

NN31050.75-1

1975-01

stora

**Oriënterend onderzoek
naar de
optimalisering van puntbeluchtersystemen**

I. Samenvatting

21/10/94 (15-01)

Van: [illegible]
Tusschen: [illegible]
Per: [illegible]
Aan: [illegible]



statenplein 1, den haag, telefoon: 070-557000

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

ORIENTEREND ONDERZOEK
naar de
OPTIMALISERING VAN PUNTBELUCHTERSISTEMEN

I. Samenvatting



INHOUD

I. INLEIDING	1 – 2
II. LITERATUURONDERZOEK	3 – 5
algemeen	3
fluctuerend energieverbruik	3
rotatie	3 – 4
cadans	4
vloeistofsnelheid langs de bodem	4
zuurstoftoevoervermogen en zuurstofinbrengrendement	4 – 5
modelwetten en schaalvergrotingsregels	5
III. PROBLEMEN UIT DE PRAKTIJK (enquête)	6 – 9
algemeen	6
fluctuerend energieverbruik	6
rotatie	6
cadans	6 – 7
vloeistofsnelheid langs de bodem	7
zuurstoftoevoervermogen en zuurstofinbrengrendement	7
vervuiling van de beluchter	7
bezochte zuiveringsinrichtingen	8 – 9
IV. DYNAMISCH ONDERZOEK	10 – 12
algemeen	10
fluctuerend energieverbruik	10
cadans	10 – 12
stromingspatroon en stroomsnelheden	12
V. MODELONDERZOEK	13 – 16
algemeen	13
fluctuerend energieverbruik	13
cadans	13 – 15
stromingspatroon en stroomsnelheden	15
zuurstoftoevoervermogen en zuurstofinbrengrendement	15
VI. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	17 – 18
VII. LITERATUURLIJST	19 – 20
VIII. OMSCHRIJVING VAN GEBRUIKTE BEGRIPPEN	21

I. INLEIDING

In opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA) werd oriënterend onderzoek verricht naar de mogelijkheid tot optimalisering van puntbeluchtersystemen.

De aanleiding voor dit onderzoek was dat aan dergelijke systemen — die bestaan uit een beluchtingstank plus puntbeluchter — in de praktijk allerlei problemen zijn waargenomen. Deze kunnen variëren van relatief geringe bezwaren, zoals spatten, tot storingen van dusdanig ernstige aard dat zuiveringsinrichtingen tijdelijk moeten worden stilgelegd of vertraagd in bedrijf worden gesteld. Ook is waargenomen dat puntbeluchters spontaan kunnen overschakelen van een bedrijfstoestand met een stabiel en laag energieverbruik naar een toestand met een instabiel en hoog verbruik.

Tot nu toe is voor minstens vijftig miljoen gulden in puntbeluchters en beluchtingstanks gestoken; in de komende jaren zal nog circa vierhonderd miljoen in het beluchtingsgedeelte van de afvalwaterzuivering moeten worden geïnvesteerd. Omtrent de oorzaken van bovengenoemde — meest hydraulische — storingen en de middelen tot voorkoming of opheffing ervan, is echter onvoldoende bekend.

Het onderzoek werd uitgevoerd door een combinatie bestaande uit het adviesbureau Bongaerts, Kuyper en Huiswaard, het ingenieursbureau Dwars, Heederik en Verhey en het instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO. Aan deze researchcombinatie werd een opdracht verstrekt die in vier onderdelen uiteenviel:

- a. literatuuronderzoek naar mechanische en hydrodynamische problemen bij puntbeluchtersystemen;
- b. het bezoeken van één en twintig zuiveringsinrichtingen met biologische reiniging middels puntbeluchters in vierkante of rechthoekige beluchtingsbassins. Dit, om uit enquêtering van het bedieningspersoneel en directe waarneming door de enquêteur, een overzicht op te stellen van de problemen die zich in de praktijk voordoen;
- c. dynamisch onderzoek, inclusief een volledig trillingsonderzoek, meting van het energieverbruik en oriënterende snelheidsmetingen (in twee richtingen) op een tweetal zuiveringsinrichtingen (Almelo en Stolwijk);
- d. het nabouwen op schaal van een tweetal inrichtingen met puntbeluchtersystemen (Almelo en Stolwijk), teneinde na te gaan of door middel van modelonderzoek kan worden bepaald welke maatregelen nodig zijn voor het opheffen van de storingen op ware grootte.

In deze modellen werd tevens oriënterend OC—onderzoek uitgevoerd.

De taakverdeling binnen de researchcombinatie was als volgt: het literatuuronderzoek werd verricht door het instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, het dynamisch onderzoek door Bongaerts, Kuyper en Huiswaard, het modelonderzoek door Dwars, Heederik en Verhey. De enquêtering werd door deze drie instanties gezamenlijk uitgevoerd. De projectcoördinatie berustte bij laatstgenoemd bureau.

In de hoofdstukken II tot en met V zijn de voornaamste resultaten van de vier onderdelen van het onderzoek in het kort samengevat. Voor de uitgebreide deelrapporten moge worden verwezen naar het werkrapport dat als afzonderlijke publicatie door de STORA is uitgebracht.

In hoofdstuk VI, tenslotte, zijn de voornaamste conclusies van het gehele project samengevat.

Het onderzoek dat in totaal ruim negen maanden heeft gevergd, werd namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit:

ir. J.S.J. Dragt	(Waterschap De Aa)
ir. R. Karper	(Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater)
ir. E.L.C. Koster	(Advies- en Ingenieursbureau Witteveen en Bos)
ir. A.P. Vernimmen, M.Sc.	(Zuiveringschap Drenthe)

In de laatste fase van het project, het modelonderzoek, werd de commissie uitgebreid met ir. P. Verbeek en ir. J. Wijdieks (beiden van het Waterloopkundig Laboratorium Delft).

Als woordvoerder van de gezamenlijke commissie fungeerde drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff, directeur van de STORA. Het secretariaat van de commissie werd door Dwars, Heederik en Verhey verzorgd.

Het project werd uitgevoerd op voorstel van de onderzoekadviescommissie van de STORA die als volgt is samengesteld:

prof.ir. A.C.J. Koot	voorzitter
drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff	secretaris

en de leden:

dr.ir. H.J. Eggink, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. M. van der Lugt, ir. H.A. Meijer, jhr.dr. J.J. Quarles van Ufford, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Selm, ir. F.B. Veldkamp, ir. A.P. Vernimmen, M.Sc.

