

Apparaatkundige aspecten van roterende oppervlaktebeluchters

Samenvatting

Technologische aspecten van het beluchtingsproces, zoals pompcapaciteit, stromingspatronen en vermogenstoevoer werden in verband gebracht met de apparaatkundige aspecten van puntbeluchters en beluchtingsbassins. Op grond van processtudie en theoretische beschouwingen werden voor de vormgeving van puntbeluchters enkele hoofdlijnen uitgezet. Voor puntbeluchters en borstelbeluchters werden ten aanzien van de vermogenstoevoer schaalvergrotingsregels aangegeven.



IR. I. G. RACZ
Vakgroep Procestechniek,
Technische Hogeschool Twente,
Enschede



PROF. IR. DRS. J. GROOT
WASSINK
Vakgroep Procestechniek,
Technische Hogeschool Twente,
Enschede

Inleiding

Bij de biologische reiniging van afvalwater wordt in het beluchtingsbassin zuurstof aan het afvalwater toegevoerd om de biologische afbraak van organische verontreinigingen te versnellen. Het toevoeren van zuurstof kan met behulp van verschillende beluchtingssystemen tot stand worden gebracht, zoals watervalbeluchters, poreuze pijpen in combinatie met compressoren, roterende oppervlaktebeluchters, enz. In het nu volgende zullen wij ons beperken tot de roterende oppervlaktebeluchters, i.h.b. tot de puntbeluchters, waarbij het verband wordt nagegaan tussen apparaatkundige aspecten en het technologisch functioneren van dit beluchtingssysteem, met dien verstande, dat veel van de te behandelen verschijnselen ook op andere beluchtingssystemen betrekking hebben. Het materiaal voor dit artikel werd verkregen uit onderzoeken, uitgevoerd in het laboratorium van de vakgroep Procestechniek aan de Technische Hogeschool Twente. Over de meer kwantitatieve aspecten van deze onderzoeken zal in de toekomst worden bericht.

Probleemstelling

Bij puntbeluchters kunnen in het algemeen de volgende functies worden onderscheiden:

- vergroten van het contactoppervlak tussen gasfase en vloeistoffase;
- homogeniseren van de vloeistoffase ten

aanzien van de opgeloste zuurstof;

- suspenderen van de vaste fase in de vloeistoffase;
- tot stand brengen van turbulentie op microschaal.

Het vervullen van genoemde functies gaat gepaard met het toevoeren van een bepaalde hoeveelheid mechanisch vermogen aan de vloeistoffase. De grootte van het toegevoerde vermogen speelt een belangrijke rol bij het beoordelen van beluchtingssystemen (economisch criterium); het verband tussen apparaatkundige aspecten en vermogenstoevoer zal in het vervolg daarom ruime aandacht krijgen.

De algemene vergelijking voor zuurstoftransport uit de gasfase naar de vloeistoffase luidt:

$$\dot{O}_2 = k \cdot A \cdot V \cdot (c^* - c) \quad [\text{kg O}_2 \text{ sec}^{-1}] \quad (1)$$

waarbij:

k = stofoverdrachtscoëfficiënt [m sec^{-1}]

A = contactoppervlak [$\text{m}^2 \text{m}^{-3}$ water-volume]

V = volume water [m^3]

c^* = thermodynamische evenwichtsconcentratie [kg m^{-3}]

c = actuele concentratie [kg m^{-3}]

De zuurstoftoevoer wordt dus recht evenredig verondersteld met de grootte van het contactoppervlak tussen gasfase en vloeistoffase. Dit contactoppervlak wordt nu door de volgende drie mechanismen beïnvloed:

- dispargeren van gasbellen in de vloeistoffase;
- versproeien van de vloeistof in de gasfase;
- verruwen van de oppervlakte van de vloeistoffase door golfvorming.

Bij roterende oppervlaktebeluchters treden deze mechanismen simultaan op. De onderlinge belangrijkheid van genoemde mechanismen hangt af van de *beluchterparameters* en de *geometrie van het bassin*. Kwantitatieve resultaten van onderzoeken naar deze mechanismen zijn ons niet bekend. Het is echter zeer aannemelijk, dat in de onmiddellijke nabijheid van de beluchter het dispergeren en versproeien overheersen, terwijl op grotere afstand van de beluchter het verruwen van het vloeistofoppervlak het belangrijkste mechanisme zal zijn.

