

BELEBUNGSBECKEN: ENERGIEVERBRAUCH FÜR DIE BELÜFTUNG UND DURCHMISCHUNG, ERFAHRUNGEN

Wilhelm Frey, 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 m³ Wasser um einen Meter ist eine Arbeit von: Arbeit = Kraft • Weg = m • g • h = 1000kg • 9,81 m/s² • 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 nach [1] :

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

Darin bedeutet:

q_L spezifischer Luftvolumenstrom [$m_N^3/(m^3 \cdot h)$]

spez. P_{BB} spezifische Leistung [W/ m^3]

h_e Eintauchtiefe [m]

p_{Luft} aktueller Luftdruck [hPa]

t_w Wassertemperatur [$^{\circ}C$]

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

Der Luftbedarf einer Anlage mit Stickstoffelimination liegt, bei 100% Auslastung, nach [2] bei ca. $0,6 m_N^3/(m_{BB}^3 \cdot h)$, 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 nach [3] 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. Das Verfahren wird z.B. auf der Kläranlage Kaiserslautern mit Erfolg eingesetzt.

2.1.2 Sucflow –Effect Verfahren [4]

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

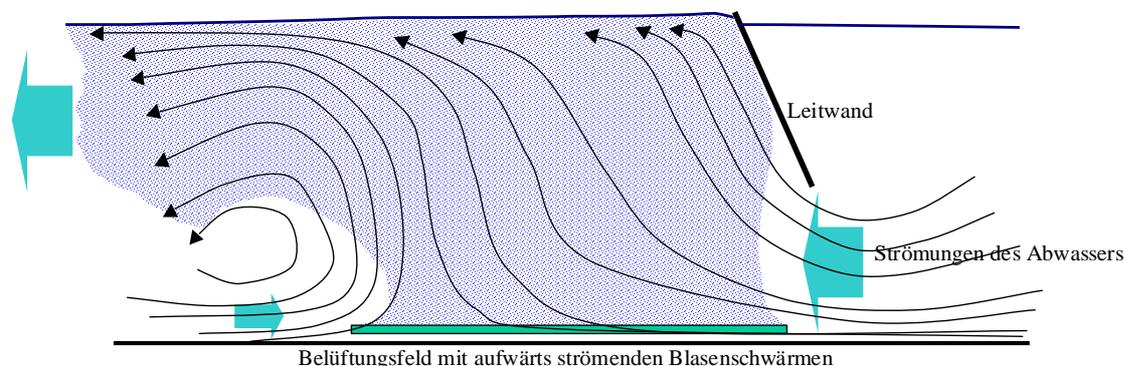


Abbildung 1: Leitwand zur Verhinderung von Rückströmungen (HUBER & SUHNER AG)

Mein Büro hat an zwei Anlagen, in denen versuchsweise solche Leitwände eingebaut waren, Messungen durchgeführt. Die Resultate zeigen eine Einsparung an Rühr-

werksenergie 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.

Zu den Leistungsparametern eines Rührwerks gehören neben Angaben zum Fabrikat, Typ, Rührorgan, Flügelzahl, Durchmesser und Drehzahl im Wesentlichen die Leistungsaufnahme (kW) und der Rührwerksschub (N).

Insbesondere die Leistungsaufnahme (aufgenommene Motorleistung bezogen auf das zu durchmischende Beckenvolumen) ist für den Betreiber eine wichtige Größe, da sie letztendlich über die entstehenden Betriebskosten entscheidet. Bezogen auf ein Becken ergibt sich aus der Leistungsaufnahme der spezifische Leistungseintrag (W/m^3), der als weiterer Leistungsparameter für ein Becken bezeichnet werden kann.

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.

Um dem Planer eine Hilfestellung im Hinblick auf die Auswahl des für seinen Anwendungsfall am besten geeigneten Rührwerks zu geben, wurde vom VDMA das Einheitsblatt „Rührwerke in Belebungsbecken von Abwasserreinigungsanlagen - Hinweise zur Planung, Projektierung und Ausführung“ erstellt [5]. Dieses bietet eine Parameterliste, die es dem Planer ermöglicht, auf einheitliche Weise die notwendigen Größen bei den verschiedenen Rührwerksherstellern zu erfragen, um eine verlässliche Basis für seine Aggregatauswahl zu schaffen.

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 [6] und DWA-M 209 [7] erfolgen.

Für die Prüfung der Leistungsfähigkeit der Rührwerken existiert die ISO 21630 [8]. Diese Vorschrift dient im Wesentlichen zum Vergleich verschiedener Aggregate, ist aber zur Funktionsprüfung in Belebungsbecken nicht geeignet. Weiter Hinweise werden im DWA-M 229 „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“ [9], gegeben.