Den Haag, 1 oktober 1975

II. LITERATUURONDERZOEK

algemeen

Het literatuuronderzoek, waarover in hoofdstuk II van het werkrapport is gerapporteerd, leverde weinig informatie op over problemen bij puntbeluchtersystemen. Er werd slechts een gering aantal bruikbare publicaties gevonden.

In de literatuur worden problemen zelden gesignaleerd; hierbij kunnen enerzijds overwegingen van negatieve reclame en anderzijds het feit dat onvoldoende of onnauwkeurige waarnemingen zijn verricht, een rol spelen. Met betrekking tot dit laatste moet erop worden gewezen dat gedegen onderzoek aan puntbeluchtersystemen zeer hoge kosten met zich brengt, hetgeen vermoedelijk een belangrijke oorzaak is voor het ontbreken van uitgebreide literatuur terzake.

fluctuerend energieverbruik

Onderzoek (in 1964) van Robertson aan een Simcar-beluchter toonde vermogensfluctuaties aan van ongeveer 15 procent over twee à drie minuten. Deze fluctuaties werden toegeschreven aan het gedrag van de vortex onder de beluchter. Daarnaast werden snelle vermogensvariaties (binnen enkele seconden) gemeld. Deze werden opgevat als gevolg van cavitatieverschijnselen onder de beluchter. Variatie in aantallen schoepen of schoepenvorm, bleek eveneens aanzienlijke vermogensfluctuaties op te leveren.

Door TNO werd aan een Simplex-beluchter 6 HL in een tank van 10 x 10 x 3,85 meter bij eenzelfde toerental en indompeling van de beluchter een afwisselend hoog en laag energieverbruik gevonden. Hier bedroeg het verschil ongeveer 30 procent.

Bij een BSK-beluchter in een tank van 16,8 x 16,8 x 4 meter met remschotten werden bij de hogere toerentallen af en toe kortdurende pieken in de energieopname geconstateerd. Bij stotend draaien met hoog toerental kwamen twee bedrijfstoestanden voor: bij de ene is het opgenomen vermogen constant, bij de andere zijn er vrij grote fluctuaties. In het laatste geval – dat bij grotere indompeling het meeste voorkwam – was het gemiddeld opgenomen vermogen bijna anderhalf maal groter dan in het eerste geval. Zonder aanwijsbare oorzaken kon het regiem van de ene situatie in de andere omslaan. Voor dit verschijnsel werd geen verklaring gevonden en het is niet gelukt het op te heffen.

Kealin en Tofaute constateerden inslingerverschijnselen bij toepassing van de BSK-beluchters "66/67" en "Favorit" (beide met een doorsnee van drie meter) in een bak van 21 x 21 x 5 meter. De slingertijd bedroeg ongeveer vijf à twintig minuten, de vermogensvariatie respectievelijk ± 8 procent en + 2 en - 4 procent. Na één uur werd het opgenomen vermogen stabiel. In deze publicatie wordt gewezen op het belang van een constante vermogensopname c.q. een constante pompwerking, voor de levensduur van motor en reductiekast.

rotatie

Door het Emschergenossenschaft werd gevonden dat horizontale rotatie van het water eerder optreedt naarmate de tank waarin de beluchter is opgesteld platter is. Er is daarbij sprake van een overgang van tangentiële naar radiale vloeistofbeweging. Het gevolg van het roteren van de vloeistof is, dat een hoog aanloopvermogen overgaat in een laag bedrijfsvermogen.

Bij toepassing van een BSK-beluchter in een tank van 20 x 20 bij (gemiddeld) 3 meter van het Emschergenossenschaft, werden rotatieproblemen opgelost door plaatsing van twee verticale schotten in de nabijheid van de tankwand en twee gekruiste schotten onder de beluchter op de tankbodem.

Bij metingen door TNO aan vier verschillende puntbeluchters in een tank van 10 x 10 x 2,5 m werd door twee leveranciers (Simcar en BSK) – respectievelijk van te voren en achteraf – geadviseerd remschotten te plaatsen om rotatie tegen te gaan. Volgens de leverancier van Gyrox en Simplex waren deze niet nodig; onder een aantal omstandigheden geraakte de vloeistof echter toch in rotatie.

Door Robertson wordt ten aanzien van Simcar-beluchters gesteld dat een geringe rotatie gunstig kan zijn in verband met het voorkomen van slibafzettingen op de bodem.

cadans

Bij onderzoek door TNO bleek een Gyrox-beluchter in een tank van 10 x 10 x 2,5 meter bij geringe indompeling een ritmische pulsatie van de watermassa te veroorzaken, met staande golven van tien tot vijftig centimeter hoogte. De beluchter kwam hierdoor het ene moment volkomen vrij van het water om het volgende moment met een klap geheel te worden ondergedompeld.

Robertson bericht dat, bij gebruik van een Simcar-beluchter buiten zijn gespecificeerde werkgebied, een golfbeweging optreedt tussen de hoeken van de tank en het middelpunt, met in het ergste geval een situatie zoals boven omschreven voor de Gyrox-beluchter. Dit kan leiden tot beschadiging van de motor en de reductiekast.

vloeistofsnelheid langs de bodem

In de eerste publicaties van het Emschergenossenschaft is veel aandacht besteed aan meting van de vloeistofsnelheid nabij de bodem van de tank.

In eerste instantie werd geconcludeerd dat zowel het aan de beluchters toegevoerde vermogen, als de geometrie van de beluchtingstank bepalend zijn voor de stroomsnelheid langs de bodem.

Naar analogie van de definitie van de hydraulische straal, werd de parameter R_r ingevoerd:

$$R_r = \frac{\text{tankinhoud}}{\text{nat oppervlak}}$$

Een grote waarde van R_r resulteert in een grote stroomsnelheid bij hetzelfde specifiek vermogen (W/m^3).

Uitzonderingen op deze regel kunnen optreden wanneer de tankdiameter minder dan anderhalf maal de "worp" van de beluchter bedraagt en bij toepassing van zeer hoge specifieke vermogens (waarbij bellen de impulsoverdracht wellicht dempen).

zuurstoftoevoervermogen en zuurstofinbrengrendement

Door het Emschergenossenschaft is een aantal publicaties uitgebracht over de bepaling van het zuurstoftoevoervermogen en het zuurstofinbrengrendement. De nadruk wordt daarin gelegd op het belang de vloeistofsnelheid met keerschotten af te remmen, teneinde een hogere OC te verkrijgen.