Zoals uit verg. (1) blijkt, is het niet voldoende een groot contactoppervlak tot stand te brengen, er dient ook een drijvende kracht aanwezig te zijn, namelijk $(c^* - c)$, waarbij c^* de thermodynamische evenwichtsconcentratie is en c de actuele concentratie van zuurstof in water. De actuele concentratie varieert nu van plaats tot plaats in het bassin, waarbij $(c^* - c)$ juist

het grootst is in die delen van het bassin waar A het kleinste is. Uit deze beschouwing volgt dat naast het vergroten van het contactoppervlak ook een ander verschijnsel zeer belangrijk is bij de zuurstoftoevoer, namelijk het homogeniseren van de vloeistoffase ten aanzien van de opgeloste zuurstof. Dit proces heeft voornamelijk betrekking op de macromenging in de vloeistoffase die door de convectieve stroming in het bassin wordt bepaald. De convectieve stroming in het bassin wordt beïnvloed door de *pompcapaciteit van de beluchter* in combinatie met de *geometrie van het bassin*.

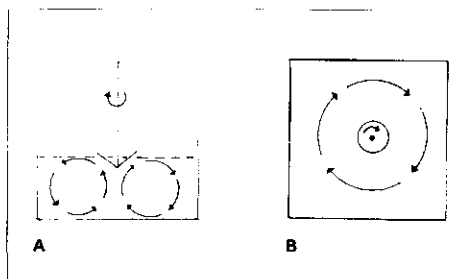
Om de bacteriënvlokken niet te laten bezinken dient een bepaalde vloeistofsnelheid in het bassin voorhanden te zijn. Een verdere eis is, dat er geen stagnante zones in het bassin aanwezig mogen zijn. Beide voorwaarden kunnen worden herleid tot eisen aan de *stromingspatronen*, *pompcapaciteit van de beluchter* en de *geometrie van het bassin*.

Wat de turbulentie op microschaal betreft, het getal van Reynolds, betrokken op een bacteriënvlok, dient voldoende groot te zijn om de stofoverdracht uit de vloeistoffase naar de vaste fase (O_2 uit water naar bacteriënvlok) niet snelheidsbepalend te doen zijn bij de totale omzettingssnelheid. Deze eis kan weer worden herleid tot eisen aan de *pompcapaciteit van de beluchter* in combinatie met de *geometrie van het bassin*. Zoals reeds eerder vermeld vereist het vervullen van bovengenoemde functies een bepaald mechanisch vermogen. De grootte van het toegevoerde vermogen en de stabiliteit ervan wordt beïnvloed door de *beluchterparameters* en de *geometrie van het bassin*.

In het voorgaande werd aangetoond, dat er een verband bestaat tussen zuurstoftoevoer, suspenderen van bacteriënvlokken en turbulentie op microschaal enerzijds, stromingspatronen, pompcapaciteit van de beluchter, beluchterparameters en bassingeometrie anderzijds, terwijl het beluchtingsproces met het toevoeren van een bepaalde hoeveelheid mechanisch vermogen gepaard gaat. In het vervolg wordt nu het verband tussen stromingspatronen, pompcapaciteit van de beluchter en vermogenstoevoer enerzijds, beluchterparameters en bassingeometrie anderzijds, verder uitgewerkt.

