

# Zuurstofinbreng\*

## 1. Inleiding

Het beluchten van actief slib en afvalwater in aeratietanks heeft twee doeleinden:

- het inbrengen van de voor het zuiveren van afvalwater vereiste hoeveelheid zuurstof en
- het scheppen van de voor het zuiveringsproces benodigde turbulentie.

In het volgende wordt slechts aan het eerste aspect aandacht geschonken door ten eerste enkele theoretische aspecten te beschouwen: de verzadigingsconcentratie



DR.-ING. H. J. POPEL  
Lector gezondheidstechniek  
TH Delft

en het verzadigingsdeficiet, de grootte van het grensvlak water-lucht en de snelheid waarmee dit grensvlak wordt ververst, de diffusiesnelheid, de temperatuur, de soort en de concentratie van oppervlakte-actieve stoffen. Daarna worden de belangrijkste factoren, welke de snelheid en ekonomie van zuurstofinbreng bij bellenbeluchting en bij mechanische beluchting beïnvloeden, behandeld. Voor een uitgebreidere uiteenzetting van het vraagstuk beluchten en zuurstofinbreng wordt naar de literatuur [1, 2] verwezen.

## 2. Theoretische aspecten van het inbrengen van zuurstof

### 2.1. De verzadigingsconcentratie

Zuurstof kan slechts in zeer beperkte mate in water worden opgelost. Het maximaal te bereiken zuurstofgehalte, de verzadigingsconcentratie  $c_s$  (g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> water), is afhankelijk van de watertemperatuur  $T$  (°C), de luchtdruk  $P$  (mm Hg), en de soort en de hoeveelheid van in het water opgeloste stoffen. De temperatuursafhankelijkheid van  $c_s$  in zuiver water bij  $P = 760$  mm Hg volgt uit tabel I. De invloed van de luchtdruk  $P$  op  $c_s$  kan met behulp van vergelijking (1) worden bepaald:

$$c_{s,P} = c_s \cdot \frac{P - p_w}{760 - p_w} \quad (\text{g/m}^3) \quad (1)$$

$p_w$  is de dampdruk van het water bij de heersende temperatuur. Daalt de druk bijv. van 760 tot 740 mm bij 10°C, dan loopt  $c_s$  tot  $(740-9,2)/760-9,2 = 97,3\%$  van de oorspronkelijke waarde terug. Drukveranderingen hebben dus geen grote invloed op  $c_s$ . Opgeloste stoffen doen de verzadigings-

concentratie steeds dalen. Dit effect is moeilijk te kwantificeren, maar kan in afvalwater tot  $c_s$ -redukties van 10 % oplopen. Een nauwkeurige overeenstemming van in de zuiveringspraktijk gemeten verzadigingsconcentraties met de bekende 'theoretische' waarden is derhalve niet te verwachten.

### 2.2. De snelheid van zuurstofoverdracht

Wordt een zeker volume  $V$  (m<sup>3</sup>) via een grensvlak  $A$  (m<sup>2</sup>) met lucht in contact gebracht, dan wordt de grensvlakvormende dunne laag water meteen met zuurstof verzadigd. Tengevolge van het concentratieverschil ( $c_s - c$ ) tussen grensvlak en diepere lagen van het water wordt zuurstof in de richting van afnemende gehalten getransporteerd. Dit transportproces door middel van diffusie verloopt uiterst langzaam. Zuurstofloos water zal bijv. afhankelijk van de temperatuur niet meer dan 25 à 30 mg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> binnen één uur opnemen en de zuurstof zal niet verder dan 4 à 5 mm in het water dringen. Voor één seconde contacttijd worden zelfs waarden van slechts 0,4 à 0,5 mg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> en 65 à 85 μm penetratie gevonden.

Ten behoeve van een efficiënte zuurstofinbreng moet derhalve de in een grensvlak opgenomen zuurstof zo vlug mogelijk in het gehele watervolume worden gemengd en moeten nieuwe grensvlakken worden geschapen. Voldoende turbulentie is derhalve niet alleen voor de biochemische processen in de actief-slib tank vereist, maar ook voor een efficiënte inbreng van zuurstof.

Uit het voorgaande is duidelijk, dat de volgende factoren de snelheid van de zuurstofoverdracht van lucht naar water bepalen:

- het verschil tussen de verzadigingsconcentratie  $c_s$  en het werkelijke zuurstofgehalte: ( $c_s - c$ ), ook de 'drijvende kracht' genoemd;
- de grootte van het grensvlak tussen water en lucht:  $A$  (m<sup>2</sup>), of de grootte van het specifieke grensvlak:  $A/V$  (m<sup>2</sup> grensvlak/m<sup>3</sup> water);
- de snelheid van diffusie, uitgedrukt door de diffusiecoëfficiënt  $D$  (m<sup>2</sup>/s), (bij 10 °C:  $1,39 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, bij 30 °C:  $2,42 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s);
- de snelheid, waarmee het grensvlak wordt ververst, uitgedrukt door de tijdsduur  $t_c$  (s), dat een grensvlak gemiddeld bestaat.

