

# Konzepte zur Sauerstoffzufuhr

## Gestaltung und Bemessung von Abwasserbehandlungsanlagen

Teil 1: Kommunale Kläranlagen - Grundkonzepte und Abwasserlinie

Wilhelm P. Frey

AAB Frey  
Abwassertechnische  
Ausbildung und Beratung



# INHALT

- **Beckenformen (Mischbecken, Umlaufbecken)**
- **Druckbelüftung**
  - Einflussgrößen (Blasengröße, Aufenthaltszeit, Inhaltsstoffe)
  - Material von Belüfterelementen
    - starrporös, Elastomere
  - Arten von Belüfterelementen
    - Teller, Rohre, Platten
  - Anordnung von Belüfterelementen
    - Randwalzen, Belegung von Umlenkungen
  - Mischeinrichtungen
  - Arten von Gebläsen
- **Oberflächenbelüftung**
  - Kreiselbelüfter
  - Walzenbelüfter



# Beckenformen

- Die **Beckenform** und das **Belüftungssystem** können **nicht unabhängig** betrachtet werden.
- **Druckbelüftungssysteme** können in **Misch-** und **Umlaufbecken** eingebaut werden. Die Beckentiefe ist in weiten Bereichen wählbar (2,5 bis 15 Meter). Typisch sind Beckentiefen von **4 – 6 Meter**. Die Festlegung der Beckentiefe hat großen Einfluss auf die Auswahl des Gebläses.
- **Oberflächenbelüftungssysteme** stellen **spezielle Anforderungen** an die Beckengeometrie.
  - **Walzenbelüfter** werden in **Umlaufbecken** mit runder oder gestreckter Form mit einer Wassertiefe von 2 – 3 Metern eingesetzt. Die Einbaulage ist quer zur Strömungsrichtung.
  - **Kreiselbelüfter** werden in der Regel in **quadratischen Becken** mit einer Wassertiefe von 3 - 4 Metern eingesetzt. Ein Einsatz in Umlaufbecken ist möglich.



# Belüfterelemente – Material - Bauformen

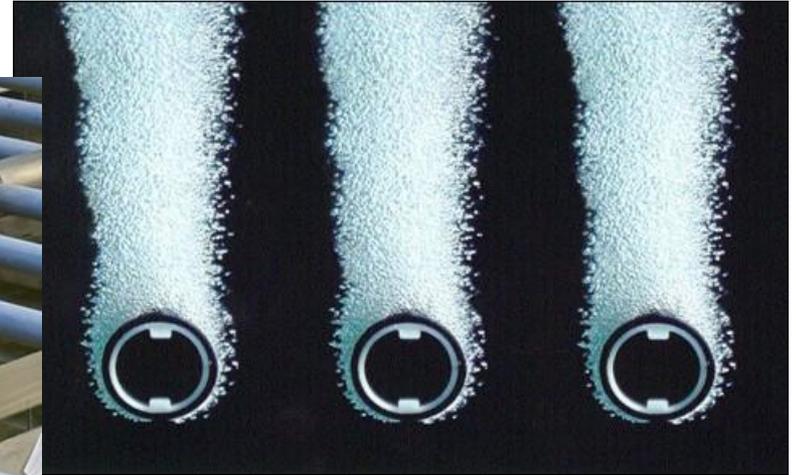
- starrporöse Belüfter
  - gesintertes Kunststoffgranulat
  - verklebte mineralische Körner
  - gebranntes keramisches Material
- Elastomere
  - EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer)
  - Silikon
  - Polyurethan
- Rohrbelüfter
  - $L=500-1000\text{mm}$   $\varnothing$  60-80mm
- Tellerbelüfter
  - $\varnothing$  150 - 500mm
- Plattenbelüfter
  - $B=100 - 1000\text{mm}$   
 $L=500 - 5000\text{mm}$