Door Burchard is de economie van de oppervlaktebeluchting via het opwekken van golven onderzocht. De roerenergie heeft minimaal slechts circa 1,5 W/m³ te bedragen, terwijl een zuurstofinbrengrendement van ongeveer 20 kg O₂/kWh tot de mogelijkheden zou behoren.

Vooraf het rendement van de energieoverdracht naar het water bleek van belang, waarbij oppervlaktebeluchters in het voordeel zouden zijn ten opzichte van bel-
lenbeluchters.

McKeown en Buckley hebben de invloedssfeer van puntbeluchters in grote bas-
sins bepaald. Uit de verrichte snelheids- en zuurstofmetingen bepaalden zij een
rendement van circa 1,9 kg O₂/kWh.

modelwetten en schaalvergrotingsregels

Door het Emschergenossenschaft wordt de wet van Froude genoemd als toepas-
bare modelwet.

Robertson geeft voor de Simcar-beluchters schaalregels voor het vermogen met
onder andere een "baffle-factor", die gelijk is aan 1 voor een volledig radiaal
stromingspatroon en kleiner dan 1 voor roterende vloeistof. Volgens Robertson
wordt het effect van het Froude-getal "geëlimineerd" door uit te gaan van een
radiaal stromingspatroon.

Horváth wijst in een overzichtsartikel met vele literatuurverwijzingen op de pro-
blemen die ontstaan omdat bij schaalvergroting tegelijkertijd voldaan moet wor-
den aan tegenstrijdige voorwaarden. Dit, opdat – bij voorbeeld – eenzelfde
Reynolds en Froude-getal kunnen worden gehandhaafd.
Het getal van Froude blijkt volgens Horváth voor Kessener, Inka en puntbeluch-
ting veelal goed bruikbaar. Op dit gebied is echter nog veel onderzoek noodza-
kelijk.

III. PROBLEMEN UIT DE PRAKTIJK (enquête)

algemeen

Het bedienend personeel en de beheerders van één en twintig inrichtingen waar puntbeluchters in vierkante of rechthoekige bakken worden toegepast, werden door enquêteurs van de researchcombinatie bezocht. De belangrijkste gegevens zijn in tabel I (blz. 8–9) en de volgende paragrafen samengevat; voor de complete uitwerking van de enquêteresultaten wordt verwezen naar hoofdstuk III van het afzonderlijke werkrapport.

fluctuerend energieverbruik

Uit de enquête blijkt, dat in 33 procent van de bezochte zuiveringsinrichtingen problemen met de vermogensopname werden ondervonden. Daarbij zijn in een aantal gevallen fluctuaties in het energiegebruik waargenomen van 30 à 40 procent van het maximum verbruik.

Ook werd geconstateerd dat het verbruik enige uren na inschakeling van de beluchter belangrijk kan afwijken van de waarde volgend op het moment van inschakelen. Daarbij wordt soms te weinig, soms teveel vermogen afgenomen; in het laatste geval kan de thermische zekering van de beluchter doorslaan zodat deze uitvalt.

Daarnaast bleken ook periodieke fluctuaties voor te komen, veroorzaakt door staande golven (cadans) in het beluchtingsbassin.

Enkele factoren die een stabiele, hoge vermogensopname schijnen te verstoren, zijn: gesloten beluchters, hoog toerental, meer dan twee beluchters in één bassin geplaatst in vierkante of rechthoekige opstelling en te platte bakken (breedte—/diepteverhouding > 4 à 5) zonder remschotten.

Instabiele vermogensopname gaat soms samen met visueel waarneembare verschijnselen als cadans, rotatie en vervuiling van de beluchter; dit is echter lang niet altijd het geval.

Toepassing van radiaal geplaatste, verticale schotten op de bodem onder de beluchter, langs de zijwanden van de tank of onder de brug (zie figuur 2 blz.14), leidt in het algemeen tot verbetering van het energieopnamepatroon. Bij alle te platte bakken moesten dergelijke voorzieningen of wel reeds in het ontwerp, of wel achteraf worden aangebracht.

rotatie

In 24 procent van de gevallen werden opmerkingen of klachten over rotatie geconstateerd.

Deze rotatie bleek met remschotten steeds te kunnen worden of te zijn opgeheven. De enquêteresultaten suggereren dat — bij toepassing van meerdere beluchters achter elkaar — rechthoekige bakken wat minder problemen geven dan vierkante.

cadans

Klachten of opmerkingen over cadans werden op 57 procent van de bezochte zuiveringsinrichtingen vernomen.

In vele gevallen kon cadans worden opgewekt bij extreem kleine of grote dompediepte van de beluchter, maar treedt zij onder normale bedrijfsomstandigheden niet op.

Cadans door vervuiling, ophoping en verstopping van de beluchter is waargenomen in 19 procent van de onderzochte gevallen. Dit is echter geen hydraulisch probleem. Waar dit wel het geval is, kon zij vrijwel altijd door plaatsing van remschotten of anticadansschotten worden opgeheven. In één geval lukte dit niet; zelfs met extra kruisschotten op de bodem traden daar circa 1.20 meter hoge, staande golven op. Dit ondanks vervanging van de oorspronkelijk voorziene 100" beluchter door een kleinere met 90" diameter. Het betreft hier evenwel een beluchtingstank met een extreme breedte—/diepteverhouding van ruim 6,6.

Tenslotte blijkt uit de enquête in het algemeen, dat hydraulische problemen (cadans) en de gevolgen daarvan (zoals fluctuerend energieverbruik) zijn te verwachten bij een breedte—/diepteverhouding in de beluchtingstank groter dan 4 à 5.

vloeistofsnelheid langs de bodem

Nergens werd onvoldoende stroomsnelheid langs de bodem van de beluchtingstank gemeld. Het is echter niet bekend of het ontwerp—, dan wel geïnstalleerd vermogen per kubieke meter tankinhoud op de zuurstofinbreng alleen is afgestemd of (mede) door de gewenste bodemsnelheid is gedicteerd.

zuurstoftoevoervermogen en zuurstofinbrengrendement

Volgens niet gekwantificeerde mededelingen van een aantal geënquêteerden, blijken zuurstoftoevoervermogen en zuurstofinbrengrendement in verschillende gevallen de door de fabrikanten van de beluchters opgegeven waarden niet te halen. Soms kon, door plaatsing van remschotten, het zuurstoftoevoervermogen worden vergroot, waardoor ook het energieverbruik toenam. Niet bekend is of — en hoe (gunstig of ongunstig) — het rendement hierdoor werd beïnvloed.

