Stand der Technik beim Belüften - Einfluss auf das Regelwerk

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
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.

Bereits 2006 wurde im Rahmen der Bearbeitung des DWA Merkblattes M209 „Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm“ angedacht, Erfahrungen zur Auslegung und Betrieb von Belüftungseinrichtungen (und Rührwerken) in das DWA Regelwerk einzubinden. Bis zum Frühjahr 2012 ist es gelungen einen Entwurf des DWA Merkblattes M229 „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“ zu erstellen.

Der vorliegende Beitrag soll und kann das Studium des Merkblattes nicht ersetzen. Es werden einige Punkte zur Belüftung und Mischung von Belebungsbecken, die in das Blatt Eingang gefunden haben, ausgeführt.

2 BELÜFTUNG

2.1 Druckbelüftungssysteme

Der Sauerstoffübergang erfolgt durch die im Wasser aufsteigenden Luftblasen. Es wird nur ein Teil des enthaltenen Sauerstoffs in das Wasser übertragen. Wie viel Sauerstoff übertragen wird, ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig.

Die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten ist vom Druck, der Temperatur und von Abwasserinhaltsstoffen (z.B. Salze, Tenside) abhängig. Die Geschwindigkeit mit der sich ein Gleichgewichtszustand einstellt ist von

- der Größe der Phasengrenzfläche (Blasengröße)
- der Turbulenz an der Phasengrenzfläche und
- der Bestandszeit der Phasengrenzfläche (Aufenthaltszeit im Wasser)

abhängig.

2.1.1 Belüfterelemente

Belüfterelemente werden aus Keramik, mineralischem Granulat, Hartkunststoffgranulat und Elastomeren (EPDM, Silikon, Polyurethan) hergestellt. Der Geometrie der Belüfterelemente sind (fast) keine Grenzen gesetzt. Im Wesentlichen wird zwischen Rohr, Teller und Plattenbelüfter unterschieden. Die Belüfter unterscheiden sich u. A. in der Beständigkeit gegen spezielle Abwasserinhaltstoffe (z.B Öl), dem Einsatzbereich (z.B. Dauerbelüftung – intermittierender Betrieb) und ihrem Druckverlust im Neuzustand.

2.1.2 Drucklufterzeuger

Die betrieblichen Erfordernisse (z.B. Luftvolumenstrom, Drucksteigerung) können mit Drehkolbengebläsen, Drehkolbenverdichtern, Schraubenverdichtern und Turboverdichtern (mit Leitapparaten oder Drehzahlverstellung) erfüllt werden.

2.2 Oberflächenbelüfter

Bei den Oberflächenbelüftern erfolgt der Sauerstoffeintrag durch die mechanische Einwirkung der Belüfter an der Wasseroberfläche. Oberflächenbelüfter erzeugen gleichzeitig Umwälzströmungen, wodurch der belebte Schlamm und die Schmutzstoffe des Abwassers vermischt und Schlammablagerungen vermieden werden. Es wird zwischen Belüftern mit horizontaler Achse (Walzenbelüfter) und solchen mit vertikaler Achse (Kreiselbelüfter) unterschieden.

2.2.1 Walzenbelüfter

Walzenbelüfter bestehen aus einer horizontalen Hohlwelle mit sternförmig daran befestigten Flachstäben aus Stahl oder glasfaserverstärktem Kunststoff. Die Länge der Walzen kann bis zu 9,0 m betragen. Die Umfangsgeschwindigkeit liegt typischerweise bei 3 – 4 m/s. Walzenbelüfter werden quer zur Strömungsrichtung in Umlauf oder Kreisringbecken angeordnet.

2.2.2 Kreiselbelüfter

Kreiselbelüfter sind ähnlich aufgebaut wie Pumpenlaufräder und rotieren um eine vertikale Welle. Man unterscheidet offene und geschlossene Bauformen. Heute angebotene Kreiseltypen haben fast immer eine offene Bauform. Der Kreiseldurchmesser liegt üblicherweise im Bereich zwischen 1,5 und 4 m. Die Umfangsgeschwindigkeit beträgt 4 - 6 m/s. Kreiselbelüfter werden häufig in quadratischen Mischbecken eingesetzt.