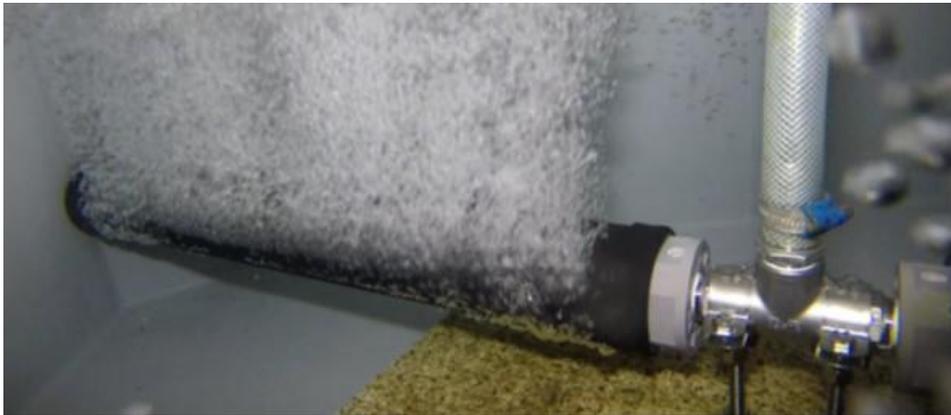
[http://www.ckd-dichtungstechnik.de/images/pdf/prospekt\\_medienbest.pdf](http://www.ckd-dichtungstechnik.de/images/pdf/prospekt_medienbest.pdf)



# Rohrbelüfter



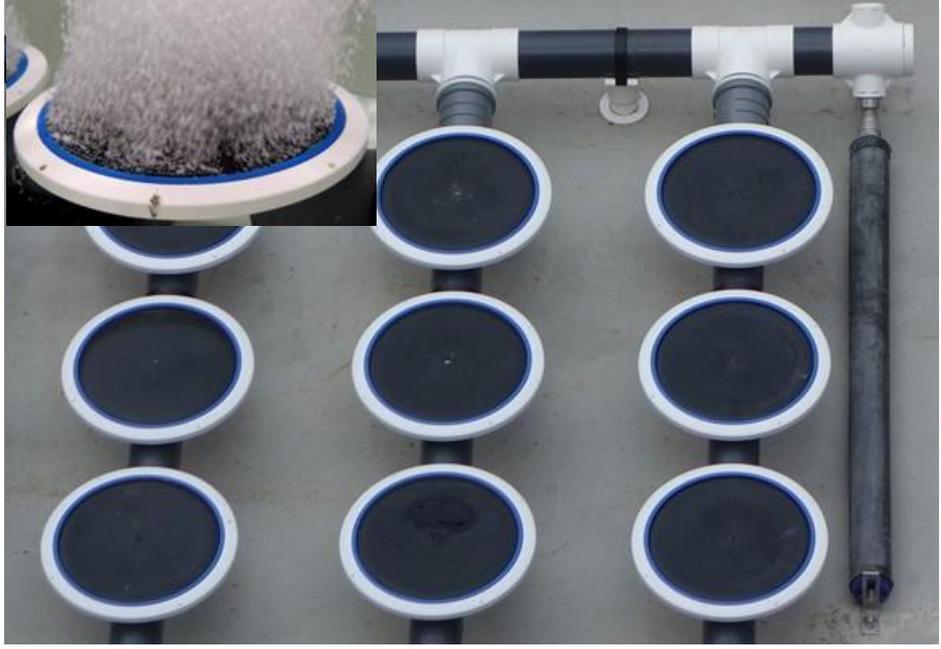
[www.aabfrey.com](http://www.aabfrey.com)