Mögliche Kontrollmöglichkeiten der Funktion von Rührwerken sind nach [10]:

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

3. Zusammenwirken von Belüftern und Rührwerken

3.1 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.

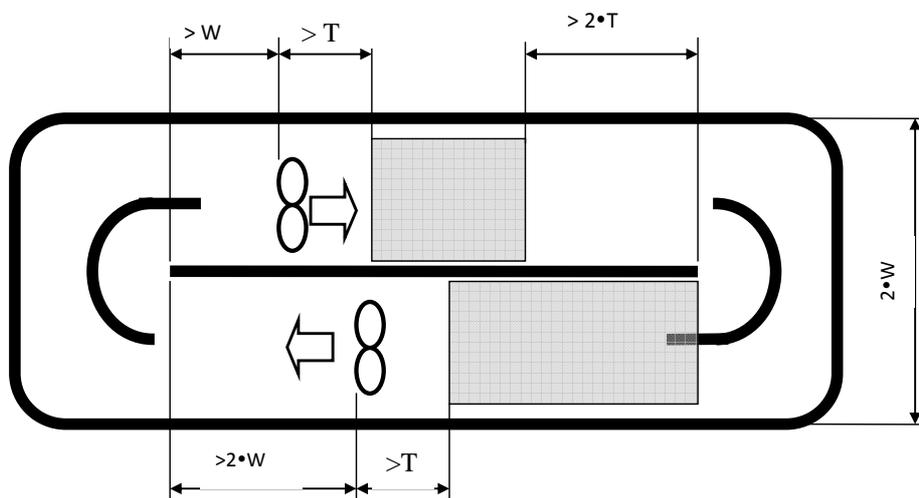


Abbildung 2: Mögliche Positionen von Belüftern und Rührwerken in Umlaufbecken [11]

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 Flä-

che 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.

Tauchmotorrührwerke können weitgehend frei im Becken positioniert werden. Die Propellerschubkraft erzeugt einen Strahl, der die umgebende Flüssigkeit mit sich reißt. Je weiter sich der Strahl ungehindert über eine gerade Strecke ausbreiten kann, desto besser ist die Übertragung in das umgebende Fluid und desto geringer die Verluste. Tauchrührwerke beeinflussen sich aber auch gegenseitig im Saugbereich, sodass ein Mindestabstand zwischen den Rührwerken eingehalten werden muss, ggf. kann auch eine Trennwand zwischen den Rührwerken diesen Einfluss vermeiden.

Die Angaben der verschiedenen Hersteller für die Positionierung sind nicht einheitlich. Typische Werte sind [9].:

- Abstand zwischen Rührwerk und Belüfterfeld sowie zu Umlenkungen (in beiden Richtungen): 4 - 7 m
- Abstand zwischen zwei Rührwerken: $1 \times D_{\text{Rührwerk}}$
- Abstand zur Seitenwand: $0,3 - 1 \times D_{\text{Rührwerk}}$
- Abstand zur Wasseroberfläche: $> 0,8 \text{ m}$
- Abstand zur Beckensohle: 0,3 - 0,5 m, bei tiefen Becken auch mehr

3.2 Belüfteranordnung

Die über den Luftvolumenstrom zugeführte Leistung ist 5-10 mal so groß wie die Rührwerksleistung. 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).

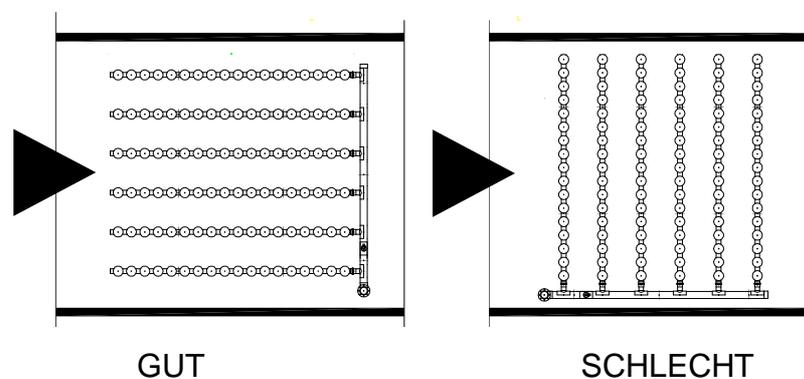


Abbildung 3: Mögliche Anordnung von Belüfterelementen

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).