Kwantitatief wordt de invloed van deze factoren op de snelheid van zuurstofoverdracht, uitgedrukt door de concentratie-toename  $dc$  per tijdseenheid  $dt$ , weergegeven door

$$\frac{dc}{dt} = 2 \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot t_c}} \cdot \frac{A}{V} \cdot (c_s - c) \left( \frac{\text{g O}_2}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right) \quad (2)$$

Daar  $t_c$  en  $A$  nauwelijks gemeten kunnen

worden, maar toch mag worden aangenomen, dat deze bij gelijkblijvende beluchtingsintensiteit een konstante waarde aannemen, worden de eerste twee termen van vergelijking 2 vaak tot een konstante, de beluchtingskonstante  $k$ , samengevat:

$$k = 2 \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot t_c}} \cdot \frac{A}{V} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (3)$$

en dientengevolge

$$\frac{dc}{dt} = k \cdot (c_s - c) \left( \frac{\text{g O}_2}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right) \quad (4)$$

Aan de hand van vergelijking (3) kan worden nagegaan, welke factoren de beluchtingskonstante  $k$  en daarmee de snelheid van zuurstofopname beïnvloeden. Een belangrijke faktor is de temperatuur van het water. Met stijgende temperatuur neemt de diffusiecoëfficiënt  $D$  toe. Ook mag worden verwacht, dat de gemiddelde existentie tijd  $t_c$  van de grensvlakken daalt naarmate de temperatuur oploopt.

Dit houdt verband met de temperatuursafhankelijkheid van de viscositeit van het water, welke wederom het getal van Reynolds en daarmee de mate van turbulentie bepaalt. Een verhoging van de temperatuur van 10 °C tot 20 °C doet het getal van Reynolds voor een mechanische beluchter bijv. met 30 % toenemen.

Tenslotte verlaagt een temperatuurstoename de oppervlaktetspanning van het water in geringe mate, met als gevolg dat bij bellenbeluchting iets kleinere belletjes ontstaan en het totale grensvlak  $A$  wordt vergroot. Voornoemde mechanismen doen de beluchtingskonstante met stijgende temperatuur toenemen, en wel met 1,5 à 4,7 % per °C temperatuurstoename. In Nederland wordt meestal een getal van 1,9 %/°C aangehouden. Wordt bijv. bij 18 °C een beluchtingskonstante gemeten, dan zal deze bij 10 °C slechts  $1/1,019^{(18-10)} = 86\%$  van de oorspronkelijke bedragen.

De tweede belangrijke invloed op de beluchtingkonstante wordt door oppervlakte-actieve stoffen, in het bijzonder door detergents uitgeoefend. Deze stoffen zijn steeds in het afvalwater aanwezig. Ten eerste verlagen deze in belangrijke mate de oppervlaktetspanning van het water en vergroten, zoals eerder al is gesteld, het grensvlak  $A$  en daarmee de beluchtingskonstante  $k$ . Ten tweede accumuleren deze stoffen aan het grensvlak en kunnen daar de diffusie van zuurstof in het water belemmeren. Voorts worden de hydrodynamische eigenschappen van het grensvlak veranderd met als gevolg een verlenging van de gemiddelde existentietijd  $t_c$ . Deze mechanismen doen de beluchtingskonstante  $k$  afnemen. Het uiteindelijke effect van oppervlakte-actieve stoffen op  $k$

\* Voordracht gehouden op de najaarsvergadering van de NVA op 22 oktober 1974 te Utrecht.

hangt derhalve ervan af, welk mechanisme bij een bepaald beluchtingsstelsel een overheersende rol speelt. Uit de praktijk blijkt, dat de nadelige invloeden op de beluchtingsconstante bij bellenbeluchting overheersen, en wel in toenemende betekenis naarmate de bellen kleiner zijn, en voorts, dat positieve en negatieve invloeden elkaar bij mechanische beluchting ongeveer opheffen. Soms zijn zelfs de positieve overheersend. De ontdekkingen betreffende de invloed van het actief slib op de beluchtingsconstante  $k$  zijn controversieel. Enerzijds wordt geen noemenswaardige invloed op  $k$  door drogestofgehalten tussen 0,3 en 6 kg/m<sup>3</sup> geconstateerd [3], anderzijds wordt een dergelijke invloed zelfs gekwantificeerd en zouden bovenvermelde drogestofgehalten aanleiding geven tot een reductie van  $k$  van respectievelijk 7 en 53 % [4].

In de praktijk wordt de invloed van oppervlakte-actieve stoffen en van het actief slib op de snelheid van zuurstofinbreng door een factor  $\alpha$  tot uitdrukking gebracht. De factor  $\alpha$  geeft aan in welke mate de in schoonwater gemeten snelheid van zuurstoftoevoer door deze stoffen wordt teruggebracht:

$$k \text{ (aktief slibproces)} = \alpha \cdot k \text{ (schoon water)}$$

Veelal worden de volgende waarden van  $\alpha$  voor de verschillende beluchtingsystemen aangehouden:

beluchting d.m.v. fijne bellen	$\alpha = 0,7$
beluchting d.m.v. middelgrote bellen	$\alpha = 0,8$
beluchting d.m.v. grote bellen	$\alpha = 0,8$
beluchting d.m.v. rotoren	$\alpha = 0,9$
beluchting d.m.v. puntbeluchters	$\alpha = 0,9$

Experimenteel gevonden waarden voor  $\alpha$  variëren tussen 0,2 (fijne bellen) en 1,9 (rotoren).

### 2.3. Het zuurstoftoevoervermogen

In de praktijk wordt meestal het zuurstoftoevoervermogen OC (= oxygenation capacity) als parameter voor de snelheid van zuurstofinbreng door een beluchter gebruikt. De OC is gedefinieerd als de snelheid van de concentratietoename ( $dc/dt$ ) bij een zuurstofgehalte van  $c = 0$ , een temperatuur van  $T = 10^\circ\text{C}$  en een luchtdruk van  $P = 760\text{ mm Hg}$ .