Stromingspatronen

Bij gebruik van radiale puntbeluchters in vierkante bassins ontstaat het volgende stromingspatroon (zie afb. 1a en 1b). Naast de radiale en axiale stroming ontstaat er ook een tangentiële stroming in het bassin. De tangentiële stroming draagt niet bij aan de zuurstoftoevoer (slechte 'top-bodem' menging), terwijl het in stand



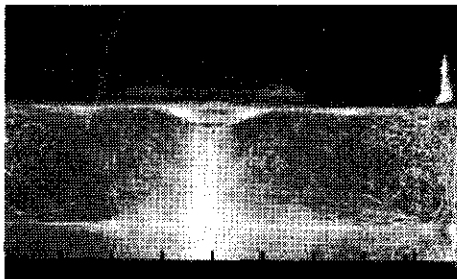
Afb. 1a en 1b - Stromingspatroon van puntbeluchter in vierkante bassins.

houden van deze stroming wel een bepaalde hoeveelheid energie vergt. Dientengevolge dient de tangentiale stroming zo veel mogelijk in een radiale en axiale stroming te worden omgezet: dit kan zeer doelmatig tot stand worden gebracht door het aanbrengen van keerschotten (zie afb. 2 en 3). Gezien het feit, dat bij vierkante beluchttingsbassins veelal kleine hoogte/diameter verhoudingen naast relatief kleine beluchterdiameters voorkomen, heeft het weinig effect als de keerschotten op de verticale wanden van het bassin zouden zijn aangebracht. Het is doelmatiger, de keerschotten op de bodem van het beluchttingsbassin aan te brengen, diagonaal of evenwijdig aan de zijanten van het bassin.

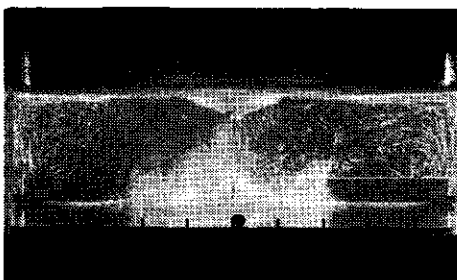
Wat de totale oppervlakte van de keerschotten betreft, kan worden uitgegaan van het concept van het 'standaard mengvat'. Bij een standaardmengvat is de hoogte/diameterverhouding = 1 en het vat is voorzien van 4 verticale keerschotten, waarvan de hoogte gelijk is aan de vathoogte, breedte gelijk aan 1/10 vat diameter. In het standaardmengvat is dus geïnstalleerd, loodrecht op de tangentiale stromingsrichting, een keerschotoppervlak van ca. 10% van het totale bevochtigde vatoppervlak. In het standaardmengvat is de stroming zo goed mogelijk radiaal en axiaal, terwijl de vermogenstoevoer ook regelmatig is.

Gezien het feit, dat in vierkante bassins de tangentiale stroming al enigszins onderdrukt wordt door de hoeken van het bassin, kan hier waarschijnlijk met minder keerschotoppervlak worden volstaan dan in het standaardmengvat. Bij onze onderzoeken werden twee, aan de zijanten van het bassin evenwijdige keerschotten gebruikt, met een totale oppervlak van ca. 4% van het totale bevochtigde bassinoppervlak. Wat de stromingspatronen betreft, voldeed deze opstelling zeer goed.

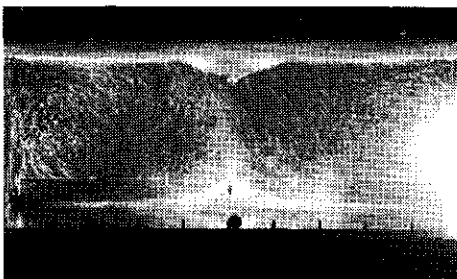
De hoogte/diameter verhouding van het bassin is eveneens van grote invloed op het stromingspatroon (zie afb. 3, 4 en 5). De ideale verhouding, namelijk hoogte = halve diameter, waarbij precies 1 circulatie-wervel in het bassin ontstaat, kan wegens



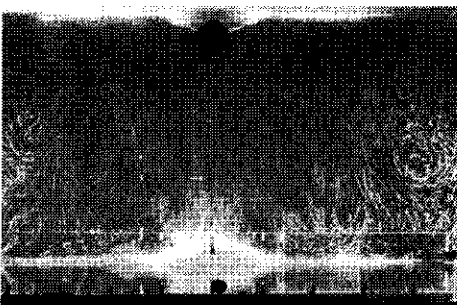
Afb. 2 - Stromingspatroon in een vierkant bassin zonder keerschotten. Hoogte/diameter verhouding bassin = 1/4 (foto Rooks).



