerd, waaraan tevens de sulfiet-toevoer-leiding was bevestigd (afb. 4 en 5). Meetpunten 1 en 3 waren ingericht voor het nemen van watermonsters waarin volgens de methode Winkler het zuurstofgehalte werd bepaald. Bij de meetpunten 2 en 4 werd het zuurstofgehalte gemeten met behulp van Electrofact membraan-zuurstofelectroden, die gekoppeld waren

aan een Riken Denshi-recorder, model SP-J1B, resp. een industriële 10 mV Electrofact-recorder. Ter controle werd ook op deze punten een aantal zuurstof-bepalingen volgens Winkler uitgevoerd. Bij meetpunt T was de apparatuur van IG-TNO opgesteld. Deze apparatuur, die uitvoeriger in [1] is besproken, bestaat in hoofdzaak uit een membraan-zuurstof-electrode, gekoppeld aan een lineaire Philips-recorder en een half-logarithmische Vitatron-recorder (afb. 7).

#### Uitvoering proeven

Na instellen van het juiste waterniveau en de gewenste dompdiepten werden de beluchters (bij OC 1 en OC 7 alleen beluchter I) gestart. Het natriumsulfiet, dat nodig is om de circuitinhoud zuurstofloos te maken, werd om elk risico van plaatselijke afzettingen op de bodem te voorkomen niet in kristal-vorm, maar als waterige oplossing gedoseerd. Daartoe werd ca. 12 m<sup>3</sup> water uit het circuit in de vijzelput van de slib-retourvijzels gebracht (afb. 4), waarna er 1000 tot 1100 kg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> · 0 aq in ongeveer een half uur in werd opgelost, onder gebruikmaking van een roerder (1 kW) en één of twee pompen voor circulatie. De verkregen sulfietoplossing werd vervol-gens op 4 plaatsen — één in het midden van elk been — in het circuit gepompt. Teneinde een zo gelijkmatig mogelijke sulfietconcentratie te bewerkstelligen is getracht de totale sulfietdosis toe te voegen in de tijd die de watermassa (gerekend naar de gemiddelde stroomsnelheid) nodig had om eenmaal het circuit rond te gaan. Soms is bij het laatste gedeelte van de sulfietoplossing via een schuif wat water uit het circuit toegevoegd, zodat op het einde een oplossing met een afnemende sulfietconcentratie in het circuit werd gebracht. Het afnemen van het zuurstofgehalte op het meetpunt T is te zien in de logarithmische grafiek behorende bij OC 3 (afb. 8). Vóór OC 1 is aan het circuit als kataly-sator voor de sulfietoxydatie 3 kg CoSO<sub>4</sub> · 7 aq toegevoegd (≈ 0,1 g cobalt per m<sup>3</sup> water). Vóór OC 4 is nogmaals 1 kg cobaltsulfaat toegevoegd. Na het beëindigen van de sulfiettoevoeging duurde het nog 15 tot 30 minuten totdat het zuurstofgehalte bovenstrooms van beluchter I begon op te lopen. Bij de beluchters zelf en direct benedenstrooms daarvan was dit al eerder het geval. Kort nadat het zuurstofgehalte boven-strooms van beluchter I begon op te lopen, bleek er geen sulfiet meer in het water aanwezig te zijn (controle van een aange-zuurd monster water met een J<sub>2</sub>-oplossing). Het duurde van een half uur tot een uur,

Afb. 7 - Opstelling meetapparatuur IG-TNO t.b.v. zuurstofmetingen.



alvorens het zuurstofgehalte bovenstrooms van de beluchter van 0 tot  $0,7 \cdot c_s$  was gestegen. Bij een zuurstofgehalte van 0,8 à  $0,9 \cdot c_s$  is de beluchting gestopt.

#### Invloed opgeloste stoffen

Enkele malen is uit het circuit een monster water genomen en daarin door indampen en vervolgens drogen bij 105 °C en 180 °C het zoutgehalte bepaald. Het chloridegehalte is door titratie apart bepaald. De verkregen cijfers zijn vermeld in tabel II.

TABEL II - Indamprest en chloridegehalte circuitvloeistof.

