

# **VERGLEICHENDE BETRACHTUNG DER BETRIEBSERGEBNISSE VON DRUCK- UND OBERFLÄCHENBELÜFTUNGSSYSTEMEN IN ÖSTERREICH**

## **1 ALLGEMEINES**

Oft wird die Frage gestellt, ob Druck- oder Oberflächenbelüftungssysteme die bessere Wahl sind. Die Praxis zeigt, dass beide Systeme seit langem nebeneinander existieren. Wäre ein System das bessere, so wäre das andere System bereits vom Markt verschwunden. Nach meiner Ansicht gibt es keine schlechten Belüftungssysteme, sondern hauptsächlich falsche Anwendungen bzw. Einsatzbereiche die zu Problemen führen.

Die Wahl des Belüftungssystems gehört zu den wichtigsten, aber auch schwierigsten Entscheidungen des planenden Ingenieurs. Das Zusammenwirken von baulicher Ausbildung der Belebungsbecken und Belüftungssystem ist eine wesentliche Grundlage für die Steuerungsmöglichkeit der Sauerstoffzufuhr. Fehlentscheidungen haben schwerwiegende Konsequenzen auf den Anlagenbetrieb, die Einhaltung der Grenzwerte und auf die anfallenden Kosten.

Es gibt viele Kriterien, die für die Wahl eines Belüftungssystems heranzuziehen sind. Als wesentliche Eigenschaften gelten Sauerstoffertrag, Regelbarkeit, Standzeit und vor allem auch Wartungsfreundlichkeit. Diese Erkenntnis und die zunehmend an die Öffentlichkeit tretenden Probleme mit Druckbelüftern, wie Verstopfung und Haltbarkeit, sollten dazu Anlass geben über die Entscheidung welches Belüftungssystem für den Einsatzzweck am besten geeignet ist sorgfältig nachzudenken.

Der vorliegende Beitrag soll eine Hilfestellung bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit geben. Dazu werden die Gebrauchseigenschaften von Belüftungssystemen aufgezeigt und unter Berücksichtigung der Erfahrungen der letzten Jahre diskutiert

## **2 DRUCKBELÜFTUNGSSYSTEME**

### **2.1 Leistungsfähigkeit von Druckbelüftungssystemen**

Ein Belüftungssystem wird durch die Sauerstoffzufuhr SOTR [kg/h] und den Sauerstoffertrag SAE [kg/kWh] gekennzeichnet. Folgende Parameter beeinflussen die Leistungsfähigkeit:

- Größe der Luftblasen
- Luftvolumenstrom
- Einblastiefe
- Strömungsverhältnisse
- Beckengeometrie
- Art, Anzahl und Anordnung der Belüfterelemente
- Abwasserinhaltsstoffe
- Art des Drucklüfterzeugers
- Wirkungsgrad der Antriebsmaschine

Zwischen den einzelnen Einflussparametern bestehen Interaktionen, z.B.:

Die Größe der Luftblasen wird durch den Luftvolumenstrom, die Art und Anzahl der Belüfterelemente (Luftbeaufschlagung) sowie die Strömungsverhältnisse bestimmt.

Die Strömungsverhältnisse werden von der Beckengeometrie, ggf. vorhandenen Rührwerken sowie der Anzahl und der Anordnung der Belüfter (Belegungsichte) im Becken bestimmt.

Die Wahl der Belegungsichte und der Luftbeaufschlagung beeinflusst maßgeblich die Wirtschaftlichkeit (laufende Betriebskosten) und die Anschaffungskosten der Belüftungseinrichtung. Weiterführende Informationen findet man z.B. in [1] und [2]. Als Näherung gilt

- je größer die Belegungsichte bzw. kleiner die Luftbeaufschlagung ist, desto **teurer aber auch wirtschaftlicher** im Betrieb wird das Belüftungssystem
- je kleiner die Belegungsichte bzw. größer die Luftbeaufschlagung ist, desto **billiger** (weil weniger Belüfterelemente) **aber auch unwirtschaftlicher** im Betrieb wird das Belüftungssystem

### 3 OBERFLÄCHENBELÜFTUNGSSYSTEME

In Österreich trifft man Kreiselbelüfter und Walzenbelüfter (Rotoren) auf Kläranlagen an. Nach Ergebnissen einer Umfrage der österreichischen Kläranlagennachbarschaften [3] sind ca. 32% der Anlagen mit Oberflächenbelüftungssystemen ausgestattet.

Hinweise auf Bauformen, Strömungsverhältnisse und das Regelverhalten von Oberflächenbelüftern findet man in [4], [5] und [6].

#### 3.1 Stabwalzenbelüfter

Bei sehr geringen Energiedichten kann die Fließgeschwindigkeit auch bei Stabwalzenbelüftern zu gering werden, wobei aber trotzdem ein eindeutiger Strömungsimpuls durch die Belüfter vorgegeben wird, der durch geringe zusätzliche Rührenergie ausreichend verstärkt werden kann (ca.  $1\text{W}/\text{m}^3$ ). Bei Druckbelüftung muss die Umlaufgeschwindigkeit zur Gänze durch Rührwerke und somit zusätzliche Energie (ca.  $2\text{-}4\text{W}/\text{m}^3$ ) aufgebaut werden.

Wichtig für das Erreichen optimaler Sauerstofftragswerte ist die Anordnung von Leitwänden nach dem Rotor, sodass das sauerstoffreiche Wasser in die Tiefe abgelenkt wird. Ab Energiedichten von ca.  $40\text{ - }50\text{ W} / \text{m}^3$  wird es erforderlich, nicht nur Leitwände nach den Rotoren, sondern auch Bremswände vor den Rotoren anzuordnen. Wird dies unterlassen, wird die Geschwindigkeit im Belebungsgraben so hoch, dass es nicht gelingt die maximale Leistungsaufnahme der Belüfter zu erreichen, weil die Relativgeschwindigkeit zwischen Rotor und Wasser zu gering wird

#### 3.2 Kreiselbelüfter

Eine Zusammenstellung von Messwerten findet man z. B. in [7]. Daraus ist ersichtlich, dass unter günstigen Bedingungen mit Druckbelüftungssystemen in belebtem Schlamm ein Sauerstofftrag von  $1,3\text{ - }2,3\text{ kg}/\text{kWh}$  erreichbar ist. Für Oberflächenbelüftungssysteme werden Sauerstofftragswerte von  $1,5\text{ - }1,9\text{ kg}/\text{kWh}$  genannt. Vom Autor wurden in der Zeit von 1990 bis 2005 ca. 55 Sauerstoffzufuhrmessungen auf 15 Anlagen mit Kreisel- und Walzenbelüftern durchgeführt. Die Resultate der Messungen reihen sich

gut in die Zusammenstellung [7] ein. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Systeme einen hohen Entwicklungsstand erreicht haben.