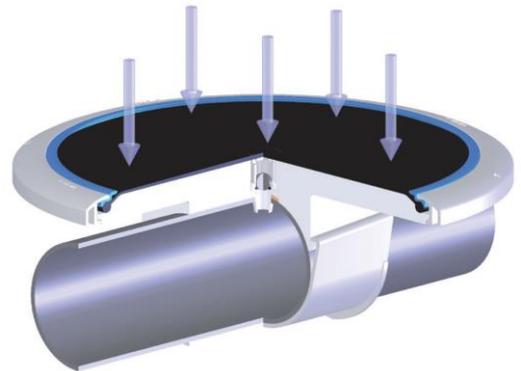
Quelle: Jäger/Jetflex Tube

# Tellerbelüfter

## Mischbecken



## Umlaufbecken



Quelle: Sulzer

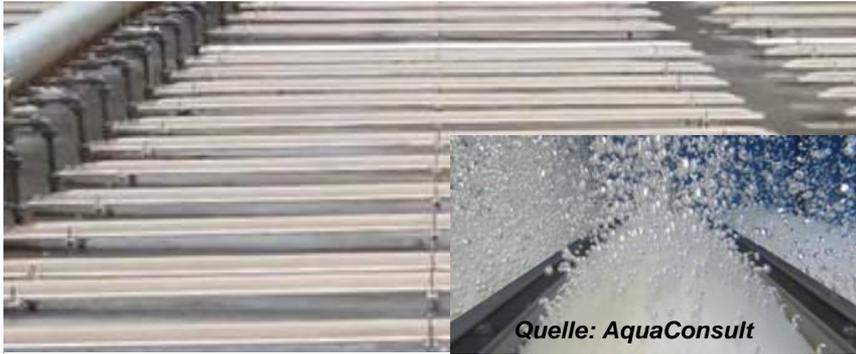


Quelle: xylem

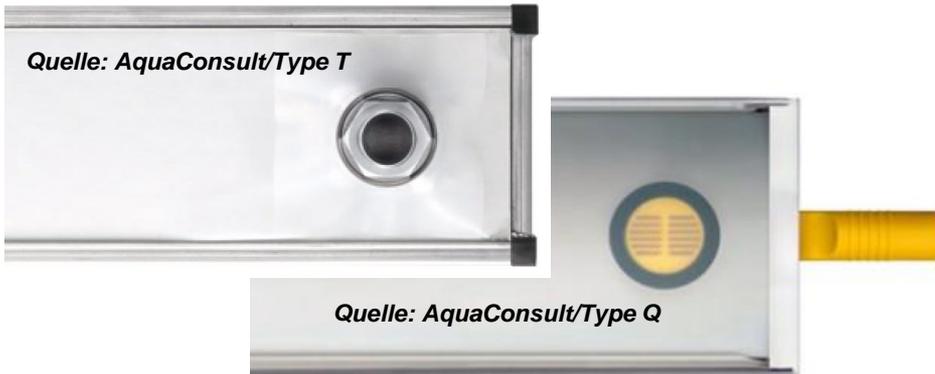
Quelle: Jäger/Jetflex Disc



# Streifenbelüfter / Plattenbelüfter



www.aabfrey.com



Quelle: Supratec/Oxyflex

# Einsatzbereiche der Belüfter (1)

## Starrporöse Belüfterelemente

- **Kunststoffgranulat** wird gesintert und in Form gepresst. Einige Hersteller bieten Scheiben für Tellerbelüfter an.
- **Mineralische Körner** werden mit Kunstharz verklebt und in Form gepresst oder aus Rohlingen mechanisch herausgearbeitet. Sie erzeugen praktisch gleich große Blasen. Es werden hauptsächlich Rohrbelüfter (auch Filterkerzen genannt) verwendet.
- **Grobe Körnung** → große Zwischenräume, große Blasen, geringere Verstopfungsanfälligkeit, geringe Wirtschaftlichkeit
- **Feine Körnung** → kleine Zwischenräume, kleine Blasen, hohe Verstopfungsanfälligkeit, hohe Wirtschaftlichkeit
- **Geringer Druckverlust**, weil die Poren (Zwischenräume) immer offen sind und nicht erst eine Membran gedehnt werden muss (typischer Wert 15 hPa).
- **Nicht geeignet für intermittierenden Betrieb**. Beim Abstellen der Luft sinkt der Druck im Belüfterelement ab und Schlamm kann in die Zwischenräume eindringen. Wird die Luft wieder angestellt, wird nur ein Teil des Schlammes wieder verdrängt → rasches Verstopfen der Belüfter!



