

# Energieoptimierung und –gewinnung für siedlungswasserwirtschaftliche Anlagen

19. April 2012

## Minimierung des Energiebedarfes für den O<sub>2</sub>-Eintrag in Kläranlagen

Wilhelm Frey

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

Graz, 19. April 2012



## INHALT

- ⇒ Systemauswahl
  - Oberflächenbelüftung
  - Druckbelüftung
- ⇒ Einflussfaktoren
- ⇒ Anordnung von Belüftern
  - Mischbecken
  - Umlaufbecken
- ⇒ Kontrolle und Wartung

## AUSWAHL VON BELÜFTUNGSSYSTEMEN (1)

- ⇒ Gegenseitige Beeinflussung  
Verfahrenskonzept ↔ Belüftungssystem
- ⇒ Grundstücksgröße
- ⇒ Beckentiefe, Beckenform
- ⇒ Abwasserbeschaffenheit (Salze, Tenside,  
Alkalität, inerte Feststoffe, ...)
- ⇒ Schlammigenschaften
- ⇒ Reinigungsziel (Nitrifikation, Denitrifikation)
- ⇒ Regelbarkeit

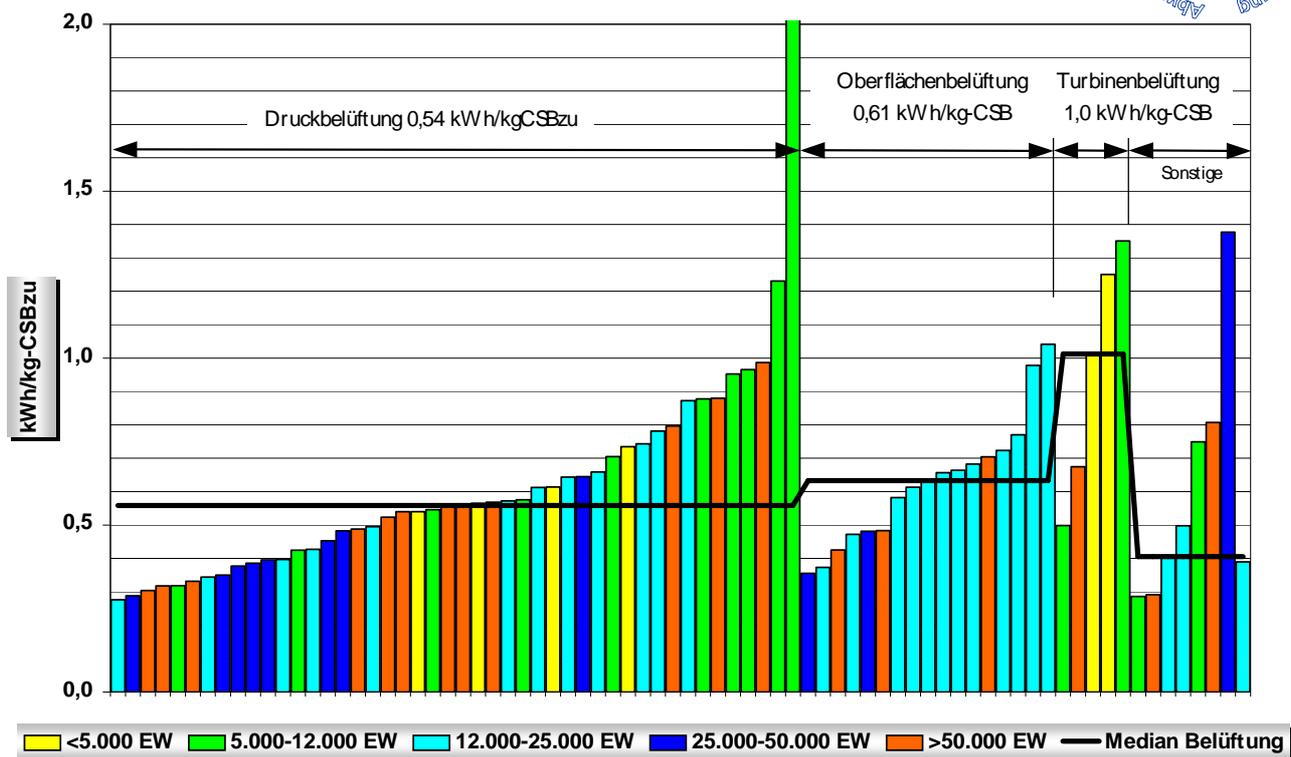
## AUSWAHL VON BELÜFTUNGSSYSTEMEN (2)