Die Wirtschaftlichkeit von Oberflächenbelüftern ist von der Energiedichte im Belebungsbecken abhängig. Bei Kreiseln (in Mischbecken) steigt der Sauerstofftrag mit zunehmender Leistungsdichte. Die vorliegenden Messungen zeigen aber auch, dass bei sehr hohen Leistungsdichten, wie sie z. B. in Selektoren auftreten, der Sauerstofftrag wieder abnimmt.

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit eines Oberflächenbelüftungssystems, in belebtem Schlamm, ist der  $\alpha$ -Wert zu berücksichtigen. Er liegt bei Kreisel- und Rotorbelüftung normalerweise bei 0,9 – 1,0. Eigene Messungen der Sauerstoffzufuhr an neu entwickelten Kreiselbauformen im vergangenen Jahr haben gezeigt, dass der  $\alpha$ -Wert auch kleiner als 0,9 sein kann.

Stabwalzenbelüfter haben bei niedrigen Leistungsdichten (bis etwa 40 W/m<sup>3</sup>) gute Sauerstofftragswerte. Kreiselbelüfter haben bei vergleichsweise hoher Leistungsdichte (bis etwa 120 W/m<sup>3</sup>) hohe Sauerstofftragswerte. Dieser Umstand ist bei der Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Systems im Teillastbetrieb zu berücksichtigen. Auch ist dies ein Grund für den häufigen Einsatz von Kreiselbelüftern für Hochlaststufen in Industrieabwasserreinigungsanlagen.

#### 4 GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN VON DRUCK- UND OBERFLÄCHENBELÜFTUNGSSYSTEMEN

Der Schwerpunkt des Einsatzes von Oberflächenbelüftungssystemen während der letzten 10 Jahre lag in Österreich in der Industrie- und Gewerbeabwasserreinigung. Auf 10 Anwendungen im industriellen bzw. gewerblichen Bereich kommt eine Anwendung im kommunalen Sektor. Ausschlaggebend für diese Entwicklung sind die Gebrauchseigenschaften der Oberflächenbelüftungssysteme.

In der folgenden Tabelle 1 wird ein Überblick über die Gebrauchseigenschaften der Druck- und Oberflächenbelüftungssysteme gegeben. Anschließend werden ausgewählte Eigenschaften detailliert besprochen und an Fallbeispielen erläutert.

Tabelle 1: Gebrauchseigenschaften

	Druckbelüftung	Oberflächenbelüftung
<b>Alterung, steigender Druckverlust</b>	tritt auf	tritt nicht auf
<b>Beckengeometrie, Strömungsverhältnisse</b>	Grundriss und Tiefe frei wählbar	je nach System enge Grenzen
<b>Beckenreinigung</b>	aufwändig (Einbauten an der Sohle)	einfach
<b>Betriebssicherheit; Redundanz</b>	mittel bis niedrig	hoch
<b>Emissionen</b>	mittel bis niedrig	mittel bis hoch
<b>Flächenbedarf</b>	im Normalfall kleiner	im Normalfall größer
<b>Lebensdauer</b>	mittel bis gering	hoch
<b>pH-Wert</b>	Beeinträchtigung möglich	kein Einfluss

	<b>Druckbelüftung</b>	<b>Oberflächenbelüftung</b>
<b>Regelung</b>	aufwändig, besonders bei großen Anlagen mit vielen Becken bzw. Feldern	einfach
<b>Reparatur</b>	in der Regel Beckenleerung erforderlich	in der Regel keine Beckenleerung erforderlich
<b>Schaumbildung</b>	hoch	gering
<b>Verstopfungen</b>	anfällig	nicht anfällig
<b>Wartung</b>	mittlerer bis großer Aufwand	geringer Aufwand
<b>Winterbetrieb</b>	keine Probleme	Probleme mit Eisbildung möglich
<b>Wirtschaftlichkeit in Reinwasser</b>	hoch	mittel bis niedrig
<b>Wirtschaftlichkeit in Abwasser</b>	mittel	mittel

#### 4.1 Alterung und Verstopfung

Der Sachverhalt wird durch die Ergebnisse zweier Umfragen deutlich erkennbar.

Bei einer 2003 im Rahmen der österreichischen Kläranlagennachbarschaften durchgeführten Umfrage [3] wurde festgestellt, dass ca. 54 % der Anlagen mit stark erhöhten Druckverlusten betrieben werden. Auf Grund dieses Ergebnisses wurden 2004 detaillierte Nachuntersuchung [8] auf 26 Anlagen durchgeführt. Auf 25 Anlagen war der Druckverlust deutlich erhöht! 50% der Anlagen (Medianwert) weisen eine Druckerhöhung (verglichen mit dem Druckverlust im Neuzustand) um mehr als 166% auf. Durch diese Druckerhöhung wird ein theoretischer Energiemehrverbrauch von ca. 13% (Medianwert) hervorgerufen.

In Baden-Württemberg wurde 2005 bei einer ähnlichen Umfrage [9] festgestellt, dass auf bis zu 75% der Anlagen ein erhöhter Gegendruck vorhanden ist (mehr als der doppelte Druckverlust im Neuzustand). Der theoretische Energiemehrverbrauch lag im Median bei ca. 12%.

Ursachen und Abhilfemaßnahmen wurden bereits in meinem Beitrag zur Veränderung des Betriebsverhaltens von Membranbelüftern angesprochen.

#### 4.2 Beckengeometrie - Wassertiefe

Übliche Beckentiefen von mit Oberflächenbelüftern ausgerüsteten Anlagen liegen bei 2,5 – 4 m. Bei Kreisbelüftern sind tiefere Becken als bei Rotorbelüftern üblich.

