

# Effizientes Mischen und Belüften von Belebungsbecken

---

Wilhelm Frey

AAB, Leobendorf

## 1. Einleitung

Das Belüftungssystem ist eine der wichtigsten maschinenbaulichen Komponenten einer Belebungsanlage. Die Funktion entscheidet über die Reinigungsleistung und hat maßgeblichen Einfluss auf die Betriebskosten der Anlage.

Das Ziel des vorliegenden Beitrages ist es über Möglichkeiten und Erfahrungen, zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsbecken, zu berichten.

Der Vortrag beschränkt sich auf Druckbelüftungssysteme. Oberflächenbelüfter und sonstige Systeme werden nicht behandelt.

## 2. Durchmischung

Im Rahmen dieses Vortrages wird unter dem Begriff Durchmischung die Erfüllung folgender Aufgaben verstanden:

- Ausgleich von Konzentrations- und Temperaturunterschieden
- Vermeidung und Mobilisierung von Ablagerungen
- Vermeiden von Kurzschlussströmungen
- Einbringen einer Horizontalströmung in Umlaufbecken.

Die Durchmischung kann durch die eingeblasene Luft und/oder mit Rührwerken erfolgen.

### 2.1 Mischen mit Luft

Die mit der eingeblasenen Luft eingetragene Mischenergie kann aus dem Energieeintrag der Wasserverdrängung berechnet werden. Zum Heben von einem m<sup>3</sup> Wasser um einen Meter ist eine Arbeit von: Arbeit = Kraft • Weg = m • g • h = 1000kg • 9,81 m/s<sup>2</sup> • 1m = 9810 J, erforderlich. Mit der Umrechnung 1 Wh = 3600 J erhält man die Arbeit zu 9810/3600 = 2,72 Wh.

Unter der Annahme, dass für die Mischung der Luftvolumenstrom bezogen auf die Zustandsgrößen in halber Einblastiefe maßgeblich ist, gilt (FREY 1993):

$$q_L = \frac{\text{spez}P_{BB}}{2,72} \cdot \frac{1}{h_e} \cdot \frac{(p_{Luft} + 98,1 \cdot \frac{h_e}{2})}{1013} \cdot \frac{273}{(273 + t_w)}$$

Darin bedeutet:

- $q_L$  .....spezifischer Luftvolumenstrom [m<sub>N</sub><sup>3</sup>/(m<sup>3</sup> • h)]  
spez.  $P_{BB}$ .....spezifische Leistung [W/ m<sup>3</sup>]  
 $h_e$  .....Eintauchtiefe [m]  
 $p_{Luft}$  .....aktueller Luftdruck [hPa]  
 $t_w$  .....Wassertemperatur [°C]

BEISPIEL: Für eine Einblastiefe von 5 Metern, einer Wassertemperatur von 10°C und einer erforderlichen spezifischen Mischenergie von  $3 \text{ W/m}_{\text{BB}}^3$  berechnet man den spezifischen Luftvolumenstrom zu  $0,26 \text{ m}_N^3/(\text{m}_{\text{BB}}^3 \cdot \text{h})$ .

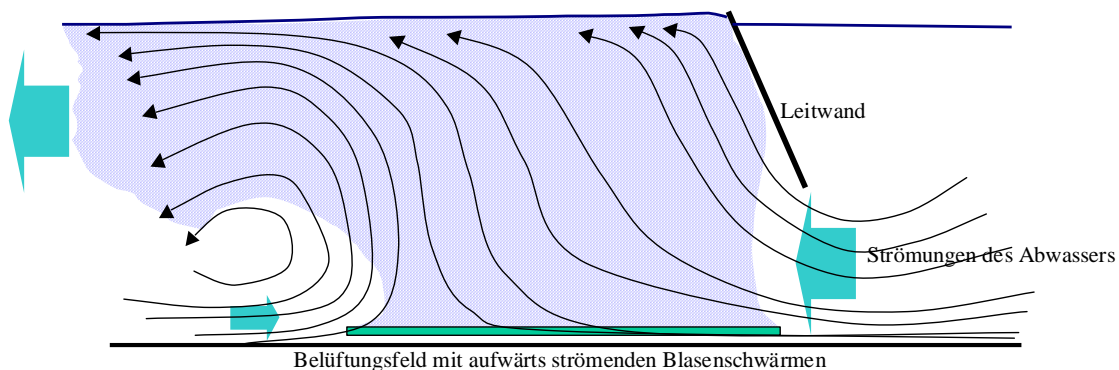
Der Luftbedarf einer Anlage mit Stickstoffelimination liegt, bei 100% Auslastung, nach RIEGLER u. CAPITAIN (1989) bei ca.  $0,6 \text{ m}_N^3/(\text{m}_{\text{BB}}^3 \cdot \text{h})$ , d.h. die Durchmischung kann mit der eingeblasenen Luft erreicht werden.

### 2.1.1 Mischen mit Luft - Impulsbelüftung

Das Mischen mit Luft wird auch großtechnisch eingesetzt. Beim Impulsbelütfungsverfahren (MESSNER 2006) wird zum Mischen ausschließlich die Energie der aufsteigenden Luftblasen genutzt. Das Verfahren eignet sich für Anlagen mit intermittierender Nitrifikation – Denitrifikation. Gebräuchliche Beckenformen sind Mischbeckenkaskaden, Längsbecken und Kreisringbecken mit Trennwand. Zur Sicherstellung der Mischung in der Denitrifikationsphase wird das Becken (bzw. der Beckenabschnitt) kurz mit Luft beschickt.

### 2.1.2 Sucflow –Effect Verfahren (Huber&Suhner AG 2001)

Das Verfahren beruht darauf die Energie der aufsteigenden Luftblasen in einen gerichteten Strömungsimpuls umzusetzen. Dazu wird vor dem Belüfterfeld eine schräge Wand quer zur Strömungsrichtung eingebaut. Diese hindert die aufsteigenden Blasen eine Walze auszubilden und leitet sie in Umlaufrichtung ab (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Leitwand zur Verhinderung von Rückströmungen (HUBER & SUHNER AG)

Mein Büro hat an zwei Anlagen, in denen versuchsweise solche Leitwände eingebaut waren, Messungen durchgeführt. Die Resultate zeigen eine Einsparung an Rührwerksenergie bei gleich bleibenden Strömungsverhältnissen. Die Idee wurde nicht weiter verfolgt, mir sind keine weiteren Ergebnisse bzw. Anlagen mit diesem System bekannt.

## 2.2 Mischen mit Rührwerken

Rührwerke können nach ihrem Durchmesser, der Drehzahl sowie der Richtung der Zu- und Abströmung des Fluides eingeteilt werden. In Belebungsbecken werden in der Regel langsam laufende Aggregate mit großem Durchmesser (typischer Durchmesser 2 m) und geringer Drehzahl (typische Drehzahl 30 U/min) eingesetzt. In Umlaufbecken ist die Zu- und Abströmung horizontal gerichtet, in Mischbecken findet man häufig Rührwerke mit vertikaler Zuströmung und horizontaler Abströmung

Die Auswahl der Rührwerke erfolgt in der Regel auf Vorschlag des Lieferanten. Die Prüfung, ob das Rührwerk die ihm gestellten Aufgaben erfüllt, kann in der Regel erst nach Einbau und Inbetriebnahme erfolgen. Bei der Auswahl gilt es zu beachten, dass:

- der Strömungswiderstand durch aufsteigende Luftblasen (Blasenwand) die erforderliche Rührwerksleistung erhöht

und

- die Rührwerksleistung den Gesamtenergieverbrauch erhöht und dadurch die Wirtschaftlichkeit des Belüftungssystems reduziert.

Das Belüftungssystem und die eingesetzten Rührwerke müssen, speziell in Umlaufbecken, aufeinander abgestimmt sein. Häufig wird bei Nichterreichen von Garantiewerten für die Sauerstoffzufuhr dem Rührwerk das Verschulden zugewiesen und umgekehrt bei Nichterfüllung der Mischaufgaben die Ursache der Belüftungseinrichtung zugewiesen.

Für gleichzeitig belüftete und durchmischte Belebungsbecken müssen für die Sauerstoffzufuhr und die Durchmischung getrennte Garantiewerte formuliert und auch überprüft werden.

Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Belüftungssystemen kann nach EN 12255-15 und DWA-M 209 erfolgen.

Für die Prüfung der Leistungsfähigkeit der Rührwerken existiert die ISO 21630 (August 2007). Diese Vorschrift dient im Wesentlichen zum Vergleich verschiedener Aggregate, ist aber zur Funktionsprüfung in Belebungsbecken nicht geeignet. Abhilfe soll hier, durch das in Ausarbeitung befindliche DWA-M 229 „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“, geschaffen werden.