- ⇒ Emissionen (Lärm, Aerosole, Geruch)
- ⇒ Betriebssicherheit, Reparaturmöglichkeit
- ⇒ Wartungsaufwand
- ⇒ Verstopfungsprobleme
- ⇒ Anschaffungskosten, Energiekosten,  
Wartungskosten ⇒ **GESAMTKOSTEN!**

# Wirtschaftlichkeitsvergleich von Belüftungssystemen - Datenauswertung

- ⇒ Studie TU Wien - Ziel: Leistungs- und Effizienzunterschiede aufzeigen.
- ⇒ 88 Kläranlagen in 5 Größenklassen
- ⇒ 46 Anlagen mit Druckbelüftung
- ⇒ 17 Anlagen mit Oberflächenbelüftung
- ⇒ Rest gemischte Systeme

## Spezifischer ENERGIEVERBRAUCH



## ERGEBNISSE DATENVERGLEICH

### Druckbelüftung

⇒ Median Energieverbrauch  
0,54 kWh/kg-CSBzu

### Oberflächenbelüftung

⇒ Median Energieverbrauch  
0,61 kWh/kg-CSBzu

Druckbelüftungssysteme weisen um  
ca. 11% geringeren Energiebedarf auf.

## BETRIEB, WARTUNG, REINVESTITION?

## Oberflächenbelüftung ⇔ Druckbelüftung

- ⇒ Kostenvergleiche auf Basis der Sauerstoff-ertragswerte in Reinwasser sind **NICHT** ausreichend!
- ⇒ Jedenfalls sind Betriebs-, Wartungs- und Reparaturkosten (z.B. Membrantausch) einzurechnen!
- ⇒ Leider erst nach einiger Betriebszeit wirklich feststellbar!

## DRÜCKBELÜFTUNG – EINFLUSSGRÖSSEN (1)

- ⇒ Die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten ist von der Temperatur und vom Druck abhängig.
- ⇒ Die Geschwindigkeit mit der sich ein Gleichgewichtszustand einstellt ist von
  - der Größe der Phasengrenzfläche
  - der Turbulenz an der Phasengrenzfläche und
  - der Bestandszeit der Phasengrenzfläche abhängig.

## DRÜCKBELÜFTUNG – EINFLUSSGRÖSSEN (2)

- ⇒ **Größe der Luftblasen**
  - Je kleiner die einzelnen Luftblasen desto größer ist die Gesamtoberfläche.
- ⇒ **Luftmenge**
  - Je größer die Luftmenge, umso mehr Sauerstoff wird eingetragen.
- ⇒ **Einblastiefe**
  - Je größer die Einblastiefe, umso mehr Sauerstoff wird übertragen.
- ⇒ **Abwasserinhaltsstoffe**
  - Diese Reduzieren die Sauerstoffzufuhr in belebtem Schlamm ( $\alpha$ -Wert).
- ⇒ **Strömungsverhältnisse**
  - Durch die Beckenausbildung und Anordnung der Belüfterelemente sollte gewährleistet sein, dass die **Luftblasen möglichst lange im Wasser** bleiben. Über das **Zusammenwirken von Belüftungssystemen und Mischeinrichtungen** liegen wenige Untersuchungen vor.

## ABWASSERINHALTSSTOFFE

Im Abwasser- Belebtschlammgemisch wird gegenüber Reinwasser der Sauerstoffeintrag verändert. Von Einfluss sind sogenannte grenzflächenaktive Stoffe (z.B. Waschmittel) und Salze.