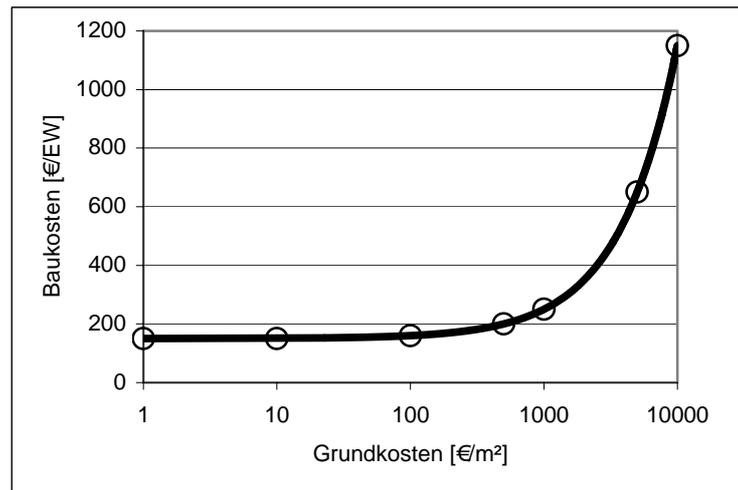
In den letzten Jahren wurden Anlagen (z.B. Wiesbaden, Münster) mit größeren Beckentiefen ausgeführt. Bei solchen Ausführungen ist der Einsatz von zusätzlichen Rührwerken zur Sicherstellung der Durchmischung sinnvoll.

In Österreich wurde im Jahr 1999 eine Industrieabwasserreinigungsanlage einer Zuckerfabrik mit einem tiefen Belebungsbecken (Volumen von 6100 m<sup>3</sup>, Wassertiefe 5,6 m) ausgeführt. Das Belebungsbecken ist mit 6 Stabwalzenbelüftern mit je 9 m Länge und 45 kW Antriebsleistung ausgerüstet. Auf den Einbau von Rührwerken wurde zunächst bewusst verzichtet. Wie die Beckenleerung nach Kampagneende gezeigt hat, gab es Ablagerungen, die aber wesentlich geringer als erwartet ausgefallen waren. Die Dicke betrug maximal 1m. Die Ablagerungen enthielten vergleichsweise wenig organisches Material, es handelte sich zum Großteil um Rübenerde.

#### 4.2.1 Wassertiefe - Grundfläche - Grundkosten

Ein Argument gegen den Einsatz von Oberflächenbelüftungssystemen ist die Tatsache, dass durch die geringere Beckentiefe bei gleichem Beckenvolumen mehr Grundfläche benötigt wird. Dieser Umstand wird in manchen Fällen ein „KO“-Kriterium sein, er darf aber nicht verallgemeinert werden.

Untersuchungen an der TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft [10], haben gezeigt, dass die Grundkosten ab einem Preis von € 1.000,-- pro Quadratmeter zu einem wesentlichen Kostenfaktor für die Baukosten der Kläranlage werden.



**Abbildung 1:** Grundkosten – Gesamtkosten (aus [10])

Diese Aussage kann auch auf die Mehrkosten zufolge des größeren Flächenbedarfes für das Belebungsbecken angewendet werden. Liegen die Grundkosten unter ca. 800,-- €/m² so hat der erhöhte Flächenbedarf für das Belebungsbecken nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtbaukosten.

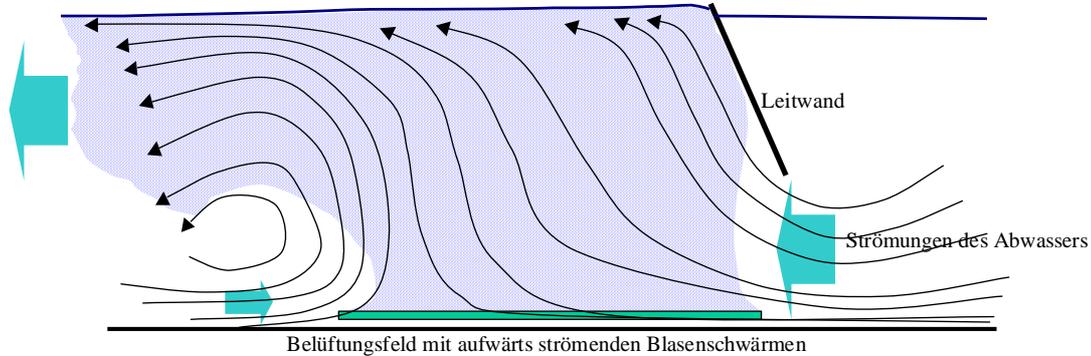
#### 4.3 Beckengeometrie und Belüfteranordnung

Viele Anlagen werden heute mit Umlaufbecken ausgeführt. Dem Zusammenspiel Beckengeometrie – Belüfteraufteilung – Rührwerksposition wird in der Regel zu wenig Beachtung geschenkt [2] und [11]. Ziel muss es sein, dass mit möglichst geringer Rührwerksleistung Ablagerungen vermieden werden und eine, verfahrenstechnisch erwünschte, Umlaufströmung erzielt wird. Gleichzeitig darf die Strömung die Sauerstoffzufuhr des Belüftungssystems nicht negativ beeinflussen.

Durch die eingeblasene Luft entsteht eine „Blasenwand“ die einen großen Strömungswiderstand darstellt. Auf vielen Anlagen werden zufolge der Forderung nach Mindestströmungsgeschwindigkeiten (z. B. 0,3 m/s) bei Luftbeaufschlagung große Rührwerksleistungen installiert. Im Mischbetrieb (Denitrifikation) treten dann mitunter hohe Strömungsgeschwindigkeiten (>1 m/s) auf, die auch Schäden an den Einbauten (z. B. Belüfterelementen) verursachen können.

Von einer Schweizer Firma wurde ein System zur Nutzung der aufsteigenden Blasen zur Erzeugung einer Umlaufströmung vorgestellt (Abbildung 2). 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. Mein

Büro hat an zwei Anlagen, wo solche Leitwände eingebaut waren, Messungen durchgeführt. Die Resultate zeigen eine Einsparung an Rührwerksenergie bei gleichbleibenden Strömungsverhältnissen. Leider wurde die Idee nicht weiter verfolgt, mir sind keine weiteren Ergebnisse bzw. Anlagen mit diesem System bekannt.