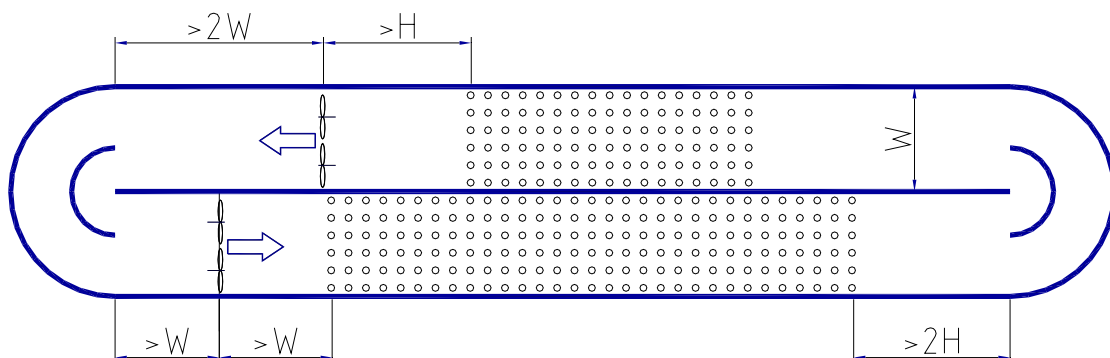
Mögliche Kontrollmöglichkeiten der Funktion von Rührwerken sind (FREY 2009):

- Kontrolle auf vorhandene Ablagerungen
- Messung der Strömungsgeschwindigkeit
- Messung der Feststoffverteilung im Becken
- Messung des Durchmischungsverhaltens – Markierungsversuche (Tracermessung)

### 3. Zusammenwirken von Belüftern und Rührwerken

#### 3.3 Einbaugeometrie

In Umlaufbecken müssen Belüftungseinrichtungen und Rührwerke aufeinander abgestimmt werden. Die Rührwerkshersteller schlagen in der Regel die Position der Rührwerke vor. Eine solche Empfehlung ist in Abbildung 2 dargestellt.



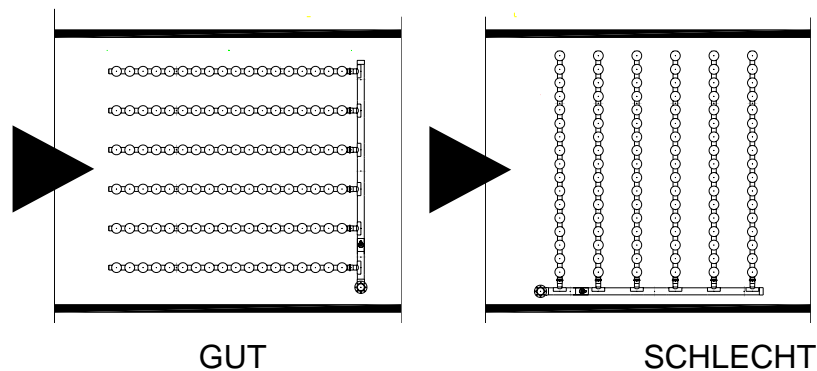
**Abbildung 2:** Mögliche Positionen von Belüftern und Rührwerken in Umlaufbecken (Firmenschrift Flygt: MIXER POSITIONING PRINCIPLES)

Auch werden Mindestwerte für die Abstände von Wänden, der Sohle, zur Wasseroberfläche und der Rührwerke untereinander angegeben.

Werden diese Empfehlungen eingehalten, so ergibt sich bei Becken die nicht mindestens 6 mal so lang sind wie die Gerinnebreite, das Problem, dass nur wenig Fläche für die Anordnung der Belüfter bleibt. Dieser Sachverhalt wird meistens bei der Anlagenplanung ignoriert und die Belüfter in einem engen Raster, d.h. mit hoher Belegungsdichte eingebaut. Für die Berechnung der Sauerstoffzufuhr wird dann die, bei der hohen Belegungsdichte ermittelte, Sauerstoffausnutzung angesetzt. Verursacht durch die oben beschriebene Vorgangsweise wurde bei Sauerstoffzufuhrmessungen in druckbelüfteten Umlaufbecken immer wieder festgestellt, dass die berechnete Sauerstoffzufuhr nicht erreicht werden kann.

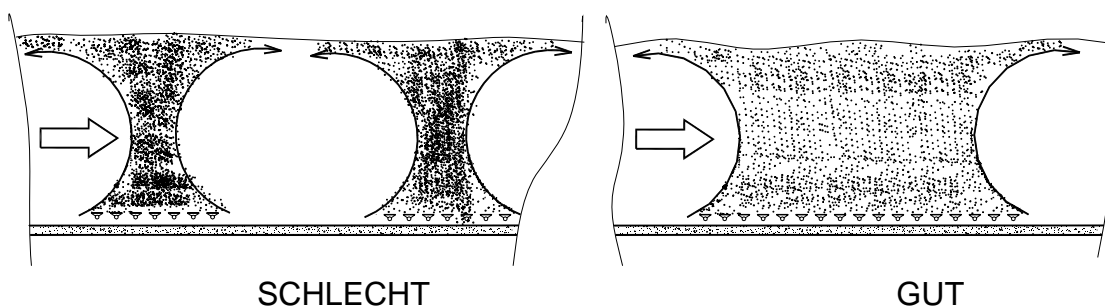
### 3.4 Belüfteranordnung

Die über den Luftvolumenstrom zugeführte Leistung ist 5-10 mal so groß wie die Rührwerksleistung ist. Jedes Belüfterfeld stellt ein Strömungshindernis dar. Die bremsende Wirkung ist umso größer je größer die Belegungsdichte und der Luftdurchsatz ist. Quer zur Strömungsrichtung liegende Verteilrohre mit eng nebeneinander liegenden Belüftern haben einen größeren Widerstand als längs verlegte Verteilrohre (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Mögliche Anordnung von Belüfterelementen

Vor und hinter jedem Belüfterfeld kommt es in Umlaufbecken zur Ausbildung von Strömungswalzen. In diesen Randwalzen kommt es, nach dem gleichen Prinzip wie bei der Linienbelüftung, durch die nach oben gerichtete Wasserströmung, zu einer Verkürzung der Aufenthaltszeit der Luftblasen im Wasser, wodurch die Sauerstoffausnutzung deutlich reduziert wird (Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Einfluss von Strömungswalzen vor und hinter einem Belüftungsfeld

Ist das Belüfterfeld kurz, so ist der Bereich ungestörter Blasenanstiegs in der Mitte des Feldes klein. In Abbildung 4 wird die Ausbildung von Strömungswalzen und das Verhältnis von ungestörtem zu beschleunigtem Blasenanstieg ersichtlich. Je größer das Belüftungs-

feld wird, bzw. je weniger Strömungswalzen es gibt, desto geringer wird die Reduktion der Sauerstoffzufuhr durch den Strömungswalzen einfluss.

Das Erhöhen der Rührwerksleistung um damit die Randwalzen zu vermeiden und die Umlaufströmung sicher zu stellen zeigt selten den gewünschten Erfolg. In der Regel wird sogar die anströmungsseitige Randwalze verstärkt.

Es hat sich gezeigt, dass es günstig ist die Belüfterfelder zu vergrößern und mehr Belüfter einzubauen. Diese Maßnahme erfordert bei Becken mit geringer Länge den Einbau von Belüftern in der Umlenkung. Ordnet man zusätzlich die Belüfterfelder so an, dass sie zusammenhängen, d.h. nur zwei Randwalzen auftreten erhält man die höchste Sauerstoffzufuhr.

Die Montage von Belüftern in den Umlenkungen wird von Ausrüstern und den Planern oft mit der Begründung, dass dann in der Umlenkung vermehrt Blasenkoaleszenz auftritt und die Sauerstoffausnutzung abnimmt, abgelehnt. Dieses Phänomen wurde bei keiner von mir durchgeführten Messung beobachtet und ist daher aus meiner Sicht kein Argument gegen den Einbau von Belüftern in der Umlenkung.

Werden Belüfter in den Umlenkungen angeordnet ergeben sich folgende Vorteile:

- Es steht mehr Bodenfläche für die Belüftermontage zur Verfügung, d.h. es kann eine größere Beckengrundfläche mit Belüftern belegt werden. Die Belegungsdichte kann innerhalb dieser Bereiche verringert werden, wodurch der Strömungswiderstand reduziert wird. Wichtig ist dabei, dass Maximalabstände nicht überschritten werden, und es nicht zur Ausbildung von Walzenströmungen innerhalb des Belüftungsfeldes kommt (THIERSCH 2001).
- In den nun größeren Belüfterfeldern gibt es einen großen Bereich in dem die Blasen ungestört aufsteigen können. Durch die Zusammenlegung der Belüfterfelder wird die Anzahl der Strömungswalzen verringert und der Randwalzen einfluss nimmt deutlich ab.
- Durch das Wasser-Luftgemisch in der Umlenkung treten geringere Strömungsverluste auf und es bildet sich, auch bei geringer Rührwerksleistung, eine stabile Umlaufströmung aus.
- Die Erhöhung der Belüfteranzahl (bedeutet bei gleichem Luftvolumenstrom eine Reduktion der Luftbeaufschlagung), die Verringerung der Randwalzen einflüsse und die stabile Umlaufströmung begünstigen den Stoffübergang und die Sauerstoffausnutzung wird deutlich verbessert.

### 3.5 Beispiele ausgeführter Anlagen

Anhand von ausgewählten Anlagen, an denen Messungen durchgeführt wurden, wird versucht obige Aussagen zu veranschaulichen. In Tabelle 1 sind die Anlagendaten und Messergebnisse zusammengestellt.