2.3 Sondersysteme

Diese verzichten oft auf einzelne Komponenten, haben besondere Betriebseigenschaften und/oder können mehrere Aufgaben getrennt ausführen. Beispielsweise kann genannt werden:

- Alle Komponenten sind ohne Betriebsunterbrechung austauschbar.
- Mit dem selben Aggregat kann belüftet aber auch nur gemischt werden (z.B. OKI-Belüfter)
- Zum Einsatz bei außergewöhnliche Beckengeometrie geeignet (z.B. große Wassertiefe 10-15 m).
- Für außergewöhnliche Abwasserinhaltsstoffe geeignet (z.B. hoher inerter Feststoffanteil) und/oder gegen Verstopfungen weitestgehend resistent (z.B. Kaminbelüfter).

2.4 Einflussparameter und Kennwerte von Belüftersystemen

Die Bewertung der Leistungsfähigkeit von Belüftungssystemen erfolgt über die Sauerstoffzufuhr und die dafür notwendige Energie. Im Wesentlichen wird die Leistungsfähigkeit von der Einblastiefe, der Belegungsdichte, der Luftbeaufschlagung und den Abwasserinhaltsstoffen (α-Wert) beeinflusst.

Unter ansonsten gleichen Bedingungen ergibt sich bei größeren Einblastiefen auch eine höhere Sauerstoffzufuhr SOTR im Vergleich zu einer geringen Einblastiefe. Die spezifische Sauerstoffzufuhr nimmt dagegen mit steigender Einblastiefe ab.

Eine größere Belegungsdichte ergibt unter ansonsten gleichen Bedingungen ebenfalls eine höhere Sauerstoffzufuhr SOTR.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich bei einem höheren Luftvolumenstrom eine höhere Sauerstoffzufuhr SOTR, aber auch eine geringere Sauerstoffausnutzung ergibt.

2.4.1 Grenzflächenfaktor (α-Wert)

Der α-Wert ist ein empirischer Faktor und wird durch das Schlammalter, den Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken, die Beckenkonfiguration sowie dem Tages- bzw. Wochengang der Abwasserzusammensetzung bestimmt. Einen sehr großen Einfluss übt das Belüftungssystem selbst aus.

Oberflächenbelüftungssysteme haben unter günstigen Bedingungen einen α-Wert zwischen 0,90 bis 0,95. Ein typischer Bereich bei Druckluftbelüftungssystemen in konventionellen Belebungsanlagen, mit dem Reinigungsziel Nitrifikation/Denitrifikation, liegt bei 0,5 bis 0,65. Bei geringerem Schlammalter (nur Kohlenstoffelimination) liegt der α-Wert tendenziell unterhalb dieses Empfehlungsbereiches (0,3 bis 0,4), bei Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung und entsprechend hohem Schlammalter tendenziell darüber (0,7 bis 0,8).

2.5 Dimensionierung von Belüftungssystemen

Die Auslegung von Belüftungssystemen beginnt mit der Ermittlung des Sauerstoffverbrauches. Daraus ist die erforderliche Sauerstoffzufuhr zu berechnen. Die Berechnung dieser grundlegenden Größen, ist entsprechend der Kläranlagenausbaugröße, unterschiedlichen Einzelblättern des DWA-Regelwerkes zu entnehmen.

Im Entwurf des DWA M229 werden folgende Werte für die Sauerstoffausnutzung SSOTE und den Sauerstoffertrag SAE genannt:

Tabelle 1: Richtwerttabelle (aus DWA M229) für Druckluftbelüftungssysteme (alle Werte für Reinwasserbedingungen bis zu einer Einblastiefe von 6 m)

System	Günstig		Mittel	
	SSOTE [%/m]	SAE [kg/kWh]	SSOTE [%/m]	SAE [kg/kWh]
Flächendeckend	8,0 - 8,7	4,2 - 4,5	6,0 - 7,0	3,3 - 3,4
Umwälzung und Belüftung	6,7 - 8,0	3,7 - 4,2	5,0 - 7,0	3,2 - 3,3