vervuiling van de beluchter

Vuilophoping in en verstopping van beluchters is op 38 procent van de bezochte zuiveringsinrichtingen geconstateerd. Hierdoor kunnen cadans, trillingen en onbalans van de brug en instabiele vermogensopname worden veroorzaakt. Het betreft hier in driekwart van de gevallen gesloten beluchters die ook meer problemen geven met ijsafzetting in de winter dan de open uitvoeringsvormen.

installatie	b x l x h = vol.	aantal, type, diameter beluchters	toeren- tal per minuut	b'/h	d/h	rem- schotten	anti- cadans- schotten	problemen i.v.m.		
								ver- mogen	cadans	vervuiling beluch- ters
Almelo aeratie	12,5 x 25 x 5,5 = 1.725	2 x Simcar Ø 2,95	42	2,27	0,54					
Almelo mineralisatie	15 x 15 x 3,1 = 700	Landy Ø 2,20	43,6	4,84	0,71	x		(1)	(1)	
Barger-Es	13 x 13 x 3,68 = 600	Simcar Ø 2,29	45	3,53	0,63					
Barneveld	18 x 18 x 4,85 = 1.542	Simplex Ø 3,85	46	3,71	0,63			x		x
Barneveld	18 x 18 x 4,85 = 1.542	KAR	46	3,71			x	x	(2)	
Breda	30,75 x 73,5 x 2,4 = 5.400	6 x Gyrox Ø 2,54	26/39	6,4	1,06			(3)	(3)	
Bunnik	18,6 x 18,6 x 4,65 = 1.600	BSK Ø 2,00	42-52	4	0,43					x
Bunschoten	18,5 x 18,5 x 4,4 = 1.491	Gyrox Ø 2,06	47	4,2	0,47					
De Bilt	21 x 21 x 2,75 = 1.200	4 x Simcar Ø 2,29	35	3,82	0,83	x				
Dordrecht	33,3 x 33,3 x 2,7 = 3.000	4 x BSK Ø 2,00	48	6,17	0,74	kegels		x		
Enka, bassin IV	20 x 20 x 6,25 = 2.500	Simplex Ø 3,00	37,5	3,2	0,47					
Enka, bassin V	20 x 40 x 6,25 = 5.000	2 x Simplex Ø 3,00	37,5	3,2	0,47					
Enschede	16,8 x 16,8 x 4 = 1.125	BSK Ø 2,00	38/54	4,2	0,5	x		x		
Epe	18 x 18 x 4,86 = 1.550	Simplex Ø 2,81	38,5	3,7	0,58					x
Goor	20 x 40 x 3,5 = 2.800	2 x Simcar Ø 2,95	38	5,7	0,84	x				
Helmond	21,6 x 108 x 3,5 = 8.000	5 x Spaans Ø 2,90	41	6,17	0,83	x				
Hengelo 1e trap	20 x 20 x 2,3 = 940	Simplex Ø 3,00	27,5/37	8,7	1,3	x	x (4)	(1)	(1)	
Hengelo 2e trap	20 x 40 x 3,25 = 2.400	2 x Simplex Ø 3,00	27,5/37	6,15	0,93					
Malden	12,5 x 12,5 x 2,75 = 410	BSK Ø 1,25	65,4	4,55	0,47					x

installatie	b x l x h = vol.	aantal, type, diameter beluchters	toerental per minuut	b'/h	d/h	remschotten	anti-cadansschotten	problemen i.v.m.		
								vermogen	cadans	vervuiling beluchters
Montfoort	19,2 x 19,2 x 4,8 = 1.760	BSK Ø 2,00	42	4	0,42					x
Schijndel	20 x 20 x 3,1 = 1.100	4 x Simplex Ø 1,80	37,5/50	3,23	0,58		(5)			
Someren--Asten	20 x 20 x 3,85 = 1.400	4 x Koppers Ø 2,50	52	5,19	0,65					
Stolwijk	19 x 19 x 2,8 = 980	Simcar Ø 2,29	40	6,8	0,82	x			x	
Varsseveld	20 x 20 x 4,35 = 1.750	Landy Ø 1,60	47	4,6	0,37	x	x		(2)	
Zwartemeer	15,3 x 15,3 x 2,9 = 680	Simcar Ø 2,03	42	5,27	0,7	x				

6

- (1) Problemen opgelost door plaatsen van remschotten.
- (2) Problemen opgelost door plaatsen van anti-cadansschotten.
- (3) Problemen traden alleen op in één afgeschermd compartiment.
- (4) Was niet afdoende.
- (5) Alleen bij een bepaalde wijze van bedrijfsvoering.

b = breedte bassin (m)

b' = breedte compartiment (m)

l = lengte bassin (m)

h = diepte bassin (m)

d = diameter beluchters (m)

Tabel 1. bezochte zuiveringsinrichtingen

IV. DYNAMISCH ONDERZOEK

algemeen

Het onderzoek werd uitgevoerd in een slibmineralisatiebassin van de zuiveringsinrichting te Almelo en in de beluchtingstank van Stolwijk.

Het onderzoek omvatte:

a. te Almelo:

- registratie van de variatie in de waterhoogte;
- registratie van trillingen van de motor, tandwielkast en brugconstructie;
- registratie van de motorstroom;
- stroomsnelheidsmetingen.

b. te Stolwijk:

- stroomsnelheidsmetingen;
- meting van het energieverbruik.

De voornaamste uitkomsten worden hieronder besproken; voor het complete deelrapport wordt verwezen naar hoofdstuk IV van het werkrapport.

fluctuerend energieverbruik

Uit het mineralisatiebassin te Almelo werden de geplaatste schotten verwijderd. Bij alle pompdiepten werd een sterk fluctuerende motorstroom geconstateerd. De fluctuaties vielen samen met het weglopen van de cycloonwervel onder de beluchter. Dit verschijnsel trad met onregelmatige tussenpozen op.

Bovendien werden bij een pompdiepte van –20 centimeter ten gevolge van staande golven (cadans) periodieke fluctuaties van het energieverbruik geconstateerd.

In een identiek bassin dat normaal in bedrijf was en waarin op de bodem onder de beluchter kruisschotten (fig. 2a, blz. 14) waren geplaatst, was het energieverbruik constant. Ook in Stolwijk, waar eveneens kruisschotten waren toegepast, was dit het geval.