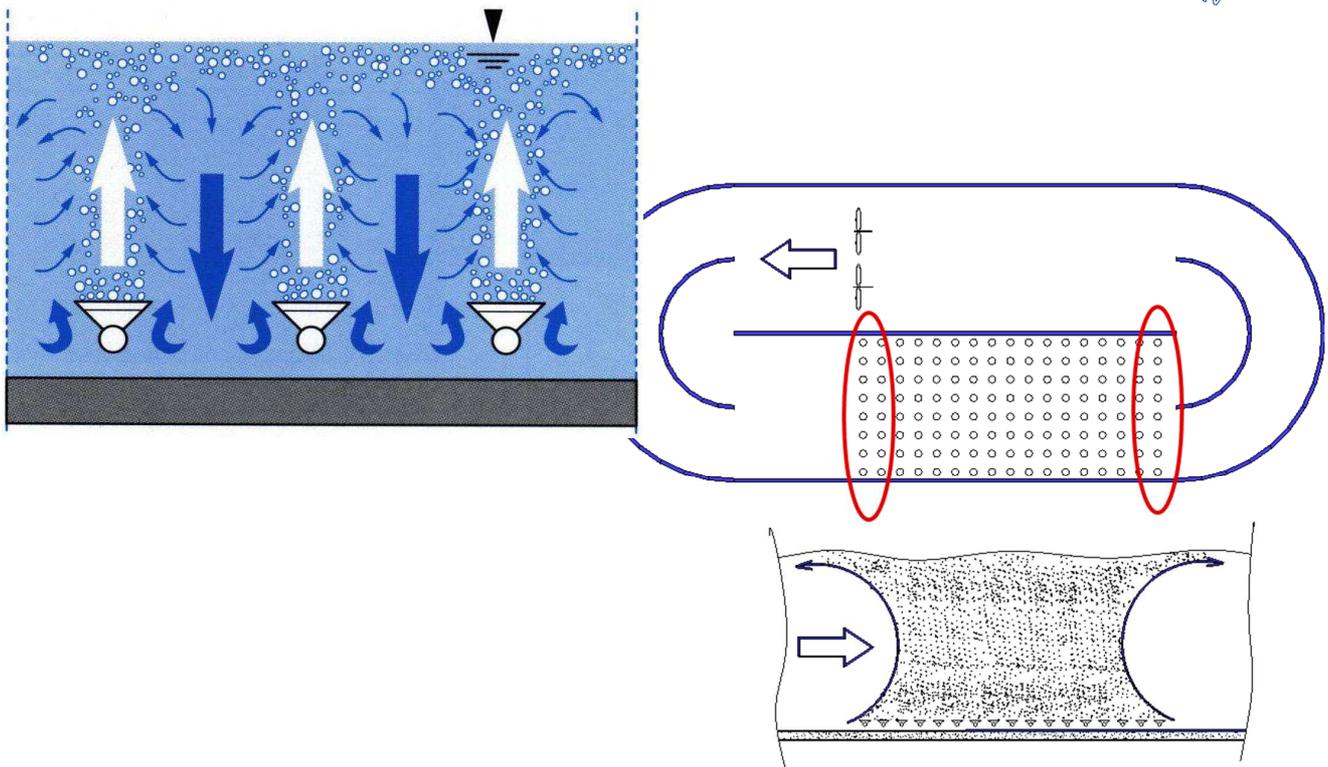
$$\alpha = \frac{\text{Sauerstoffzufuhr Betrieb}}{\text{Sauerstoffzufuhr Reinwasser}}$$

In der Regel werden bei **feinblasiger Belüftung** im **Abwasser nur etwa 60-70% der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser** erreicht, der  $\alpha$ -Wert beträgt also ca. 0,6-0,7.

## STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE (1)

- ⇒ Durch das Auftreten von aufwärts gerichteten Wasserströmungen wird die Aufenthaltszeit der Luftblasen im Wasser verkürzt.
- ⇒ Solche Strömungen treten bei zu großen Abständen zwischen den Belüfterelementen und am Anfang und am Ende eines Belüfterfeldes auf.

## STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE (2)



Graz, 19. April 2012

13/32

## STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE (3)

- ⇒ Da die erforderliche Energie zum Einblasen der Luft nur vom Gegendruck abhängig ist ergibt sich durch die verringerte Sauerstoffzufuhr immer auch eine geringere Wirtschaftlichkeit des Belüftungssystems. Durch die Reduktion der Aufenthaltszeit der Blase im Wasser geht die Sauerstoffzufuhr deutlich zurück.
- ⇒ Je mehr Randwalzen sich ausbilden können und je größer der Bereich in dem die Blasen rascher aufsteigen im Vergleich zum ungestörten Blasenauftiegsbereich ist, umso stärker sinkt die Wirtschaftlichkeit (typischer Wert minus 30 %).

Graz, 19. April 2012

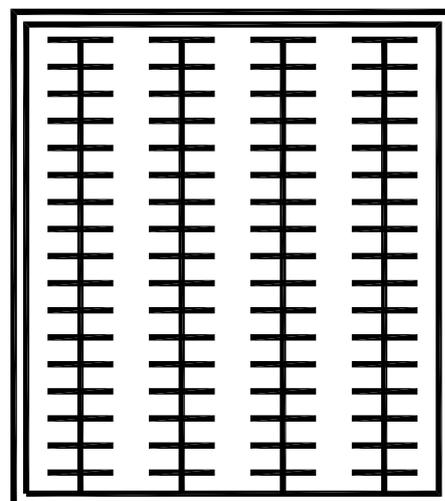
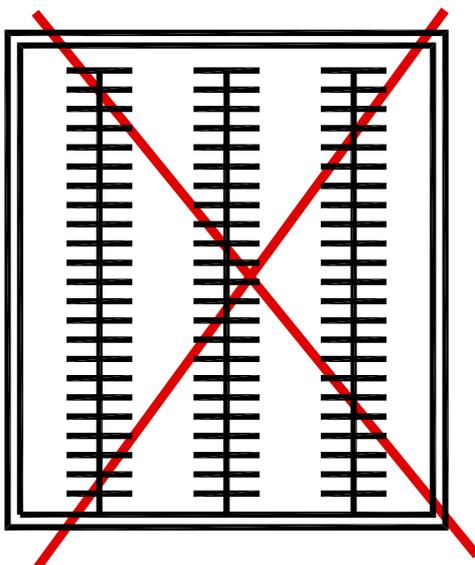
14/32

## URSACHEN für geringe Wirtschaftlichkeit (1)

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

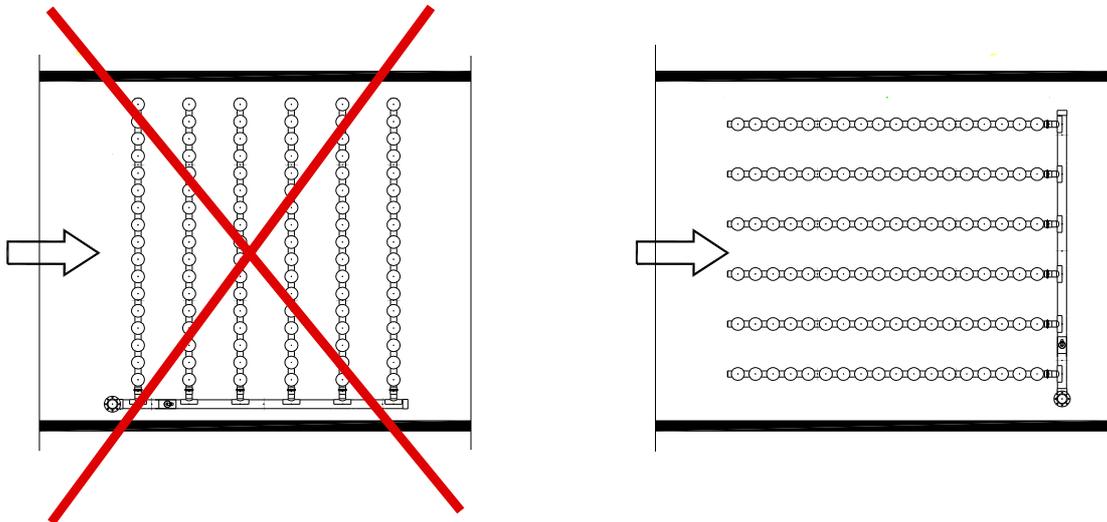
## URSACHEN für geringe Wirtschaftlichkeit (2)