**Tabelle 1:** Anlagendaten und Messergebnisse

ANLAGE		Anl. A	Anl. A	Anl. B	Anl. B1	Anl. B	Anl. B1
Beckenvolumen	m <sup>3</sup>	2080	2080	5000	5000	5000	5000
Beckengrundfläche	m <sup>2</sup>	347	347	962	962	962	962
Länge	m <sup>3</sup>	29,5	29,5	62	62	62	62
Breite	m <sup>3</sup>	12	12	16	16	16	16
Wassertiefe	m <sup>3</sup>	6	6	5,2	5,2	5,2	5,2
Einblastiefe	m	5,8	5,8	5,0	5,0	5,0	5,0
Länge/Gerinnebreite	-	4,9	4,9	7,8	7,8	7,8	7,8
Belüfteranzahl	Stk	210	443	1201	1201	1613	1613

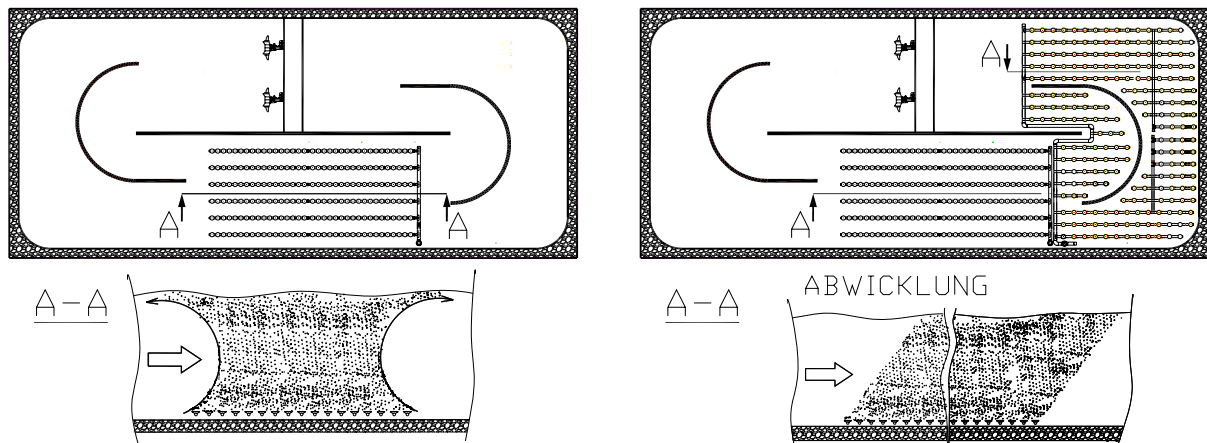
ANLAGE		Anl. A	Anl. A	Anl. B	Anl. B1	Anl. B	Anl. B1
Belüfterfläche	m <sup>2</sup> /Stk	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041
Rührwerksleistung	kW	5,0	2,8	8,9	8,9	8,9	8,9
Belegte Sohlfläche	%	20%	45%	38%	38%	54%	54%
Anzahl Randwalzen	-	2	2	6	6	4	4
Belegungsichte	%	12,5%	11,7%	13,5%	13,5%	12,8%	12,8%
Luftbeaufschlagung	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /h/Stk	5,2	2,4	2,1	6,2	1,5	4,6
Gebläseleistung	kW	38	38	52	160	52	160
PRW/PGE	-	7,6	13,6	5,8	17,4	5,8	17,4
<b>Herstellerangabe</b>							
SSOTR	g/m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /m	13,6	15,3	19,1	15,7	19,7	16,4
theor. Veränderung	%		12,5%			3,0%	4,6%
<b>Messung</b>							
SSOTR	g/m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /m	12,2	19,2	20,5	15,5	23,0	17,8
SOTR	kg/h	78	118	256	582	287	667
SAE	kg/kWh	1,9	3,3	4,4	3,4	4,8	3,9
tats. Veränderung	%		51,3%			12,1%	14,6%

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Anordnung von Belüftern in einer Umlenkung die Sauerstoffzufuhr deutlich mehr gesteigert wurde als theoretisch durch die Erhöhung der Belüfterzahl und der dadurch bewirkten Reduktion der Luftbeaufschlagung berechnet wurde.

### 3.5.1 Anlage A

Die Anlage A ist für 23.500 EW bemessen. Die beiden Umlaufbecken der Anlage waren extrem kurz. Der für die Belüftermontage zur Verfügung stehende Sohlbereich war gering. Den Empfehlungen der Belüfter- und Rührwerkshersteller folgend, wurden nur auf einer Seite in einem kurzen Feld Belüfter montiert. Zur Umwälzung waren zwei Rührwerke eingebaut.

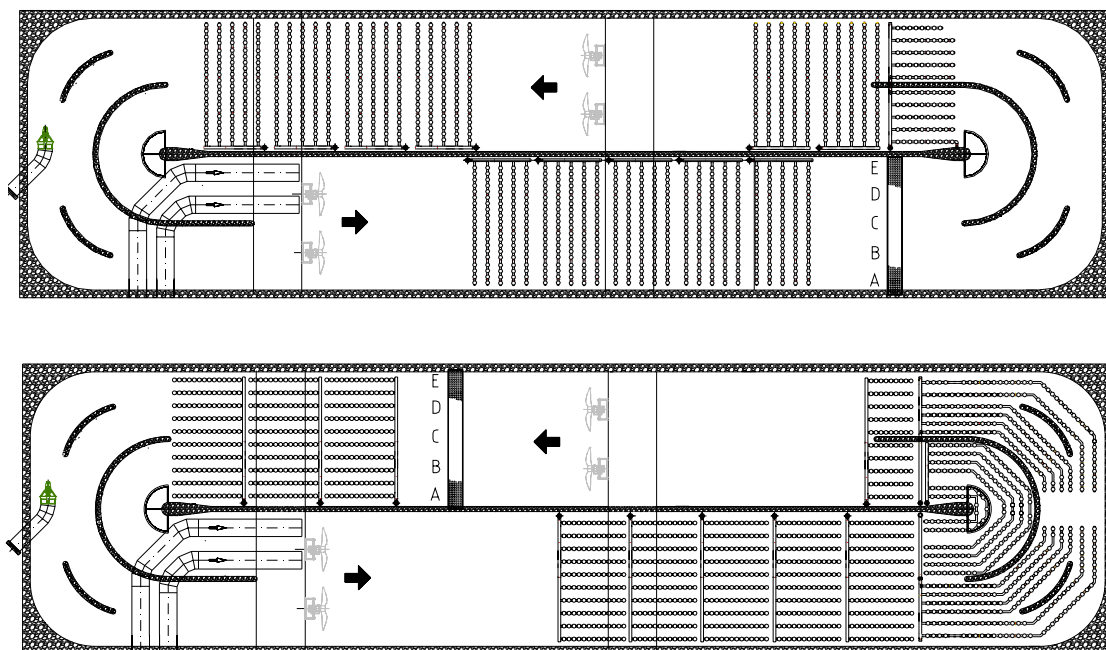
Der Bemessungswert für die Sauerstoffausnutzung wurde bei der Sauerstoffzufuhrmessung nicht erreicht. Es wurde versucht durch den Einbau stärkerer Rührwerke die Umlaufströmung zu verbessern. Dieser Versuch ist fehlgeschlagen, bei einer Sauerstoffzufuhrmessung konnte keine Erhöhung der Sauerstoffausnutzung festgestellt werden. Als nächste Maßnahme wurden zusätzliche Belüfter in die Umlenkung eingebaut. Durch die Verdoppelung der Belüfteranzahl und die daraus resultierenden Veränderungen sollte auf Basis der theoretischen Sauerstoffausnutzungen eine Erhöhung von 13,6 auf 15,3 g/m<sub>N</sub><sup>3</sup>/m erreicht werden (Erhöhung +12,5%). Bei der Messung wurden eine Verbesserung der Sauerstoffausnutzung von 12,2 auf 19,2 g/m<sub>N</sub><sup>3</sup>/m erzielt (Erhöhung +51,3%! ). Der Grund liegt im völlig veränderten Strömungsregime. In Abbildung 5 ist die Strömung im Becken vor und nach dem Umbau dargestellt. Man erkennt, dass vor dem Umbau extreme Strömungswalzen aufgetreten sind, während nach dem Einbau zusätzlicher Belüfter eine sehr gleichmäßige Umlaufströmung zu beobachten war. Leider war es aus baulichen Gründen nicht möglich eine Sauerstoffzufuhrmessung nur mit den Belüftern in der Umlenkung durchzuführen.