Uit vergelijking (4) volgt derhalve:

$$OC = k \cdot c_s' \left( \frac{\text{g O}_2}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right) \quad (5)$$

met  $c_s' = 11,3\text{ g/m}^3$ , zijnde de verzadigingswaarde bij eerder genoemde condities. Alle factoren welke de beluchtingsconstante  $k$  beïnvloeden, hebben uiteraard dezelfde werking op de OC, met uitzondering van de temperatuur. Daar de  $k$ -waarde met toenemende temperatuur stijgt, de verza-

digingswaarde  $c_s$  daarentegen daalt, is de invloed op het produkt  $k \cdot c_s$  uiterst gering. Zoals blijkt uit tabel I kan de temperatuursinvloed op de OC haast worden verwaarloosd.

Daar in de praktijk van het actief slibproces meestal een zuurstofgehalte van groter dan nul wordt toegepast, is het effectieve zuurstofinbrengend vermogen lager dan de OC: de drijvende kracht wordt van  $c_s$  teruggebracht tot  $(c_s - c)$ , welke wederom sterk afhankelijk is van de temperatuur. Ter illustratie van dit effect geeft de laatste kolom van tabel I het zuurstoftoevoervermogen bij een zuurstofgehalte van 2 g/m<sup>3</sup> uitgedrukt als percentage van de OC aan.

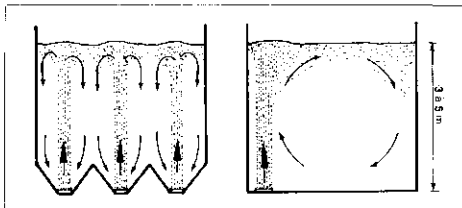
TABEL I - Invloed van de temperatuur op de verzadigingsconcentratie, de beluchtingsconstante en het zuurstoftoevoervermogen.

T	$c_s$	$k_T$ in % van $k_{10}$	$OC_T$ in % van OC	$OC_T$ bij $c = 2$ in % van OC
$^\circ\text{C}$	g/m <sup>3</sup>	%	%	%
5	12,8	91,1	103,2	87,1
10	11,3	100,0	100,0	82,3
15	10,2	109,8	99,1	79,7
20	9,2	120,5	98,1	76,8
25	8,4	132,3	98,3	74,9

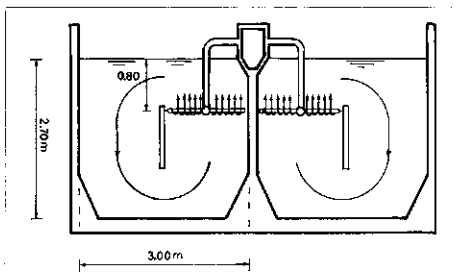
### 3. Praktische aspecten van het inbrengen van zuurstof

Uit de voorgaande bespreking van de theoretische aspecten is duidelijk, dat vier parameters de snelheid van zuurstofinbreng bepalen: 1. de drijvende kracht, 2. de grootte van het grensvlak tussen water en lucht, 3. de diffusiesnelheid en 4. de verversingsnelheid van het grensvlak. In de praktijk van de beluchting kan slechts op enkele van deze factoren invloed worden uitgeoefend:

Afb. 1 - Beluchting d.m.v. fijne bellen bij relatief hoge druk.



Afb. 2 - Beluchting d.m.v. middelgrote bellen bij relatief lage druk (Inkabelbeluchting).



1. Door het zuurstofgehalte zo laag mogelijk te houden (1 à 2 g/m<sup>3</sup>) wordt de drijvende kracht ( $c_s - c$ ) en daarmee de zuurstofinbreng verhoogd.

2. De grootte van het grensvlak kan worden beïnvloed:

- bij bellenbeluchting door het luchtdebiet, door de grootte van de bellen en door de inblaasdiepte;
- bij mechanische beluchting (rotoren en puntbeluchters) door de grootte, de indompeldiepte en het toerental van de beluchter.

Ook de vorm van de aerietank en het daarin door de beluchting tot stand gebrachte stromingspatroon hebben een belangrijke invloed op het grensvlak.

3. Op de diffusiesnelheid kan geen invloed worden uitgeoefend. Deze wordt slechts door de temperatuur van het water bepaald.

4. Op de verversingsnelheid van het grensvlak kan door technische maatregelen nauwelijks invloed worden uitgeoefend. Bij bellenbeluchting hangt deze van de bellengrootte en de daarbij behorende stijgsnelheid af. De existientietijd van het grensvlak is dientengevolge bij kleine bellen in de orde van 1/100 seconde en neemt tot ongeveer 5/100 seconde toe bij grote bellen. Bij mechanische beluchting zal de existientietijd in de directe omgeving van de beluchter korter zijn dan 1/100 seconde, terwijl  $t_c$  van ingeslagen luchtbelletjes weer door de belgrootte wordt bepaald en het versproeiende water ongeveer 0,3 à 0,5 seconden met lucht in contact blijft.

Uit het voorgaande volgt, dat de zuurstofinbreng vooral kan worden bevorderd door een zo laag mogelijk zuurstofgehalte toe te passen en door het grensvlak te vergroten. Het laatste aspect alsmede de invloed van de tankvorm en van het door de beluchting opgewekte stromingspatroon op de zuurstofinbreng zal voor de verschillende beluchtingsystemen in de volgende hoofdstukken worden behandeld. Daarbij wordt ook op de voor het inbrengen van zuurstof benodigde hoeveelheid energie (kg O<sub>2</sub>/kWh) ingegaan.