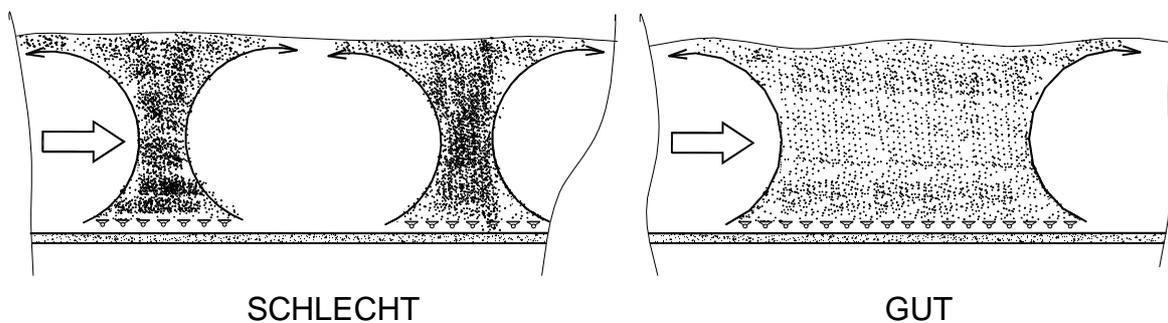


Abbildung 4: Einfluss von Strömungswalzen vor und hinter einem Belüftungsfeld

Ist das Belüfterfeld kurz, so ist der Bereich ungestörten 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 Belüfterfeld 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 und damit weniger 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 [12].

- 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. B1	Anl. B	Anl. B1
Beckenvolumen	m ³	2080	2080	5000	5000	5000	5000
Beckengrundfläche	m ²	347	347	962	962	962	962
Länge	m	29,5	29,5	62	62	62	62
Breite	m	12	12	16	16	16	16
Wassertiefe	m	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
spez. Rührwerksleistung	kW	2,4	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
Belegte Sohlfläche	%	20%	45%	38%	38%	54%	54%
Anzahl Randwalzen	-	2	2	6	6	4	4
Belegungsdichte	%	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
P _{RW} /P _{GE}	-	7,6	13,6	5,8	17,4	5,8	17,4
SSOTR (gerechnet)	g/m _N ³ /m	13,6	15,3	19,1	15,7	19,7	16,4
theor. Veränderung	%		12,5%			3,0%	4,6%
SSOTR (gemessen)	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
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.

3.3.1 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 $\text{g/m}_N^3/\text{m}$ erreicht werden (Erhöhung +12,5%). Bei der Messung wurden eine Verbesserung der Sauerstoffausnutzung von 12,2 auf 19,2 $\text{g/m}_N^3/\text{m}$ 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.

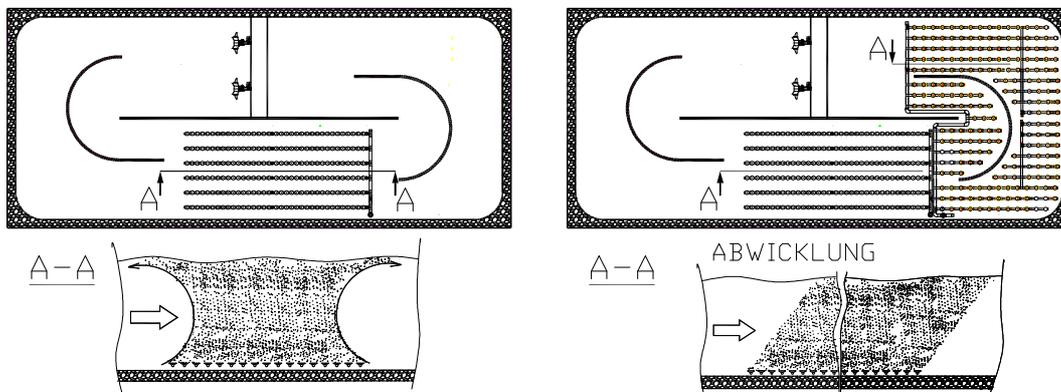


Abbildung 5: Belüfteranordnung und Strömungsausbildung Anlage A, links Original, rechts nach dem Umbau