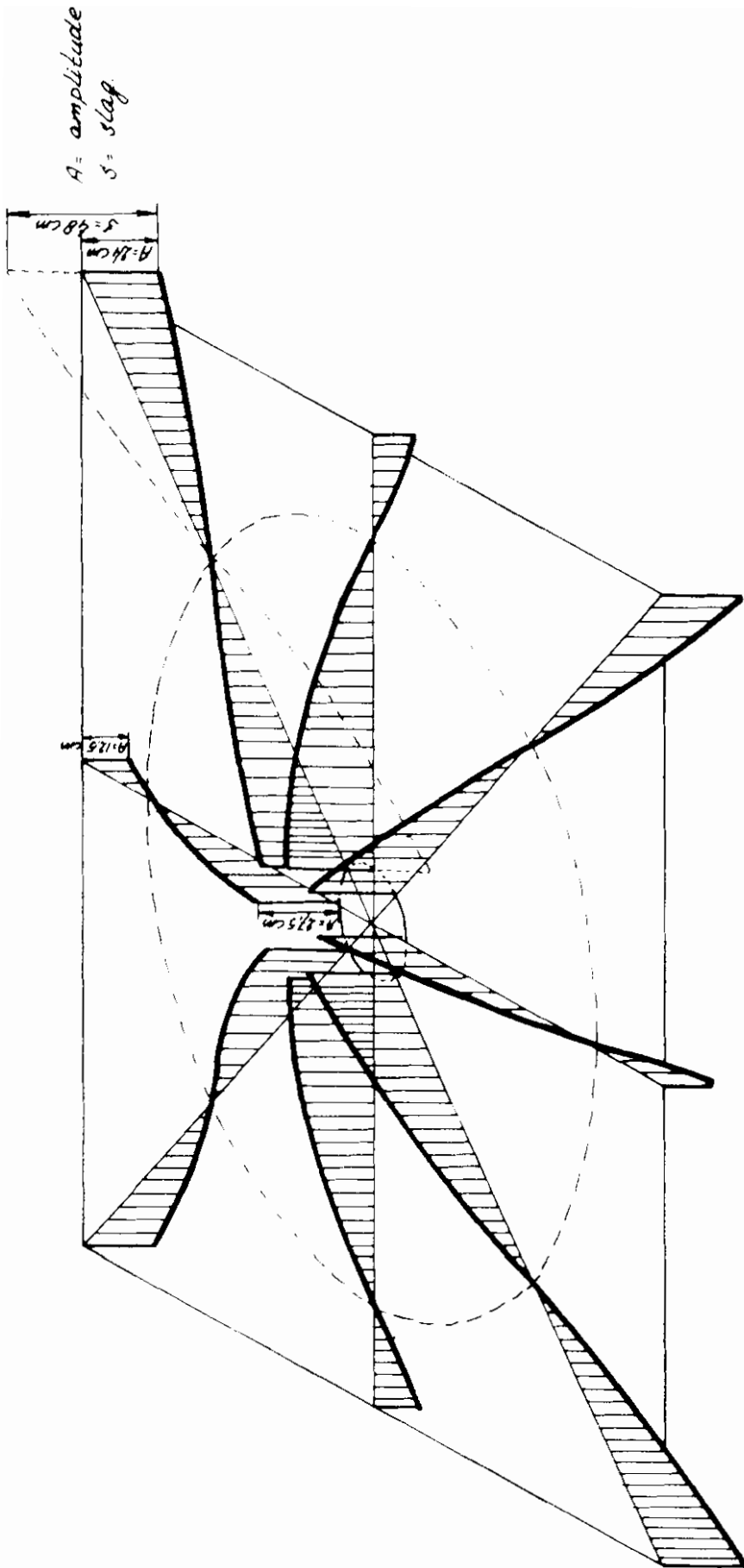
cadans

In het mineralisatiebassin met de kruisschotten te Almelo trad bij een pompdiepte van –10 centimeter geen cadans op. Dit bassin was gevuld met een slib-suspensie met vier procent droge stof.

In het identieke bassin (gevuld met effluent) zonder kruisschotten, trad cadans op bij een pompdiepte van –20 centimeter. Daarbij bedroeg de maximale golfbeweging 60 centimeter met een frequentie van 0,3 Herz.

De motorstroom varieerde met dezelfde frequentie. Er ontstond een staande golf (fig.1,blz.11) met een golflengte ongeveer gelijk aan de lengte van de diagonaal van het bassin. De golven konden een zodanige hoogte bereiken, dat de rotor vrijkwam.

Bij pompdiepten van –10 centimeter en –15 centimeter kon geen cadans worden opgewekt. Bij –10 centimeter maakten zich wel cycloonwervels van de rotor los met tussenpozen van één à vier minuten. De motorstroom varieerde in hetzelfde tempo.



figuur 1. golfpatroon bij cadans
 (mineralisatiebassin Almelo, zonder antirotatieschotten, dompeldiepte -20cm)

Volgens het Advies- en Ingenieursbureau Witteveen en Bos zijn soortgelijke verschijnselen geconstateerd bij de inbedrijfstelling en deed plaatsing van kruis-schotten de cadans bij een dompeldiepte van –20 centimeter verdwijnen. Ook werd toen bij zeer grote dompeldiepte een onregelmatige vermogensopname geconstateerd. Dit verschijnsel bleek echter niet herhaalbaar. Cadans laat zich kennelijk gemakkelijker inleiden naarmate de dompeldiepte van de rotor kleiner is. De golfbeweging in de bak deint lang na; het betreft hier een zwak gedempt resonantiesysteem dat met een op het juiste moment en in de juiste richting aangrijpende wisselkracht kan worden onderhouden. Cadans kon successievelijk worden verminderd en zelfs opgeheven door geleidelijke verhoging van het waterniveau in het bassin.

stromingspatroon en stroomsnelheden

In het bassin zonder schotten te Almelo werd een overwegend tangentieel stromingspatroon waargenomen. Te Stolwijk werd eveneens een aanzienlijke tangentiële stroming geconstateerd. In beide gevallen treedt ook radiale circulatie op. De resultante is een zeer flauwe spiraalbeweging. De stroomsnelheden varieerden in Almelo tussen 0 en 35 centimeter per seconde en in Stolwijk tussen 0 en 60 centimeter per seconde.