Afb. 3 - Stromingspatroon in een vierkant bassin met keerschotten. Hoogte/diameter verhouding bassin = 1/4 (foto Rooks).



Afb. 4 - Stromingspatroon in een vierkant bassin met keerschotten. Hoogte/diameter = 1/3 (foto Rooks).



Afb. 5 - Stromingspatroon in een vierkant bassin met keerschotten. Hoogte/diameter = 1/2 (foto Rooks).

bouwtechnische problemen zelden worden gerealiseerd. De meeste vierkante beluchttingsbassins hebben een hoogte/diameter verhouding tussen 1/2 en 1/6. Uit onze onderzoeken is gebleken dat beneden een hoogte/diameter verhouding = 1/4 geen goede radiale stromingspatronen meer zijn te realiseren in het bassin. Onder de beluchter ontstaat dan een tangentiale

stroming die tot een onregelmatige vermogenstoevoer en tot een afname van het beluchttingsrendement aanleiding kan geven, terwijl in de hoeken van het bassin stagnante zones kunnen ontstaan: deze verschijnselen zijn uiteraard ongewenst.

De stromingspatronen kunnen nog verder worden verbeterd door het aanbrengen van een aanzuigbuis onder de beluchter. De afstand tussen onderkant beluchter en bovenkant aanzuigbuis, benevens de aanzuigbuisdiameter, is een zeer belangrijke parameter voor het goed functioneren van de aanzuigbuis.

Pompcapaciteit van de beluchter

Zoals reeds werd aangetoond, speelt de pompcapaciteit van de beluchter een belangrijke rol zowel bij de zuurstoftoevoer als wel bij het suspenderen van de bacteriën-vlokken en het tot stand brengen van turbulentie op microschaal. Onder pompcapaciteit wordt verstaan de hoeveelheid vloeistof die door de beluchter per tijdseenheid wordt verpompt [$\text{m}^3 \text{sec}^{-1}$]. Het ligt voor de hand de roterende beluchters te vergelijken met de roterende roerders, en wel met de turbine-roerder.

De pompcapaciteit van de turbine-roerder kan als volgt worden beschreven [lit. 1]:

$$\Phi_p = K \cdot n \cdot d^3 \quad [\text{m}^3 \text{sec}^{-1}] \quad (2)$$

waarbij:

$$K = 1,2 \text{ voor turbulente stroming}$$

$$[\text{Re} > 2 \cdot 10^4]$$

$$n = \text{toerental roerder} \quad [\text{sec}^{-1}]$$

$$d = \text{diameter roerder} \quad [\text{m}]$$

Bij vergelijking (2) wordt ervan uitgegaan, dat de roerderbladen (schoepen) geheel door de vloeistoffase omgeven zijn. Dit betekent, dat de grootte van het oppervlak, waarlangs impuls aan de vloeistoffase wordt overgedragen, ook bij toenemende toerentallen constant blijft.

Bij het beschouwen van de uitvoeringsvormen van radiale puntbeluchters valt op, dat enkele typen in deze rij uit een gesloten conus bestaan, die aan de onderkant van een aantal schoepen is voorzien (Simcar, Landy, Gyrox, Bsk, enz.). Eén van deze 'gesloten-conus' puntbeluchters werd in ons onderzoek betrokken. Met een stroboscoop als belichtingselement werden door de doorzichtige bodem van het model-bassin fotografische opnamen gemaakt van de onderkant van deze beluchter. De resultaten worden getoond op afb. 6, 7, 8 en 9.

Vanaf een bepaald toerental wordt aan de 'achterkant' van de schoepen lucht aangezogen. Aangezien de konus gesloten is, kunnen deze luchtbellens niet naar boven ontwijken, zij vormen een stagnant luchtkussen tussen onderkant beluchter en de vloeistof.

