

De toepasbaarheid van de OC als vergelijkingsmaat voor verschillende beluchtingssystemen*

Samenvatting

Historisch gezien is het kengetal OC, dat gebruikt wordt ter karakterisering van een beluchtingsapparaat, ingevoerd voor goed gemengde beluchtingstanks. De gebruikelijke definitie van OC berust o.a. op een denkbeeldige extrapolatie waarbij het water ter plaatse van de beluchting geheel zuurstofvrij is. Bij een installatie die niet volledig gemengd is, en die bijv. bestaat uit een circulatiesloot met beluchting op slechts één of enkele plaatsen blijkt dat de waarde van OC echter sterk afhangt van de



F. DIJKSTRA
Centraal Laboratorium DSM
Geleen



TH. ZWIETERING
Centraal Laboratorium DSM
Geleen

wijze waarop de extrapolatie naar een zuurstofconcentratie nul wordt uitgevoerd. Voor dit soort installaties is de OC dan ook niet zonder meer bruikbaar ter karakterisering van de totale installatie, tenzij men de OC zou definiëren op basis van de zuurstofinslag die optreedt wanneer het aan de beluchte zone toestromende water zuurstofloos is.

De zo gedefinieerde OC kan dan worden beschouwd als een goede benadering van de maximale zuurstofinslag onder bedrijfsomstandigheden.

Op de voorgestelde wijze wordt voorkomen dat OC-waarden worden berekend die van weinig waarde zijn voor de praktijksituatie.

Par. 1. Inleiding

De keuze van het type beluchting en de capaciteit van de beluchtingsapparatuur vormen steeds een belangrijk punt van aandacht bij het ontwerpen van een biologische zuiveringsinstallatie. Ook de werking van beluchtingsapparatuur in bestaande installaties wordt dikwijls grondig bestudeerd. Uiteindelijk gaat het hierbij steeds om de vraag hoeveel zuurstof door de beluchtingsapparatuur onder bedrijfsomstandigheden in de installatie kan worden ingebracht en hoeveel energie daarbij wordt verbruikt. Om een indruk te krijgen omtrent de

prestaties van een apparaat dat dient voor het beluchten van water — bij afvalwaterzuivering of soms ook bij drinkwaterbereiding — en om verschillende apparaten te kunnen vergelijken is het gebruikelijk een dergelijk apparaat te karakteriseren door de grootte OC, de 'Oxygenation Capacity'.

Deze grootte heeft de dimensie: kg O₂ per h, en wordt gedefinieerd als de hoeveelheid zuurstof die m.b.v. dit apparaat per uur in oplossing zou gaan indien het zuurstofgehalte van het water ter plaatse van de beluchting nul zou zijn. Daarbij wordt gestandaardiseerd op schoon water, bij 10 °C en 1 atm.

De theorie van het zuurstof-toevoervermogen van diverse beluchtingsinrichtingen en de meettechnieken om hun werking kwantitatief te bepalen zijn duidelijk en uitgebreid te vinden in een publicatie van Sweeris [1].

Bij het toepassen van deze karakteriserende grootte OC in de praktijk komt men echter op vragen die weliswaar bij grondige bestudering van de theorie geen moeilijkheden opleveren, maar die toch tot misverstanden zouden kunnen leiden.

Enkele van deze vragen worden in dit artikel behandeld, nl.:

a. Karakteriseert de OC de werking van een afzonderlijk apparaat (puntbeluchter, waterstraalbeluchter, bellenbeluchter), of van een gehele installatie, dus bijv. apparaat plus tank, of apparaat plus circulerende oxydatiesloot?

De vraag is van belang, omdat eenzelfde apparaat in verschillende omgevingen kan worden geplaatst, of ook twee apparaten in één installatie in serie kunnen worden gezet.

b. Kan men twee ongelijksoortige beluchtingsmethoden vergelijken op basis van hun OC of eventueel op hun quotiënt: OC/netto vermogen?

c. De waarde van de OC voor een beluchtingsapparaat wordt dikwijls bepaald onder niet stationaire omstandigheden: beginnend met zuurstofvrij water zorgt de beluchter voor een geleidelijke stijging van het zuurstofgehalte en de proef is afgelopen als dit gehalte dicht bij verzadiging is gekomen. In normaal bedrijf werkt de installatie echter continu, onder (min of meer) stationaire omstandigheden.

De vraag is nu, hoe op basis van de OC, de vertaling van batch naar continu kan worden uitgevoerd.

Par. 2. Wat wordt door de OC gekarakteriseerd?

