

DURCHMISCHUNG VON BELEBUNGSBECKEN MITTELS BELÜFTUNGSSYSTEMEN

W. Frey, Leobendorf, Österreich

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 m³ Wasser um einen Meter ist eine Arbeit von: Arbeit = Kraft • Weg = m • g • h = 1000kg • 9,81 m/s² • 1m = 9810 J mit der Umrechnung 1 Wh = 3600 J erhält man die Arbeit zu 9810/3600 = 2,72 Wh.

Unter der Annahme, dass für die Mischung das Luftvolumen bezogen auf die Zustandsgrößen in halber Einblastiefe maßgeblich ist gilt:

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

Darin bedeutet:

q_L spezifischer Luftvolumenstrom [m_N³/(m³ • h)]

spez. PBB...spezifische Leistung [W/ m³]

h_eEintauchtiefe [m]

p_{Luft} aktueller Luftdruck [hPa]

t_wWassertemperatur [°C]

BEISPIEL:

Für eine Einblastiefe von 5 Metern, einer Wassertemperatur von 10°C und einer erforderlichen spezifischen Mischenergie von 3 W/m_{BB}³ berechnet man den spezifischen Luftvolumenstrom zu 0,26 .

Der Luftbedarf einer Anlage mit Stickstoffelimination liegt, bei 100% Auslastung, nach RIEGLER u. CAPITAIN (1989) bei ca. 0,6 m_N³/(m_{BB}³·h), d.h. die Durchmischung kann mit der eingeblasenen Luft erreicht werden.

2.1.1 Mischen 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) kurze mit Luft beschickt. Eine typische Betriebsweise ist das Becken alle 15 Minuten für 30 Sekunden mit Luft zu beaufschlagen. Für eine gute Mischung ist eine große abgasende Fläche (ca. 20% der Sohlfläche) erforderlich.

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).

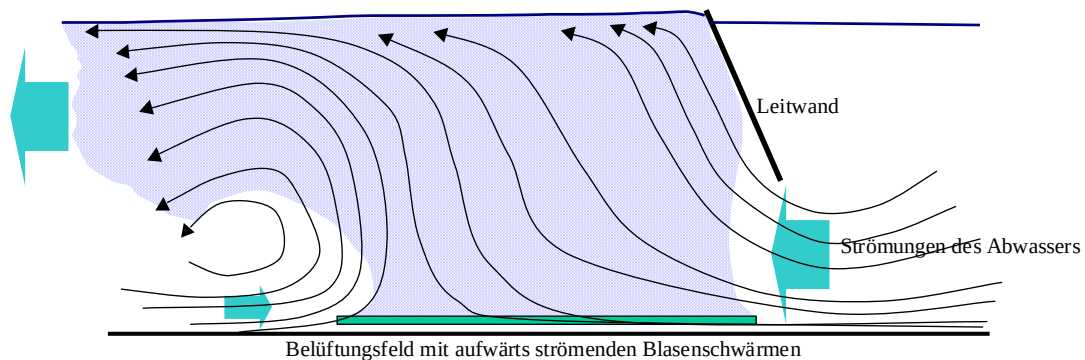


Abbildung 1: Leitwand zur Verhinderung von Rückströmungen (HUBER & SUHNER AG)

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 Merkblatt „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)

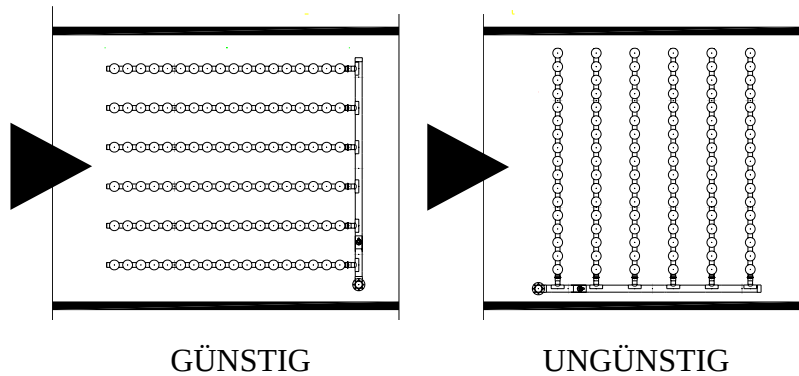


Abbildung 3: Mögliche Anordnung von Belüfterelementen

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).