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

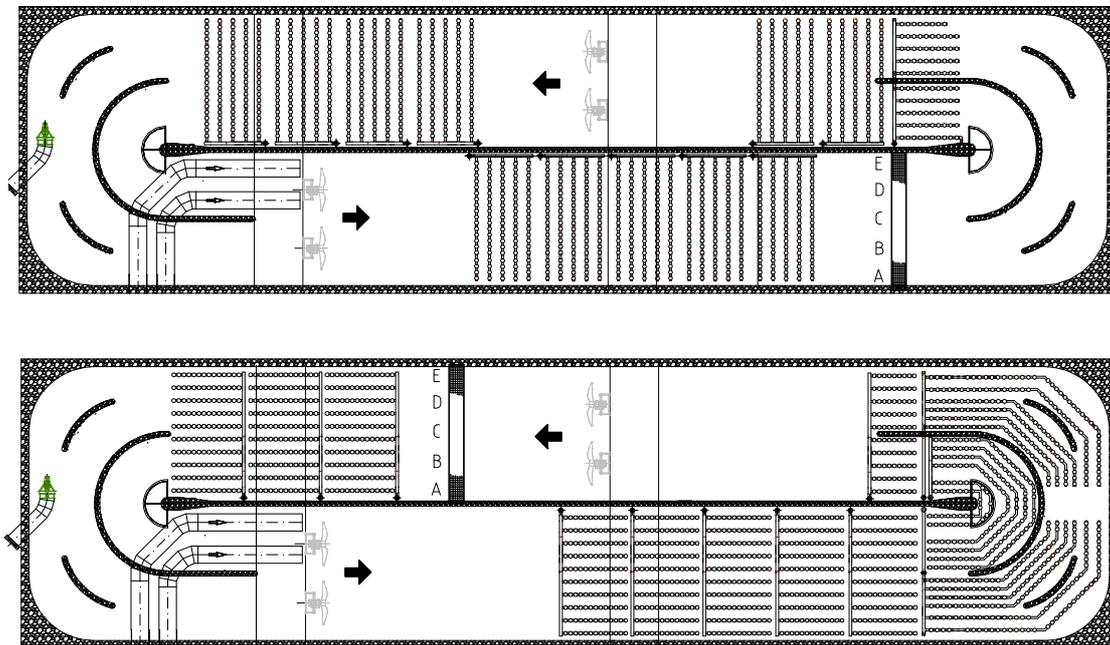


Abbildung 6: Belüfteranordnung Anlage B, oben Original, unten nach Optimierung

Mit der nicht optimierten Konfiguration des Belüftungssystems wurde sowohl bei 2500 mN³/h als auch bei 7500 mN³/h die der Bemessung zugrunde liegende Sauerstoffausnutzung erreicht. Die Ergebnisse der Strömungsmessungen bei 7500 mN³/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.

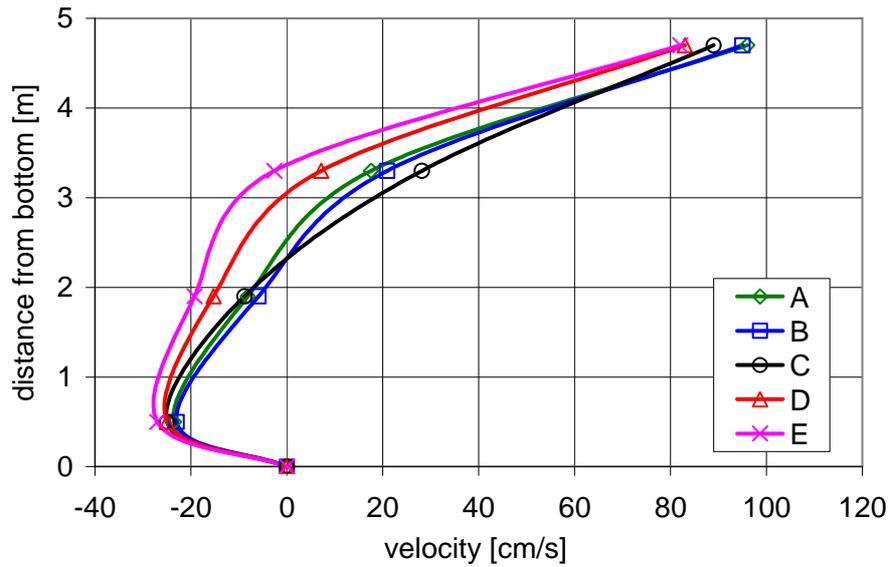


Abbildung 7: Strömungsprofil, original (1201 Belüfter; 7500 mN³/h)