De OC wordt gedefinieerd als de zuurstof-

toevoer naar het water in kg/h, bij standaardcondities, indien in het water waar de overdracht plaatsvindt, de O₂-concentratie nul zou zijn, dus als daar een tegendruk nul zou heersen.

In werkelijkheid zal de zuurstofconcentratie altijd groter zijn dan nul en de OC moet dan ook beschouwd worden als een theoretische bovengrens voor de zuurstoftoevoer.

De werkelijke zuurstoftoevoer is dan:

$$q = OC \cdot \frac{c_s - c}{c_s} \quad (1)$$

q = zuurstoftoevoer, kg O₂/h;

c_s = verzadigingsconcentratie;

c = zuurstofconcentratie van het water waarin de beluchter is geplaatst.

Dus is

$$q \leq OC \text{ wegens } c \geq 0$$

In volgende paragrafen zal nader worden bekeken hoeveel kleiner q kan zijn dan OC. Hier zullen we ons alleen bezighouden met de gestelde karakteriseringsvraag, namelijk: in hoeverre de OC voor een bepaald apparaat een constante is.

We onderschieden daartoe de variabelen die invloed hebben op de zuurstoftoevoer in 4 soorten:

a. De kenmerkende variabelen van het apparaat zelf: afmetingen, toerental, dompeldiepte, draairichting; bij een persluchteluchter het persluchtdebiet; bij een waterstraalbeluchter het debiet van de waterstralen; enz.

Het is duidelijk dat de OC sterk van deze variabelen zal afhangen. De constructeur van het apparaat zal de diverse variabelen zodanig kiezen dat een optimaal rendement wordt verkregen, bijv. minimale energie voor een gegeven zuurstoftoevoer.

Zijn deze grootheden eenmaal gekozen dan ligt wat deze betreft de OC voor het bedoelde apparaat vast.

b. Fysische en chemische eigenschappen van het water en de lucht: temperatuur, vochtigheid en barometerstand van de lucht, temperatuur van het water en opgeloste stoffen beïnvloeden in meerdere of mindere mate de zuurstofopname. Deze variabelen behoren niet tot de eigenschappen van het eigenlijke beluchtingsapparaat en hun invloed is voor een deel moeilijk te voorspellen. Daarom worden zij bij de definitie van OC geëlimineerd door te stellen dat het gaat over zuiver water (verzadigd met N₂) bij een temperatuur van 10 °C en normale atmosferische druk. Bij een experimentele bepaling van OC werkt men dan ook met praktisch schoon water (afgezien van opgeloste sulfiet en sulfaat) en maakt men correcties voor barometerstand en temperatuur.

* Het artikel is tot stand gekomen met medewerking van het Adviesbureau Bongaerts, Kuiper & Huiswaard, 's-Gravenhage

c. Biologische invloeden.

De zuurstoftoevoer q kan worden beïnvloed door biologische activiteit. Ook deze invloed wordt geëlimineerd door OC te definiëren op schoon water. Bij berekening van de werkelijke zuurstoftoevoer onder bedrijfsomstandigheden zal men meestal aannemen dat de stofoverdrachtscoëfficiënt niet direct door de biologische activiteit wordt beïnvloed, zodat formule (1) blijft gelden. De bacteriewerking heeft dan wel invloed op de concentratie c in formule (1), maar niet op de grootte van OC.

d. De eigenschappen van de omgeving van het beluchtingsapparaat.

Het beluchtingsapparaat vormt een onderdeel van een installatie die uiteenlopende vormen en afmetingen kan hebben. Dit heeft zijn invloed op de werking van de beluchter. Door diverse onderzoekers is hierover gepubliceerd. Het blijkt dat de geometrie van het bassin, het al of niet aanwezig zijn van schotten en het volume water waarin de beluchter is geplaatst grote invloed hebben op de inslagcapaciteit van een beluchter [2, 3]. Een andere zeer belangrijke variabele is het waterdebiet dat de beluchter passeert. Sweeris heeft in [1] de invloed besproken van de horizontale watersnelheid op de OC van bellenbeluchters. Uitvoerige metingen betreffende de invloed van de watersnelheid op de OC van de kooirotor en de hoekijzerrotor werden door hem gepubliceerd in [4].