# Einsatzbereiche der Belüfter (2)

## Belüfterelemente aus Elastomeren

- **EPDM** (Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer), wird für Teller- und Schlauchbelüfter eingesetzt. Ein großer Vorteil von EPDM ist seine hohe mechanische Festigkeit und chemische Beständigkeit (**nicht beständig gegen Öl**). EPDM ist kein „reiner“ Kunststoff, sondern besteht aus einigen „Zutaten“, je nach Rezeptur und Verarbeitung ergeben sich große Unterschiede in den Gebrauchseigenschaften. Ein Problem ist das Herauslösen von Weichmachern und die dadurch eintretende Verhärtung (**Alterung**). Es werden auch „**weichmacherarme**“ EPDM Membranen angeboten. Der Druckverlust liegt in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung bei ca. 30 hPa.
- **Silikon**, wird mit einer Materialstärke von 1 bis 2 mm hergestellt. Ein großer Nachteil ist die **geringe „Weiterreißfestigkeit“**. Silikon wird häufig an Schlauchbelüftern verbaut, da hier die wenigsten Probleme mit Rissen auftreten. Silikon ist **chemisch sehr beständig** (auch gegen Mineralöl!) und wird daher oft in Industriekläranlagen oder Anlagen mit hohem Industrie- und Gewerbeanteil eingesetzt. Der Druckverlust liegt je nach Bauform und Luftbeaufschlagung bei ca. 30 hPa.
- **Polyurethan**, wird als gelblich/weiße dünne Folie (dünner 1 mm) verwendet. Man findet es häufig an Plattenbelüftern. Es ist sehr reißfest und gegen viele Chemikalien beständig. Das Material ist **nicht UV-stabil** (Achtung bei Montage und Außerbetriebnahmen - Saisonbetrieb!) und hat eine maximale Einsatztemperatur von ca. **30 °C**. Mit feiner Nadelung können mit diesem Material sehr kleine Blasen erzeugt werden. Der Druckverlust ist deutlich höher als bei anderen Materialien (typischer Wert 60 hPa).



# Einsatzbereiche der Belüfter (3)

## Belüfterelemente aus Elastomeren

- Sie sind **geeignet für intermittierenden Betrieb**. Beim Abstellen der Luft zieht sich die Membran zusammen und die Poren werden verschlossen, so dass das Wasser nur sehr langsam eindringen kann.
- Die Grundkörper von Tellern und Rohren sind in der Regel aus Kunststoff und haben eine Drossel (**Durchflussbegrenzer**), diese reduziert den Luftdurchsatz falls die Membran beschädigt wird. Viele Belüfterelemente haben eine **Rückschlagsicherung**, diese verhindert das Eindringen von Wasser wenn das Gebläse nicht läuft.
- Auch **Membranbelüfter** können **verstopfen** (Inspektions- und Wartungsarbeiten sind einzuplanen)
- Die Verrohrung von Tellerbelüftern ist in der Regel mit **Entwässerungsleitungen** ausgeführt. Es muss eine einfache und sichere Bedienung möglich sein!
  - Tritt klares Wasser mit geringer Leitfähigkeit (kleiner  $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) aus → Kondensat → OK. Ist die LF höher (z. B.  $1\ 000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) deutet dies auf Undichtigkeiten im Rohrsystem hin.
  - Kommt kein Wasser und keine Luft aus der Entwässerungsleitung → Verstopfung oder schlechte Rohrführung → Handlungsbedarf. Die Funktion der Entwässerungsleitungen ist bei Neuanlagen sofort zu prüfen!
- Der **Druck im Luftrohrleitungssystem** ist bei der Inbetriebnahme der Anlage zu **messen** und zu notieren. Im Normalbetrieb ist der Druck zumindest im Abstand von 2 bis 3 Monaten zu kontrollieren. Nur so können Verstopfungen der Belüfter erkannt werden.



# Einflussgrößen

- Blasengröße – Sauerstoffausnutzung
  - Größe der Phasengrenzfläche
  - Transport des CO<sub>2</sub>
  - Einfluss Alkalität (pH-Wert - Nitrifikation)
- Aufenthaltszeit
  - Einblastiefe
  - Strömungsgeschwindigkeit (Walzenströmung)
- Abwasserinhaltsstoffe ( $\alpha$  – Wert)
  - Im Abwasser-Belebtschlammgemisch wird gegenüber Reinwasser der Sauerstoffeintrag verändert. Von Einfluss sind sogenannte grenzflächenaktive Stoffe (z. B. Waschmittel) und Salze.