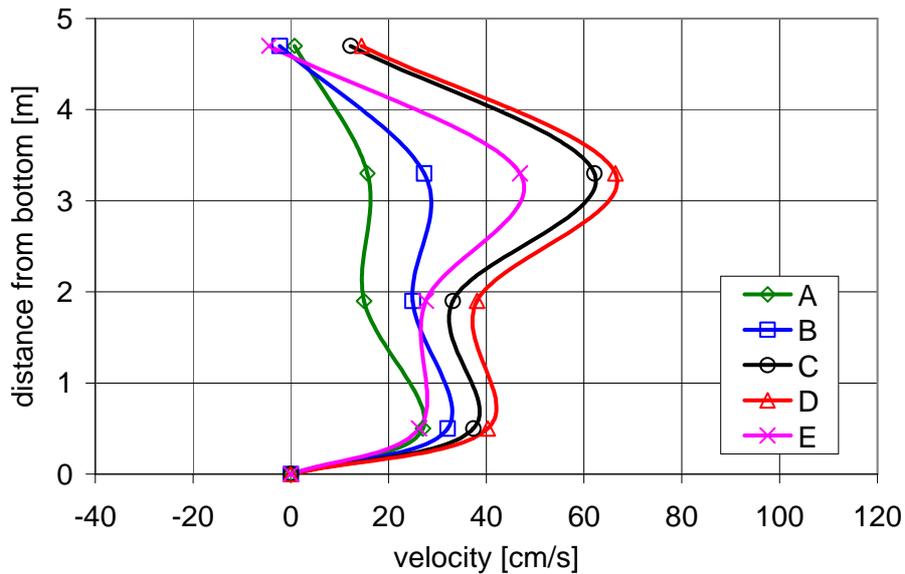


Abbildung 8: Strömungsprofil, optimiert (1613 Belüfter; 7500 mN³/h)

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 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.

4. Optimierung von Belüftungssystemen und Rührwerken

Anhand einer Kläranlage für 800.000 EW in Deutschland soll die Vorgangsweise für die Optimierung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen erläutert werden. Die Anlage ist 2004 in Betrieb gegangen und nach 10 Jahren wurde anhand der Betriebsdaten und Druckmessungen im Luftsystem festgestellt, dass ein Austausch der Belüfter zu erfolgen hat. Der Betreiber hat eine Studie in Auftrag gegeben, in der neben dem 1:1 Austausch der Belüfterelemente auch Optimierungsüberlegungen angestellt werden sollten.

Die biologische Stufe besteht im Wesentlichen aus mehreren gefalteten Umlaufbecken (Abbildung 9)

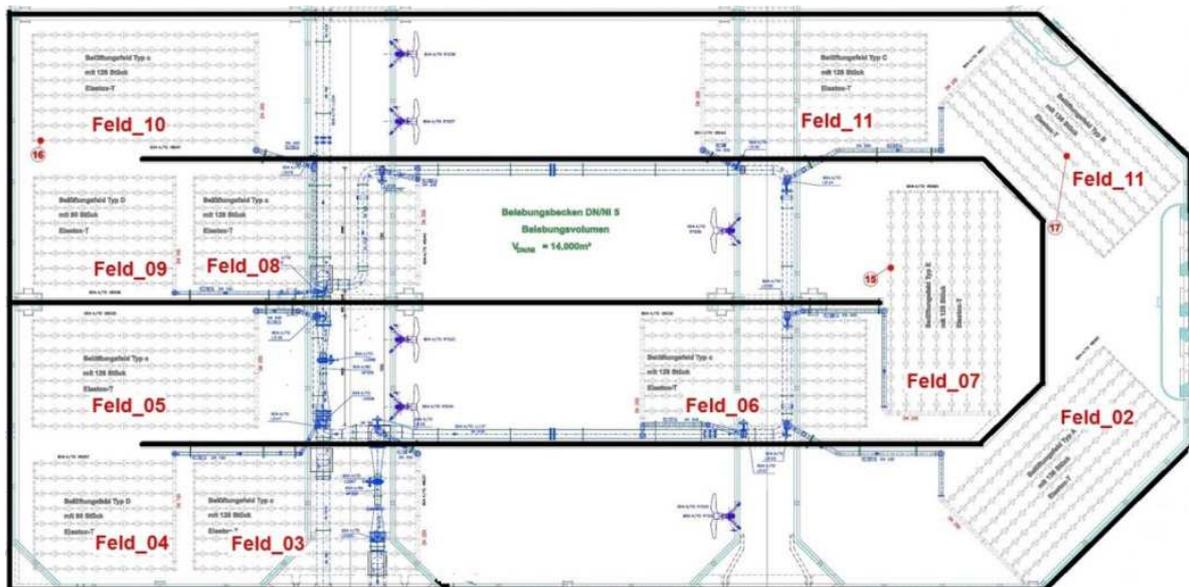


Abbildung 9: Belebungsbecken Bestand (Volumen ca. 13.800 m³)

Ausrüstung der Belebungsbecken:

Tellerbelüfter: 1328 Stück pro Becken. In den belüfteten Bereichen sind ca. 7,3% abgasende Flächen installiert.