Bij een intensief geroerd vat, zoals de kop van een carrousel, is een dergelijke invloed van het debiet op de waarde van de OC niet te verwachten: de toe- en afvoerstromen storen het stromingspatroon in de kop nauwelijks. Het debiet heeft weer wel zijn invloed op de concentratie c in formule (1), juist zoals de biologische activiteit. Het is overigens moeilijk, enigszins nauwkeurig aan te geven hoe groot voor diverse apparaten de invloed van het debiet zal zijn. Het is daarom aan te bevelen, de OC te meten bij een debiet van het circulerende water dat overeenkomt met de bedrijfsomstandigheden en dit debiet ook samen met de gevonden OC-waarde te vermelden, zoals door Sweeris is gedaan in [4].

De eerste vraag kan dus als volgt worden beantwoord:

De OC karakteriseert niet de werking van het beluchtingsapparaat op zich maar de werking van de beluchter in een bepaalde omgeving. De factoren die hierbij een rol spelen zijn de geometrie van het bassin, het volume water waarin de beluchter is geplaatst en het waterdebiet dat de beluchter passeert. Verder is de OC niet gelijk aan

de werkelijke zuurstofinslag onder bedrijfsomstandigheden, maar een theoretische bovengrens onder standaardcondities.

Par. 3. Vergelijking van twee verschillende beluchtingsmethoden

Als we twee beluchtingsapparaten bekijken die volgens verschillende principes werken, dan kan het voorkomen dat een onderlinge vergelijking op basis van hun beider OC niet direct mogelijk is, zoals in het volgende wordt uiteengezet.

Als voorbeeld nemen wij een oxydatiesloot met een borstelbeluchter en vergelijken deze met een sloot, voorzien van een puntbeluchter (een carrousel), beide sloten met dezelfde waterinhoud.

Stel dat in beide systemen de OC wordt bepaald in een niet-continue proef, dus door het oorspronkelijke zuurstofvrije water eenmalig tot verzadiging te brengen.

Bij een goed uitgevoerde proef zal dan de zuurstofconcentratie, gemeten op een geschikte plaats, in de tijd ongeveer verlopen volgens:

$$c_s - c(t) = a e^{-pt}$$

(p is een constante parameter)

d.w.z. het zuurstofdeficiënt vermindert exponentieel met de tijd of:

$$c_s - c(t) = a \cdot 10^{-\frac{p}{2.3} t}$$

$$\log(c_s - c) = \log a - \frac{p}{2.3} t$$

Op een halflogaritmische grafiek, d.w.z. $\log(c_s - c)$ tegen t , vindt men ongeveer een rechte, met hellingshoek α , waarvoor

$$\text{tg } \alpha = \frac{p}{2.3}$$

dus:

$$\log(c_s - c) = \text{constante} - (\text{tg } \alpha) \cdot t$$

De helling $\text{tg } \alpha$ is een maat voor de snelheid van de zuurstoftoevoer; met behulp van deze grootheid kan de OC worden berekend.

De hiervoor benodigde formules zijn door Sweeris afgeleid:

a. voor een carrousel (formule (21), [5])

$$\text{OC} = V c_s^1 \cdot 2,3 \text{ tg } \alpha \times \frac{1}{V_1 V_2} \times \sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}}$$

$$1 - 1,15 \text{ tg } \alpha \cdot \frac{V_2}{V} \cdot \frac{D_{10}}{D_T}$$

$$1 - 1,15 \text{ tg } \alpha \cdot \frac{V_2}{v}$$

waarin:

$$V_1 = \text{volume van de carrouselkop (m}^3\text{);}$$

$$V_2 = \text{volume sloot (met propstroom) (m}^3\text{);}$$

$V = V_1 + V_2 = \text{totaal volume (m}^3\text{);}$
 $v = \text{debiet rondstromend water (m}^3\text{/h);}$
 $C_s^1 = \text{O}_2\text{-verzadigingsconcentratie bij } 10^\circ\text{C en } 760 \text{ mm (kg/m}^3\text{).}$

Meestal is $V_1 \ll V$ en kan de teller van de breuk door 1 worden vervangen:

$$\text{OC} = V c_s^1 \cdot 2,3 \text{ tg } \alpha \times \frac{1}{V_2} \times \sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}}$$

$$1 - 1,15 \text{ tg } \alpha \cdot \frac{D_{10}}{D_T}$$

(2)

b. voor een borstelbeluchter (formule (171), [1])

$$\text{OC} = V c_s^1 \cdot 2,3 \text{ tg } \alpha \times \frac{1}{V} \times \sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}}$$

$$1 + 1,15 \text{ tg } \alpha \cdot \frac{D_{10}}{D_T}$$

(3)

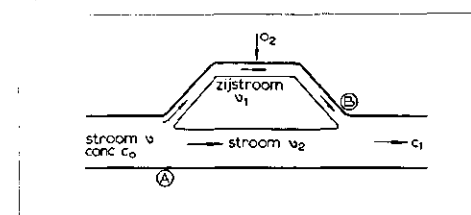
De formules verschillen dus in de noemers van de breuk.