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



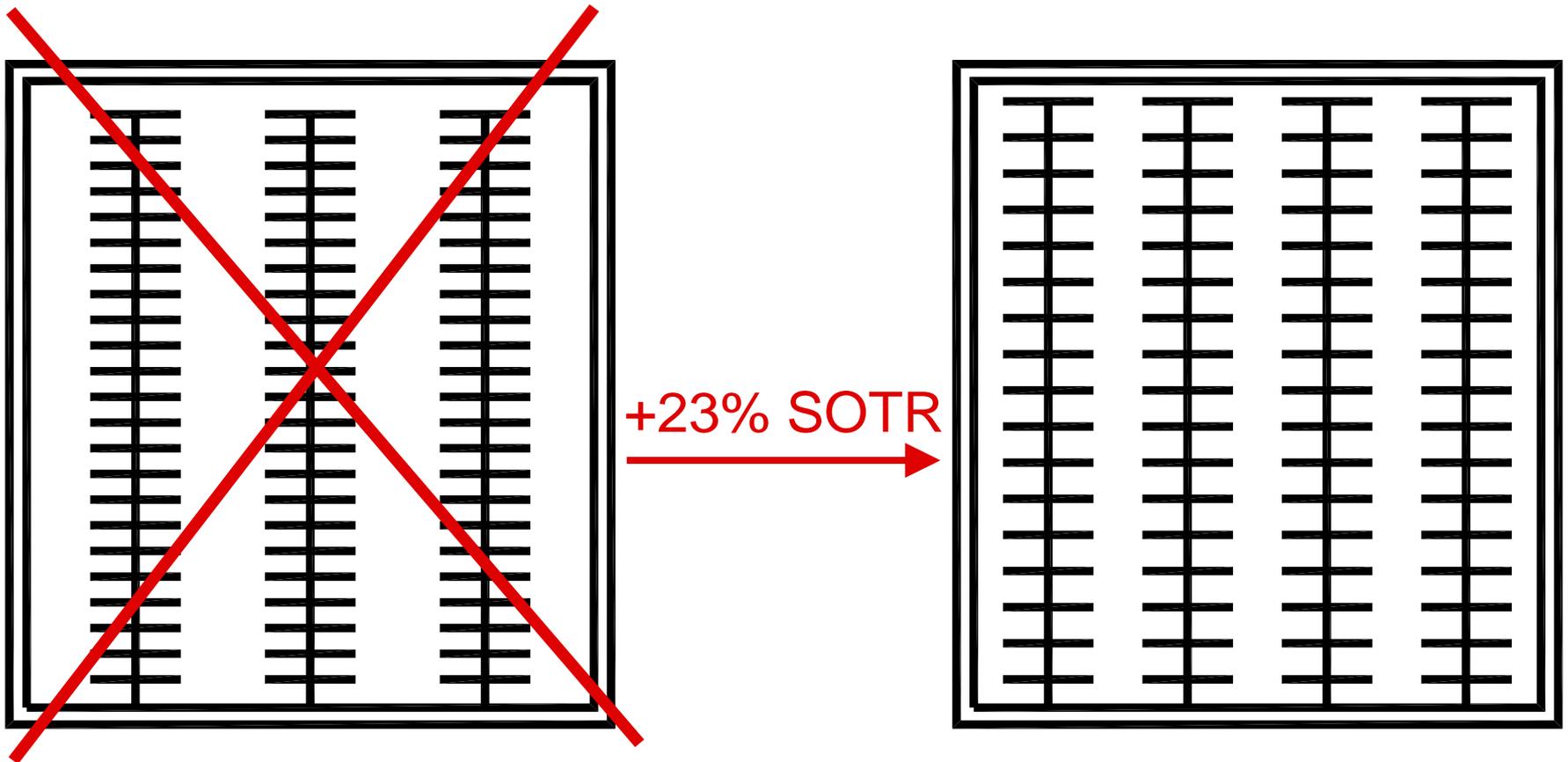
# Anordnung der Belüfterelemente

- Gleichmäßige Verteilung nicht zu große **Abstände** zwischen den Belüfterelementen
  - Anzahl und Ausrichtung der Verteilrohre
  - Rastermaß nicht über 1 m
- **Vouten** an der Beckensohle und der Beckenoberkante begünstigen Walzenströmungen → vermeiden!
- **Zusätzlich bei Umlaufbecken:**
  - Belüfterfelder zusammenfassen um die Anzahl der **Randwalzen** zu verringern
  - Belüfterstränge in **Umlaufrichtung** ausrichten
  - Belüfter auch in die **Umlenkungen** legen