- ⇒ Zu wenig Verteillrohre



## URSACHEN für geringe Wirtschaftlichkeit (3)

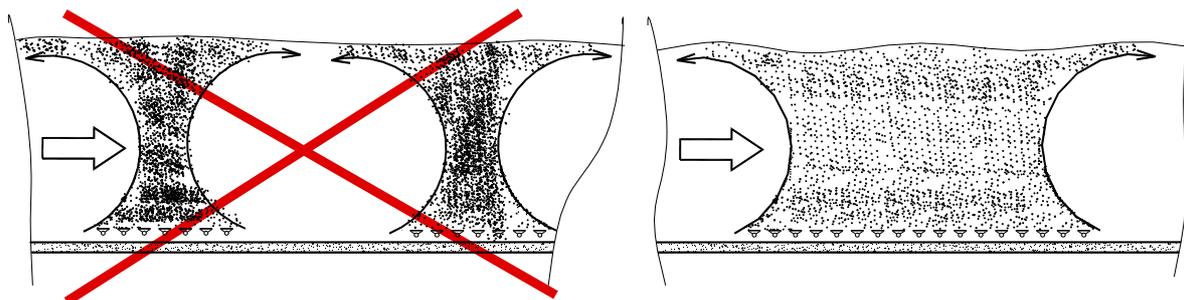
⇒ Quer angeordnete Belüfter in Umlaufbecken



## URSACHEN für geringe Wirtschaftlichkeit (4)

⇒ Kurze Umlaufbecken, kleine Belüfterfelder, viele Randwalzen

- Höhere Blasenauftiegs geschwindigkeit durch Randwalzen
- Geringere Sauerstoffausnutzung



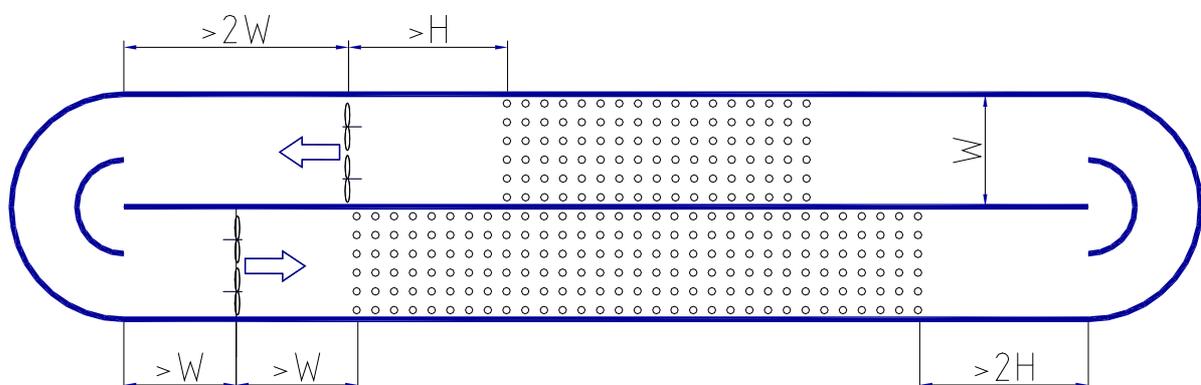
# Übliche (ungünstige) Vorgangsweise beim Einbau von Belüftern und Rührwerken in Umlaufbecken