Veronderstel nu dat bij genoemde proef blijkt dat in beide installaties in precies dezelfde tijd eenzelfde verzadigingspercentage wordt bereikt (bijv. 0,95 c_s) en dat dus beide precies dezelfde $\text{tg } \alpha$ hebben, dan kan men stellen dat beide installaties even effectief werken. Toch vinden we met de formules (2) en (3) verschillende OC-waarden, die in praktische gevallen tientallen procenten blijken uiteen te liggen. Zonder nu in te gaan op de afleiding van de formules (2) en (3) kunnen we toch de oorzaak van deze discrepantie verklaren. Het verschil ontstaat namelijk doordat de modellen die aan de formules voor deze twee apparaten ten grondslag liggen, anders zijn.

Dit is te illustreren aan een zeer eenvoudig model dat wij willen toepassen op een borstelbeluchter.

Dit model is als volgt (afb. 1): De totale stroom water, v m³/h, wordt bij A gesplitst in een vaste stroom v_1 en een reststroom v_2 . De stroom v_1 wordt geheel met zuurstof verzadigd, de stroom v_2 gaat onveranderd door. (Men mag ook aannemen dat stroom v_1 slechts gedeeltelijk verzadigd wordt. Dit maakt voor de

Afb. 1.



onderstaande redenering geen wezenlijk verschil.)

Bij B worden beide stromen weer samengevoegd en goed gemengd. Dan is:

$$q = v_1 (c_s - c_0)$$

$$v = v_1 + v_2$$

Om te komen tot de standaardformule (1) wordt dit geschreven als:

$$q = (v_1 c_s) \cdot \frac{c_s - c_0}{c_s} \quad (4)$$

Door vergelijking van (4) met formule (1) vinden we dat voor c nu de ingaande concentratie c₀ moet worden ingevuld. De OC wordt gevonden door deze ingangconcentratie gelijk aan nul te nemen, dus:

$$OC = v_1 c_s \quad (4a)$$

Uitwerking van deze formule (hier niet gegeven) leidt tot formule (3).

Men zou formule (4) ook in een andere vorm kunnen schrijven; voor de menging in punt B geldt:

$$v c_1 = v_2 c_0 + v_1 c_s$$

Combinatie met (4) levert dan:

$$q = \frac{v \cdot v_1 \cdot c_s}{v - v_1} \cdot \frac{c_s - c_1}{c_s} \quad (4b)$$

Combinatie met formule (1) levert dan:

$$OC_{\text{uit}} = \frac{v}{v - v_1} \cdot v_1 c_s \quad (4c)$$

(OC_{uit} is OC betrokken op concentratie c₁ na de beluchting)

Deze tweede formulering levert een groter kengetal OC dan (4a), maar heeft het nadeel dat deze OC niet meer constant is, (maar afhankelijk van het debiet v (de zijstroom v₁ kan men in ons denkbeeldige proces als een apparaat-constante beschouwen).

Kennelijk maakt het verschil voor de waarde van de OC of men bij overigens gelijke omstandigheden (volume, tijd etc.) in het model waarmee men werkt de OC betreft op de zuurstofconcentratie voor of achter de beluchttingszone.

Bij een carousel stelt men zich voor dat de kop waarin zich de puntbeluchter bevindt een ideaal gemengd vat is, waarin de concentratie overal gelijk is en ook gelijk aan de concentratie in de afvoer.

De zuurstof-opname hangt dus direct samen met de concentratie juist benedenstrooms van de kop en slechts indirect met de concentratie in de toevoer. In formule (1) wordt dus de concentratie in de uitgaande stroom ingevuld en OC wordt gedefinieerd als de zuurstoftoevoer bij een (denkbeeldige) uitgaande concentratie gelijk aan nul.

In dit geval geldt formule (2) voor de

berekening van OC uit een experimentele tg α.

Het blijkt dus dat men voor een carousel de OC betreft op de uitgaande concentratie en voor de borstelbeluchter op de ingaande concentratie. Zoals echter uit het voorbeeld met de borstelbeluchter bleek (formule 4a en 4b) zijn dergelijke OC's onderling niet vergelijkbaar. Doordat aan de formules die voor de berekening van de OC uit experimentele gegevens worden gebruikt, verschillende modellen ten grondslag kunnen liggen, zijn OC's niet altijd onderling vergelijkbaar en dus ook niet de daaruit afgeleide waarden voor OC/netto vermogen.