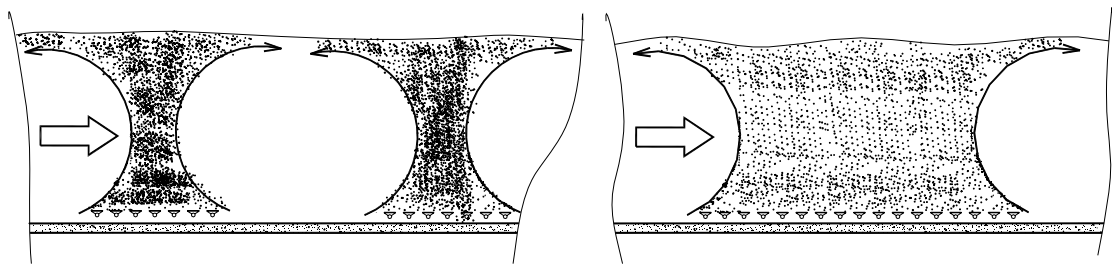


Abbildung 4: Einfluss von Strömungswalzen vor und hinter einem Belüftungsfeld

Ist das Belüfterfeld kurz, so ist der Bereich ungestörter Blasenanstieg in der Mitte des Feldes klein. In der Abbildung 4 wird die Ausbildung von Strömungswalzen und das Verhältnis von ungestörtem zu beschleunigtem Blasenanstieg ersichtlich. Je größer das Belüftungsfeld wird, bzw. je weniger Strömungswalzen es gibt, desto geringer wird die Reduktion der Sauerstoffzufuhr durch den Strömungswalzeneinfluss.

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.

Auf einigen Anlagen 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 den Planern und Ausrüstern 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 Belegungsichte 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 Randwalzeneinfluss 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 Randwalzeneinflüsse und die stabile Umlaufströmung begünstigen den Stoffübergang und die Sauerstoffausnutzung wird deutlich verbessert.

3.3 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. B	Anl. B	Anl. B
Beckenvolumen	m ³	2080	2080	5000	5000	5000	5000
Beckengrundfläche	m ²	347	347	962	962	962	962
Länge	m ³	29,5	29,5	62	62	62	62
Breite	m ³	12	12	16	16	16	16
Wassertiefe	m ³	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
Belüfterfläche	m ² /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 _N ³ /h/Stk	5,2	2,4	2,1	6,2	1,5	4,6
Gebälseleistung	kW	38	38	52	160	52	160
PRW/PGE	-	7,6	13,6	5,8	17,4	5,8	17,4
Herstellerangabe							
SSOTR	g/m _N ³ /m	13,6	15,3	19,1	15,7	19,7	16,4
theoretische Veränderung	%		12,5%			3,0%	4,6%
Messung							
SSOTR	g/m _N ³ /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
tatsächliche 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.

3.3.1 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/mN³/m erreicht werden (Erhöhung +12,5%). Bei der Messung wurden eine Verbesserung der Sauerstoffausnutzung von 12,2 auf 19,2 g/mN³/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.

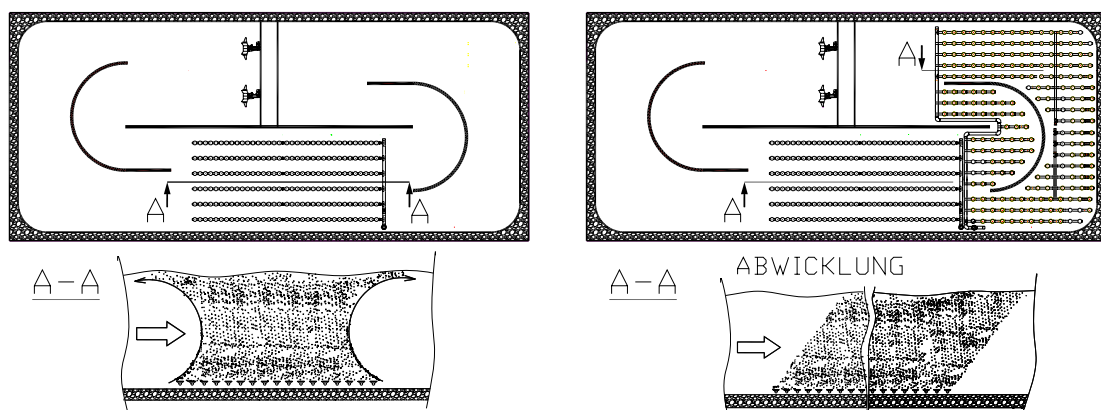


Abbildung 5: Strömungsausbildung Anlage A, links Original, rechts nach dem Umbau

3.3.2 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. In der folgenden Abbildung 6 ist der Beckengrundriss, die Belüfteranordnung und die Position der Strömungsmessung dargestellt.