Tijdstip	gedroogd (2 uur) bij		Cl-gehalte (mg/l)
	105 °C (mg/l)	180 °C (mg/l)	
12 april; vóór het toevoegen van sulfiet (vóór OC 1)	238	220	34
14 april; tijdens OC 3	760	741	37
18 april; tijdens OC 5	1028	1004	34
19 april; tijdens OC 7	1330	1304	34

Het gehalte aan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bij OC 7 zal ruim 1 gram per liter zijn geweest.

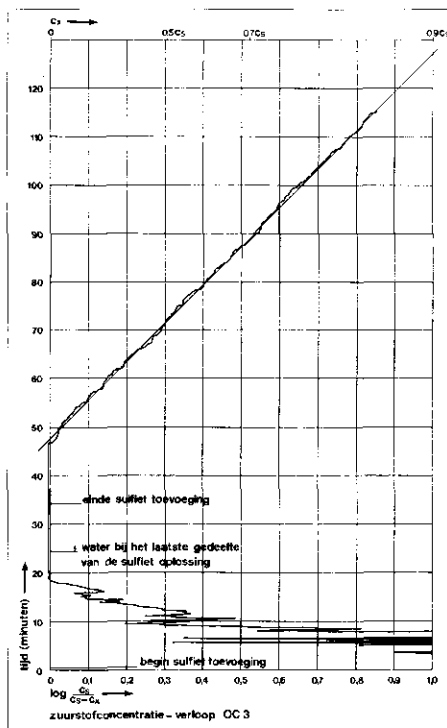
Rekening houdend met enige verversing komt dit wel overeen met hetgeen te verwachten was uit de totaal toegevoegde hoeveelheid sulfiet.

Tijdens OC 1 zal het zoutgehalte bijna 400 mg/l hebben bedragen. Tijdens OC 7, die bedoeld was als een herhaling van OC 1 om de invloed van de toegenomen hoeveelheid natriumsulfaat na te gaan, bedroeg het totale zoutgehalte ruim 1.300 mg/l. In het laatste geval was de dompeldiepte wel 0,6 cm kleiner en de temperatuur ruim 1 °C lager. Ook OC 2 en OC 5 waren duplo's, waarbij het verschil in zoutconcentratie echter kleiner was (ca. 450 mg/l). Hetzelfde geldt voor de duplo's OC 3 en OC 6 (verschil in zoutconcentratie ca. 410 mg/l).

Uit de gevonden waarden voor  $tg\alpha$  blijkt dat de verschillen in zoutconcentratie geen belangrijke invloed hebben gehad op het beluchtingsproces.

TABEL III - Resultaten OC-metingen RWZI Losser.

meting	OC 1	OC 2	OC 3	OC 4	OC 5	OC 6	OC 7
datum	12/4	13/4	14/4	17/4	18/4	18/4	19/4
beluchter(s)	I	I + II	I + II	I + II	I + II	I + II	I
dompeldiepte (cm)	+ 9,4	+ 9,0	+ 0,6	- 9,25	+ 9,0	- 0,2	+ 8,8
barometerstand (mm Hg)	752	762	762	765	763	760	758
temperatuur (°C)	9,3	9,2	9,8	9,5	8,3	8,6	8,2
gemeten $c_s$ (mg/l)	11,5	11,67	11,7	11,75	12,17	11,99	12,2
stroomsnelheid $v$ (cm/s)	24,0	31,4	27,6	23,8	31,4	27,2	23,8
debiet $q$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	15391	20137	17700	15263	20137	17444	15263
bruto opgenomen vermogen (kW)	42,9	42,5	34,9	26,0	42,5	34,2	42,3
berekend netto vermogen, afgegeven aan beluchteras (as-pk)	49,0	48,5	39,5	28,9	48,5	38,6	48,3
$tg\alpha$ ( $\text{uur}^{-1}$ )	0,484	0,934	0,735	0,634	0,890	0,769	0,501



Afb. 8. - Zuurstofconcentratie-verloop meting OC 3.