**Abbildung 2:** Leitwand zur Verhinderung von Rückströmungen [12]

Seit Jahrzehnten ist bekannt, dass die so genannte Linienbelüftung wegen der Ausbildung einer ausgeprägten Walzenströmung, die die Aufenthaltszeit der Luftblasen im Wasser verkürzt, und daher eine deutlich geringere Sauerstoffzufuhr erbringt als die Flächenbelüftung. Werden nun in einem Umlaufbecken kurze Belüfterfelder eingesetzt, bzw. gibt es Bereiche, wo sich Walzenströmungen ausbilden können, so wird die Sauerstoffzufuhr, wie bei der Linienbelüftung, deutlich kleiner. Durch „Auseinanderziehen“ der Belüfterfelder, oder Einbau zusätzlicher Belüfterfelder, kann der Randwalzeneinfluss verringert und die Situation in der Regel entschärft werden.

Eine deutliche Reduktion der hydraulischen Verluste kann durch die (zusätzliche) Anordnung von Belüftern in einer Umlenkung erzielt werden. Dadurch kann, bei vergleichsweise geringer Rührwerksleistung, eine sehr ausgeprägte Umlaufströmung erreicht und die Ausbildung von Walzenströmungen reduziert oder verhindert werden.

#### 4.3.1 Fallbeispiel - Belüfteranordnung

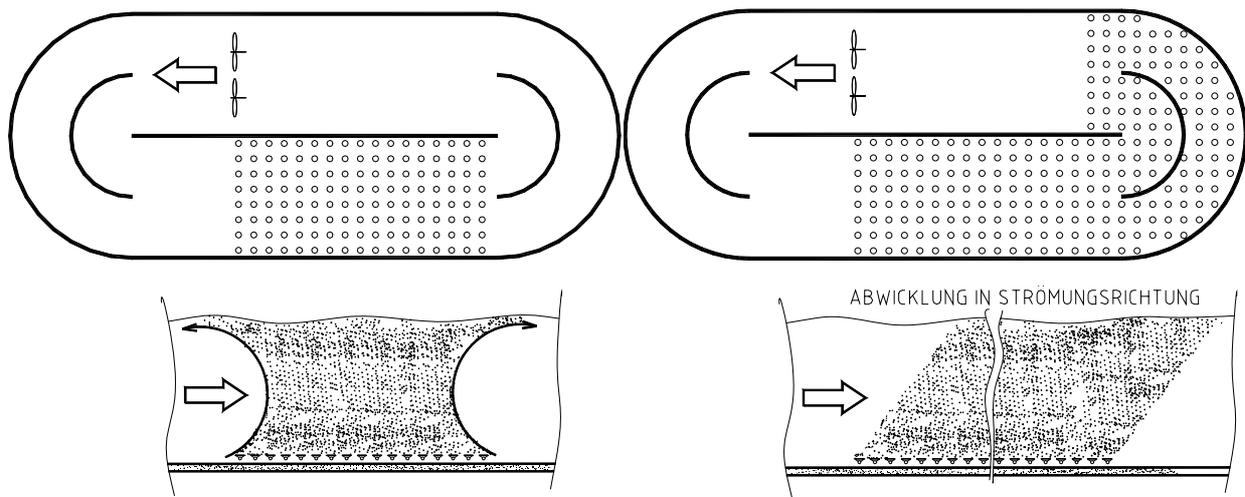
Die Anlage hatte zwei Umlaufbecken mit je 30 m Länge, einer Fließbreite von 6 m und einer Wassertiefe von 6 m. Auf einer Langseite waren die Belüfter und auf der anderen Seite die Rührwerke (2 x 1,8 kW) installiert. Die nach der Fertigstellung durchgeführten Sauerstoffzufuhrmessungen hatten eine viel zu kleine Sauerstoffzufuhr erbracht. In Tabelle 2 sind die Anlagenparameter und die Messergebnisse zusammengestellt.

**Tabelle 2:** Anlagenparameter und Messwerte

	Auslegung	vor Umbau	nach Umbau
Belüfteranzahl	210	210	433
Luftvolumenstrom [ $m_N^3/h$ ]	1160	1160	1160
Luftbeaufschlagung [ $m_N^3/m^2/h$ ]	138	138	67
Luftbeaufschlagung [ $m_N^3/Stk/h$ ]	5,5	5,5	2,7
Belegte Bodenfläche [ $m^2$ ]	60	60	144
Leerrohrgeschwindigkeit [ $m_N^3/m^2/h = m/h$ ]	19,3	19,3	8,1
Sauerstoffzufuhr [ $kg/h$ ]	105	78	118

Der optische Eindruck der Strömung war sehr schlecht, es traten extreme Rückströmungen auf. Ein Sanierungsversuch mit diversen Maßnahmen brachte nicht den gewünschten Erfolg. In einem zweiten Schritt wurden zusätzliche Belüfterelemente in eine Umlenkung eingebaut.

Der Erfolg der Maßnahme war schon anhand der Strömungsbildung nach dem Umbau sehr eindrucksvoll. Die Rückströmung war vollkommen verschwunden und es zeigte sich ein Blasenauftstieg wie aus dem Lehrbuch. Die Sauerstoffzufuhrmessung hat deutlich gesteigerte Werte ergeben. Die Abbildung 3 zeigt links die Einbausituation im Original und rechts nach dem Einbau zusätzlicher Belüfterelemente.



**Abbildung 3:** Belüfteranordnung und Strömungsbildung

#### 4.4 Regelung (Anpassung der Sauerstoffzufuhr an den Sauerstoffverbrauch)

Die Sauerstoffzufuhr von Stabwalzenbelüftern hängt in erster Linie von der Anzahl der im Betrieb befindlichen Aggregate ab und kann zusätzlich durch die Veränderung der Drehzahl und der Eintauchtiefe angepasst werden.

Die Sauerstoffzufuhr der Kreisel kann über die Eintauchtiefe und über die Drehzahl verändert werden. Die Eintauchtiefe geht je nach Kreiseltype mehr oder weniger in die Veränderung der Sauerstoffzufuhr ein. Von großer Bedeutung ist die starke Abhängigkeit der Sauerstoffzufuhr vom Durchmesser und von der Umfangsgeschwindigkeit. Für viele Kreisel gilt, dass bei einer Halbierung der Drehzahl die Sauerstoffzufuhr auf ein Achtel reduziert wird.