Für die Auslegung der Belüftungseinrichtung sind dabei mindestens die folgenden Lastfälle zu betrachten:

- Durchschnittlicher Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand
- Maximaler Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand
- Minimaler Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand
- Sauerstoffbedarfswerte für den Prognose- und ggf. Revisions-Zustand

Zur Auslegung der Gebläse, ist eine Umrechnung des für den Normzustand ermittelten Luftbedarfs, in den Volumenstrom im Ansaugzustand, unter Berücksichtung von Temperatur, Feuchte und Höhenlage der Anlage, erforderlich. Details findet man im Entwurf des DWA M229 und der GWT Richtlinie 21 „Druckbelüftungsanlagen“

Für die Auslegung der Verdichterstation ist aber nicht nur der Bemessungslastfall mit dem maximalen Luftvolumenstrom maßgebend, sondern in besonderem Maße auch der erforderliche Regelbereich der Gebläse.

Mit Oberflächenbelüftungssystemen (Kreisel und Walzen) kann unter günstigen Bedingungen ein Sauerstoffertrag (SAE) von 1,8 bis 2,0 kg/kWh erreicht werden. Unter mittleren Verhältnissen liegt der Sauerstoffertrag im Bereich von 1,6 bis 1,8 kg/kWh.

3 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.

3.1 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 (theoretische) 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):

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

Darin bedeutet:

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

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

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 W/m_{BB}^3 berechnet man den spezifischen Luftvolumenstrom zu 0,26 $m_N^3/(m_{BB}^3 \bullet h)$.

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

3.1.1 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).

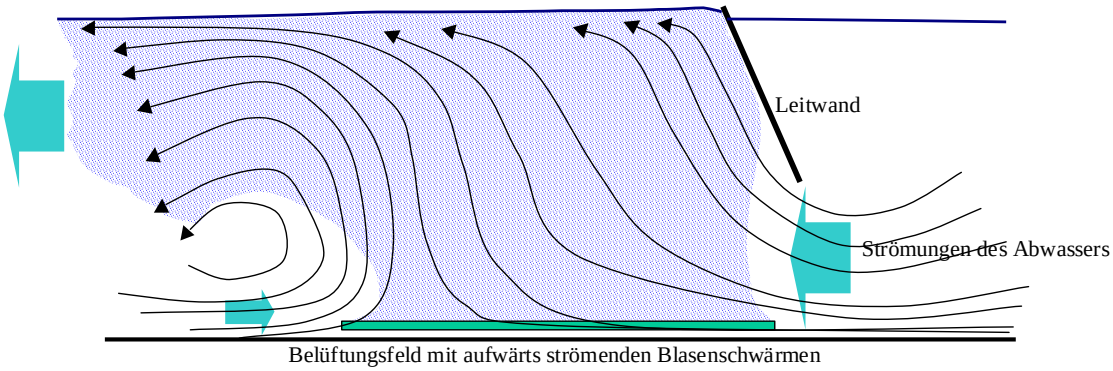


Abbildung 1: Leitwand zur Verhinderung von Rückströmungen (HUBER & SUHNER AG)

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.

3.2 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.

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. Typische Werte für den spezifischen Leistungseintrag liegen heute zwischen 2 bis 5 W/m³.

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 wird.

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.

4 ZUSAMMENWIRKEN VON BELÜFTERN UND RÜHRWERKEN

4.1 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.