V. MODELONDERZOEK

algemeen

Dit deel van het onderzoek werd verricht in modellen van het slibmineralisatiebassin te Almelo en de beluchtingstank te Stolwijk; deze werden op een schaal van 1 : 4 nagebootst. De integrale resultaten zijn in hoofdstuk V van het werkrapport vermeld.

Het doel van de proefnemingen was:

- a. te onderzoeken of verschijnselen die in de praktijk optreden in model kunnen worden gereproduceerd en welke schaalregels hierop van toepassing zijn;
- b. het op modelschaal bestuderen van praktijkproblemen bij puntbeluchtersystemen en het aangeven van oplossingen hiervoor. Dit is de enige weg waarlangs dergelijke vraagstukken uitputtend en tegen realistische kosten kunnen worden onderzocht.

Voor de twee onderzochte gevallen is gebleken, dat wijzigingen — zoals het aanbrengen van schotten en verandering in dompeldiepte van de beluchter — in model dezelfde uitwerking hebben als op ware grootte. Vermogensfrequenties en snelheden voldoen daarbij aan de schaalregels van Froude. Cadans en fluctuerend energieverbruik bleken in model eveneens goed reproduceerbaar.

fluctuerend energieverbruik

In het model zonder schotten van "Almelo" werd een onregelmatig fluctuerend energieverbruik vastgesteld. De stroming over de bodem in het centrale deel van het model kon worden gestabiliseerd door radiaal geplaatste, verticale schotten (kruisschotten, fig. 2a, blz. 14) direct onder de beluchter. Hierdoor nam het opgenomen vermogen toe met ongeveer 65 procent en werd constant, behalve bij cadans: dan fluctueerde het periodiek, echter met een constante amplitude rond een constante, gemiddelde waarde.

Deze uitkomsten stemmen zeer goed overeen met de resultaten op ware grootte; zij suggereren dat de vermogensafgifte van de beluchter voornamelijk wordt bepaald door het stromingspatroon langs de bodem van het centrale deel van het beluchtingsbassin.

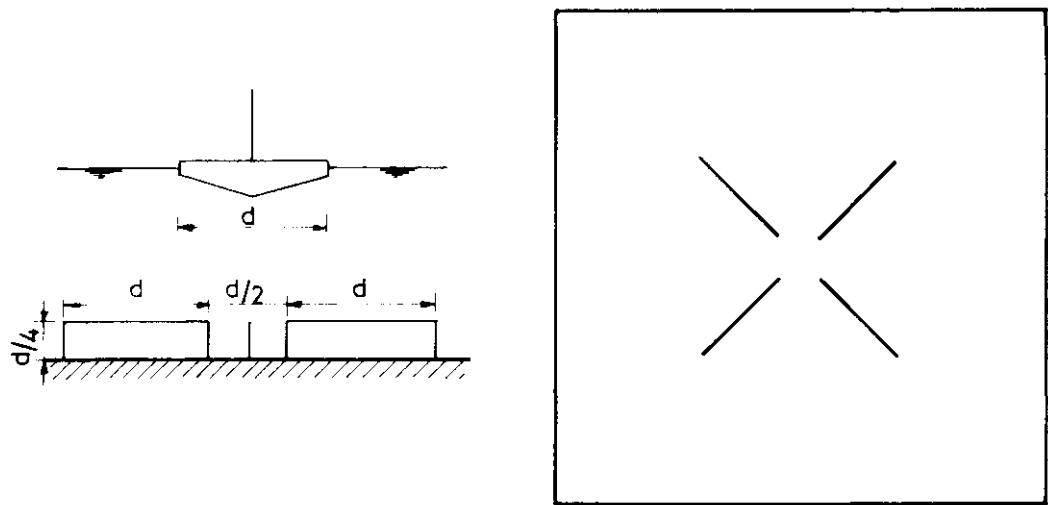
cadans

Vastgesteld werd dat cadans optrad wanneer de beluchterindompeling minder dan een bepaalde kritische waarde bedroeg. Deze kritische waarde lag voor "Almelo" zonder kruisschotten op de bodem juist binnen en, na plaatsing van kruisschotten juist, buiten het door de leverancier gespecificeerde dompelbereik. Voor "Stolwijk" met kruisschotten, lag deze waarde ruim binnen het gespecificeerde dompelbereik van de beluchter.

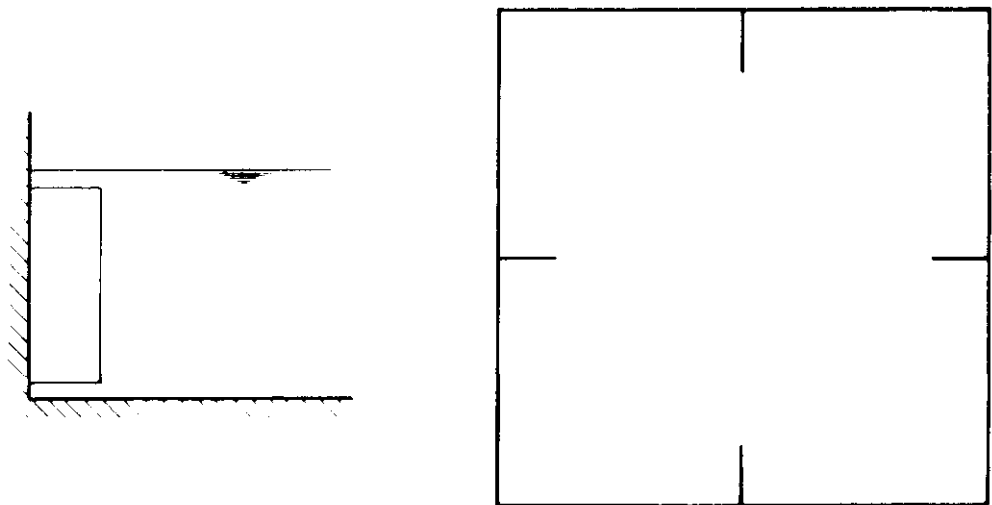
Het bijzondere van deze laatste bak is de grote breedte—/diepteverhouding, namelijk 6,6.

Over de wijze waarop cadans kan ontstaan en in stand wordt gehouden zijn verschillende hypothesen mogelijk. Eén daarvan is in hoofdstuk V van het werkrapport nader uitgewerkt.