Bei Druckbelüftungssystemen erfolgt die Anpassung der Sauerstoffzufuhr an den Sauerstoffverbrauch durch die Veränderung des Luftvolumenstromes. Der Luftvolumenstrom kann durch die Anzahl der in Betrieb befindlichen Gebläse und/oder Drehzahlverstellung bei Drehkolbengebläsen erfolgen. Bei Turboverdichtern erfolgt die Volumenstromänderung durch eine kombinierte Leitschaufel- Diffusor-Regelung.

Je größer die Anlage ist, umso weniger und größere Maschinen sind vorhanden und desto aufwändiger gestaltet sich die Bereitstellung des erforderlichen Luftvolumenstromes und die Aufteilung der Luft auf mehrere Becken bzw. Beckenbereiche (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Luftverteilung Hauptkläranlage Wien Belebungsstufe 2

#### **4.5 pH Wert (Sauerstoffausnutzung bei Druckbelüftungssystemen)**

Durch biologische Vorgänge wird im Belebungsbecken Kohlendioxid gebildet. Der Anteil der Kohlendioxidkonzentration im Belebtschlamm-Abwassergemisch ist vom Luftdurchsatz abhängig. Je höher die Sauerstoffausnutzung ist, desto weniger Luft muss für die gleiche Sauerstoffzufuhr eingeblasen werden. Je geringer der Luftvolumenstrom ist, desto höher muss der Partialdruck des  $\text{CO}_2$  in der Abluft sein um eine gleich bleibende Menge  $\text{CO}_2$  abzuführen. Nach dem Henry'schen Verteilungsgesetz steigt daher auch die zugehörige Konzentration des  $\text{CO}_2$  im Abwasser-Belebtschlammgemisch, wodurch der pH-Wert, vor allem bei schlecht gepufferten Wässern, absinken kann.

Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je höher die Sauerstoffausnutzung und je größer die Einblastiefe von Druckluftbelüftungssystemen ist [13].

Bei Oberflächenbelüftungssystemen ist in der Regel die Sauerstoffausnutzung gering, außerdem ist die Beckentiefe gering, so dass hier der Einfluss auf den pH-Wert am geringsten ist.

#### **4.6 Wirtschaftlichkeit**

Da die Sauerstoffzufuhr einen wesentlichen Anteil des Energieverbrauchs einer Kläranlage ausmacht, ist die Energieeffizienz eines Belüftungssystems sicher ein sehr wichtiges Kriterium, allerdings wird es vielfach überbewertet. Hier werden punktuelle Werte - in der Regel bei maximaler Belastung unter Reinwasserbedingungen verglichen. Dabei schneiden Druckbelüftungssysteme deutlich besser ab. Im praktischen Betrieb tritt dieser Maximal-Lastfall sehr selten auf, entscheidend ist hier die Energieeffizienz im Teillastbereich und im Belebtschlamm-Abwassergemisch.

#### **4.6.1 Theoretische Überlegungen zum Energieverbrauch**

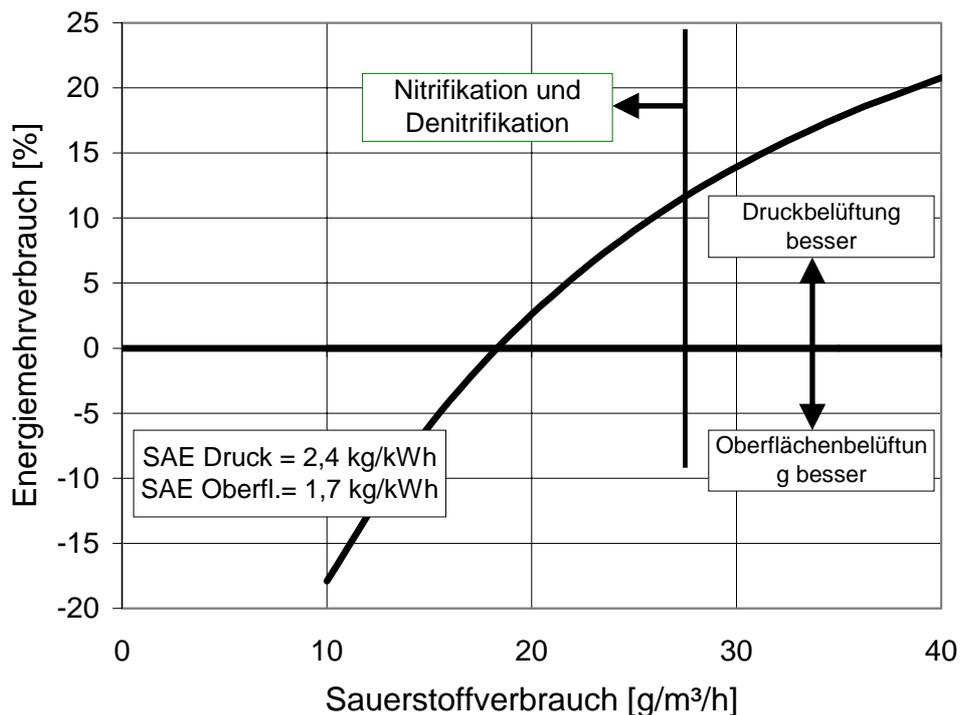
In die Energiekosten ist jedenfalls der gesamte Energieaufwand für die Biologie einzurechnen. Die in Umlaufbecken mit Druckbelüftung vorhandenen Rührwerke laufen in der Regel durch. Um auch während der Belüftungsphasen eine Umlaufströmung aufrecht zu erhalten, muss die installierte Leistung relativ hoch sein. Wenn die Anforderungen an die Stickstoffentfernung hoch sind, müssen in der Regel auch in Umlaufbecken mit Stabwalzen Rührwerke eingebaut werden. Da diese aber nur ohne zusätzliche Luftbeaufschlagung die Strömung aufrecht zu erhalten haben, kann deren spezifische Leistung geringer angesetzt werden.