**Abbildung 5:** Belüfteranordnung und Strömungsbildung Anlage A, links Original, rechts nach dem Umbau

### 3.5.2 Anlage B

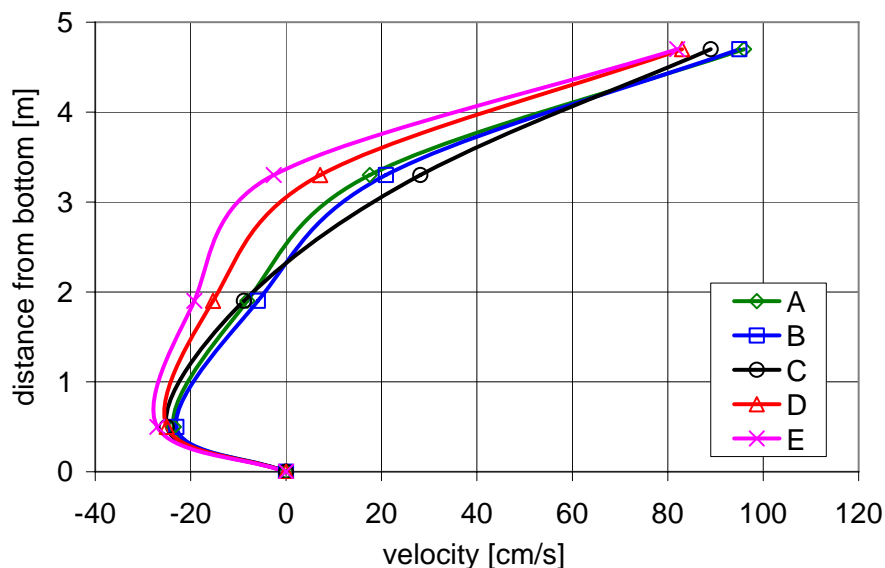
Die Anlage B ist für 4.000.000 EW ausgelegt. Die Anlage ist als zweistufige Belebungsanlage konzipiert. Die zweite Stufe besteht aus 15 Beckengruppen mit je 4 Kaskaden. Die Kaskaden 2 und 3 sind als Umlaufbecken mit feinblasiger Druckbelüftung und getrennter Umwälzung ausgeführt. Die Messungen haben in diesen Umlaufbecken stattgefunden. Die Festlegung der Anzahl und Position der Belüfter und Rührwerke ist in zwei Schritten erfolgt. In einer ersten Phase konnte der Ausrüster seine Auslegung in einer der 30 Umlaufkaskaden testen und optimieren. Danach wurden Sauerstoffzufuhrmessungen und Strömungsmessungen durchgeführt. Bei diesen Messungen mussten die vorgegebenen Garantiewerte nachgewiesen werden. In der zweiten Phase wurden die anderen 29 Umlaufbecken entsprechend dem Ergebnis der Optimierung mit Belüftern und Rührwerken bestückt. Vor der Optimierung wurden drei getrennte Bereiche mit Belüftern, 1201 Stück und 4 Rührwerke ausgeführt. Im Abbildung 6 ist der Beckengrundriss, die Belüfteranordnung und die Position der Strömungsmessung dargestellt.



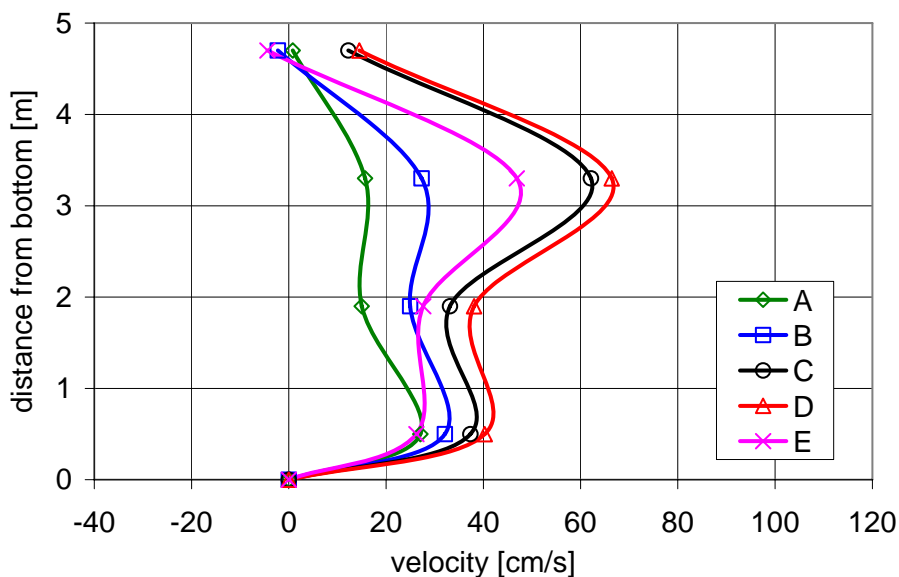
**Abbildung 6:** Belüfteranordnung Anlage B, oben Original, unten nach Optimierung

Mit der nicht optimierten Konfiguration des Belüftungssystems wurde sowohl bei 2500  $\text{m}_\text{N}^3/\text{h}$  als auch bei 7500  $\text{m}_\text{N}^3/\text{h}$  die der Bemessung zugrunde liegende Sauerstoffausnutzung erreicht. Die Ergebnisse der Strömungsmessungen bei 7500  $\text{m}_\text{N}^3/\text{h}$  waren aber nicht zufriedenstellend. Gemessen wurde die horizontale Strömungsgeschwindigkeit in Umlaufrichtung an 20 Messpunkten (Messgerät: Marsh-McBirney Flow-Mate 2000). Für die Messung wurden gleichzeitig 4 Messgeräte eingesetzt die an einer Stange befestigt waren. Erfasst wurden an fünf Positionen jeweils 30 Minuten Mittelwerte. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit betrug 0.17 m/s und der Medianwert war 0.03 m/s. In Abbildung 7 ist das Strömungsprofil dargestellt. Man erkennt im unteren Beckenbereich kräftige Rückströmungen.

Nach Ende der Optimierungsversuche wurde die in Abbildung 6 (unten) dargestellte Konfiguration festgelegt. Wesentlich ist, dass zwei statt drei Bereiche mit Belüftern installiert wurden und dadurch die Anzahl der Randwalzen von 6 auf 4 verringert wurde. Die Anzahl, die Position und die Leistung der Rührwerke wurde nicht verändert.



**Abbildung 7:** Strömungsprofil, original (1201 Belüfter; 7500  $\text{m}_\text{N}^3/\text{h}$ )



**Abbildung 8:** Strömungsprofil, optimiert (1613 Belüfter; 7500  $\text{m}_\text{N}^3/\text{h}$ )



Mit der optimierten Konfiguration des Belüftungssystems wurde sowohl bei 2500 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/h als auch bei 7500 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/h die der Bemessung zugrunde liegende Sauerstoffausnutzung übertroffen. Durch die Erhöhung der Belüfteranzahl und der daraus resultierenden Veränderungen sollte auf Basis der theoretischen Sauerstoffausnutzungen eine Erhöhung 3% bzw. 5% erreicht werden. Bei der Messung wurden eine Verbesserung der Sauerstoffausnutzung von 12% bzw. 14 % erzielt. Der Grund liegt auch hier im veränderten Strömungsregime. In Abbildung 8 ist das Strömungsprofil dargestellt. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit betrug 0,27 m/s und der Medianwert war ebenfalls 0,27 m/s.

### 3.5.3 Schlussfolgerungen aus den Beispielen

Zur Verbesserung der Sauerstoffzufuhrleistung und des Strömungsprofils wird daher empfohlen:

- Die Belüfterfelder möglichst groß zu machen und abschaltbare Belüfterbereiche zusammenhängend auszuführen.
- Die Verteilrohre in Umlaufrichtung zu verlegen.
- Eine möglichst große Anzahl von Belüftern einzubauen, so dass die Luftbeaufschlagung nicht zu groß wird.
- Die Belüfter nicht nur in den geraden Gerinnebereichen sondern auch in den Umlenkungen von Umlaufbecken zu montieren.

## 4. Literatur

EN 12255-15 (2003): Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen

ISO 21630 (2007): Pumps — Testing — Submersible mixers for wastewater and similar applications

DWA-M 209 (2007): Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm

DWA-M 229 (in Ausarbeitung): „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“

FLYGT : Mixer positioning principles, Firmenschrift

FREY W. (1993): Anforderungen an Belüftungssysteme; Wiener Mitteilungen Band 110, Herausgeber: TU Wien, Institut für Wassergüte, H.Kroiß

FREY W. (2009): Garantienachweise für die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen - Belüftungssysteme und Rührwerke, Schriftenreihe Kläranlagennachbarschaften, Band 17

HUBER & SUHNER AG (2001): Das Sucoflow- EFFECT Verfahren 2001, Patentanmeldung, Huber & Suhner AG Pfäffikon Schweiz

MESSNER P. (2006): Die Auswirkung moderner Belüftungstechnik auf die Biologische Abwasserreinigung, Fachkonferenz „Die transparente Kläranlage“ 6.-7. September 2006, Düsseldorf

RIEGLER G., CAPITAIN P. (1989): Zusätzliche Umwälzung bei geringer Belüftungsdichte und Denitrifikation, Schriftenreihe WAR der TH Darmstadt, Band 37

THIERSCH, B. (2001): Der Zusammenhang von Strömungsstrukturen und Sauerstoffeintrag bei druckbelüfteten Belebungsbecken, Mitteilung Nr. 67, Hydraulik und Gewässerkunde, Technische Universität München

Verfasser:

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey

**A**bwassertechnische **A**usbildung und **B**eratung

Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2

A-2100 Korneuburg

e-mail: [aab.frey@aon.at](mailto:aab.frey@aon.at)

homepage: [www.aabfrey.com](http://www.aabfrey.com)

# 25. Karlsruher Flockungstage

14. - 15. 11. 2011

## Durchmischung von Belebungsbecken mittels Belüftungssystemen

Wilhelm Frey

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung  
[www.aabfrey.com](http://www.aabfrey.com)

25. Karlsruher Flockungstage, 14.-15. November 2011



### INHALT

- ✓ Definition Durchmischung
- ✓ Mischen mit Luft
- ✓ Methoden der Durchmischung in Belebungsbecken
- ✓ Anordnung von Belüftern und Rührwerken in Umlaufbecken
- ✓ Schlussfolgerungen

# Definition der Durchmischung

- ✓ **Ausgleich** von Konzentrations- und Temperaturunterschieden
- ✓ Vermeidung und Mobilisierung von **Ablagerungen**
- ✓ Vermeiden von **Kurzschlussströmungen**
- ✓ Einbringen einer **Horizontalströmung** in Umlaufbecken.