#### 3.1. Bellenbeluchting

De systemen van bellenbeluchting kunnen worden onderscheiden naar de vereiste luchtdruk, welke voornamelijk door de inblaasdiepte wordt bepaald en naar de grootte van de geproduceerde bellen, die van de grootte van de openingen van de diffusoren en ook van het luchtdebiet afhangt. Het eerste criterium maakt een onderverdeling mogelijk in:

- systemen met relatief hoge druk (inblaasdiepte 2,5 tot 5 m, afb. 1);

- systemen met relatief lage druk (inblaasdiepte 0,8 m; Inkabeluchting, afb. 2);
- en het tweede criterium in:
  - systemen met fijne bellen (2 à 6 mm diameter), die d.m.v. keramische filterbuizen, schuimplastik en golfplaatstaalbuizen met daar omheen gewikkeld kunststofdraad met effectieve openingen van hoogstens 0,1 mm doorsnede, tot stand worden gebracht;
  - systemen met middelgrote bellen (6 à 15 doorsnede), die d.m.v. openingen van 2 à 5 mm doorsnede in geperforeerde buizen of platen of d.m.v. kruisgewijze op een verdeelbuis opgezette buisstukjes (Sparger) worden geproduceerd;
  - systemen met grote bellen (> 15 mm), die d.m.v. loodrecht geplaatste buizen of geperforeerde horizontale buizen of platen met openingen van 5 à 25 mm ontstaan.

Systemen met middelgrote en grote bellen worden ondanks het kleinere bereikbare lucht-water-grensvlak toegepast, indien voor verstoppingen aan de lucht- en/of waterzijde van diffusoren met kleine openingen gevreesd moet worden. De grootte van het grensvlak en diens gevolgde van snelheid van zuurstofopname is voornamelijk afhankelijk van:

- het luchtdebiet  $G$ , uitgedrukt als  $m^3/h$  lucht per  $m^3$  water; het specifieke grensvlak  $A/V$  ( $m^2/m^3$  water) is in eerste instantie evenredig aan  $G$ ;
- de inblaasdiepte  $d_i$ ;  $A/V$  is evenredig aan  $d_i$ ;
- de grootte van de bellen:  $A/V$  is omgekeerd evenredig aan de belldiameter.

Dit wordt geïllustreerd in afb. 3, waarin de zuurstofopname per  $m^3$  ingeblazen lucht  $Z$  ( $g O_2/m^3$  lucht) is uitgezet als functie van de inblaasdiepte  $d_i$ . De volgende afwijkingen van de bovengenoemde veronderstellingen zijn te constateren:

1. De rechte lijn, die het verband aangeeft tussen inblaasdiepte en zuurstofopname gaat niet door de oorsprong van de grafiek. De bij  $d_i = 0$  af te lezen zuurstofopname wordt door de grensvlakvergroting tijdens de vorming van de bel veroorzaakt. Bij kleine bellen komt dit effect globaal met de werking van 1,2 m inblaasdiepte overeen, bij middelgrote bellen met ongeveer 0,4 m. De belvorming draagt dus aanzienlijk bij tot de zuurstofopname.
2. Bij middelgrote bellen is de zuurstofopname  $Z$  nauwelijks afhankelijk van het luchtdebiet  $G$ . De OC zal derhalve lineair met het luchtdebiet toenemen ( $OC = G \cdot Z$ ). Bij fijne bellen daarentegen neemt de kans

dat enkele bellen tot één grotere samen-smelten toe naarmate meer lucht wordt ingeblazen: het specifieke grensvlak en dus ook de OC nemen minder dan evenredig aan  $G$  toe.

Het laatstgenoemde effect volgt duidelijker uit afb. 4, waarin de zuurstofopname per m inblaasdiepte  $Z/d_i$  ( $g O_2/m^3 \cdot m$ ) is uitgezet tegen het luchtdebiet  $G$ . Tevens illustreert deze afbeelding de grote invloed op de zuurstofopname van oppervlakte-actieve stoffen in het afvalwater bij beluchting met fijne bellen. Grote bellen zijn voor deze stoffen minder gevoelig.

Tenslotte heeft de tankvorm en vooral de plaatsing van de diffusoren een belangrijke invloed op de snelheid van zuurstofinbreng. Worden diffusoren in één rij gerangschikt, dan ontstaat een sterke opwaarts gerichte stroming. Deze verkort de verblijftijd van de bellen in het water aanzienlijk. De grootte van het grensvlak en diens gevolgde van snelheid van zuurstofopname wordt sterk teruggebracht.