Op grond van het onderzoek kan een aantal richtlijnen worden opgesteld ter voorkoming of onderdrukking van cadans.



a. kruisschotten



b. schotten langs de wanden (remschotten)

figuur 2. voorzieningen ter verbetering van de energieopname door puntbeluchters

Dit zijn:

- toepassing van niet te platte bakken (breedte—/diepteverhouding niet groter dan circa 6);
- afschuiningen in de hoeken tussen wanden en bodem; een gunstige invloed is vastgesteld van afschuiningen met een hoogte gelijk aan de halve waterdiepte en een breedte gelijk aan de waterdiepte (fig.3a,blz.16);
- kruisschotten (fig.2a,blz.14) op de bodem onder de beluchters ter stabilisering van het energieverbruik. Deze hebben ook een geringe doch waarneembare gunstige invloed op het voorkómen van cadans;
- keuze van een beluchter met een zo klein mogelijke diameter en een zo hoog mogelijk toerental. Dit omdat in het model cadans minder gemakkelijk ontstaat naarmate het toerental wordt verhoogd en mede gelet op de ervaring uit de praktijk (Stolwijk) dat verkleining van de beluchterdiameter een verbetering bleek te zijn;
- plaatsing van horizontale schotten (fig.3b,blz.16) juist onder het wateroppervlak in de buiken van de golf. Het blijkt dat bij voldoende grote schotten de golven hierdoor kunnen worden gedempt.

stromingspatroon en stroomsnelheden

Omgerekend naar praktijkschaal, werden in het model gemiddelde (horizontale) rotatiesnelheden gemeten van circa 20 centimeter per seconde. Deze snelheden – evenals het daaruit resulterende rotatiedebiet – worden door de plaatsing van kruisschotten op de bodem onder de beluchter nauwelijks beïnvloed. Dit leidt tot de conclusie dat rotatie van de vloeistof, behalve direct onder de beluchter, geen invloed heeft op de vermogensafgifte.

Zonder kruisschotten bedroeg het radiale circulatiedebiet ongeveer 60 procent van het rotatiedebiet. Met kruisschotten lagen beide debieten in dezelfde orde van grootte, terwijl door het aanbrengen van afschuiningen in de hoeken tussen wanden en bodem het circulatiedebiet ongeveer 30 procent groter werd dan het rotatiedebiet. In alle gevallen kon worden geconcludeerd dat er sprake was van een meer of minder flauwe spiraalstroming.

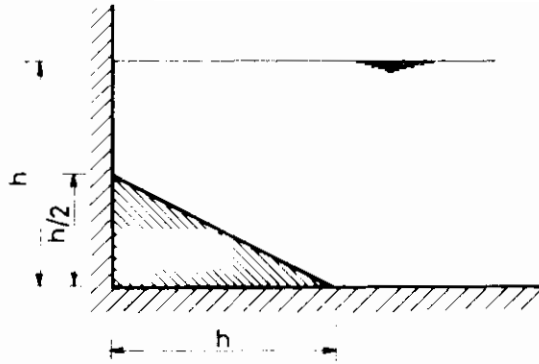
zuurstoftoevoervermogen en zuurstofinbrengrendement

Een aantal malen is het zuurstoftoevoervermogen (OC) en het zuurstofinbrengrendement bepaald.

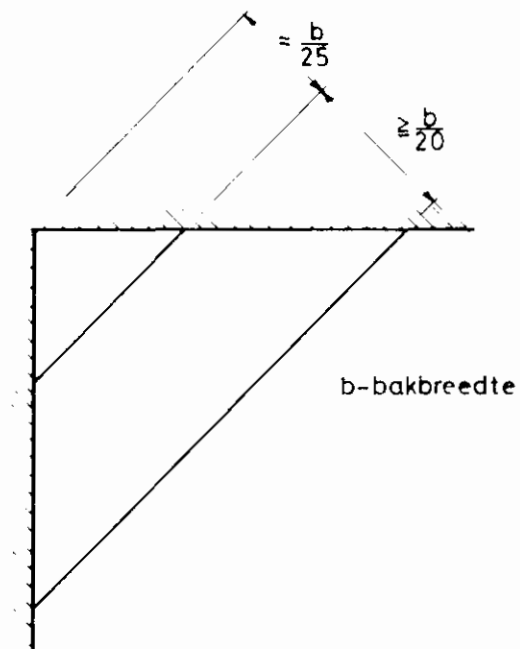
Schaalregels waarmee de gevonden waarden naar praktijkwaarden kunnen worden omgerekend zijn (nog) niet bekend.

Wel is gebleken dat door bepaalde maatregelen (schotten e.d.) de OC in aanzienlijke mate kan worden verhoogd en dat het dus van essentieel belang is het effect hiervan te kennen wanneer bij een vereiste OC een systeem moet worden gedimensioneerd.

Dit effect kan door modelonderzoek voor elk geval in kwalitatieve zin worden vastgesteld.



a. afschuivingen tussen wanden en bodem



b. horizontale anti-cadansschotten

figuur 3. voorzieningen tot opheffing van cadans

VI. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Uit literatuuronderzoek en bezoeken aan één en twintig zuiveringsinrichtingen werden gegevens verzameld over problemen bij de toepassing van puntbeluchters in vierkante of rechthoekige bassins.

Meting van trillingen, vloeistofsnelheden, energieverbruik en variaties in waterhoogte op de zuiveringsinrichtingen te Almelo en Stolwijk, hebben het inzicht verdiept in de werking van puntbeluchtersystemen, bestaande uit één beluchter in een vierkant bassin en de aard van de problemen daarbij.

Dit onderzoek heeft ook het cijfermateriaal geleverd dat nodig was om na te gaan of praktijkproblemen bij puntbeluchtersystemen via modelonderzoek kunnen worden opgelost.

Onderzoek van een tweetal modellen van bovengenoemde puntbeluchtersystemen heeft aangetoond dat ingrepen op modelschaal dezelfde uitwerking hebben als op ware grootte. Omgekeerd bleken praktijkproblemen, zoals cadans en fluctuerend energieverbruik, op modelschaal goed reproduceerbaar. Daarmee is de mogelijkheid geschapen, de optimalisering van puntbeluchtersystemen in algemene zin ter hand te nemen. Modelonderzoek, als in het kader van dit project aan twee concrete situaties verricht, lijkt de enige manier om deze optimalisatie uitputtend en tegen realistische kosten te verwezenlijken.

Een dergelijk onderzoek is vooral van belang met het oog op de vermindering van de exploitatiekosten van zuiveringsinrichtingen.