# Mischwirkung von Luft (1)

- ✓ Mischleistung = Hebearbeit = Verdrängungsarbeit bezogen auf die halbe Einblastiefe
- ✓ Um 1 m<sup>3</sup> Wasser um einen Meter zu heben werden 2,72 Wh benötigt

$$q_L = \frac{\text{spez}P_{BB}}{2,72} \cdot \frac{1}{h_e} \cdot \frac{(p_{Luft} + 98,1 \cdot \frac{h_e}{2})}{1013} \cdot \frac{273}{(273 + t_w)}$$

- ⇒  $q_L$  ..... spezifischer Luftvolumenstrom [m<sub>N</sub><sup>3</sup>/(m<sup>3</sup> • h)]
- ⇒ spez.  $P_{BB}$ ...spezifische Leistung [W/ m<sup>3</sup>]
- ⇒  $h_e$ .....Eintauchtiefe [m]
- ⇒  $p_{Luft}$  .....aktueller Luftdruck [hPa]
- ⇒  $t_w$ .....Wassertemperatur [°C]

# Mischwirkung von Luft (2)

## ✓ Rechenbeispiel:

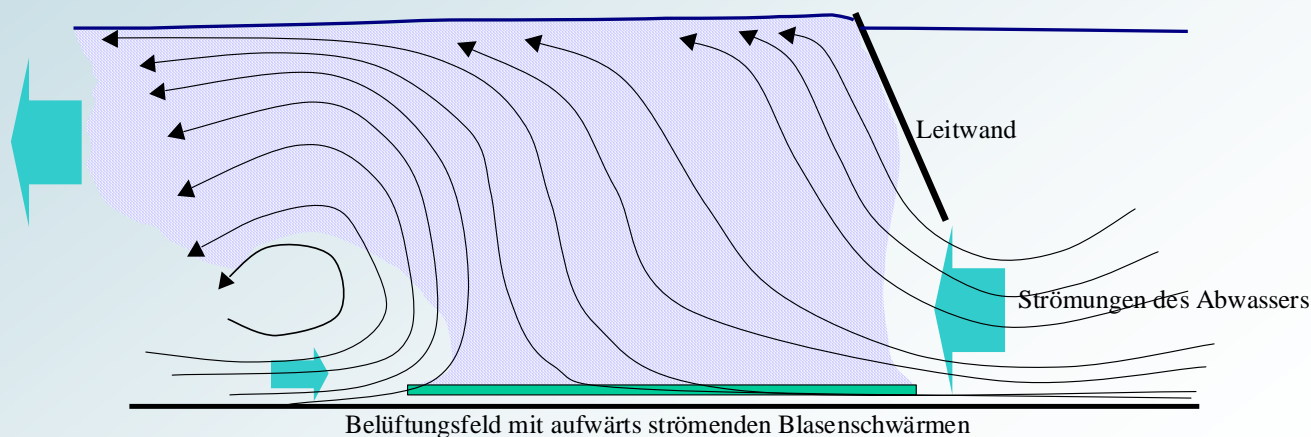
- ⇒ Einblastiefe 5 m; Wassertemperatur 10°C;  
Luftdruck 1000 hPa, spezifische Mischleistung  
mindestens 3 W/m<sup>3</sup>
- ⇒ Damit ergibt sich ein spezifischer Luftvolumenstrom  
von 0,26 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/(m<sup>3</sup>\*h).
- ⇒ Der erforderliche Luftvolumenstrom in  
Belebungsbecken für Stickstoffentfernung liegt in der  
Größenordnung von 0,5 – 2,0 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/(m<sup>3</sup>\*h).
- ⇒ Im Regelfall ist die Durchmischung in den belüfteten  
Zonen und/oder Zeiten durch die Belüftung  
sichergestellt.

# Anwendung: Mischen mit Luft Impulsbelüftung

- ✓ **Intermittierende** Nitrifikation - Denitrifikation
- ✓ Sicherstellung der **Mischung** durch kurze Beschickung  
mit **Luft** während der Denitrifikationszeit
- ✓ Typische Betriebseinstellung: nach jeweils 15 Minuten  
wird 30 Sekunden belüftet
- ✓ Anwendung in **Mischbeckenkaskaden** oder  
Längsbecken oder Kreisringbecken mit Trennwand
- ✓ Große **Belegungsdichte** (ca. 20% der Sohlfläche)

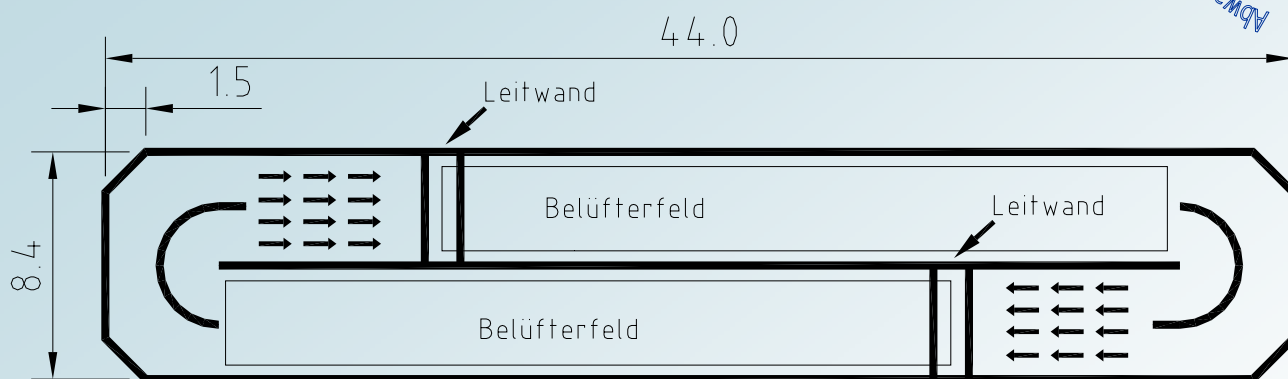
# Anwendung: Mischen mit Luft Sucoflow- EFFECT Verfahren (1)

- ✓ Ausnutzung der Randwalzen zur Strömungserzeugung in Umlaufbecken und Reduktion der negativen Auswirkungen auf die Sauerstoffzufuhr



Quelle: HUBER & SUHNER

# Sucoflow- EFFECT Verfahren (2)



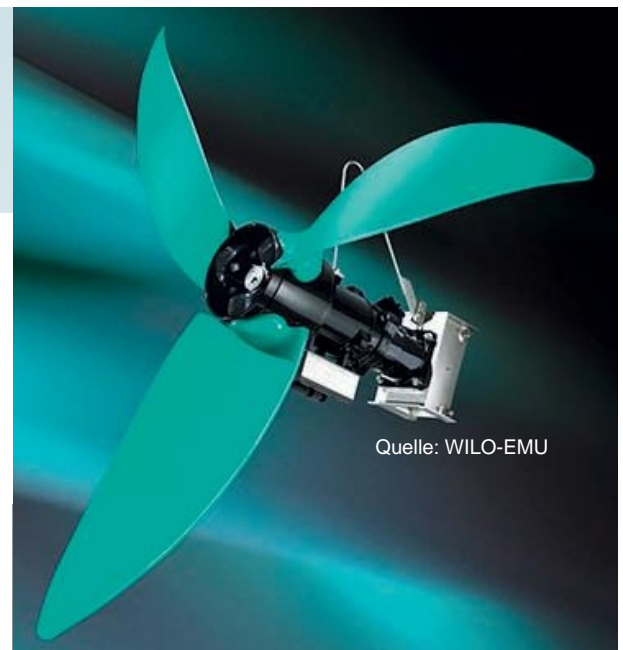
- ✓ Anwendungsbeispiel:

- ⇒ Tiefe: 5,6 m; zwei Belüfterfelder in den geraden Gerinnestrecken, Länge je ca. 25 m
- ⇒ Luftvolumenstrom ca. 1000 m<sup>3</sup>/h
- ⇒ sehr gleichmäßige Strömung über den Sohlbereich
- ⇒ mittlere Strömungsgeschwindigkeit an der Sohle ca. 20 cm/s,

# Mischen mit Rührwerken

- ✓ Langsamlaufende Rührwerke (typischer Wert 30 U/min) mit **horizontaler Welle** und großen Durchmessern (typischer Wert 2 m) werden häufig in Umlaufbecken eingesetzt.
- ✓ Langsamlaufende Rührwerke (typischer Wert 30 U/min) mit **vertikaler Welle** und großen Durchmessern (typischer Wert 2 m) werden bevorzugt in Mischbecken eingebaut.

## Horizontalrührwerke

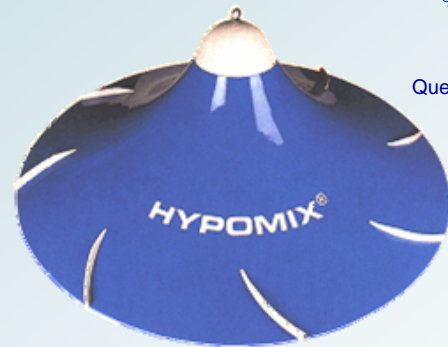


# Vertikalrührwerke



Quelle: <http://www.gva-net.de>

# Sohl-Rührwerke





# RÜHRWERKE (2)

- ✓ **Strömungswiderstand** durch aufsteigende Luftblasen (Blasenwand) erhöht die erforderliche Rührwerksleistung.
- ✓ Rührwerksleistung erhöht den **Gesamtenergieverbrauch** und reduziert die Wirtschaftlichkeit des Belüftungssystems.
- ✓ Für die Kennzeichnung der Rührwerksleistung ist die Kraftwirkung die an das Wasser übertragen wird entscheidend (Schub). Als Ersatzwert wird häufig die aufgenommene **Motorleistung bezogen auf das Beckenvolumen** herangezogen (typischer Wert 2-5 W/m<sup>3</sup>).