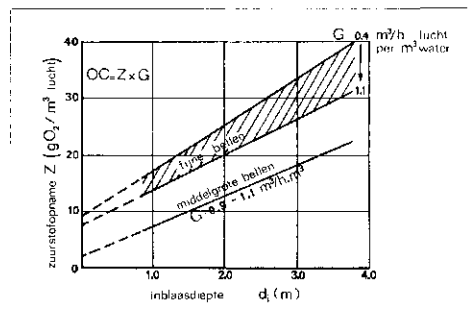
Deze effecten nemen toe naarmate meer lucht wordt ingeblazen (afb. 4). Door de diffusoren in meer dan één rij te plaatsen, of door deze op de tankbodem gelijkmatig te verdelen, wordt de verticale stromings-snelheid bij hetzelfde luchtdebiet verminderd en een groter zuurstoftoevoer- vermogen verkregen. Ter illustratie zijn in afb. 5 de resultaten van beluchttingsproeven met Saranbuizen ( $d_i = 3,40$  m) bij rangschikking van de diffusoren in één, twee en drie rijen weergegeven. De afbeelding geeft ook informatie over de invloed van het luchtdebiet en de plaatsing van diffusoren op de zuurstofopbrengst (uitgedrukt als massa opgenomen zuurstof per bruto kWh —  $kg O_2/kWh$ ). De benodigde energie wordt vooral door de inblaasdiepte bepaald. Daarnaast zijn het rendement van motor en compressor (ventilator) en de drukverliezen in leidingen en in diffusoren van belang. De daling van de zuurstofopbrengst bij luchtdebieten groter dan  $4 m^3/h$  lucht per  $m^3$  water wordt veroorzaakt door drie factoren te weten: het samensmelten van bellen, de sterke opwaartse stromingssnelheden en het toenemende drukverlies in leidingen en diffusoren.

Samenvattend kan worden gesteld, dat de volgende factoren de inbreng van zuurstof d.m.v. bellenbeluchting wezenlijk beïnvloeden:

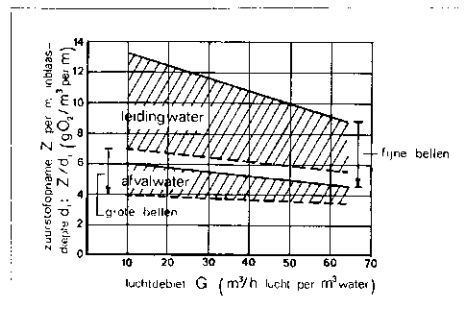
- de grootte van de bellen;
- de inblaasdiepte;
- het luchtdebiet;
- de rangschikking van de beluchters.

Het zuurstoftoevoer- vermogen neemt toe, naarmate de belldiameter afneemt, de inblaasdiepte en het luchtdebiet toenemen

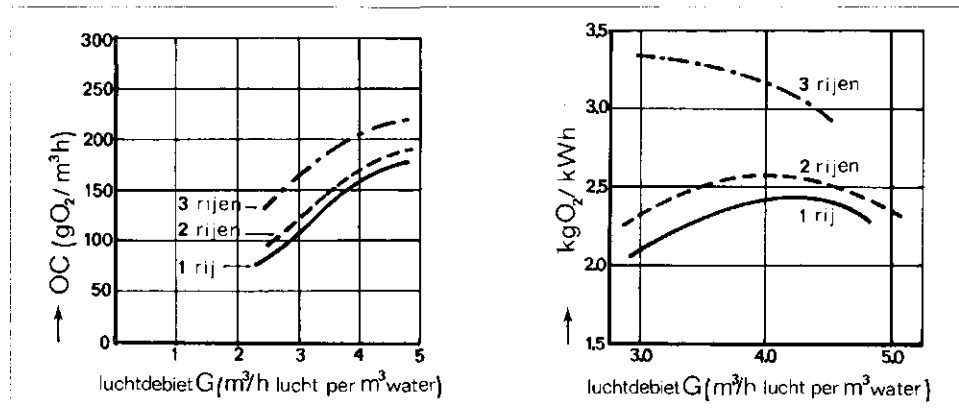
Afb. 3 - Invloed van de bellengrootte en inblaasdiepte op de zuurstofopname [5].



Afb. 4 - Invloed van bellengrootte, luchttoevoer en oppervlakte-actieve stoffen op de zuurstofopname per m inblaasdiepte [6].

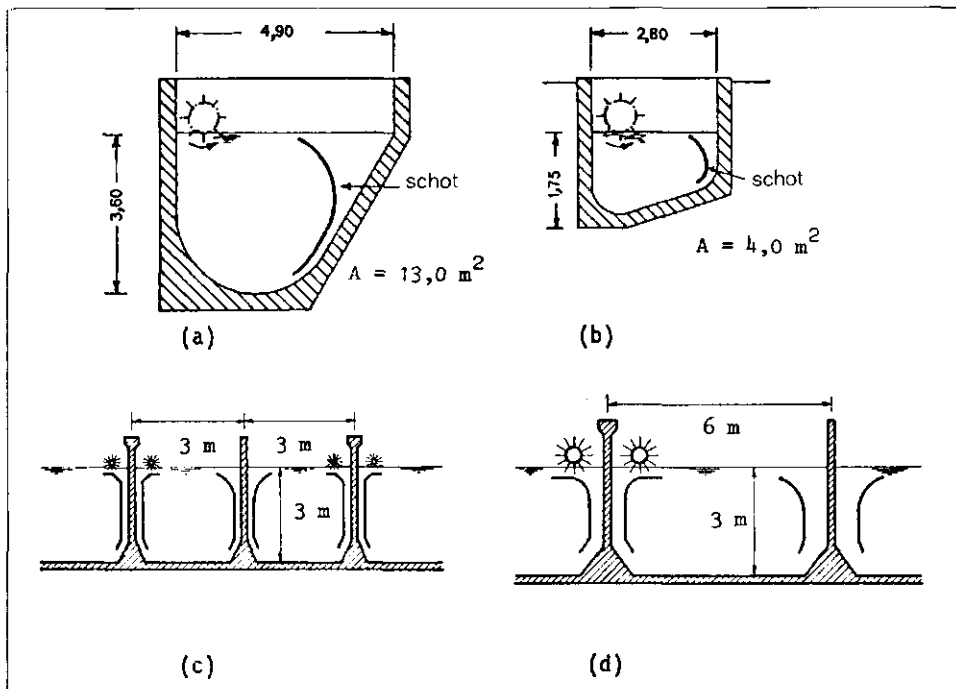


Afb. 5 - Invloed van luchttoevoer en rangschikking van de diffusoren (Saranbuizen) op de OC en de zuurstofopbrengst [6].