Rührwerke: Durchmesser 2,5m, Drehzahl 40 1/min, Schub 3450 N, Leistungsaufnahme 3,6 kW, 6 Stück je Becken (1,54 W/m³)

Gebläsestation: 3 Stück HV-Turbo, Luftvolumenstrom 8.650 mN³/h,
3 Stück, Luftvolumenstrom 12.430 mN³/h, max. Luftvolumenstrom ca. 61.500 mN³/h

4.1 Mögliche Maßnahmen

Überlegungen zur Optimierung müssen sowohl die Steigerung der Wirtschaftlichkeit als auch eine Steigerung der maximalen Sauerstoffzufuhr enthalten.

Die Sauerstoffzufuhrleistung eines Belüftungssystems wird unter Anderem wesentlich von der Größe der Luftblasen und der Aufenthaltszeit der Luftblasen bestimmt

- Die Größe der Luftblasen wird durch die Geometrie der Luftaustrittsöffnungen und der Luftmenge pro Zeit beeinflusst.

- Die Aufenthaltszeit der Luftblasen wird maßgeblich von der Einblastiefe und überlagerten Wasserströmungen (Randwalzen) bestimmt.

Die Ertüchtigung des Belüftungssystems kann daher durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Reduktion der Luftbeaufschlagung → Erhöhung der abgasenden Belüfterfläche, d.h. Einbau von mehr Belüftertellern oder Wechsel auf ein anderes Fabrikat mit größerer abgasender Fläche.
- Verhinderung der Ausbildung von Randwalzen und Reduktion der Anzahl der möglichen Randwalzen. → Optimierung der Strömungsverhältnisse in den Becken.

Mögliche Maßnahmen sind die strömungstechnische Optimierung der Beckengeometrie und eine Veränderung der Type, Anordnung, Anzahl bzw. Abmessungen der Belüfterelemente.

Für die strömungstechnische Optimierung der Beckengeometrie gibt es folgende Möglichkeiten:

- Einbau von Leitwänden in den drei 180° Umlenkungen.
- Abschrägung bzw. Ausrundung der vier 90° Ecken.
- Einbau einer Trennwand zwischen den beiden Rührwerken eines Querschnittes

Durch die Optimierung der Geometrie wird es möglich die Durchmischung der Belebungsbecken mit jeweils 4 Rührwerken zu realisieren. Das hat folgende Vorteile:

- der erforderliche Schub und damit die Antriebsleistung der Rührwerke wird reduziert
- die Belüfteranordnung kann so modifiziert werden, dass die Anzahl der Randwalzen verringert wird
- es wird Platz für den Einbau zusätzlicher Belüfter geschaffen

Für die Optimierung der Belüfterelemente können folgende Maßnahmen gesetzt werden:

- Versetzen von Belüfterfeldern um Lücken zu schließen und damit die Anzahl der Randwalzen zu reduzieren
- Erhöhung der Belüfteranzahl durch Verändern des Belüfterrasters (im Bestand 1m)
- Erhöhung der Belüfteranzahl durch Einbau zusätzlicher Felder
- Erhöhung der abgasenden Fläche durch Ersetzen der bestehenden Tellerbelüfter durch eine andere Belüftergeometrie, z.B. Plattenbelüfter

Eine Variante, die ohne Wechsel des Belüftungssystems umgesetzt werden kann ist in Abbildung 10 dargestellt. Bei dieser Optimierungsvariante erfolgt eine Reduktion der Zahl der Randwalzen von 8 auf 4, eine strömungsgünstige Ausformung des Beckens und eine Reduktion der Anzahl der Rührwerke.