Op basis van het hier gerapporteerde onderzoek kan echter nu reeds een aantal richtlijnen worden gegeven voor het ontwerpen van vierkante bassins met één puntbeluchter en het oplossen van problemen bij bestaande uitvoeringsvormen hiervan:

- a. maatregelen ter verhoging van de stroomsnelheden behoeven niet te worden genomen daar de praktijk leert dat bij de gebruikelijke bakafmetingen de snelheden voldoende hoog zijn ter voorkoming van processtorende slibafzettingen.
- b. bij een breedte—/diepteverhouding groter dan circa 4 zijn voorzieningen nodig ter stabilisering van het stromingspatroon om de vermogensafgifte constant te houden.
Deze voorzieningen kunnen bestaan uit radiaal geplaatste verticale schotten, diagonaalgewijs op de bodem in het midden van de bak (fig.2a,blz.14) en/of langs de wanden of onder de brug (fig.2b,blz.14).
- c. cadans kan worden voorkomen of verminderd door:
 - breedte—/diepteverhoudingen groter dan 6 te vermijden;
 - van het te installeren beluchtertype de kleinst mogelijke diameter te kiezen waarmee de gewenste OC kan worden bereikt;
 - plaatsing van de onder b genoemde schotten;
 - afschuiningen in de hoeken tussen wanden en bodem (fig.3a,blz.16);
 - horizontale schotten in de hoeken van de bak juist onder de waterspiegel (fig.3b,blz.16), waar cadans eenmaal optreedt.
- d. de keuze van de beluchter bepaalt deels de mate waarin problemen als trillingen en onbalans ten gevolge van vervuiling kan optreden.
Gesloten beluchters en/of stijgbuizen geven in dit opzicht aanleiding tot meer problemen dan open uitvoeringsvormen, doordat er zich, vooral in niet voorbezonden water, vuil aan kan hechten.

e. aangetoond is dat modelonderzoek op een schaal van circa 1 : 4 een goed beeld geeft van het hydraulisch gedrag van puntbeluchtersystemen op ware grootte. Het is dus mogelijk tegen relatief geringe kosten reeds tijdens de ontwerpfase een inzicht te krijgen in de te verwachten problemen en de daarbij te nemen maatregelen.

VII. LITERATUURLIJST

- Burchard, C.H. Beitrag zur Frage der Oberflächenbelüftung in Abwasserreinigungsanlagen. Stuttgarter Ber. Siedlungswasserwirtsch., 35 (1968), München.
- Horváth, I. Anwendung der Ähnlichkeit und Modellierung in der Abwasser-Technologie. Gas und Wasserf. 115(1974) H3: 128–136.
- Kalbskopf, K.H. Strömungsverhältnisse und Sauerstoffeintrag bei Einsatz von Oberflächenbelüftern. Jahrb. vom Wasser, 33 (1966): 154–171.
- Kalbskopf, K.H. Systeme und Wirkungsweise der Kreiselbelüfter. H₂O, 2 (1969) 25: 660–669.
- Kalbskopf, K.H. Flow velocities in aeration tanks with mechanical aerators. Water Res., 6 (1972): 413–416.
- Kealin, J.R. & Tofaute, K. Leistungsfähigkeit von BSK-Turbinen, Wasser, Luft u. Betrieb, 12 (1968) 12: 768–772; 13 (1969) 1: 13–17.
- Knop, E., Bischofsberger W. & Stalman, V. Versuche mit verschiedenen Belüftungssystemen im technischen Massstab. Untersuchungen an Oberflächenbelüftern und kombinierten Systemen in Reinwasser. Vulkan Verlag 1964, Essen.
- Knop, E. Die biologische Grossanlage an der Einmündung der Emscher in den Rhein. Ber. Abwassertechn. Ver., 19 (1967): 49–71.
- Knop, E. & Kalbskopf, K.H. Energy and Hydraulic Tests on mechanical Aerator Systems. Adv. Water Poll. Res. Proc. 4th Int. Conf., Prague, 1969.
- Knop, E. & Kalbskopf, K.H. Energetische und hydraulische Untersuchungen an mechanischen Belüftungssystemen. Gas u. Wasserf., 110 (1969) 8: 197–201; 110 (1969) 10: 226–269.
- McKeown, J.J. & Buckley, D.B. Mixing characteristics of aerated stabilisation basins, Tappi 54 (1971) 10: 1664.
- Robertson, W.S. Evaluation of the Simcar Aerator for trade effluent treatment. J. Inst. Sewage Purification, 1964: 585–596.
- Sweeris, S. Simplex-beluchter 6 HL. IG-TNO, werkrapport A 54, januari 1970.
- Sweeris, S. OC-metingen. IG-TNO, werkrapport A 64, maart 1972.

Sweeris, S.

BSK-beluchter favorit Ø 2000 mm. IG-TNO,
werkrapport A 67, november 1972.

VIII. OMSCHRIJVING VAN GEBRUIKTE BEGRIPPEN

Constante vermogensafgifte

Het energieverbruik door de beluchter vertoont noch kortstondige, noch langdurige fluctuaties.

Stabiele vermogensafgifte

Het gemiddeld energieverbruik is constant doch kan periodieke fluctuaties vertonen met een constante amplitude en periode.

Instabiele vermogensafgifte

Het gemiddelde energieverbruik vertoont spontaan langdurige en a—periodieke fluctuaties.

Dit kan gepaard gaan met schommelingen met een constante korte periode rondom het gemiddelde.

Cadans

Hiermee wordt het optreden van staande golven in de beluchtingsbak bedoeld, uiteraard samengaand met periodieke fluctuaties in het energieverbruik.

Rotatie

Dit is de horizontale, in de draairichting van de beluchter rondgaande waterbeweging in de bak.

Circulatie

Dit is de radiale waterbeweging vanaf de beluchter langs het oppervlak in de richting van de zijwand en langs de bodem weer terug naar het midden van de bak.

Spiraalstroming

Dit is de waterbeweging die resulteert uit het samenspel van rotatie en circulatie.

Kruisschotten

Hiermee worden langwerpige schotten bedoeld die, met de uiteinden op enige afstand (ongeveer de helft van de beluchterdiameter) van elkaar, in de verticale diagonaalvlakken van de bak op de bodem onder de beluchter worden geplaatst.

Anti—cadansschotten

Dit zijn driehoekige of trapeziumvormige schotten die horizontaal vlak onder het wateroppervlak in een of meer hoeken van de bak worden aangebracht.

Remschotten

Verticale schotten, loodrecht op de bakwanden.