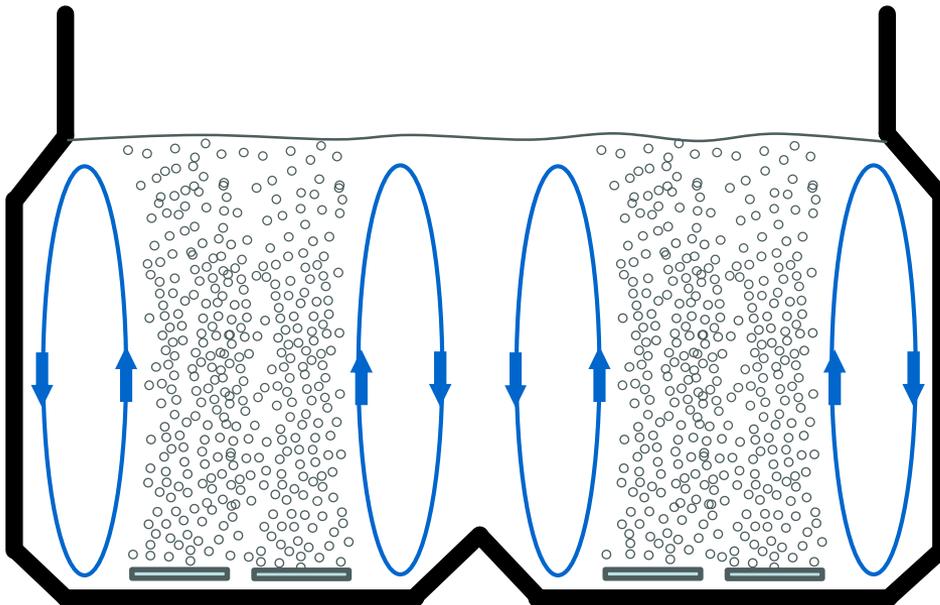
# Anzahl der Verteilrohre

- Belüfteraufteilung an der Sohle (Mischbecken;  $h_e=5,6$  m)

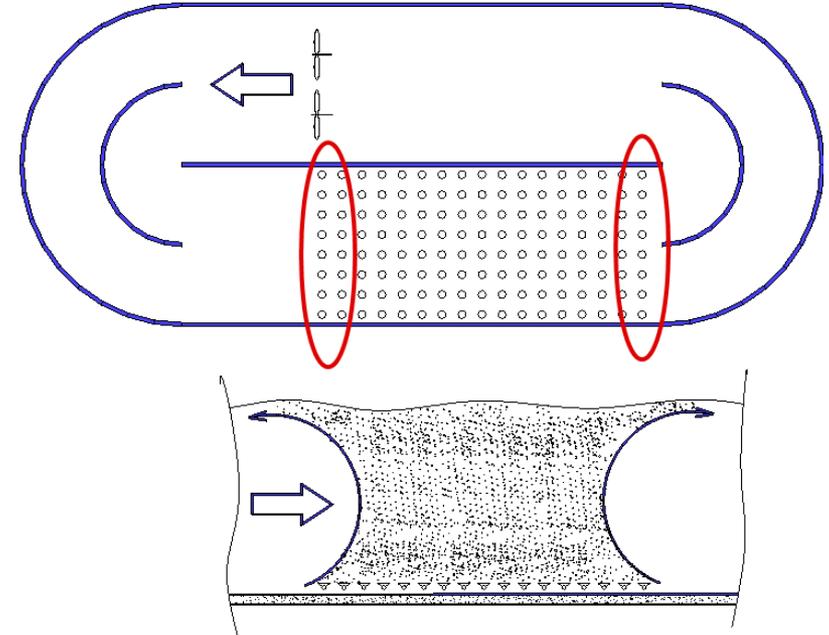
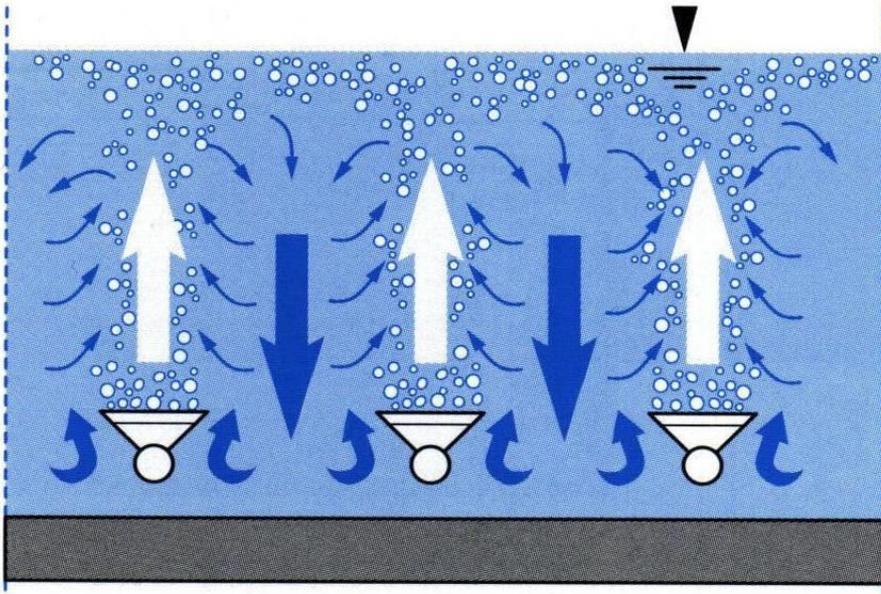