Es wird im Folgenden eine theoretische Betrachtung des Energieaufwandes für das Belebungsbecken durchgeführt. Als veränderliche Parameter sind der Sauerstoffverbrauch und die SAE-Werte der Druck- und Oberflächenbelüftungssysteme enthalten. An Annahmen wurden getroffen:

- spezifische Rührwerksleistung für Druckbelüftung 2,5 W/m<sup>3</sup> und 1,5 W/m<sup>3</sup> für Oberflächenbelüftung.
- Sauerstofftrag in belebtem Schlamm Druckbelüftungssystem 2,4 kg/kWh; konstant über den Regelbereich
- Sauerstofftrag in belebtem Schlamm Oberflächenbelüftungssystem 1,7 kg/kWh; konstant über den Regelbereich
- Sauerstoffgehalt in der Biologie 1,5 mg/l
- Intermittierende Betriebsweise. Bei kleinen Atmungen wurden 40% Nitrifikation und 60 % Denitrifikation als Belüftungszeit angesetzt. Bei hohen Atmungen wurde das Verhältnis umgekehrt. Bei Druckbelüftung laufen die Rührwerke durch und bei Oberflächenbelüftern werden sie während der Belüftungsphase abgestellt.

In der Abbildung 5 ist der Energiemehrverbrauch eines Oberflächenbelüftungssystems gegenüber einem Druckbelüftungssystem in Abhängigkeit vom Sauerstoffverbrauch aufgetragen. Die Sauerstoffträge beziehen sich auf belebten Schlamm. Durch den dauernden Betrieb der Rührwerke ist die erforderliche Leistung für die Mischung bei kleinen Atmungen im Verhältnis zur Belüfterleistung deutlich erhöht. Der geringere Sauerstofftrag der Oberflächenbelüftungssysteme wird dadurch kompensiert. Je größer die Differenz der Sauerstoffträge zwischen den Systemen ist desto größer wird der Energiemehrverbrauch.

Bei Anlagen mit Nitrifikation - Denitrifikation liegt der Sauerstoffverbrauch unter 25 – 30 g/m<sup>3</sup>/h. Die Kurven in Abbildung 5 zeigen, dass mit Druckbelüftungssystemen nicht in jedem Fall ein geringerer Energiebedarf für den Betrieb der Biologie erreicht wird. So liegt der rechnerische Vorteil, unter mittleren Verhältnissen, bei ca. 10%. Bei sehr niedrig belasteten Anlagen (z.B. gleichzeitige aerobe Schlammstabilisierung) ergeben sich, unter den getroffenen Annahmen, sogar Vorteile für die Oberflächenbelüftungssysteme.



**Abbildung 5:** Energiemehrverbrauch – Sauerstoffverbrauch

#### 4.6.2 Umbau von Belüftungssystemen

##### Fallbeispiel A

Im Zuge der Anpassung an den Stand der Technik wurde die Anlage A (290.000 EW) um eine Hochlaststufe erweitert und in einem der beiden Umlaufbecken die Belüftung umgebaut.

Die nunmehrige Schwachlaststufe besteht aus zwei Umlaufbecken mit folgenden Hauptabmessungen:

Beckenlänge:	160,0 m	Beckenbreite:	16,6 m
Wassertiefe:	3,0m	Volumen:	7.500 m <sup>3</sup>

Der Industrieabwasseranteil beträgt mehr als 60 %. Im Normalbetrieb wird bis zu 30% des Abwassers an der ersten Stufe vorbei direkt in die zweite Stufe eingeleitet.

In einem Umlaufbecken waren die Walzenbelüfter der Erstausrüstung in Betrieb. Im zweiten Umlaufbecken wurden die Walzenbelüfter durch eine feinblasige Druckbelüftung (Membran-Plattenbelüfter) ausgetauscht.

Zur Feststellung der Leistungsfähigkeit des neuen Druckbelüftungssystemes wurden Sauerstoffzufuhrmessungen in belebtem Schlamm mit der Abluftmethode durchgeführt. Der Sauerstoffertrag wurde zu 1,7 kg/kWh ermittelt.

Dieses Ergebnis bestätigt die Auswertung der bezogenen elektrischen Leistung der beiden Becken. Diese hatte über einen Zeitraum von mehreren Monaten keinen signifikanten Unterschied im Energieeinsatz ergeben.

### **Fallbeispiel B**

Die Kläranlage B verfügt über ein Belbungsbeckenvolumen von ca. 17.000 m<sup>3</sup>. Die Wassertiefe der Belebungsbecken beträgt 8 m. Im Rahmen der Errichtung wurde für die Belüftung ein Kombinationsgerät mit dem gleichzeitig gemischt und belüftet werden konnte gewählt. Aufgrund einer Veränderung in der Einleitorsituation wurde 2001 begonnen die Anlage von 94.000 EW auf 120.000 EW zu erweitern [14]. Das Belebungsbeckenvolumen blieb unverändert, aber das Belüftungssystem musste ertüchtigt werden. Man entschloss sich für die Umrüstung auf ein feinblasiges Druckbelüftungssystem mit getrennter Umwälzung.

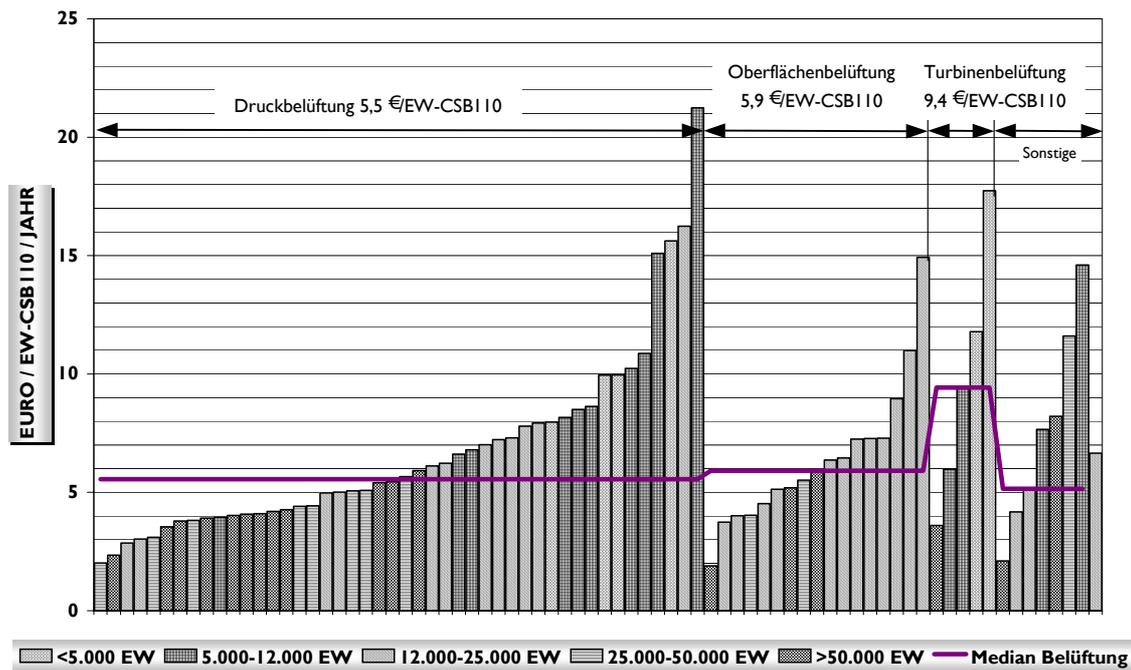
Die Auswertung der Leistungsdaten nach Fertigstellung und in Betriebnahme der neuen Belüftungseinrichtung eine Reduktion des Energiebedarfes von im Mittel 4.700 kWh/d auf 2.100 kWh/d ergeben. Durch die nunmehr höhere CO<sub>2</sub> Konzentration im Belebungsbecken sind Maßnahmen zu pH Stabilisierung erforderlich. Aufgrund der kurzen Betriebszeit liegen noch keine Erfahrung mit dem Betrieb des neuen Belüftungssystems vor.