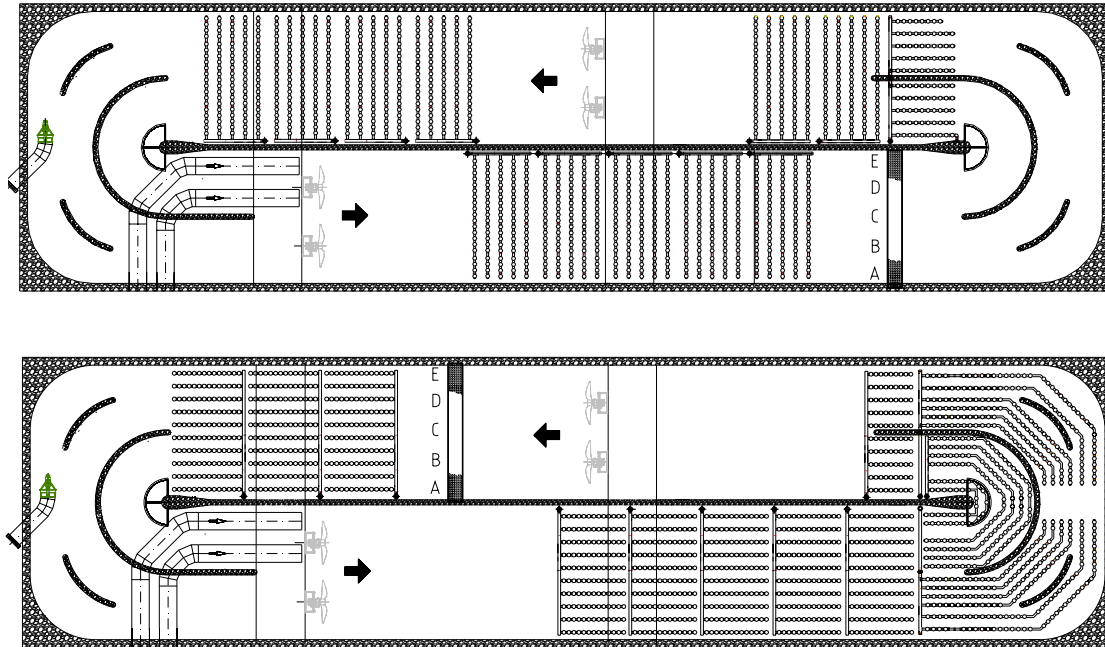


Abbildung 6: Belüfteranordnung Anlage B, oben Original, unten nach Optimierung

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 der Abbildung 7 ist das Strömungsprofil dargestellt. Man erkennt im unteren Beckenbereich kräftige Rückströmungen.