# Strömung durch Vouten

- Durch Abschrägungen wird die Ausbildung von Walzenströmungen unterstützt und die Aufenthaltszeit der Blasen in den Randzonen verkürzt. Die Folge ist eine verringerte Wirtschaftlichkeit.



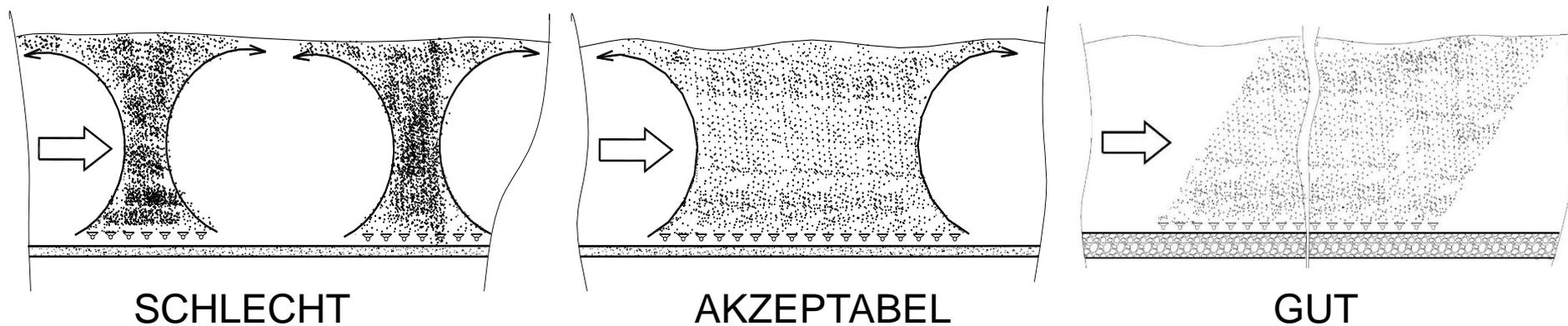
# Randwalzeneinfluss



- Höhere Blasenauftstiegsgeschwindigkeit durch Randwalzen
  - Verkürzung der Aufenthaltszeit der Blasen im Wasser
  - geringere Sauerstoffausnutzung
- Reduktion der Wirtschaftlichkeit um bis zu 30%!