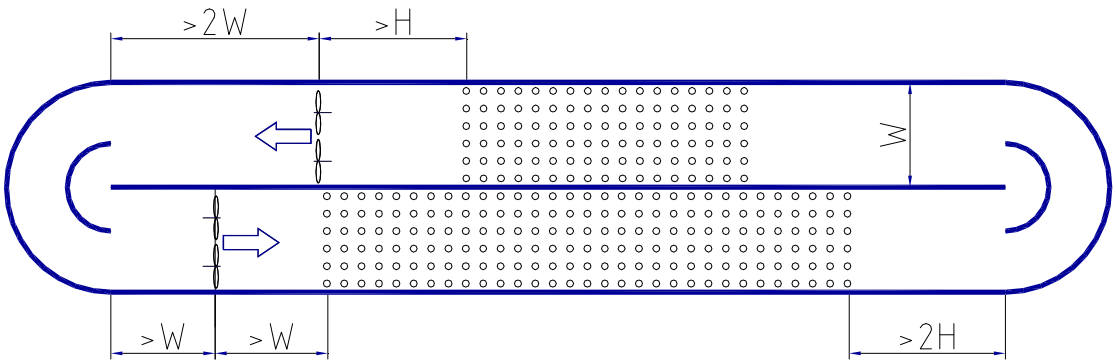


Abbildung 2: Mögliche Positionen von Belüftern und Rührwerken in Umlaufbecken (Firmenschrift Flygt: MIXER POSITIONING PRINCIPLES)

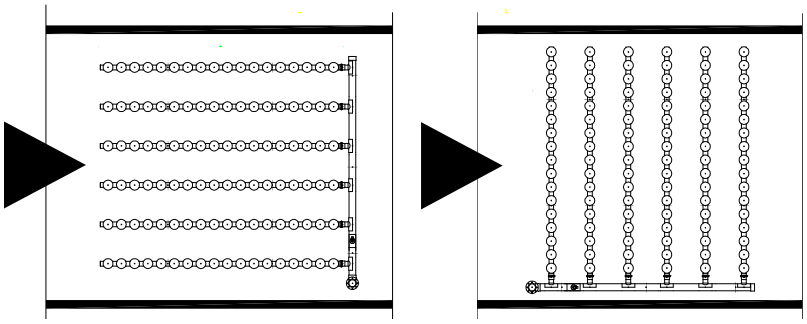
Es werden auch Mindestwerte für die Abstände von Wänden, der Sohle, zur Wasseroberfläche und der Rührwerke untereinander angegeben.

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.

4.2 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

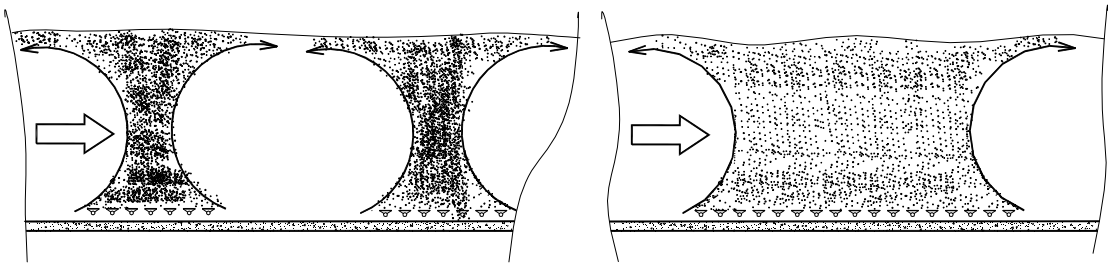
zur Strömungsrichtung liegende Verteilrohre mit eng nebeneinander liegenden Belüftern haben einen größeren Widerstand als längs verlegte Verteilrohre (Abbildung 3).



GUT SCHLECHT

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).



SCHLECHT GUT

Abbildung 4: Einfluss von Strömungswalzen vor und hinter einem Belüftungsfeld

Ist das Belüfterfeld kurz, so ist der Bereich ungestörten Blasenaufstiegs in der Mitte des Feldes klein. In Abbildung 4 wird die Ausbildung von Strömungswalzen und das Verhältnis von ungestörtem zu beschleunigtem Blasenaufstieg 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 Erfolgt. 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 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.