De aangezogen hoeveelheid lucht en daarmee de grootte van het luchtkussen is

afhankelijk van het Froude-getal ($Fr = n^2 d/g$): gelijke Froude getallen betekenen een gelijke verhouding tussen wel en niet door een luchtlaag bedekte oppervlakken. De kritische omtreksnelheid, waarbij de eerste luchtbellens worden aangezogen, ligt bij $\approx 1,1 \text{ m sec}^{-1}$. Aangezien praktijkbeluchters bij omstreksnelheden werken die belangrijk boven deze kritische waarde liggen ($3 - 5 \text{ m sec}^{-1}$), zal dit verschijnsel ook bij de praktijkbeluchters optreden. De aanwezigheid van deze stagnante luchtlaag heeft de volgende gevolgen:

— Niet het gehele oppervlak van conus en schoepen is voor impulsoverdracht beschikbaar. Hieruit volgt dat de pomp-capaciteit van dit type beluchter kleiner is dan die van de overeenkomstige turbine-roerder die wel door vloeistof is omgeven. Bij een hydrodynamisch goede constructie kan met een kleinere beluchter worden volstaan om dezelfde pompcapaciteit te bereiken en om hetzelfde vermogen aan de vloeistof over te dragen.

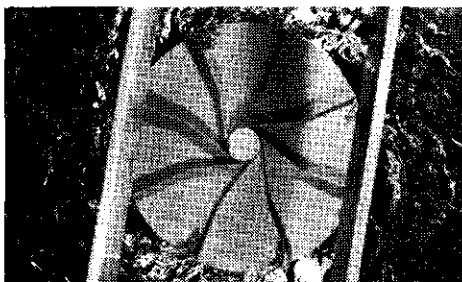
— Daar het een *stagnante luchtlaag* betreft, draagt het oppervlak onder de beluchter niet, althans in mindere mate, bij aan de zuurstoftoevoer, terwijl juist op deze plaats grote snelheden en turbulentie heersen. Juist op deze plaats zou een intensief contact tussen gasfase en vloeistoffase hydronamisch mogelijk zijn.

Uit deze beschouwing volgt dat de constructie van een puntbeluchter zodanig moet zijn, dat de schoepen niet door een luchtlaag kunnen worden bedekt. Voorts moet de mogelijkheid bestaan, aan de achterkant van de schoepen — waar immers onderdruk heerst — lucht aan te zuigen, zonder dat de aangezogen lucht een ononderbroken luchtlaag vormt en van schoep tot schoep reikt. Dit impliceert een zo veel mogelijk open constructie van de puntbeluchter. Een mogelijke constructie die aan deze voorwaarden voldoet wordt getoond op afb. 10.

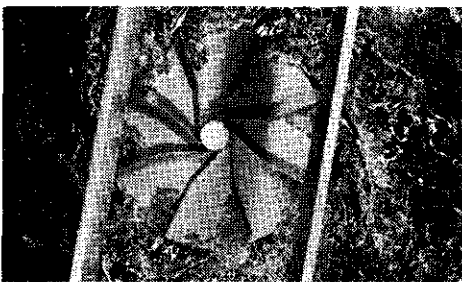
Aan de onderkant van de beluchter zijn 4 schoepen aangebracht die zorg dragen voor een bovenwaarts gericht vloeistoftransport. (Deze beluchter is mede op grond van bovenstaande beschouwingen door de schrijvers van dit artikel ontwikkeld en vormt het onderwerp van verdere onderzoekingen). Bijkomende voordelen van deze puntbeluchter zouden kunnen zijn: regelmatige vermogenstoevoer, goede regelbaarheid van de vermogenstoevoer (via dompeldiepte), goede overeenstemming met de eigenschappen van roterende roeders, waar immers veel over bekend is (schaalvergrotingsaspecten).