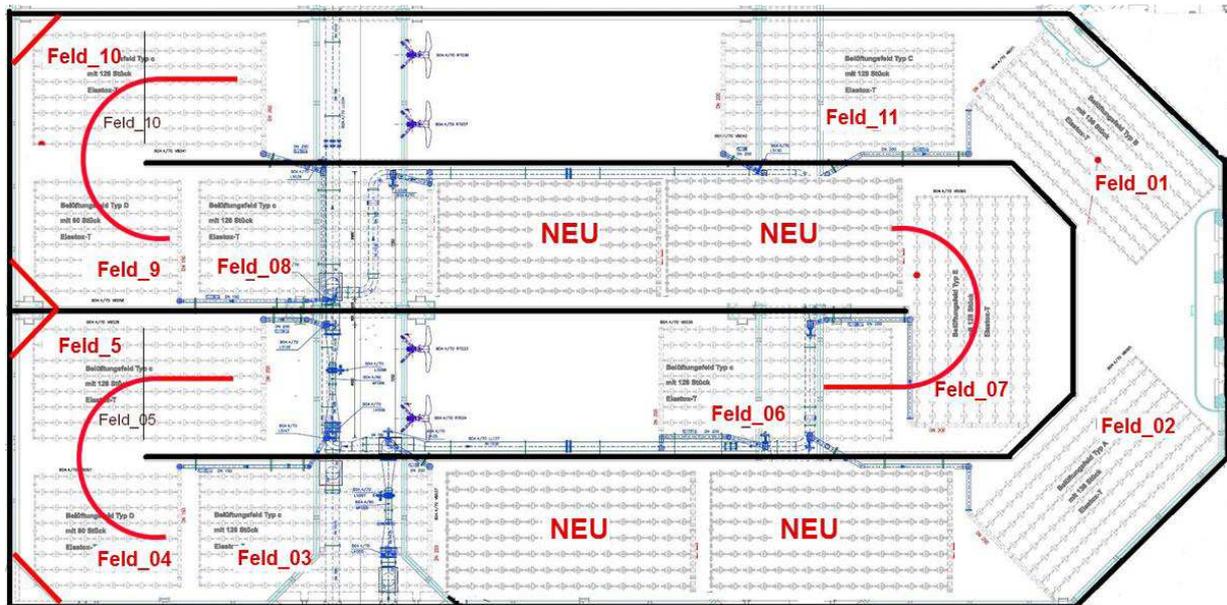


Abbildung 10: Optimierte Belebungsbecken

Ausrüstung der optimierten Belebungsbecken:

Tellerbelüfter: 2000 Stück pro Becken. In den belüfteten Bereichen sind ca. 11% abgasende Flächen installiert.

Rührwerke: Durchmesser 2,5m, Drehzahl 40 1/min, Schub 3450 N, Leistungsaufnahme 3,6 kW, 4 Stück je Becken (1,1 W/m³)

Gebläsestation: nicht verändert

Eine dynamischen Kostenvergleichsrechnung hat gezeigt, dass der 1:1 Austausch die teuerste Lösung ist. Die betrachteten Optimierungsvarianten ergaben, trotz kurzer Reinvestitionszeiträume (u.A. Bauwerke 24 Jahre, Rohrleitungen und Rührwerke 12 Jahre) alle um ca. 7-10 % geringere Gesamtkosten.

Unter Anderem wurde die Bestandsituation (mit Abschrägungen und Umlenkswänden) und obige Variante mit einer Strömungssimulationsrechnung untersucht. Es haben sich Vorteile bei der zu erwartenden mittleren Strömungsgeschwindigkeit und Vermeidung von Ablagerungen gezeigt (Abbildung 11).