Par. 4. Zuurstoftoevoer bij een stationair proces

De derde vraag die in par. 1 gesteld is, betreft de vertaling van een niet stationair experiment naar een stationaire toestand, op basis van de OC.

Bij het continu bedrijven van een beluchttingsinstallatie spelen zeer veel factoren een rol ten aanzien van de werkelijk ingebrachte hoeveelheid zuurstof. Deze complexe samenhang kan dan ook niet volledig door een eenvoudig karakteriseringsgetal OC worden beschreven.

Wij blijven daarom in dit artikel binnen een geïdealiseerd systeem van schoon water onder standaard-condities, zoals dat ook bij de niet-stationaire experimentele OC-bepaling wordt gedaan.

Om van een stationaire toestand te kunnen spreken, is het echter nodig een mechanisme aan te nemen dat de toegevoerde zuurstof weer wegneemt. Daartoe postuleren wij een biologisch zuurstofverbruik r, met dimensie kg O₂/m³h.

Ons doel is een vergelijking van beluchttingsapparaten op basis van hun OC en voor dit beperkte doel is het voldoende de grootheid r constant te nemen, onafhankelijk van de zuurstofconcentratie c. Zoals in par. 3 reeds is gebeurd, zullen we ook hier naast elkaar beschouwen: een oxydatiesloot met puntbeluchter en eenzelfde sloot met één borstelbeluchter, beide in stationaire toestand. Daarna wordt aandacht besteed aan een beluchttingsinstallatie die bestaat uit één goed geroerd vat. Ter vereenvoudiging van de beschouwingen veronderstellen we steeds dat slechts één beluchttingsapparaat in het circulerende

systeem aanwezig is. Uitbreiding tot meer dan een beluchter geeft geen principiële moeilijkheden.

Carousel

Bij een oxydatiesloot met puntbeluchter (carousel, afb. 2) is de zuurstoftoevoer:

$$q = OC \cdot \frac{c_s - c_1}{c_s} \quad \text{kg O}_2/\text{h} \quad (5)$$

waarin c₁ het zuurstofgehalte is in de kop en ook juist benedenstrooms van de kop. De zuurstofbalans over de kop is:

$$q = v (c_1 - c_0) + rV_1 \quad (6)$$

Hierin is rV₁ het zuurstofverbruik door biologische activiteit in de kop alleen.

De zuurstofbalans over het propstroomgedeelte van de installatie is:

$$v (c_1 - c_0) = rV_2 \quad (7)$$

(met V₂ = volume propstroomdeel)

tenminste als rV₂ voldoende klein is zodat niet alle zuurstof binnen één omloop verdwijnt. Voor grotere waarden van rV₂ moet formule (7) vervangen worden door:

$$c_0 = 0 \quad (7a)$$

Uit deze drie vergelijkingen (5), (6) en (7) of (7a) kunnen q, c₁ en c₀ worden opgelost. Dit levert voor lage rV₂, waarbij c₀ > 0 blijft:

$$q = rV \quad (8a)$$

$$c_1 = c_s \left(1 - \frac{rV}{OC}\right) \quad (8b)$$

$$c_0 = c_s \left(1 - \frac{rV}{OC}\right) - \frac{rV_2}{v} \quad (8c)$$

(V = totaalvolume V₁ + V₂)

De toegevoerde hoeveelheid zuurstof is nu onafhankelijk van de grootheid OC en van het debiet en is gelijk aan het biologisch gebruik rV.

De installatie is onderbelast en de capaciteit van het beluchttingsapparaat wordt niet volledig gebruikt. Deze komt pas tot zijn recht als rV groter is, waarbij de concentratie c₀ (vlak voor de kop) (zie 8c) gelijk aan nul wordt.

Voor dit geval (grotere rV) geldt als oplossing van de vergelijkingen (5), (6) en (7a):

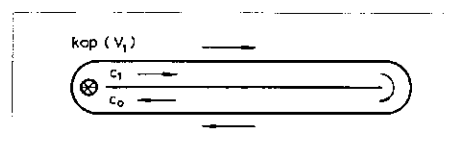
$$q = OC \cdot \frac{v c_s + rV_1}{v c_s + OC} \quad (9a)$$

$$c_1 = c_s \cdot \frac{OC - rV_1}{OC + v c_s} \quad (9b)$$

$$c_0 = 0 \quad (9c)$$

Ten aanzien van de teller in formule (9b) kunnen we stellen dat altijd rV₁ < OC zal zijn, aangezien V₁ (kopvolume) klein is. Onder omstandigheden van hoge belasting geeft dus vergelijking (9a) de zuurstof-