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

Graz, 19. April 2012

19/32

## Empfehlungen zur Belüfter und Rührwerksanordnung (NUR bei langen Becken!)



H ... Wassertiefe

W ... Gerinnebreite

Quelle: Flygt Mixerposition

Graz, 19. April 2012

20/32

## **KONSEQUENZEN bei ungünstiger Geometrie**

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

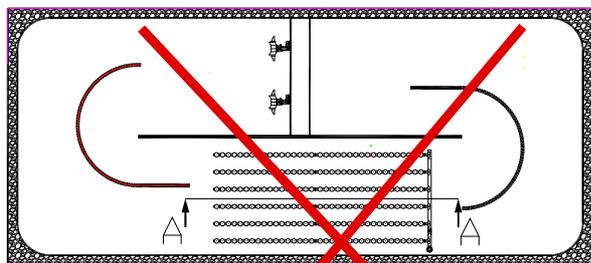
## **Abhilfemaßnahmen**

- ⇒ VERÄNDERN DER AUSRICHTUNG DER  
VERTEILROHRE
- ⇒ REDUKTION DER LUFTBEAUFSCHLAGUNG
  - Mehr Belüfterelemente
- ⇒ GRÖßERE BECKENGRUNDFLÄCHE BELEGEN
  - „Auseinanderziehen“ der Belüfterfelder verringert  
den Randwalzeneinfluss
- ⇒ VERRINGERN DER STRÖMUNGSVERLUSTE
  - Einbau von Belüftern in die Umlenkung

# BEISPIEL Thalgau

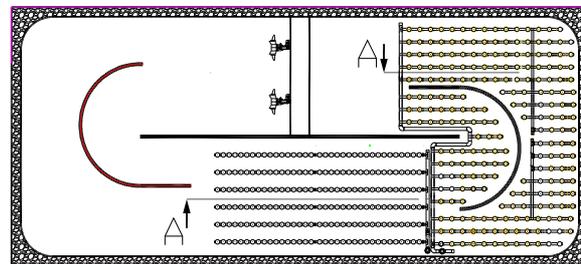
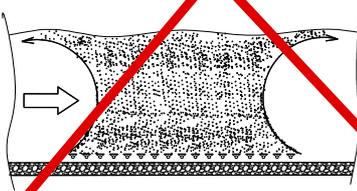
⇒ Extreme Randwalzenbildung

- Trotz großer Rührwerksleistung schlechte Werte



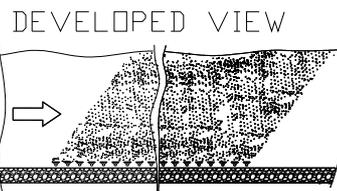
A-A

(4a)



A-A

(4b)



Original: SOTR = 78 kg/h

Umrüstung : SOTR = 118 kg/h

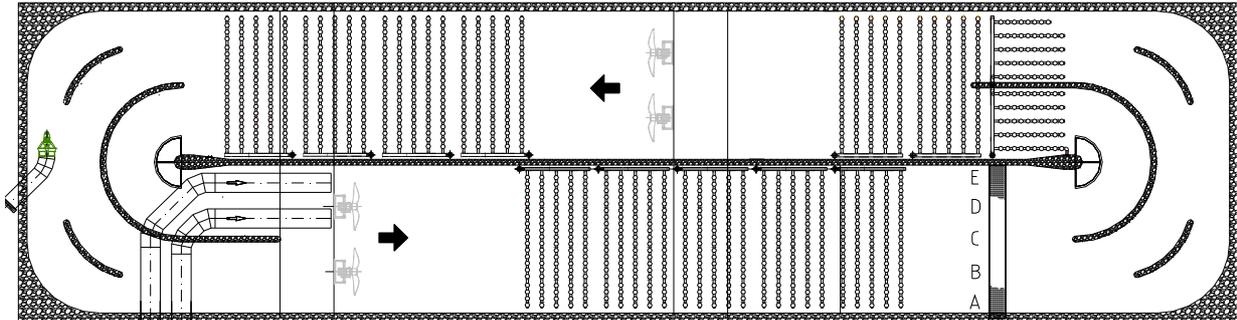
# HAUPTKLÄRANLAGE WIEN



# HAUPTKLÄRANLAGE WIEN

⇒ Testbecken (LxBxT: 64mx16mx5,2m)