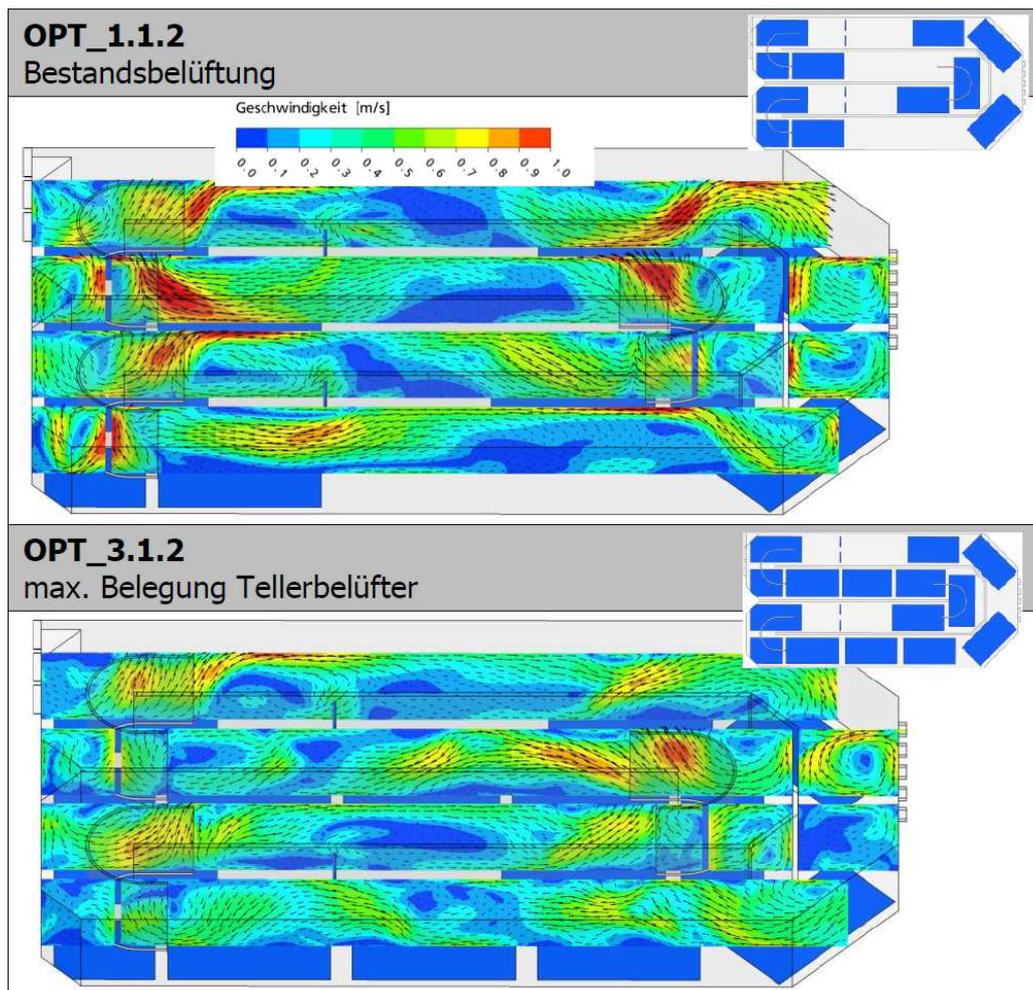


Abbildung 11: Ergebnisse Strömungssimulation

Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt im Rahmen der Erweiterung der Anlage.

5. Schlussfolgerungen

Zur Verbesserung der Sauerstoffzufuhrleistung und des Strömungsprofils wird daher empfohlen:

- Die Beckengeometrie strömungsgünstig zu gestalten (Ecken mindestens abschrägen, besser abrunden).
- Die Belüfterfelder möglichst groß zu machen und abschaltbare Belüfterbereiche zusammenhängend auszuführen.
- Bei Umlaufbecken die Verteilrohre in Umlaufrichtung zu verlegen.
- Keine großen (unregelmäßigen) Abstände zwischen den Belüfterelementen vorzusehen.
- 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.

6. Literatur

- [1] FREY W. (1993): Anforderungen an Belüftungssysteme; Wiener Mitteilungen Band 110, Herausgeber: TU Wien, Institut für Wassergüte, H.Kroiß
- [2] RIEGLER G., CAPITAIN P. (1989): Zusätzliche Umwälzung bei geringer Belüftungsdichte und Denitrifikation, Schriftenreihe WAR der TH Darmstadt, Band 37
- [3] MESSNER P. (2006): Die Auswirkung moderner Belüftungstechnik auf die Biologische Abwasserreinigung, Fachkonferenz „Die transparente Kläranlage“ 6.-7. September 2006, Düsseldorf
- [4] HUBER & SUHNER AG (2001): Das Sucoflow- EFFECT Verfahren 2001, Patentanmeldung, Huber & Suhner AG Pfäffikon Schweiz
- [5] VDMA Einheitsblatt 24656 (2010): Rühr-werke in Belebungsbecken von Abwasser-reinigungsanlagen - Hinweise zur Planung, Projektierung und Ausführung, Ausgabedatum: 2010-03, Beuth-Verlag, Berlin.
- [6] EN 12255-15 (2003): Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen
- [7] DWA-M 209 (2007): Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm
- [8] ISO 21630 (2007): Pumps — Testing — Submersible mixers for wastewater and similar applications
- [9] DWA-M 229 (2012) : „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“; Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung
- [10] FREY W. (2009): Garantienachweise für die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen - Belüftungssysteme und Rührwerke, Schriftenreihe Kläranlagennachbarschaften, Band 17
- [11] Mantovani, A. (2000): Aeration efficiency in horizontal flow systems and other non-full floor coverage aeration systems. Aeration conference der Firma Nopon Oy in Helsinki am 02.10.2000
- [12] 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

Abwassertechnische **A**usbildung und **B**eratung

Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2

A-2100 Korneuburg

e-mail: aab.frey@aon.at

internet: www.aabfrey.com