4.3 Beispiele ausgeführter Anlagen

Anhand von ausgewählten Anlagen, an denen Messungen durchgeführt wurden, wird versucht obige Aussagen zu veranschaulichen. In Tabelle 2 sind die Anlagendaten und Messergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 2: Anlagendaten und Messergebnisse

ANLAGE		Anl. A	Anl. A	Anl. B	Anl. B1	Anl. B	Anl. B1
Beckenvolumen	m³	2080	2080	5000	5000	5000	5000
Beckengrundfläche	m²	347	347	962	962	962	962
Länge	m³	29,5	29,5	62	62	62	62
Breite	m³	12	12	16	16	16	16
Wassertiefe	m³	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	m²/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
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
Gebläseleistung	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
theor. 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
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.

4.3.1 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 Um-

laufströmung 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 $g/m_N^3/m$ erreicht werden (Erhöhung +12,5%). Bei der Messung wurden eine Verbesserung der Sauerstoffausnutzung von 12,2 auf 19,2 $g/m_N^3/m$ 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.

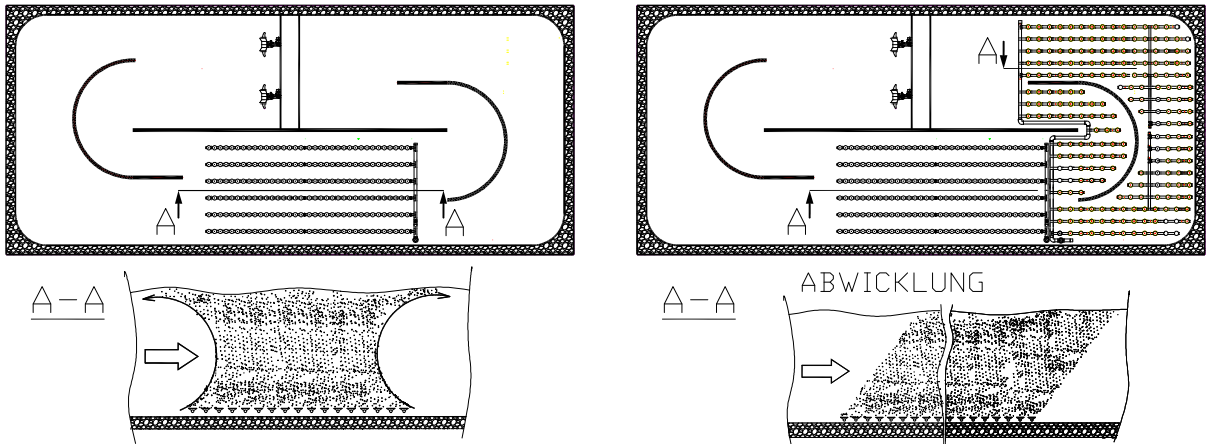


Abbildung 5: Belüfteranordnung und Strömungsausbildung Anlage A, links Original, rechts nach dem Umbau