#### 3.4. Meetresultaten

Met behulp van de semilogarithmische recorder van IG-TNO kon de waarde van  $tg\alpha$  rechtstreeks uit de grafiek worden bepaald. Door de verkregen curven zijn op het oog zo goed mogelijk rechte lijnen getrokken (zie afb. 8), waarbij het zwaartepunt gelegd is op het gedeelte met een zuurstofgehalte tussen 10 % en 60 à 70 % van de verzadigingswaarde ( $\log c_s/(c_s - c_x)$  tussen 0,05 en 0,4 à 0,5).

Met de wijze van sulfietdoserings is bereikt dat de meeste curven vrijwel geen slingerend verloop hadden. De lineaire recorders (meetpunten 2 en 4) leverden exponentiële zuurstofgrafieken op, waar vloeiende krommen doorheen werden getrokken. Voor een groot aantal punten werd per kromme de waarde  $c_s/(c_s - c_x)$  op

halflogarithmisch papier uitgezet, als in afb. 1. Met de methode der kleinste kwadraten werd vervolgens een rechte door de aldus gevonden punten getrokken en kon de waarde van  $tg\alpha$  worden afgelezen.

Voor de meetpunten 1 en 3 (zuurstofbepaling volgens Winkler) werd dezelfde procedure gevolgd, zij het dat  $c_s/(c_s - c_x)$  hier rechtstreeks uit de gevonden zuurstofconcentratie werd berekend.

Van de per OC-meting voor  $tg\alpha$  gevonden waarden is tenslotte het gemiddelde bepaald.

Meetgegevens en resultaten zijn samengevat in tabel III.

#### 3.5. Berekening OC

Met de voor  $tg\alpha$  gevonden waarden is de OC berekend volgens vergelijking (21). Het volume  $V$  bedroeg tijdens de zuurstofmetingen 6286  $\text{m}^3$ , bij een waterdiepte van 2,98 m. Het debiet  $q$  is bepaald door vermenigvuldiging van de natte dwarsdoorsnede van het circuit (17,814  $\text{m}^2$ ) met de gemiddelde stroomsnelheid zoals vermeld in tabel III. Het eenduidig vaststellen van  $V_1$  (het kopvolume, waarin ideale menging wordt verondersteld) was minder eenvoudig. Gekozen is het volume van de carouselkop, begrensd door de kopwand en een verticaal vlak, loodrecht op de stroomrichting ter plaatse van de beëindiging van de scheidingwand tussen de benen (225  $\text{m}^3$ ). Een andere mogelijkheid was geweest de kop a.h.w. te spiegelen t.o.v. een loodrecht op de stroomrichting staand vlak door de beluchter-as. De inhoud van de zo gevormde bak zou men dan gelijk kunnen stellen aan  $V_1$ .

De keuze van de grootte van het kopvolume heeft overigens geen grote invloed op de berekende OC. De afwijking van de voor het aangenomen kopvolume  $V_1 = 225 \text{ m}^3$  berekende OC blijkt nl. bij hanteren van waarden voor  $V_1$  tussen 0 en 450  $\text{m}^3$  slechts  $\pm 2$  à 2,3 % te bedragen.

De resultaten van de OC-metingen en het bruto en netto zuurstofinbrengrendement

$\eta_{O_2}$  zijn samengevat in tabel IV en grafisch weergegeven in afb. 9, 10 en 11. Het rendement van de beluchter zelf wordt het beste gekarakteriseerd door het netto zuurstofinbrengrendement. De in de carrousel gevonden netto inbrengrendementen zijn zeer bevredigend t.o.v. door anderen in een beluchtingstank gevonden waarden. In Georgetown (Canada) werd bijv. door de Ontario Water Resources Commission voor Simcarbeluchters  $\varnothing$  2,30 m een netto zuurstofinbrengrendement gevonden van 1,65 - 1,89 kg O<sub>2</sub>/as-pkh, met een enkele uitschieter van 2,74 kg O<sub>2</sub>/as-pkh [4], terwijl door IG-TNO bij een serie metingen in opdracht van de gemeente Rotterdam voor een Simcar-beluchter  $\varnothing$  2,03 m waarden van 1,54 - 1,91 kg O<sub>2</sub>/netto as-pkh werden gevonden.