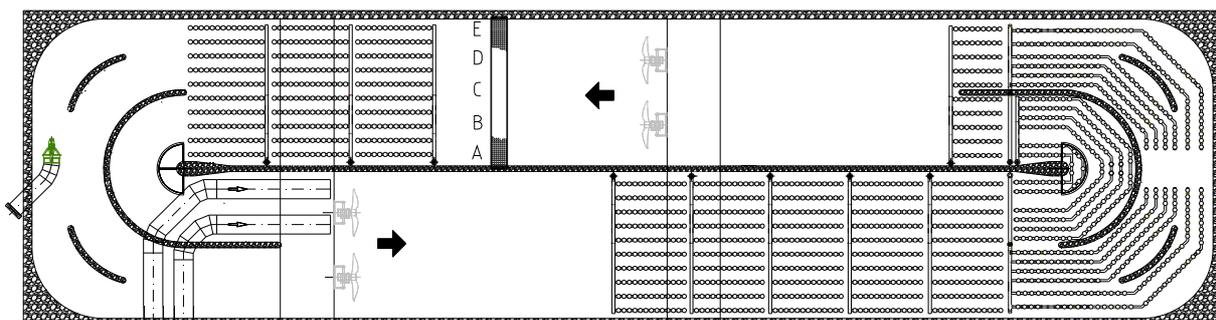
- 1201 Belüfter (Sanitair 9“)
- Quer angeordnete Belüfter
- 3 belüftete Sohlbereiche (6 Randwalzen)



# HAUPTKLÄRANLAGE WIEN

⇒ Optimiertes Becken (LxBxT: 64mx16mx5,2m)

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





**Tellerbelüfter  
auch in der  
Umlenkung!**

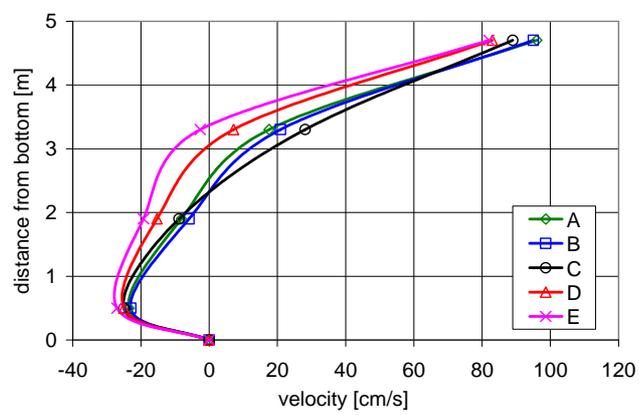
www.aabfrey.com



# UNTERSCHIEDE (1)

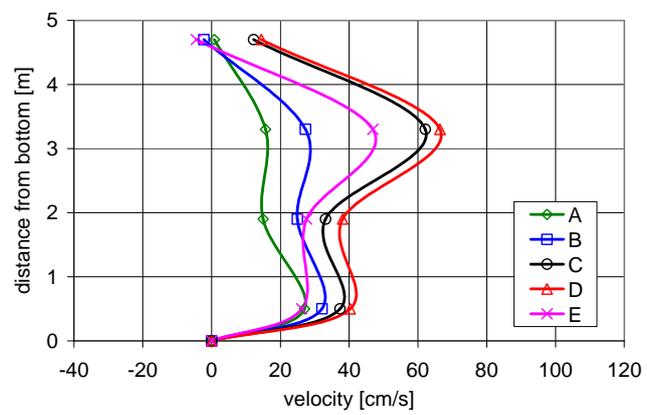
**Testbecken**

⇒ **Strömungsprofil**



**Optimiertes Becken**

⇒ **Strömungsprofil**



## UNTERSCHIEDE (2)

### ⇒ Sauerstoffzufuhr

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

## KONTROLLE UND WARTUNG VON DRUCKBELÜFTUNGSSYSTEMEN

- ⇒ Verstopfungen von Membranporen
  - Optische Untersuchungen
  - Druckmessungen
- ⇒ Materialuntersuchungen
  - Dehnungsmessungen
- ⇒ Wartung der Belüfterelemente
  - Reinigung



**Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!**

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

## Technische Daten der Anlagen

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung  
Dr. FREY

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