## Messungen an Rührwerken

- ✓ Die **ISO 21630** (August 2007):
  - ⇒ Prüfung der Leistungsfähigkeit von Tauchmotorrührwerken (Schubmessung). Dient zum Vergleich verschiedener Rührwerke.
- ✓ Im Regelwerk der **DWA** (M131) wird empfohlen:
  - ⇒ Sohlgeschwindigkeit größer 0,15 m/s für „leichten Schlamm“
  - ⇒ Sohlgeschwindigkeit größer 0,30 m/s für „schweren Schlamm“
  - ⇒ Leistungseintrag je nach Beckengröße und -form von 1 bis 5 W/m<sup>3</sup>.
- ✓ **DWA Merkblatt 229**:
  - ⇒ „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“ in Ausarbeitung

# Garantiewerte für Rührwerke

- ✓ In Ausschreibungen findet man häufig die Forderung nach einer **Mindestströmungsgeschwindigkeit**.
  - ⇒ Leider oft ohne Angabe der Richtung und/oder des Messortes.
- ✓ Manchmal findet man im Leistungsverzeichnis auch nur die **Nennleistung** des Rührwerksantriebes.
- ✓ Garantieförmulierungen in der Form: „...die *Strömungsgeschwindigkeit ist in allen auftretenden Betriebszuständen, zu jeder Zeit an jedem Ort des Beckens einzuhalten...*“ sind in der Praxis nicht einzuhalten und auch nicht überprüfbar, sie sind daher wertlos!
- ✓ Besser ist es bereits in der Ausschreibungsphase (ev. Gemeinsam mit dem Prüfinstitut) festzulegen **was**, **wo** und **wie** gemessen werden soll.

# Garantiewerte für Rührwerke

## Erhebung des Istzustandes (2)

- ✓ Zur Überprüfung der Rührwerksleistungen auf der Hauptkläranlage Wien wurde folgende Vorgangsweise gewählt:
  - ⇒ Messung der Strömungsgeschwindigkeit (in Umlaufrichtung) verteilt über den Querschnitt **und** an der Beckensohle.
    - Nachzuweisen waren Mindestgeschwindigkeiten und Medianwerte (50% der Messwerte mussten größer als der geforderte Garantiewert sein)
  - ⇒ Messung der Leistungsaufnahme
  - ⇒ Messung der Verteilung der Trockensubstanz

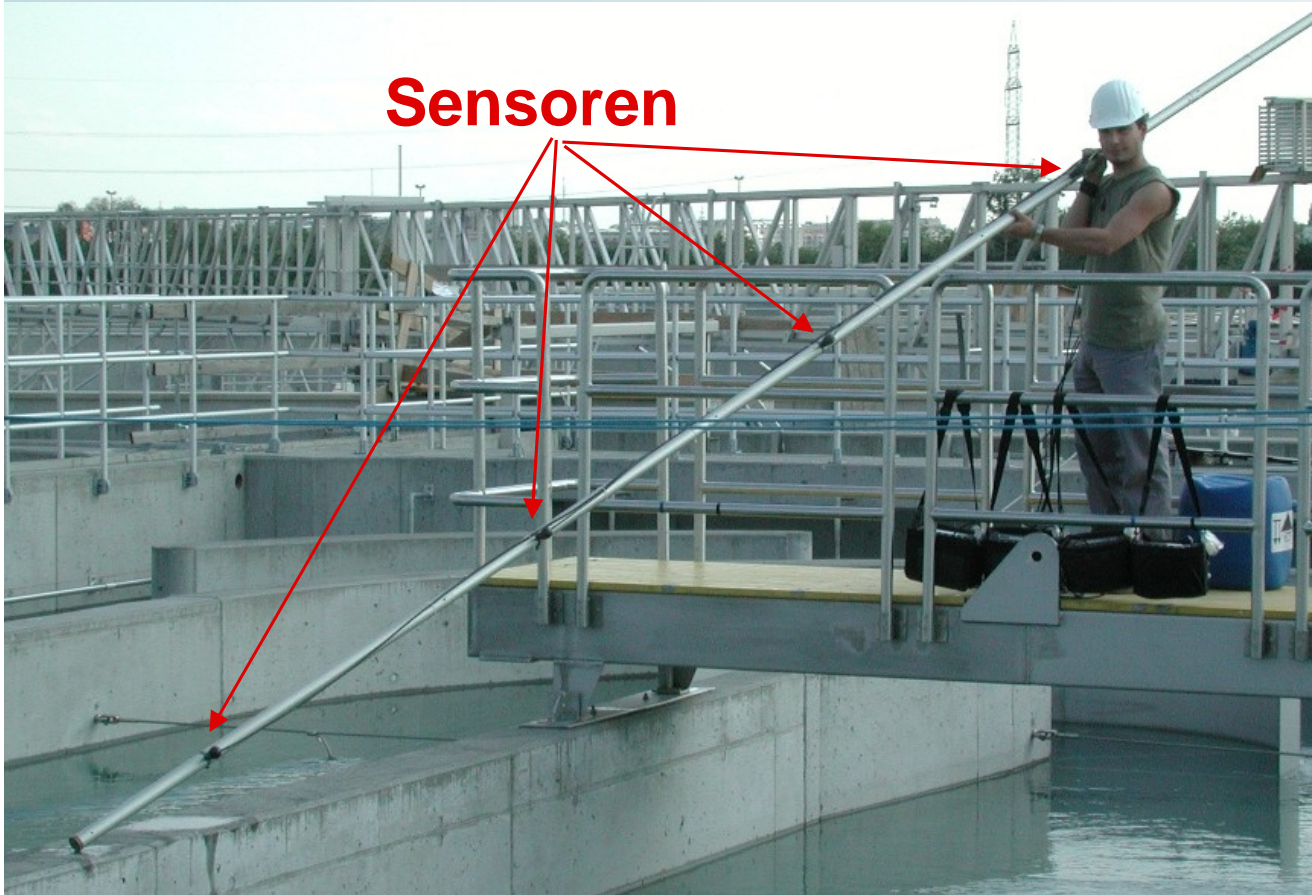


## Messungen an Rührwerken Messbrücken



25. Karlsruher Flockungstage, 14.-15. November 2011

## Messung der Strömungsgeschwindigkeit



# Simulation der Beckendurchströmung



# Messung der Feststoffverteilung

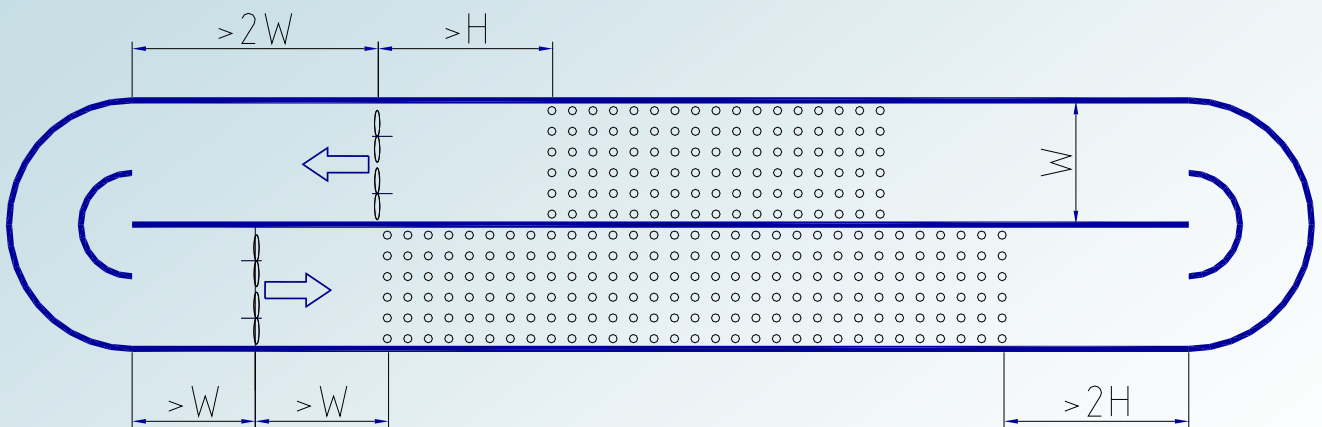


# Messung der Feststoffverteilung

Insgesamt 360  
Trockensubstanzmessungen!