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

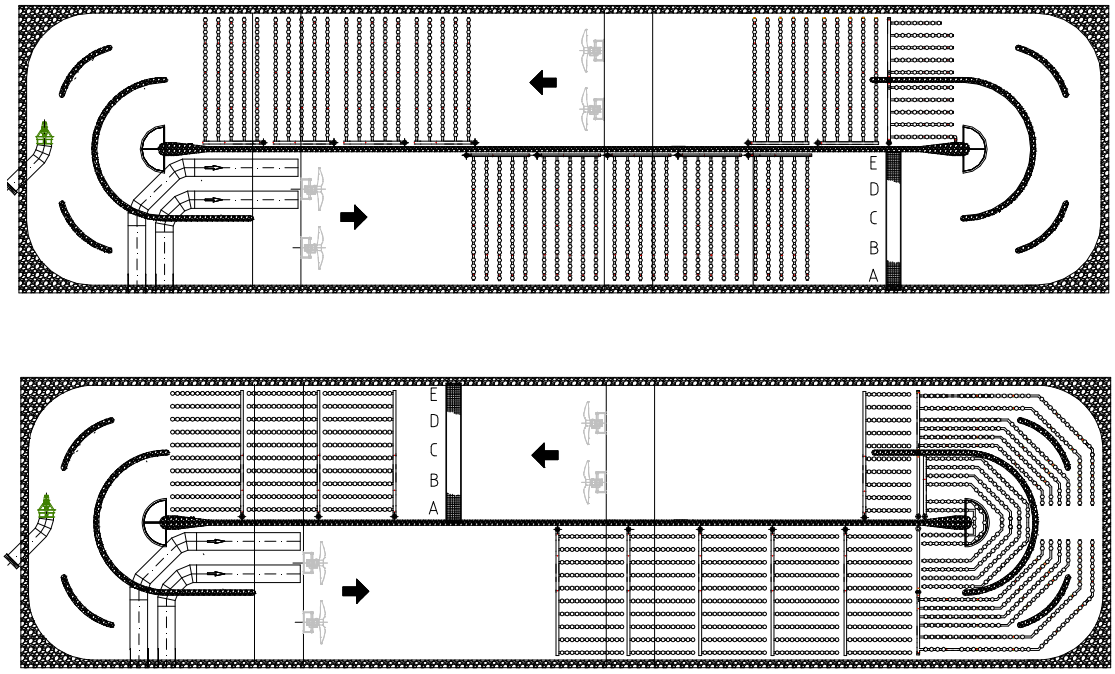


Abbildung 6: Belüfteranordnung Anlage B, oben Original, unten nach Optimierung

Mit der nicht optimierten Konfiguration des Belüftungssystems wurde sowohl bei 2500 m_N^3/h als auch bei 7500 m_N^3/h die der Bemessung zugrunde liegende Sauerstoffausnutzung erreicht. Die Ergebnisse der Strömungsmessungen bei 7500 mN^3/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.

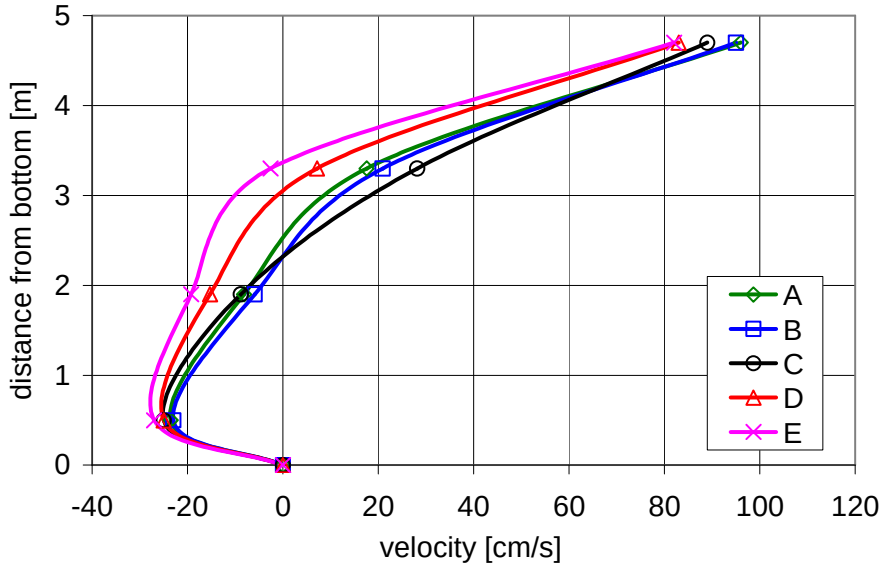


Abbildung 7: Strömungsprofil, original (1201 Belüfter; 7500 m_N^3/h)