Vermogenstoevoer

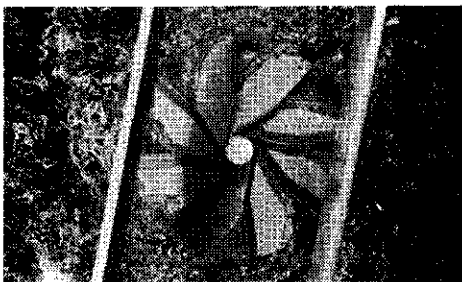
Voor de vermogenstoevoer betekent de



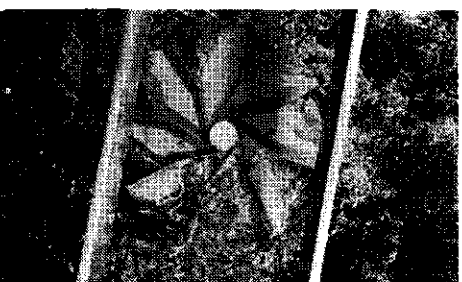
Afb. 6 - Onderkant beluchter. Diameter beluchter: 0,28 m. Toerental beluchter: 1,28 omw. sec.⁻¹ (foto Rooks).



Afb. 7 - Onderkant beluchter. Diameter beluchter: 0,28 m. Toerental beluchter: 1,9 omw. sec.⁻¹ (foto Rooks).



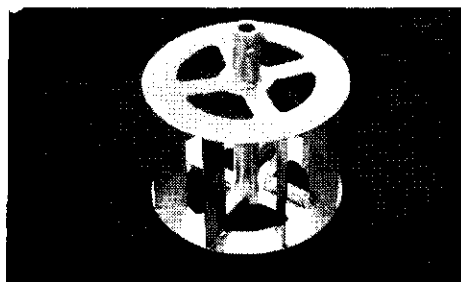
Afb. 8 - Onderkant beluchter. Diameter beluchter: 0,28 m. Toerental beluchter: 2,0 omw. sec.⁻¹ (foto Rooks)



Afb. 9 - Onderkant beluchter. Diameter beluchter: 0,28 m. Toerental beluchter: 2,2 omw. sec.⁻¹. (foto Rooks)

stagnante luchtlaag, dat er minder vermogen aan de vloeistoffase kan worden overgedragen dan door de overeenkomstige, hydronamisch goed geconstrueerde puntbeluchter.

Tussen toegevoerd vermogen en toegevoerde hoeveelheid zuurstof bestaat er een bepaald verband; dit verband is niet constant maar afhankelijk van de schaalgrootte van de beluchttingsinstallatie. Ontwerpers van



Afb. 10 - Model van een open beluchter (foto Rooks).

beluchttingsinstallaties maken gebruik van de volgende methode: uit praktijkmetingen is bekend, dat een bepaald type beluchter een bepaalde hoeveelheid zuurstof aan het water toevoert bij een bepaalde vermogenstoevoer. Verder is bekend, dat het beluchttingsrendement redelijk constant is voor bepaalde beluchterafmetingen. Bij schaalproeven van de te ontwerpen beluchttingsinstallatie wordt nu het vermogen bepaald dat door het schaalmodel van de beluchter aan het water wordt toegevoegd. Via schaalvergrotingsregels wordt vervolgens het vermogen berekend dat door de praktijkbeluchter aan het water kan worden toegevoerd waarna via het beluchttingsrendement de toe te voeren hoeveelheid zuurstof kan worden berekend.

De achtergrond van de bij deze schaalvergroting gehanteerde berekeningsmethode is als volgt:

Via dimensie-analyse is de volgende formule af te leiden:

$$P_0 = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = f(\text{Re, Fr, dimensieloze bassin- en beluchterafmetingen}) \quad (3)$$

waarin:

- P_0 = vermogenskental [—]
- N = netto asvermogen [W]
- ρ = dichtheid vloeistoffase [kgm^{-3}]
- n = toerental beluchter [sec^{-1}]
- d = diameter beluchter [m]

$$\text{Re} = \text{getal van Reynolds} = \frac{\rho n d^2}{\eta} \quad [—]$$

$$\text{Fr} = \text{getal van Froude} = \frac{n^2 d}{g} \quad [—]$$

Gesteld kan worden, dat in het geval van schaalvergroting bij constant blijvende onafhankelijke dimensieloze groepen (Re, Fr, dimensieloze bassin- en beluchterafmetingen) ook de afhankelijke dimensieloze groep constant blijft (vermogenskental P_0). Het is evident, dat het constant houden van Re, Fr en de dimensieloze apparaatafmetingen tot strijdige eisen leiden ten aanzien van diameter en toerental van de vergrote beluchter: er is geen volledige gelijkvormigheid mogelijk, genoeg

moet worden genomen met partiële gelijkvormigheid. Gezien het feit, dat zowel model als praktijkbeluchter in het turbulente gebied werken ($Re > 2 \times 10^4$), waarbij de invloed van Re op de vermogenstoevoer constant is, zullen het getal van Froude en de dimensieloze bassin- en beluchterafmetingen worden constant gehouden.