# Empfehlungen zur Belüfter und Rührwerksanordnung



H ... Wassertiefe

W ... Gerinnebreite

Quelle: Flygt Mixerposition

## Übliche Vorgangsweise

- ✓ Vorgaben für die **Abstände** der Rührwerke vom Boden und den Wänden, von Belüfterfeldern usw.
- ✓ Kleine und dicht belegte **Belüfterfelder**
- ✓ Keine Belüfter in den Umlenkungen aus Angst vor **Koaleszenz**

## KONSEQUENZEN

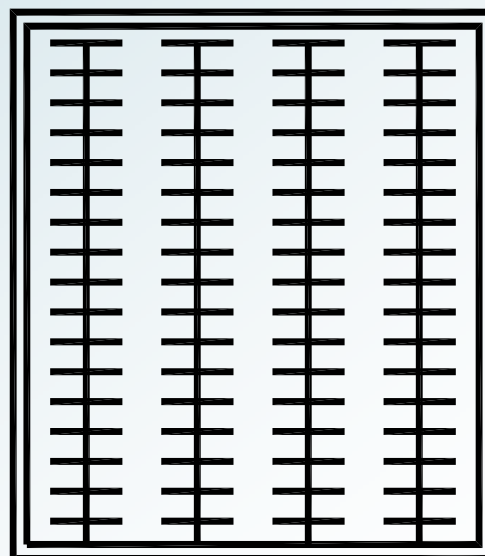
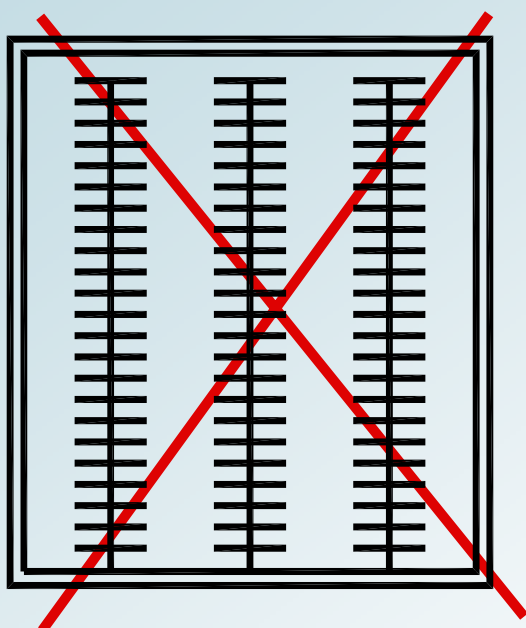
- ✓ Bei kurzen Becken (Gerinnebreite:Länge < 1:6) sehr wenig Sohlfläche für Belüfter
- ✓ Hohe Belegungsdichte  $\Rightarrow$  theoretisch hohe Sauerstoffausnutzung
- ✓ Verwendung von Erhöhungsfaktoren für die Sauerstoffausnutzung wegen Umlaufströmung
- ✓ **GARANTIEWERTE** für die Sauerstoffzufuhr **NICHT** erreicht!

## URSACHEN (1)

- ✓ **Strömungswiderstand** durch die Luft
  - ⇒ Leistungseintrag Luft ein Vielfaches der Rührwerksleistung
- ✓ Ungünstige **Anordnung** der Luftverteillrohre bzw. Belüfter an der Sohle
  - ⇒ Kleine Belüfterfelder
  - ⇒ Quer angeordnete Belüfter
- ✓ Auftreten von **Randwalzen**

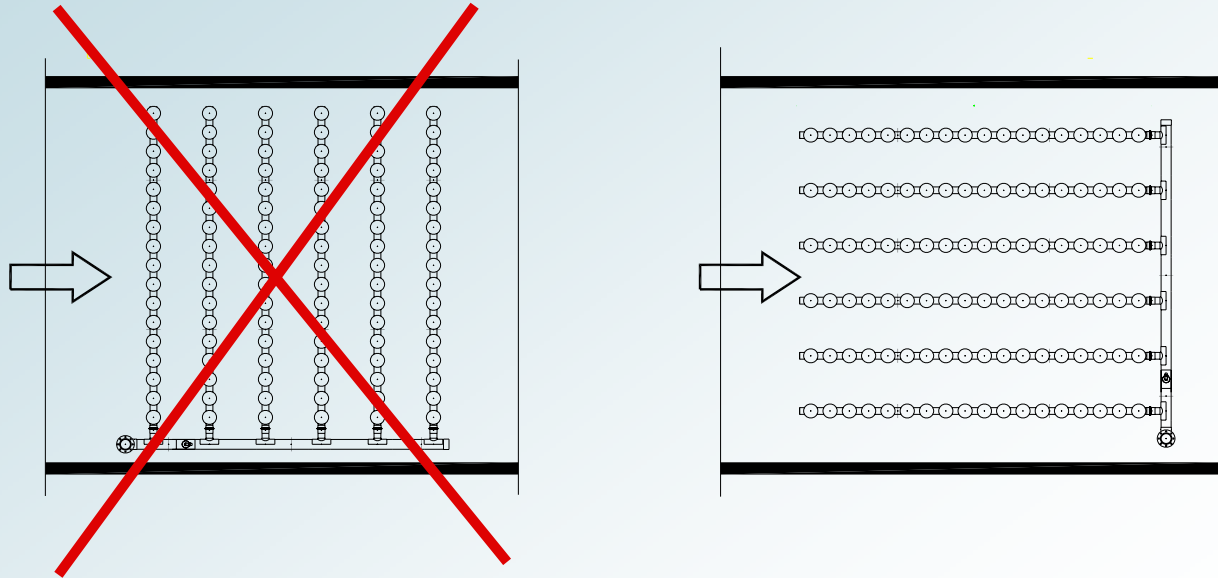
## URSACHEN (2)

- ✓ Zu wenig Verteillrohre



# URSACHEN (3)

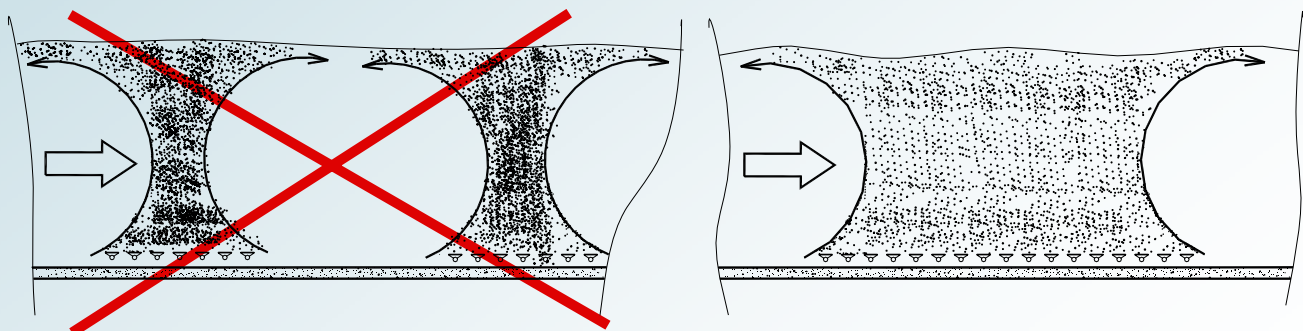
## ✓ Quer angeordnete Belüfter



# URSACHEN (4)

## ✓ Kleine Belüfterfelder, viele Randwalzen

- ⇒ Höhere Blasenanstiegsgeschwindigkeit durch Randwalzen
- ⇒ Geringere Sauerstoffausnutzung