#### **4.6.3 Benchmarking - Vergleich von Anlagendaten**

In Österreich wurde 2000-2001 ein Forschungsprojekt "Erfassung und Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft – Benchmarking SWW" durchgeführt [15], [16]. Es war der Versuch, Leistungs- und Effizienzunterschiede zwischen einzelnen Kläranlagen transparent zu machen. Es haben daran 88 Abwasserreinigungsanlagen verteilt über ganz Österreich teilgenommen. Davon waren 46 mit Druckbelüftungssystemen und 17 mit Oberflächenbelüftungssystemen ausgerüstet. Auf den restlichen Anlagen sind Misch- bzw. Sonderbauformen von Belüftungssystemen installiert. Die Anlagen wurden in fünf Größenklassen eingeteilt und die Gesamtkosten vier Prozessen zugewiesen. Der festgelegte Prozess 2 wird im Wesentlichen von der biologischen Reinigungsstufe und damit von den Kosten des Belüftungssystems dominiert. Der gesamte Bericht steht im Internet als Download unter [www.Lebensministerium.at/Publikationen](http://www.Lebensministerium.at/Publikationen) zur Verfügung.

Von den Autoren der Studie wurde auch eine Auswertung des Energieverbrauches und der Betriebskosten des „Prozesses 2 – biologische Reinigung“ durchgeführt. Unterschieden wurden die Anlagen nach ihrer Größenklasse und dem eingesetzten Belüftungssystem.

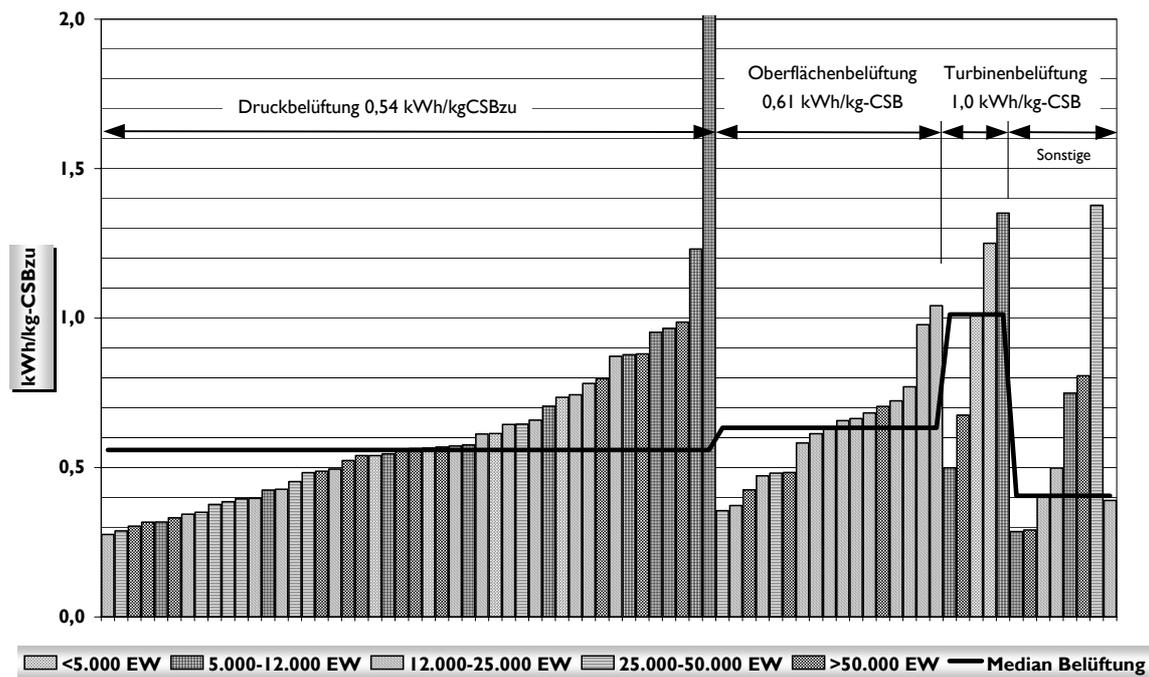
Für die Beurteilung der Kosten der Sauerstoffzufuhr sind die Betriebskosten des Prozesses 2 maßgebend. In Abbildung 6 wurden die spezifischen Betriebskosten des Prozesses 2 nach dem Belüftungssystem gruppiert.



**Abbildung 6:** spezifische Betriebskosten „Prozess 2 - Biologische Reinigung“ gruppiert nach dem Belüftungssystem [15]

Der Median der spezifischen Betriebskosten des Prozesses 2 der 46 Anlagen mit Druckbelüftungssystemen beträgt 5,5 €/EW-CSB110/Jahr. Die mittleren Betriebskosten der 17 Anlagen mit Oberflächenbelüftern betragen 5,9 €/EW-CSB110/Jahr, dh. Anlagen mit Druckbelüftungssystemen weisen im Prozess 2 ca. 7 % geringere Betriebskosten aus als Oberflächenbelüftungssysteme. Im Hinblick auf die Betriebskosten kann demzufolge kein signifikanter Unterschied zwischen Druck- und Oberflächenbelüftern festgestellt werden. Die untersuchten Turbinenbelüfter haben im Mittel wesentlich höhere Kosten als Oberflächen- und Druckbelüfter, aufgrund der geringen Stichprobe kann jedoch keine seriöse allgemeine Aussage bezüglich ihrer Effizienz gemacht werden.