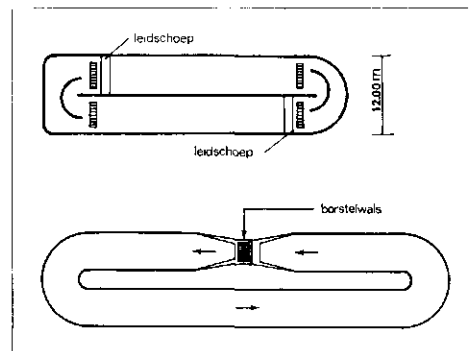


TABEL II - Richtlijnen voor bellenbeluchting.

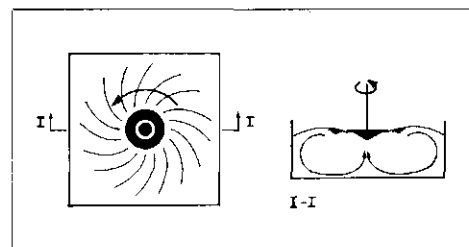
systeem	leidingwater		afvalwater	
	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> · m	kg O <sub>2</sub> /kWh	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> · m	kg O <sub>2</sub> /kWh
<i>hoge druk</i>				
fijne bellen	10—13	1,7—2,9	7 —10	1,2—2,0
middelgrote bellen	6— 8	1,1—1,7	4,5— 6	0,8—1,4
grote bellen	5— 7,5	0,9—1,6	4 — 6	0,7—1,3
<i>lage druk</i>				
middelgrote bellen	8—10	1,5—1,8	6,5— 8	1,2—1,5



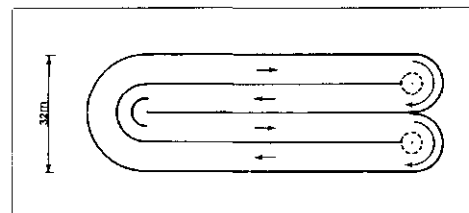
Afb. 6 - Doorsnede van beluchtingsbassins met rotoren.



Afb. 7 - Beluchtingscircuits met rotoren.



Afb. 8 - Stromingspatroon opgewekt door een puntbeluchter.



Afb. 9 - Beluchtingscircuit met puntbeluchters (carrousel).

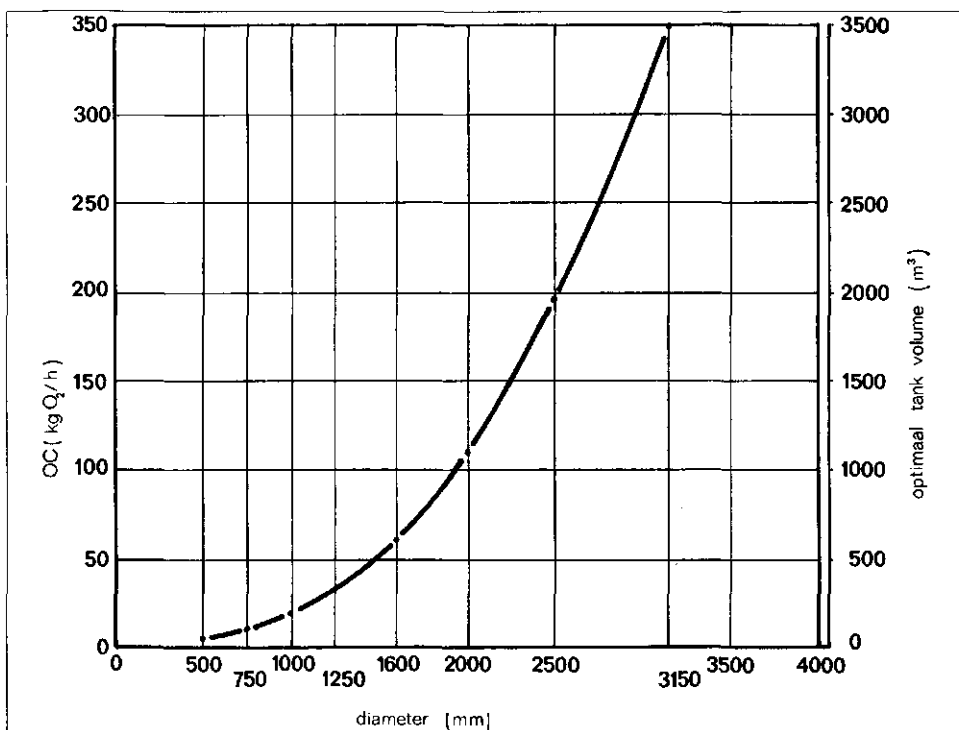
en de diffusoren meer gespreid worden geplaatst. De zuurstofopbrengst daarentegen is tamelijk onafhankelijk van de inblaasdiepte, terwijl bellengrootte en rangschikking van de diffusoren het energieverbruik sterk beïnvloeden. De zuurstofopbrengst is in het algemeen maximaal binnen nauwe grenzen van het luchtdebiet. In tabel II zijn richtwaarden voor het zuurstoftoevoervermogen, uitgedrukt door  $Z/d_i$  (g O<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> ingeblazen lucht per m inblaasdiepte) en voor de zuurstofopbrengst (kg O<sub>2</sub>/kWh) voor de verschillende systemen van bellenbeluchting samengevat.