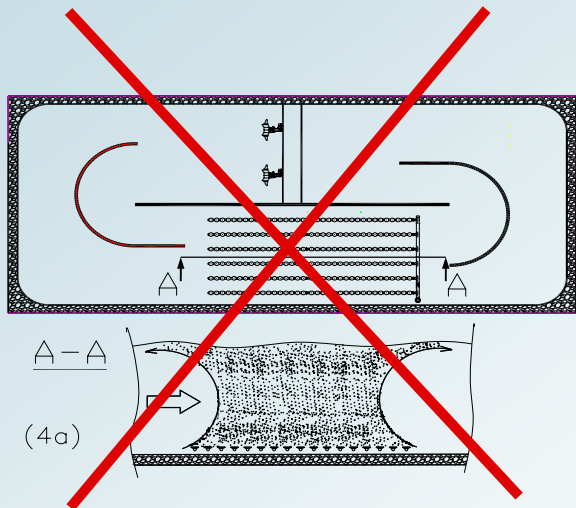




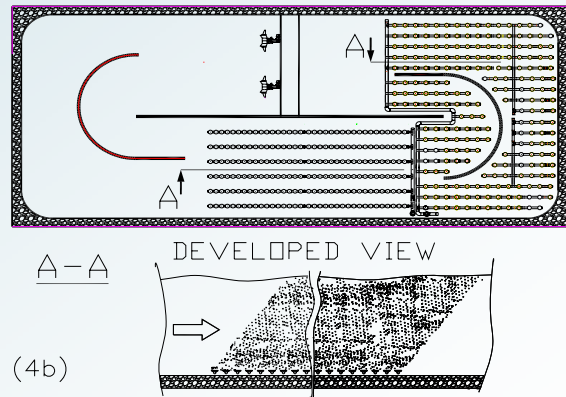
# BEISPIEL Thalgau

✓ Extreme Randwalzenbildung

⇒ Trotz großer Rührwerksleistung schlechte Werte



Original: SOTR = 78 kg/h



Umrüstung : SOTR = 118 kg/h

# Strömung Thalgau



Strömungsrichtung



Strömungsrichtung

# HAUPTKLÄRANLAGE WIEN

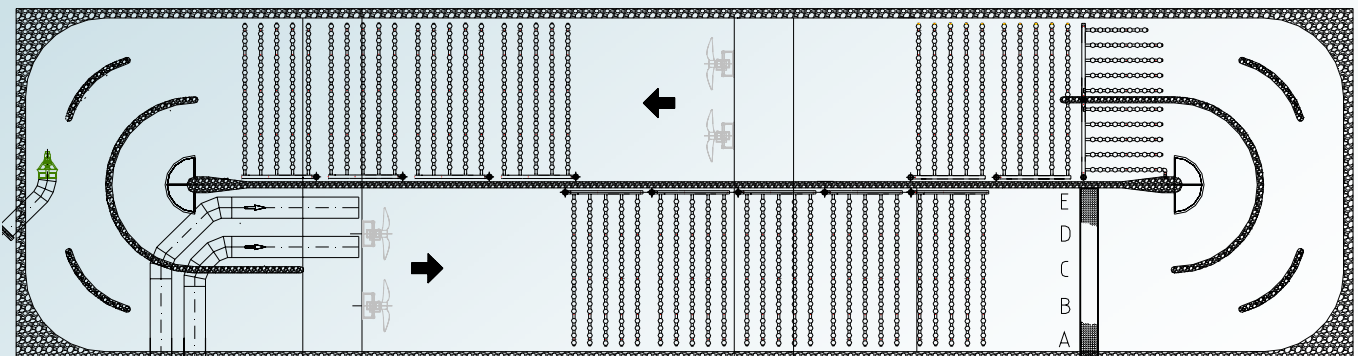


25. Karlsruher Flockungstage, 14.-15. November 2011

31/38

# HAUPTKLÄRANLAGE WIEN

- ✓ **Testbecken** (LxBxT: 64mx16mx5,2m)
  - ⇒ 1201 Belüfter (Sanitair 9“)
  - ⇒ Quer angeordnete Belüfter
  - ⇒ 3 belüftete Sohlbereiche (6 Randwalzen)



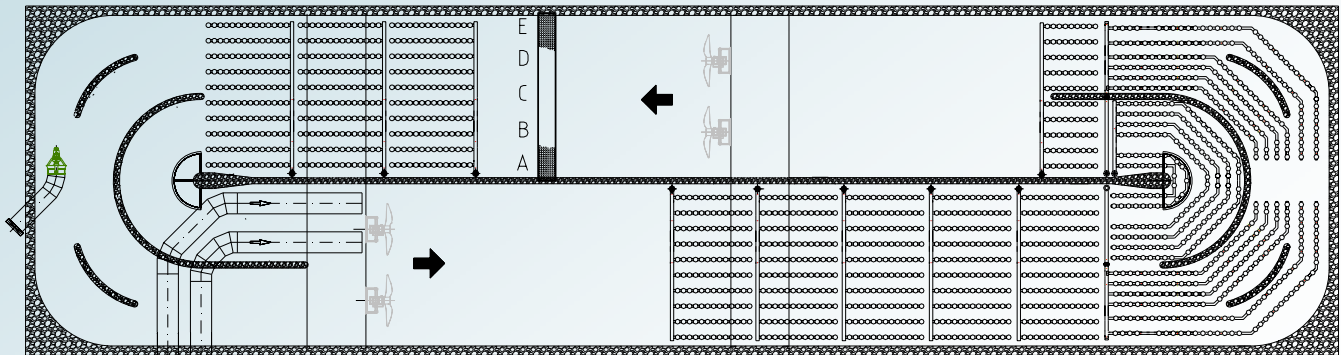
25. Karlsruher Flockungstage, 14.-15. November 2011

32/38

# HAUPTKLÄRANLAGE WIEN

## ✓ Optimiertes Becken (LxBxT: 64mx16mx5,2m)

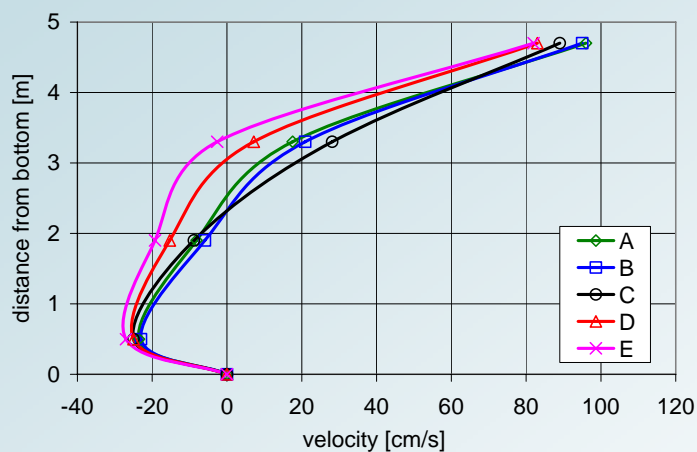
- ⇒ 1613 Belüfter (Sanitair 9")
- ⇒ Belüfter in Strömungsrichtung ausgerichtet
- ⇒ 2 belüftete Sohlbereiche (4 Randwalzen)
- ⇒ Belüfter in einer Umlenkung



# UNTERSCHIEDE (1)

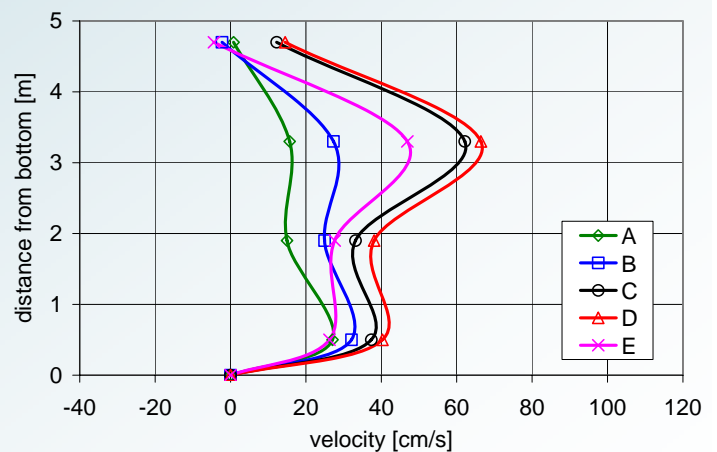
## Testbecken

### ✓ Strömungsprofil



## Optimiertes Becken

### ✓ Strömungsprofil



## UNTERSCHIEDE (2)

### ✓ Sauerstoffzufuhr

- ⇒ **Theoretische** Verbesserung der Sauerstoffzufuhr (Herstellerangaben) bei einer Luftbeaufschlagung von 2,1 auf 1,5 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/Stk/h → **3,0%**
- ⇒ **Tatsächlich** gemessene Verbesserung der Sauerstoffzufuhr bei einer Luftbeaufschlagung von 2,1 auf 1,5 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/Stk/h → **12,1%**
- ⇒ **Theoretische** Verbesserung der Sauerstoffzufuhr (Herstellerangaben) bei einer Luftbeaufschlagung von 6,2 auf 4,6 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/Stk/h → **4,6%**
- ⇒ **Tatsächlich** gemessene Verbesserung der Sauerstoffzufuhr bei einer Luftbeaufschlagung von 6,2 auf 4,6 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/Stk/h → **14,6%**

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

- ✓ Belüfter über große Bereiche der **Beckensohle** verteilen
- ✓ Geringe Anzahl von **Randwalzen** anstreben
- ✓ Belüfter auch in der **Umlenkung** von Umlaufbecken anordnen

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

www.aabfrey.com

## Technische Daten der Anlagen

Abswassertechnische Ausbildung und Beratung  
Dr. FREY

		Thalgau	Thalgau	Wien	Wien	Wien	Wien
Testtank	m <sup>3</sup>	2080	2080	5000	5000	5000	5000
Beckengrundfläche	m <sup>2</sup>	347	347	962	962	962	962
Länge	m <sup>3</sup>	29,5	29,5	62	62	62	62
Breite	m <sup>3</sup>	12	12	16	16	16	16
Gerinnebreite	m <sup>3</sup>	6	6	7,8	7,8	7,8	7,8
Wassertiefe	m <sup>3</sup>	6	6	5,2	5,2	5,2	5,2
Einblastiefe	m	5,8	5,8	5,0	5,0	5,0	5,0
Beckenlänge/Gerinnebreite	-	4,9	4,9	7,8	7,8	7,8	7,8
Belüfteranzahl	Stk	210	443	1201	1201	1613	1613
Belüfterfläche	m <sup>2</sup> /Stk	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041
Belegte Sohlfläche	%	20%	45%	38%	38%	54%	54%
Belegungsdichte in den Belüfterfeldern	%	12,5%	11,7%	13,5%	13,5%	12,8%	12,8%
Luftvolumenstrom	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /h	1100	1060	2500	7500	2500	7500
Lehrrohrgeschwindigkeit	m/h	15,9	6,8	6,8	20,5	4,8	14,4
Luftbeaufschlagung	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /h/Stk	5,2	2,4	2,1	6,2	1,5	4,6
Anzahl Randwalzen	-	2	2	6	6	4	4
Rührwerksanzahl	-	2	2	4	4	4	4
Rührwerkdurchmesser	m	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5
Rührwerksleistung	kW	5,0	2,8	8,9	8,9	8,9	8,9
Energiedichte	W/m <sup>3</sup>	2,4	1,3	1,78	1,78	1,78	1,78
Gebläseleistung	kW	38	38	52	160	52	160
PRW/PGE	-	7,6	13,6	5,8	17,4	5,8	17,4
<b>Herstellerangabe</b>							
SSOTR	g/mN <sup>3</sup> /m	13,6	15,3	19,1	15,7	19,7	16,4
theoretische Veränderung	%		12,5%			3,0%	4,6%
<b>Messung</b>							
SSOTR	g/mN <sup>3</sup> /m	12,2	19,2	20,5	15,5	23,0	17,8
tatsächliche Veränderung	%		51,3%			12,1%	14,6%