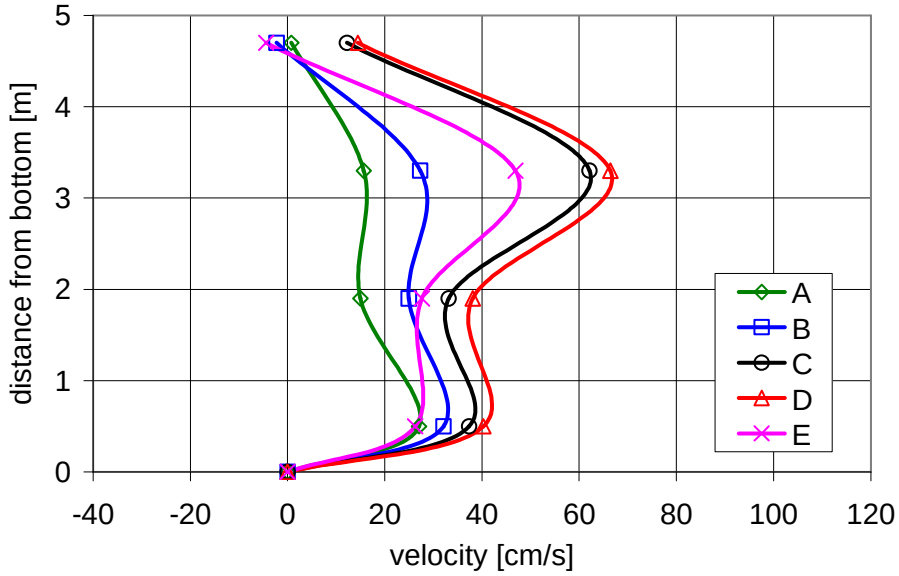


Abbildung 8: Strömungsprofil, optimiert (1613 Belüfter; 7500 mN^3/h)

Mit der optimierten Konfiguration des Belüftungssystems wurde sowohl bei 2500 m_N^3/h als auch bei 7500 m_N^3/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 Sauerstoffaus-

nutzung 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.

4.3.3 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.

5 PRÜFUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Die Abnahmemessungen sollten unabhängig von der maschinentechnischen Ausrüstung ausgeschrieben und durch den Kläranlagenbetreiber beauftragt werden. Der Ausrüster sollte dabei aber die Verantwortung für das Herstellen geeigneter Randbedingungen haben.

Eine Überprüfung der Garantiewerte von Belüftungssystemen und Durchmischungseinrichtungen wird ab einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 EW oder bei speziellen Lösungen als erforderlich angesehen. Für Anlagen im Bereich von 10.000 bis 100.000 EW wird eine Überprüfung empfohlen.

Häufig wird bei Nichterreichen von Garantiewerten für die Sauerstoffzufuhr dem Rührwerk das Verschulden zugewiesen. Umgekehrt wird, z. B. wenn Ablagerungen im Belebungsbecken festgestellt werden, das Belüftungssystem dafür verantwortlich gemacht.

Die Formulierung von Garantiewerten für Rühreinrichtungen sollte sich in der Praxis an der verfahrenstechnischen Aufgabenstellung orientieren. Es wird empfohlen, bereits bei der Abfassung der Ausschreibungsunterlagen und Festlegung der Garantiewerte die Machbarkeit der Messungen und den dafür notwendigen Aufwand zu betrachten.

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 neue DWA-M 229 „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“, geschaffen werden. Viele Hinweise findet man auch in einer Studie der Österreichischen Kläranlagennachbarschaften mit dem Titel „Garantienachweise für die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen – Belüftungssysteme und Rührwerke“ aus 2009 (FREY 2009).

6 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 (Entwurf 2012): „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“

VDMA Einheitsblatt 24656 (2010): Rührwerke in Belebungsbecken von Abwasserreinigungsanlagen - Hinweise zur Planung, Projektierung und Ausführung, Ausgabedatum: 2010-03, Beuth-Verlag, Berlin.

FLYGT : Mixer positioning principles, Firmenschrift

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

GWT Richtlinie 21: Druckbelüftungsanlagen, Downloadmöglichkeit unter: http://www.gwt.co.at/pdf/richtlinien/M21.pdf

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

KAN 2009: „Garantienachweise für die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen – Belüftungssysteme und Rührwerke“; Downloadmöglichkeit unter: http://www.kan.at/KAN.aspx_param_target_is_84630_and_Title_is_-Berichte.v.aspx
siehe auch FREY W. (2009): Garantienachweise für die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen - Belüftungssysteme und Rührwerke, Schriftenreihe Kläranlagennachbarschaften, Band 17

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

E-mail: aab.frey@aon.at
Homepage: www.aabfrey.com

Postanschrift

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2
A - 2100 Leobendorf