3.2. Mechanische beluchting

De mechanische beluchters kunnen in twee groepen worden onderverdeeld:

1. Rotoren met 0,5 tot 1,0 m doorsnede en 2,5 tot 9 m lengte, draaiende om een horizontale as. Rotoren worden aan één zijkant van een langwerpige tank met een ronde of vierkante doorsnede geplaatst (afb. 6), waarin een roterende beweging van het water wordt opgewekt. Rotoren worden ook in een circuitachtige tank toegepast (bijv. oxidatiesloot), waarin een

Afb. 10 - Invloed van de grootte van een puntbeluchter op de OC.



stroming loodrecht op de rotoras wordt geïnduceerd (afb. 7).

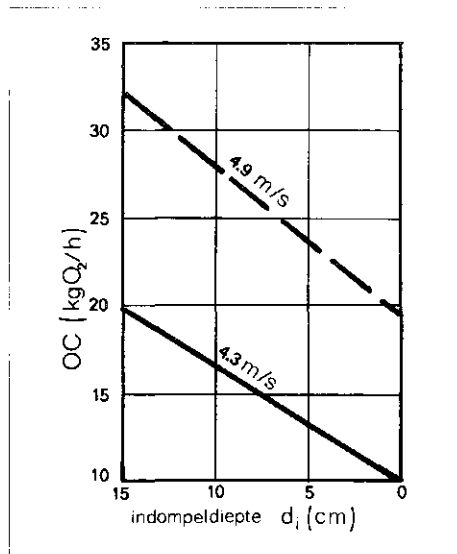
2. Puntbeluchters met 0,5 tot 4 m diameter, draaiende om een verticale as. Puntbeluchters worden in tanks met een ronde of vierkante plattegrond toegepast, waarin een langzame horizontale rotatie en een intensieve opwaartse stroming van het water in het tank-centrum wordt opgewekt (afb. 8). Een horizontale stroming wordt door plaatsing van puntbeluchters in een circuitachtige tank (carousel) verkregen. Daarin wordt de door de beluchter opgewekte opvoerhoogte en horizontale rotatie omgezet in een langsstroming (afb. 9).

Op de verschillende constructies van rotoren en puntbeluchters wordt in dit verband niet nader ingegaan. Bij de mechanische beluchting wordt de grootte van het grensvlak A en dientengevolge de snelheid van zuurstofopname door een aantal mechanismen beïnvloed:

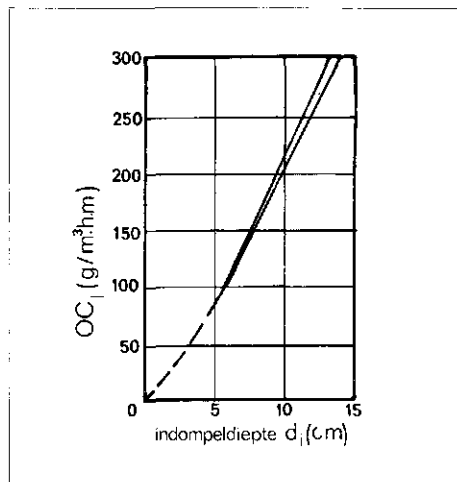
- door de tanden of schoepen van de beluchter wordt het wateroppervlak steeds opnieuw opengescheurd en lucht in de watermassa geslagen;
- door de centrifugale werking van de beluchter worden waterfilms en druppels vlak boven de waterspiegel door de lucht weggeslingerd;
- het door de beluchter opgewekte stromingspatroon in de aeratietank heeft een intensieve beweging en verversing van het wateroppervlak en een lange verblijftijd van de ingeslagen lucht in het water in de vorm van bellen tot gevolg.

De intensiteit van deze effecten is afhankelijk van:

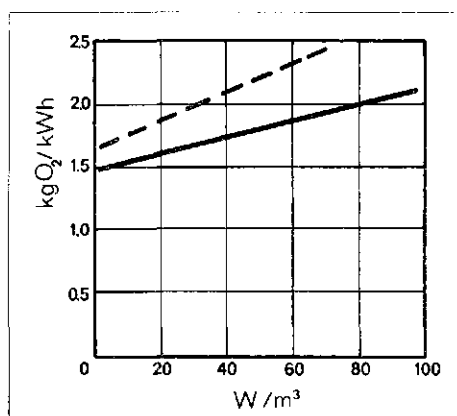
- de grootte van de beluchter: het zuurstoftoevoervermogen is evenredig aan het kwadraat van de diameter van de beluchter (afb. 10);
- de omtreksnelheid van de beluchter. Deze varieert bij rotoren tussen 2,5 en 4 m/s en bij puntbeluchters tussen 3 en 6 m/s. De OC is evenredig aan de omtreksnelheid tot de macht 2,5 à 3,0 (afb. 11);
- de indompeldiepte van de beluchter in het water. Bij rotoren kan de indompeldiepte tot ongeveer 30 % van de diameter worden opgevoerd bij puntbeluchters tot ca. 10 %. De OC is evenredig aan de indompeldiepte (afb. 12);
- de stroomsnelheid van het water in de tank. De opwaartsgerichte stroomsnelheid onder de beluchter geeft een indicatie van de hoeveelheid water, die door de beluchter wordt verspreid,



Afb. 11 - Invloed van indompeldiepte en omtreksnelheid van een puntbeluchter op de OC [7].