Der Energieverbrauch des Prozesses 2 ist zum überwiegenden Teil durch das Belüftungssystem inklusive der Rührwerke bestimmt. Es wurde daher auch ein Vergleich der Systeme nach dem spezifischen Energieverbrauch durchgeführt. In Abbildung 7 wurden die Anlagen nach Belüftungssystemen gruppiert und nach dem spezifischen Energieverbrauch (bezogen auf die CSB Zulaufkraft in kg/d) gereiht. Es zeigt sich ein ähnliches Ergebnis wie beim Vergleich der Kosten. Der Median der Anlagen mit Druckbelüftungssystemen liegt bei 0,54 kWh/kg-CSBzu und jener von Oberflächenbelüftungssystemen bei 0,61 kWh/kg-CSBzu. Der spezifische Energieverbrauch des Prozesses 2 von Anlagen mit Druckbelüftungssystemen ist um ca. 11 % geringer als jener von Anlagen mit Oberflächenbelüftungssystemen. Auch hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Druck- und Oberflächenbelüftern festgestellt werden. Blickt man zurück auf die Ergebnisse der theoretischen Betrachtungen zum Energieverbrauch in Punkt 4.6.1 so ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit den dort ermittelten 5 - 10 % Energieverbrauch der Oberflächenbelüftungssysteme.



**Abbildung 7:** spezifischer Energieverbrauch „Prozess 2 - Biologische Reinigung“ gruppiert nach dem Belüftungssystem [15]

Obige Resultate bestätigen die Tatsache, dass der Sauerstofftrag ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl des Belüftungssystems ist, aber sein Einfluss auf die Gesamtkosten zu hoch bewertet wird. Die Aussage von v. d. EMDE [17] hat nach wie vor Gültigkeit.

„Ein echter **Kostenvergleich** verschiedener Belüftungssysteme ist nur über die **Jahreskosten** (Kapitalkosten und Betriebskosten) der gesamten Abwasserreinigungsanlage möglich. Nur die Unterschiedlichen Anschaffungskosten und die Energiekosten der Belüftungssysteme gegenüberzustellen genügt nicht. Vielmehr sind alle Folgekosten bzw. Einsparungen die sich aus der Regelungsmöglichkeit, Wartung, Reparatur, etc. ergeben einzurechnen.“

Den Auswertungen des Benchmarking-Projektes liegen die Daten des Jahres 1999 zugrunde. Bei den Wartungs- und Reparaturkosten ist, zufolge der in letzter Zeit vermehrt aufgetretenen Verstopfungen von Druckbelüftungssystemen, eine große Unsicherheit entstanden. Die daraus resultierenden Folgekosten werden die Medianwerte der Anlagen mit Druck- und Oberflächenbelüftungssysteme noch weiter zusammenrücken lassen.

## LITERATUR

- [1] FREY W.: Ein Beitrag zur Charakterisierung von Belüftungssystemen für die biologische Abwasserreinigung nach dem Belebungsverfahren mit Sauerstoffzufuhrmessungen, Wiener Mitteilungen Bd. 134 (1996)
- [2] FREY W. (1998): Planung und Gestaltung von Belüftungssystemen; Wiener Mitteilungen Band 145; 1998

- [3] FREY W.: Fragebogen Belüftungssysteme - Ergebnisse der Umfrage Frühjahr 2003, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen, KAN Folge 11, 2003
- [4] ZLOKARNIK M. (1980): Eignung und Leistungsfähigkeit von Oberflächenbelüftern für biologische Abwasserreinigungsanlagen, Korresp.Abwasser 27, Seite 14 – 21
- [5] FREY W.: Belüftungssysteme; Wiener Mitteilungen Band 81; 1990
- [6] KROISS H.: Perspektiven der Anwendung von Oberflächenbelüftern, WAR Band 54, Darmstadt 1991
- [7] WAGNER M. (2001): Neue Tendenzen bei der Belüftungstechnik; WAR Schriftenreihe Band 134; Seite 1-29
- [8] FREY W.: Druckanstieg bei Belüftungssystemen – Ergebnisse weiterführender Untersuchungen, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen; KAN Folge 13, 2005
- [9] KRAMPE J.: Stand der Belüftungstechnik in Baden-Württemberg, Lehrer und Obmannatagung, Stuttgart-Vaihingen, 29.-30. März 2006
- [13] SCHWAGER A., GUJER W.: pH-Berechnung beim Belebtschlammverfahren und Auswirkungen des pH-Wertes auf die Nitrifikation, VSA-Verbandsbericht Nr.: 348 (1987)
- [11] FREY W.: Betriebsprobleme mit Druckbelüftungssystemen ; Wiener Mitteilungen Band 145; 2003
- [12] HUBER & SUHNER AG: Firmenschrift; Huber & Suhner AG Pfäffikon, Schweiz (2001)
- [10] KROISS H.: (2004): Datengewinnung, -verwaltung und –nutzung in der Wassergütwirtschaft; Wiener Mitteilungen Band 187
- [14] CALLEGARI C., DORNHOFER K., PASSER H.: Kläranlage Fritzens – Innovative Effizienzsteigerungsmaßnahmen; Wiener Mitteilungen Band 195; 2006
- [15] Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft : Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft, Herausgeber Österreichisches Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft 2001, ([www.Lebensministerium.at/publikationen](http://www.Lebensministerium.at/publikationen))
- [16] KROISS H. (Herausgeber): Benchmarking in der Abwasserentsorgung Wiener Mitteilungen Band 176, 2002 (Internet: [Lebensministerium.at/publikationen](http://Lebensministerium.at/publikationen))
- [17] v. d. EMDE W.: Untersuchungen über Energieeinsparungen beim Belebungsverfahren, Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Technische Universität München 1980, 10. Abwassertechnisches Seminar, "Belüftungssysteme und Energiehaushalt bei der Abwasserreinigung", Nr. 28, S 253 – 276.

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey  
Abwassertechnische Ausbildung und Beratung  
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2  
A-2100 Korneuburg  
Telefon : ++43 (0)2262 68 173  
Fax: ++43 (0)2262 66 385  
e-mail: [aab.frey@aon.at](mailto:aab.frey@aon.at)