Afb. 2.



toevoer in de installatie in de stationaire toestand. De grens tussen de beide gebieden, die resp. beheerst worden door de vergelijkingen 8 en de vergelijkingen 9 ligt op het punt waar de biologische activiteit wordt gegeven door:

$$r = \frac{OC}{V} \cdot \frac{1}{1 + \frac{V_2}{V} \cdot \frac{OC}{v c_s}} \approx \frac{OC}{V} \cdot \frac{v c_s}{v c_s + OC} \quad (9d)$$

Als r lager is dan deze grenswaarde, dan geldt 8a, bij hogere waarden van r geldt 9a. Het blijkt dus dat de zuurstoftoevoer q afhankelijk is van de waarden OC , v en r , terwijl altijd $q < OC$ (zie formule (5)). Ter illustratie kunnen de cijfers worden ingevuld uit de publicatie van Sweeris en Trietsch [5] betreffende de zuiveringsinstallatie te Losser.

Voor de eerste proef wordt daar vermeld: (niet stat. proef)

- $OC = 102,3 \text{ kg O}_2/\text{h}$;
- $c_s = 11,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg O}_2/\text{m}^3$;
- $v = 15391 \text{ m}^3/\text{h}$;
- $V_1 = 225 \text{ m}^3$;
- $V_2 = 6061 \text{ m}^3$;
- $V = 6286 \text{ m}^3$;
- $\text{tg } \alpha = 0,484 \text{ h}^{-1}$.

(De proef is uitgevoerd bij $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$, dit verschilt zo weinig van $10 \text{ }^\circ\text{C}$, dat de factor

$$\sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}} \text{ gelijk } 1 \text{ is genomen.}$$

Men mag aannemen dat onder stationaire omstandigheden hetzelfde waterdebiet v zou ontstaan, dan volgt uit bovenstaande formules (8) en (9):

a. voor $r < 10,4 \times 10^{-3} \text{ kg O}_2/\text{m}^3\text{h}$ is (8a) geldig, dus $q = rV$, en de zuurstoftoevoer wordt geheel bepaald door r . Het beluchtingsapparaat werkt onderbelast. De concentratie in de toevoer naar de puntbeluchter is groter dan nul (zie afb. 3).

b. voor $r > 10,4 \times 10^{-3} \text{ kg O}_2/\text{m}^3$ is

$$q = OC \cdot \frac{v c_s + rV_1}{v c_s + OC} \quad (9a)$$

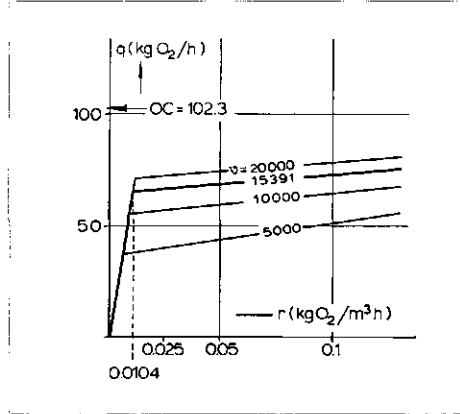
Ingevuld levert dit:
 $q = 64,8 (1 + 1,27 r)$
 dus bij
 $r = 10,4 \times 10^{-3}$ is $q = 65,7 \text{ kg O}_2/\text{h}$.

Vergroting van de activiteit r heeft betrekkelijk weinig invloed:

kiest men r tien maal zo groot, dan komt: bij $r = 0,1 \text{ kg/m}^3\text{h}$ is $q = 73,0 \text{ kg O}_2/\text{h}$.

Naast de invloed van r is er ook nog de invloed van het debiet v . Deze invloed is in afb. 3 weergegeven. Verhoging van de stroomsnelheid resulteert in een hogere zuurstoftoevoer. Pas bij zeer grote stroom-

Afb. 3 - Zuurstoftoevoer q voor puntbeluchter in gemengd vat plus sloot, voorbeeld van par. 4 met $OC = 102,3 \text{ kg/h}$.



snelheid nadert de zuurstoftoevoer q tot de theoretische waarde OC , bij een normaal te verwachten debiet ligt de zuurstoftoevoer q beduidend lager dan de OC .