Afb. 12 - Invloed van de indompeldiepte van een platen-rotor op de OC (g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.h per m rotorlengte) [8].



Afb. 13 - Invloed van het door een puntbeluchter per m<sup>3</sup> ingebrachte vermogen ( $W/m^3$ ) op de zuurstofopbrengst [9].

terwijl de neerwaartse snelheid aan de buitenkant van de tank de verblijftijd van de ingeslagen luchtbellen in het water bepaalt.

Behalve voornoemde factoren hebben de tankvorm en de grootte van de beluchter ten opzichte van het tankvolume een belangrijke invloed op dit laatste verschijnsel. Dientengevolge zal bij hetzelfde energieverbruik een grote beluchter meer zuurstof aan een bepaalde massa water overdragen dan een kleine.

De regeling van de zuurstoftoevoer geschiedt bij mechanische beluchting voornamelijk door de indompeldiepte te veranderen. Dit wordt bewerkstelligd door de hoogte van of de beluchter of de waterspiegel te wijzigen. Een regeling d.m.v. variatie van het toerental (omtreksnelheid) is in principe met behulp van poolomschakelbare motoren mogelijk. Daar echter een halvering van het toerental de OC tot 0,5<sup>3,0</sup> à 0,5<sup>2,5</sup>, d.w.z. tot 12 à 18 % van de oorspronkelijke waarde terugbrengt, is een geleidelijke aanpassing aan de zuurstofbehoefte niet mogelijk. Bij een puntbeluchter met ronde schoepen kan de OC door een omkering van de draairichting worden veranderd.

Het energieverbruik van een mechanische beluchter neemt ongeveer evenredig aan de indompeldiepte en evenredig aan het kwadraat van de diameter en de omtreksnelheid toe. Grote omtreksnelheden zijn derhalve gunstig voor de zuurstofopbrengst (kg O<sub>2</sub>/kWh) maar kunnen een nadelig effect op de turbulentie van het water in de tank hebben, vooral indien het oppervlakte-actieve stoffen bevat.

Een verhoging van het per m<sup>3</sup> ingebrachte vermogen ( $W/m^3$ ) doet de zuurstofopbrengst in het algemeen oplopen (afb. 13). Door meer vermogen in te brengen neemt de intensiteit van het stromingspatroon in de tank toe. Daardoor stijgt de verblijftijd van de ingeslagen luchtbellen in het water en dus de grootte van het grensvlak. Het is duidelijk dat naast de omtreksnelheid, vooral het vermogen per m<sup>3</sup> en de tankvorm de zuurstofopbrengst bepalen. De gemeten waarden lopen uiteen van de extremen 1,2 tot 3,7 kg O<sub>2</sub>/kWh, terwijl 1,8 à 2,0 kg O<sub>2</sub>/kWh als richtwaarde wordt gehanteerd. Oppervlakteactieve stoffen hebben nauwelijks een verlagende invloed op het zuurstoftoevoervermogen en de zuurstofopbrengst. Een toename van beide parameters na toevoeging van detergents van 30 à 90 % is geconstateerd. De vermelde richtwaarden houden met dit gunstige effect geen rekening. Samenvattend kan worden gesteld dat de volgende factoren de zuurstoftoevoer d.m.v.

mechanische beluchting wezenlijk beïnvloeden:

- de grootte, de omtreksnelheid en de indompeldiepte van de beluchter;
- de tankvorm en grootte ten opzichte van de beluchter;
- het per eenheid van volume ingebrachte vermogen.

De zuurstofopbrengst wordt vooral door de omtreksnelheid en het ingebrachte vermogen ( $W/m^3$ ) bepaald.

#### Literatuur

1. Twintigste vakantiecursus in drinkwatervoorziening: *Fysische technologie van de waterzuivering*, Technische Hogeschool, Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde, Delft 1968.
2. Derde vakantiecursus in behandeling van afvalwater: *De technologie van het beluchtingsproces*, Technische Hogeschool, Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde, Delft 1968.
3. Downing, A. L., Boon, A. G., Bayley, R. W.: *Aeration and biological oxidation in activated sludge process*, Journ. and Proc. Inst. Sew. Purif. (1962).
4. Kroon, G. T. W. van der, Corstjens, G. H.: *Zuurstofoverdracht aan water en kunstmatige actief slib-watermengsels*, Water 50 (1966), blz. 266.
5. Bewtra, J. K., Nicholas, W. R.: *Oxygenation from Diffused Air in Aeration Tanks*, JWPCF (1964), blz. 1195.
6. Knop, E., Bischofsberger, W., Stahlmann, V.: *Versuche mit verschiedenen Belüftungssystemen im technischen Massstab*, Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, Essen, Teil 2 1964/1965.
7. Knop, E., Bischofsberger, W., Stahlmann, V.: *Versuche mit verschiedenen Belüftungssystemen im technischen Massstab*, Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, Essen, Teil 1 1964/1965.
8. Heeb, A., Rau, E.: *Betriebsergebnisse mit der neuen Schlammbelebungsanlage im Hauptklärwerk Stuttgart - Mülhausen*, GWF 101 (1960), blz. 758.
9. Emde, W. von der: *Belüftungssysteme und Beckenformen*, in: Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie Band 5, 2. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München 1968.