3.6. *Opmerkingen*

OC-metingen als in dit artikel beschreven kunnen alleen worden uitgevoerd als de installatie met schoon water is gevuld. Een gevolg hiervan is, dat dergelijke metingen in de praktijk alleen kunnen plaatsvinden als de installatie nog niet in bedrijf is genomen. Het gedurende tenminste enkele dagen buiten bedrijf zijn van een al in gebruik genomen zuiveringsinstallatie is immers in het algemeen ontoelaatbaar.

Een van de consequenties is nu dat de reductiekasten van de oppervlaktebeluchters nog niet zullen zijn ingelopen, waardoor een wat te laag zuurstofinbrengrendement wordt gevonden. De afwijking is echter in het algemeen niet groter dan ca. 1 %.

Meting van het vermogen dat bij de verschillende dompediepten wordt afgenomen kan weliswaar worden uitgesteld tot de reductiekasten wel zijn ingelopen, maar in de praktijk is de installatie dan al geruime tijd in gebruik en moet het verschil in viscositeit en soortelijke massa tussen schoon water en een actief slibmengsel weer in rekening worden gebracht.

De kosten verbonden aan het verrichten van OC-metingen zijn vrij aanzienlijk, vooral bij grotere installaties.

In het beschreven geval bedroegen de kosten van het vullen van het circuit met leiding- en grondwater, van de menger en pompen voor het oplossen en doseren van het sulfiet en van de houten meetbrug ca. f 11.500,—. Dan zijn er nog de chemicaliënkosten van ruim f 3.000,— alsmede de niet zo direct aan te geven kosten verbonden aan de voorbereiding van het geheel en het uitvoeren van de vermogens- en stroomsnelheidsmetingen en de eigenlijke OC-metingen.

TABEL IV - Resultaten OC-berekening.

meting	OC 1	OC 2	OC 3	OC 4	OC 5	OC 6	OC 7
aantal beluchters	1	2	2	2	2	2	1
dompediepte (cm)	+ 9,4	+ 9,0	+ 0,6	- 9,25	+ 9,0	- 0,2	+ 8,8
OC per beluchter (kg O <sub>2</sub> /h)	102,3	91,2	69,7	60,4	87,6	75,2	109,5
$\eta_{O_2}$ (kg O <sub>2</sub> /bruto kWh)	2,38	2,15	2,00	2,32	2,06	2,20	2,59
$\eta_{O_2}$ (kg O <sub>2</sub> /netto as-pkh)	2,09	1,88	1,76	2,09	1,81	1,95	2,27

4. *Samenvatting*

Het stijgende aantal carrousel-installaties heeft de behoefte vergroot aan een betrouwbare methode om het zuurstoftoevoervermogen (de OC) in deze installaties te bepalen. De tot dusverre gebruikelijke berekeningsmethoden berusten namelijk in het algemeen op de veronderstelling dat in de gehele beluchtingsinstallatie een ideale menging plaatsvindt, hetgeen voor carrousel zeker niet het geval is. Wel is reeds eerder een formule

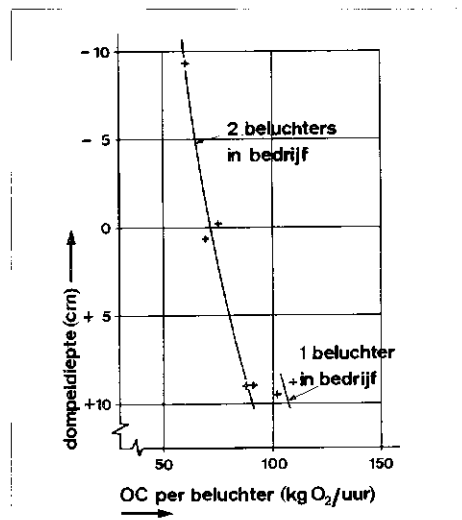
afgeleid waarmee de OC in oxydatiesloten met borstelbeluchters kan worden berekend, aannemende dat hierin ideale propstroming optreedt (verg. 4).

In een carrouselcircuit kunnen twee gedeelten worden onderscheiden: de kop, waarin de oppervlaktebeluchter is opgesteld en de benen van het circuit. In het kopvolume (V<sub>1</sub>) wordt ideale menging aangenomen, in het overige volume (V<sub>2</sub>) ideale propstroming.