Borstelbeluchter

Als tweede type beluchtingsapparaat waarvoor we de vertaling nagaan, nemen we een beluchter waarvoor formule (3) geldt, bijv. volgens Sweeris een borstelbeluchter, of een apparaat waarvan het werkingsprincipe in par. 3, afb. 1, is gepostuleerd. Daarvoor geldt onder stationaire omstandigheden:

$$q = OC \frac{c_s - c_0}{c_s} \quad (10)$$

We veronderstellen verder dat het eigen volume van de beluchtingszone verwaarloosbaar klein is ten opzichte van het volume met propstroom.

De zuurstofbalans over de beluchter is dan:

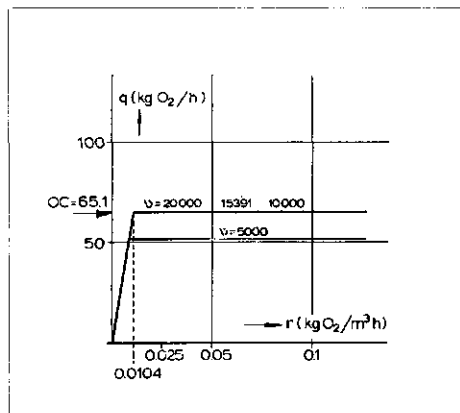
$$q = v (c_1 - c_0) \quad (11)$$

en over de sloot:

$$v (c_1 - c_0) = rV \quad (12)$$

Formule (12) geldt slechts als rV zo klein

Afb. 4 - Zuurstoftoevoer q voor borstelbeluchter in sloot, voorbeeld van par. 4 met $OC = 65,1 \text{ kg/h}$.



is dat r over het gehele volume constant is, dus dat de zuurstof in één circulatietijd niet opdraakt.

Bij hogere belasting (grotere r) raakt echter de zuurstof in de sloot reeds op binnen één recirculatietijd, zodat (12) vervangen moet worden door:

$$c_0 = 0 \quad (12a)$$

Weer wordt nu uit deze 3 vergelijkingen (10), (11) en (12) of (12a) de q opgelost.

Dit levert voor lage waarden van rV (lage belasting)

$$q = rV \quad (13a)$$

Voor hogere waarden van rV wordt c_0 lichter onderbelast, en de zuurstoftoevoer q is onafhankelijk van OC en van het debiet v . Voor hogere waarden van rV wordt c_0 gelijk nul en de oplossing is dan:

$$q = OC \quad (14a)$$

In dit geval is de zuurstoftoevoer onafhankelijk van het debiet en van de biologische activiteit r en komt in getalwaarde overeen met OC .

De grens tussen de beide gebieden (formules 13a of 14a) wordt gegeven door:

$$r = \frac{OC}{V} \quad (14b)$$

hetgeen vergeleken kan worden met formule (9d).

Als quantitatief voorbeeld nemen we een installatie met een beluchter van dit tweede type, die in een stationaire proef precies dezelfde $\text{tg } \alpha$ oplevert als de puntbeluchter en overigens ook overeenkomt met de hierboven genoemde carousel.

De OC wordt dan uitgerekend met formule (3), en valt dus lager uit dan de OC van de puntbeluchter. Nemen we dezelfde cijfers van proef OC_1 voor c_s , v , V en $\text{tg } \alpha$ (zie boven) dan zou voor deze beluchter volgen:

$OC = 65,1 \text{ kg O}_2/\text{h}$
 (overeenkomend met $v_1 = 5660 \text{ m}^3/\text{h}$)

Het verband tussen de zuurstoftoevoer q en de variabelen v en r wordt dan zoals in afb. 4 is aangegeven.

Uit deze afbeelding blijkt weer dat de zuurstofopname q hier onafhankelijk is van de circulatiesnelheid v .

Bij zeer lage circulatiesnelheid treedt echter een effect op waarmee in de formules (10) t/m (14) geen rekening is gehouden: beschouwt men het model in afb. 1, dan is het denkbaar dat de hoofdstroom v kleiner zou worden dan de vast aangenomen waarde van de zijstroom v_1 , en dus v_2 van teken omdraait. Dit levert een vermindering op van de zuurstofopname q , hetgeen in afb. 4 geïllustreerd wordt door de lijn bij $v = 5000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vergelijkt men afb. 3 en afb. 4 dan blijkt dat de twee typen beluchtingsapparaat, die

volgens veronderstelling bij de niet-stationaire proef voor de OC-bepaling hetzelfde resultaat leveren, d.w.z. dezelfde $tg \alpha$ vertonen, ook onder stationaire omstandigheden praktisch hetzelfde gedrag vertonen, dus bij gegeven r en v een nagevoeg gelijke zuurstoftoevoer aan het water geven, ondanks een zeer groot verschil in het kengetal OC. De invloed van het waterdebiet is weliswaar enigszins verschillend, maar als men de zuurstoftoevoer vergelijkt bij het debiet waarbij ook de OC-bepaling is uitgevoerd (in dit voorbeeld: 15391 m³/h) dan is er nauwelijks verschil (tabel I).