(Dat het getal van Froude een belangrijke invloed op de vermogenstoevoer heeft, werd al aannemelijk gemaakt bij het bestuderen van het ontstaan van de luchtlaag tussen water en onderkant van de beluchter).

Uit het bij een model-beluchter gemeten vermogen kan nu het vermogen worden berekend, dat door de praktijkbeluchter aan het water zal worden toegevoerd. In concreto betekent dit bij een lineaire schaalvergrotingsfactor k_1 :

$$(bassin\text{-}afmetingen)_{\text{praktijk}} = k_1 \times (bassin\text{-}afmetingen)_{\text{model}} \quad (4)$$

$$d_{\text{praktijk}} = k_1 \times d_{\text{model}} \quad (5)$$

De eis van gelijke Froude getallen luidt:

$$\left(\frac{n^2 d}{g} \right)_{\text{praktijk}} = \left(\frac{n^2 d}{g} \right)_{\text{model}} \quad (6)$$

Samen met vergelijking (5) leidt dit tot:

$$n_{\text{praktijk}} = \frac{1}{\sqrt{k_1}} \times n_{\text{model}} \quad (7)$$

Zoals werd aangetoond, blijft, bij gelijkblijvende Froude getal en dimensieloze apparaatafmetingen, het vermogenskental constant:

$$\left(\frac{N}{\rho n^3 d^5} \right)_{\text{praktijk}} = \left(\frac{N}{\rho n^3 d^5} \right)_{\text{model}} \quad (8)$$

Door de vergelijkingen (5) en (7) in vergelijking (8) in te vullen wordt verkregen:

$$N_{\text{praktijk}} = k_1^{7/2} \cdot N_{\text{model}} \quad (9)$$

De vergelijkingen (5), (7) en (9) geven de door ontwerpers veelvuldig gehanteerde schaalvergrotingsregels weer, waarover reeds veel meetresultaten bekend zijn, zowel op model- als ook op praktijkschaal; $k_1 = 10$ wordt zeer vaak als een maximale waarde voor de lineaire schaalvergrotingsfactor gehanteerd. Gesteld kan worden, dat naarmate k_1 kleiner wordt, de voorspelling van het op de praktijkschaal toe te voeren vermogen steeds betrouwbaarder wordt. De voorgaande beschouwing geldt ook voor borstelbeluchters, met dien verstande, dat bij borstelbeluchters met 2 schaalvergrotingsfactoren rekening dient te worden gehouden, nl.:

— vergrotingsfactor diameter borstel: k_1 ;
— vergrotingsfactor breedte borstel: k_{1b} .

In overeenstemming met de puntbeluchters geldt dan:

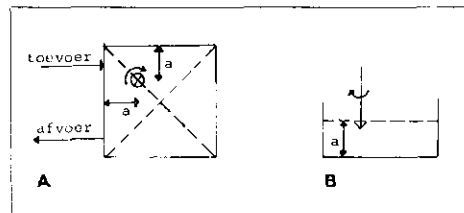
$$N_{\text{praktijk}} = \frac{1}{\sqrt{k_1}} \cdot N_{\text{model}} \quad (10)$$

$$N_{\text{praktijk}} = k_1^{5/2} \cdot k_{1b} \cdot N_{\text{model}} \quad (11)$$

— Bij bepaalde waarden van beluchterparameters (type beluchter, diameter, toerental) en bassingeometrie kan in het bassin een staande golf ontstaan (cadansvorming) die de stromingspatronen, zuurstoftoevoer en suspenderingseigenschappen ongunstig beïnvloedt, terwijl het tot zodanige stootbelastingen van de aandrijfmotor leidt dat deze beschadigd kan worden. Naar de omstandigheden, waaronder deze cadansvorming optreedt, wordt in het laboratorium van de vakgroep processtechniek aan de TH Twente in de naaste toekomst een onderzoek ingesteld. Vooruitlopend op de resultaten van dat onderzoek kan worden gesteld dat de cadansvorming grotendeels onderdrukt kan worden, door de beluchter niet in het midden maar op de diagonaal van het bassin op te stellen, zoals aangegeven in afb. 11a. Door deze opstelling wordt tevens de menging in het bassin verbeterd [lit. 2].