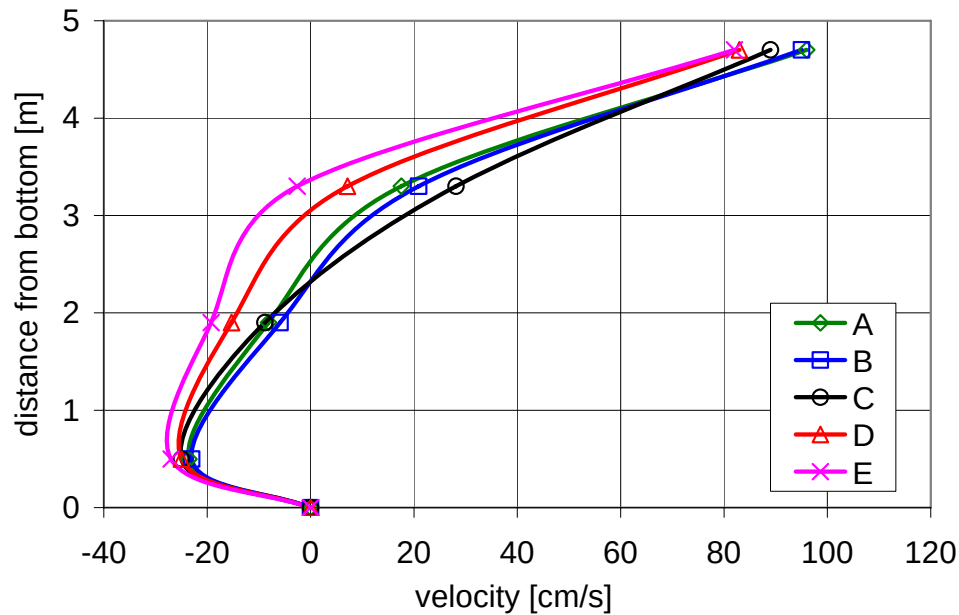


Abbildung 7: Strömungsprofil (1201 Belüfter; 7500 m_N³/h)

Nach Ende der Optimierungsversuche wurde die in Abbildung 8 dargestellte Konfiguration festgelegt. Wesentlich ist, dass zwei statt drei Bereiche mit Belüftern installiert wurden. Die Anzahl, die Position und die Leistung der Rührwerke wurde nicht verändert.

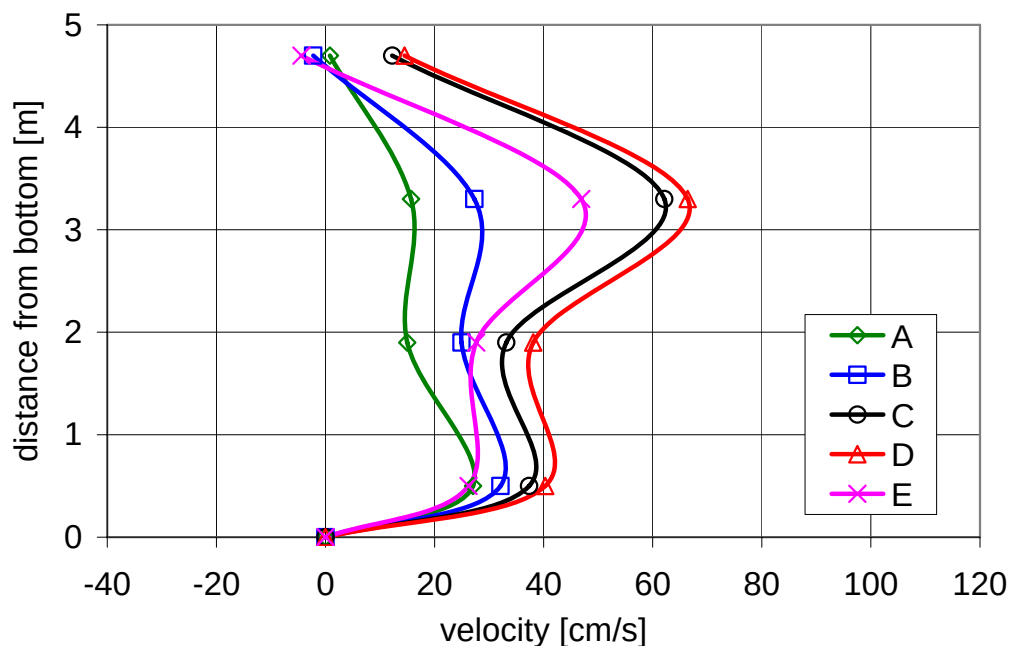


Abbildung 8: Strömungsprofil (1613 Belüfter; 7500 m_N³/h)

Mit der optimierten Konfiguration des Belüftungssystems wurde sowohl bei 2500 m_N³/h als auch bei 7500 m_N³/h die der Bemessung zugrunde liegende Sauerstoffausnutzung übertroffen. Durch die Erhöhung der Belüfteranzahl und die 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. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit

betrug 0,27 m/s und der Medianwert war ebenfalls 0,27 m/s. In der Figure 8 ist das Strömungsprofil dargestellt.

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

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

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

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

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

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

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung

Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2

A-2100 Korneuburg

e-mail: aab.frey@aon.at