TABEL I - Zuurstoftoevoer bij $v = 15391 \text{ m}^3/\text{h}$ en diverse waarden van r .

r kg O ₂ /m ³ h	Puntbeluchter + sloot OC = 102,3	Borstelbeluchter + sloot OC = 65,1
0,005	31,4	31,4
0,01	62,9	62,9
0,025	66,9	65,1
0,05	69,0	65,1
0,1	73,1	65,1

Het kleine verschil in zuurstoftoevoer tussen beide typen is geheel toe te schrijven aan de biologische activiteit in de volledig gemengde kop bij de puntbeluchter, die in dit voorbeeld een volume $V_1 = 225 \text{ m}^3$ heeft, terwijl deze bijdrage bij het tweede type (borstelbeluchter) is verwaarloosd.

Gemengd vat

Tenslotte bekijken we een beluchtingsinstallatie die bestaat uit één enkel gemengd vat met daarin een beluchtingsapparaat.

De hierbij behorende formules zijn eenvoudig af te leiden, maar kunnen ook gevonden worden door in de carrouselformules ofwel $v = \infty$, te stellen, ofwel $V_2 = 0$, dus $V_1 = V$ te stellen.

Dan komt voor de niet-stationaire OC-bepaling:

$$OC = Vc_s \cdot 2,3 \lg \alpha$$

Voor de toevoer van de zuurstof onder stationaire condities geldt voor kleine r (de installatie is onderbelast):

$$q = rV$$

$$c = c_0 = c_1 = c_s \left(1 - \frac{rV}{OC}\right)$$

voor grotere r geldt:

$$q = OC$$

$$c = c_0 = c_1 \approx 0$$

De overgang tussen deze twee gebieden ligt op het punt waar

$$r = \frac{OC}{V}$$

Juist zoals bij de borstelbeluchter geeft de OC hier de werkelijke capaciteit q van het

apparaat onder volbelaste stationaire bedrijfsomstandigheden weer, in tegenstelling tot de OC die gebruikt wordt voor de puntbeluchter in een oxydatiesloot.

Conclusies

Uit de voorgaande beschouwingen volgen een aantal consequenties voor de praktijk van de afvalwaterzuivering.

— De OC's zoals die berekend worden met de door Sweeris afgeleide formules (2) en (3) resp. voor een carrousel en een borstelbeluchter, zijn onderling niet vergelijkbaar en kunnen niet zonder meer gebruikt worden voor het beoordelen van de capaciteit van een zuiveringsinstallatie. Een betere vergelijkingsmaat verkrijgt men als men de zuurstofinslag opgeeft, die optreedt indien het bij de beluchtingszone arriverende water zuurstofvrij is. Dit komt overeen met toepassing van formule (3) voor het berekenen van de OC voor beide beluchtingsystemen.

— Indien het begrip OC/load wordt toegepast bij het ontwerpen van zuiveringsinstallaties, dan kan dit tot grote verschillen in werkelijke zuiveringscapaciteit leiden indien men de OC, berekend met formule (2), hiervoor gebruikt. Immers deze OC is belangrijk hoger dan de werkelijk toegevoerde hoeveelheid zuurstof.

— Het energie-rendement OC/netto vermogen kan om dezelfde redenen niet zonder meer als vergelijkingsmaat voor verschillende systemen worden toegepast.

Literatuur

1. Sweeris, S., 'Meting van het zuurstoftoevoervermogen', H₂O 2 (1969) 610-642, 649.
2. Sweeris, S., 'OC-metingen' werkrapport A64, IG-TNO (1972).
3. Knop, E., Bischofsberger, W., Stalman, V., 'Versuche mit verschiedenen Belüftungssystemen im technischen Maszstab', Teile 1 und 2, Vulkan-Verlag Essen (1964).
4. Sweeris, S., 'Beluchtingsrotoren II' werkrapport A45, IG-TNO (1967).
5. Sweeris, S., Trietsch, R., 'Bepaling van het zuurstoftoevoervermogen (OC) in carrousel's', H₂O 7 (1974) nr. 5, 90-94 en H₂O 7 (1974) nr. 6, 106-110.