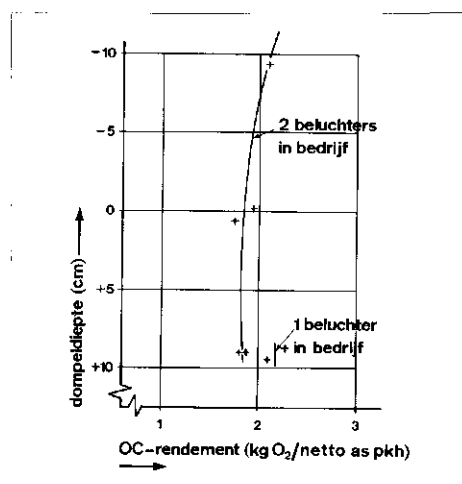
In het eerste gedeelte van het onderhavige artikel is een formule afgeleid (verg. 21), waarmee de OC in een carrouselinstallatie kan worden berekend. Dezelfde formule is ook bruikbaar voor oxydatiesloten met borstelbeluchters. In het eerste geval geldt dan V<sub>1</sub> = 0; in het tweede geval: V<sub>2</sub> = 0. De begrenzing van het kopvolume V<sub>1</sub> is voor carrousel niet eenduidig vast te stellen. Betrekkelijk grote variaties in de begrenzing blijken echter, bij de gebruikelijke verhoudingen van de afmetingen van de kop en de benen, een te verwaarlozen invloed op de grootte van de berekende OC te hebben.

Voor de afvalwaterzuiveringsinstallatie te Losser, waarin 2 Simcar oppervlaktebeluchters  $\varnothing$  2,85 m zijn opgesteld, zijn voor verschillende waarden van de dompediepte van de beluchter(s) de OC en het bruto en netto zuurstofinbrengrendement berekend, onder gebruikmaking van de gevonden vergelijking (21).

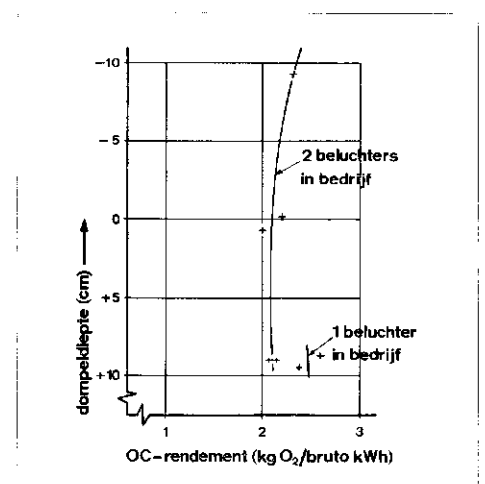
Afb. 9 - OC per beluchter.



Afb. 10 - Netto zuurstofinbrengrendement.



Afb. 11 - Bruto zuurstofinbrengrendement.



De voor het netto-zuurstofinbrengrendement gevonden waarden liggen tussen 1,76 en 2,27 kg O<sub>2</sub>/netto as-pkh. Deze waarden zijn zeer bevredigend in vergelijking met o.a. door de OWCR te Georgetown (Canada) en door IG-TNO in een beluchtingstank gevonden netto zuurstofinbrengrendementen.

#### Literatuur

1. Sweeris, S., 'Meting van het zuurstoftoevoervermogen', H<sub>2</sub>O, 2 (1969), 610-642, 649.
2. Pasveer, A., 'Research on activated sludge. II Experiments with brush aeration', Sew. and Ind. Wastes 25 (1953), 1397-1404.
3. Kayser, R., 'Ermittlung der Sauerstoffzufuhr von Abwasserbelüftern unter Betriebsbedingungen', dissertatie TH Braunschweig 1967.
4. Knop, E., Bischofsberger, W., en Stalman, V., 'Versuche mit verschiedenen Belüftungssystemen im technischen Massstab. Teil I. Untersuchungen an Oberflächenbelüftern und kombinierten Systemen in Reinwasser', uitgave Emschergenossenschaft.
5. Kessener, H. J. N. H., en Ribbius, F. J., 'Comparison of aeration systems for the activated sludge process'. Sewage Works Journal 6 (1934), 423-443.