Door een ander onderzoek [lit. 3] werd aangetoond, dat bij deze opstelling het beluchttingsrendement 10 tot 15 % wordt verhoogd, terwijl waarschijnlijk met minder keerschotoppervlak kan worden volstaan om de gewenste radiale stromingspatronen te realiseren. Een vuistregel voor de plaats van de beluchter luidt als volgt: de afstand

Afb. 11a en 11b - Optimale plaats van een puntbeluchter in een vierkant bassin.



Symbolen

Φ_{O_2}	= massastroom zuurstof	[kg sec ⁻¹]
k	= stofoverdrachtscoëfficiënt	[m sec ⁻¹]
A	= specifiek contactoppervlak, betrokken op totaal water volume	[m ² m ⁻³]
V	= totaal volume water	[m ³]
c^*	= thermodynamische evenwichtsconcentratie	[kg m ⁻³]
c	= actuele concentratie	[kg m ⁻³]
Φ_p	= pompcapaciteit beluchter, of roerder	[m ³ sec ⁻¹]
K	= constante	[—]
n	= toerental roerder, beluchter	[sec ⁻¹]
d	= diameter roerder, beluchter	[m]
Re	= getal van Reynolds = $\frac{\rho n d^2}{\eta}$	[—]
ρ	= dichtheid vloeistoffase	[kg m ³]
η	= kinematische viscositeit vloeistoffase	[kg m ⁻¹ sec ⁻¹]
Fr	= getal van Froude	[—]
g	= versnelling zwaartekracht	[m sec ⁻²]
N	= netto asvermogen, vermogen aan het water toegevoerd	[W]
Po	= vermogenskental	[—]
k_1	= lineaire schaalvergrotingsfactor	[—]
k_{1b}	= lineaire schaalvergrotingsfactor	[—]

van de beluchter tot de dichtbijzijnde wanden van het bassin moet ongeveer gelijk zijn aan de waterhoogte in het bassin, waarbij de verhouding hoogte/diameter bassin niet te klein mag zijn, bij voorkeur niet kleiner dan 1/3, zie afb. 11a en 11b. In het voorgaande werd getracht een verband te leggen tussen de procestechnologische verschijnselen die bij puntbeluchters optreden en de apparaatkundige aspecten van beluchter en bassin, deels in kwalitatieve deels in kwantitatieve zin. Voor het ontwerpen van puntbeluchters werden enkele hoofdlijnen uitgezet. Om echter een meer complete technologische beschrijving van puntbeluchters te kunnen geven, zoals dat bij roterende roeders reeds het geval is, dient nog veel onderzoek te worden verricht, waarbij naast metingen op semi-technische schaal ook praktijkmetingen van wezenlijk belang zullen zijn.

De auteurs danken de studenten P. F. Beuker en E. K. M. Groensmit voor hun waardevolle bijdragen.

Het fotografisch werk werd verzorgd door de heer A. G. J. Rooks, technisch medewerker bij de vakgroep.

Literatuur

1. Voncken, *Circulatiestroming en menging in geroerde vaten*, Universitaire pers, Rotterdam, 1966.
2. Rácz, Groot Wassink, *Schaalverkleining van een neutralisatiebassin, een onderzoek naar de optimale plaats van de roerder bij gegeven bassin-geometrie*. H₂O (7), 1974, m. 21.
3. Groensmit, *Het beluchten van afvalwater d.m.v. een oppervlaktebeluchter bij gewijzigde beluchteropstelling*. Baccalaureaatsverslag TH Twente, afd. CT, mei 1975.