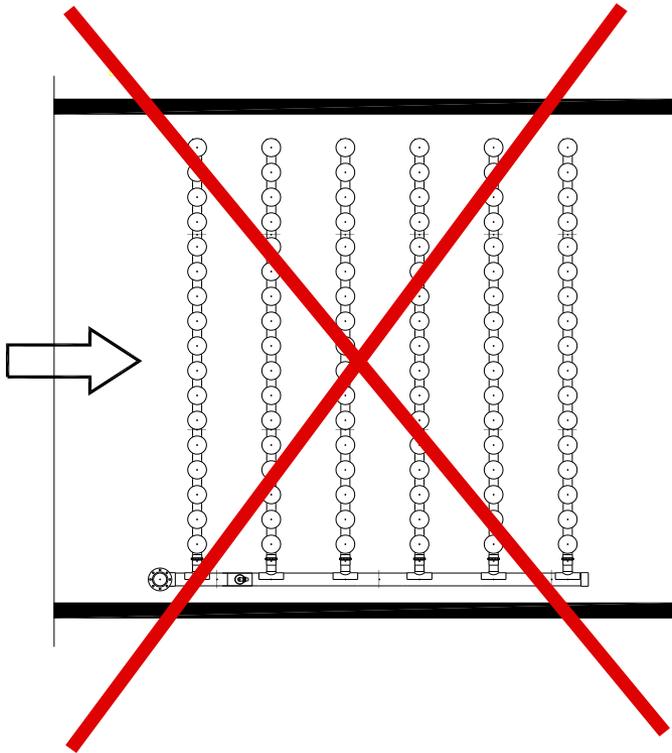
# Anordnung der Belüfterelemente

- Belüfterfelder zusammenlegen
  - Anzahl der Randwalzen verringern
  - Keine Bereiche mit verringerter Aufenthaltszeit
  - Gleichmäßiger Blasenanstieg
  - Höhere Sauerstoffausnutzung

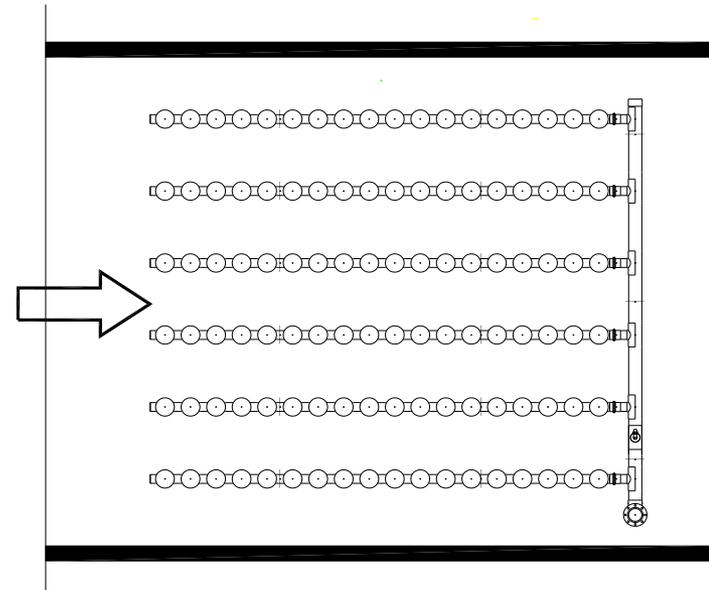


# Ausrichtung der Verteilrohre in Umlaufbecken

schlecht

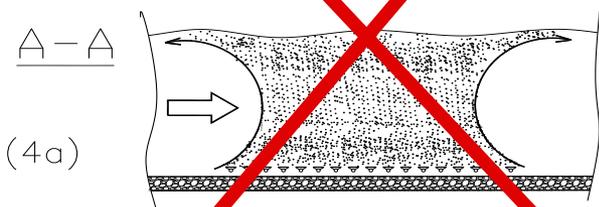
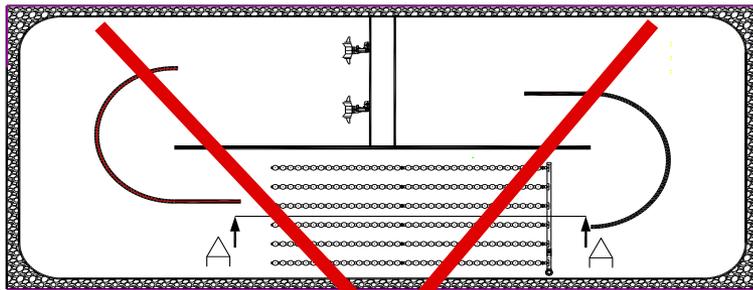


gut

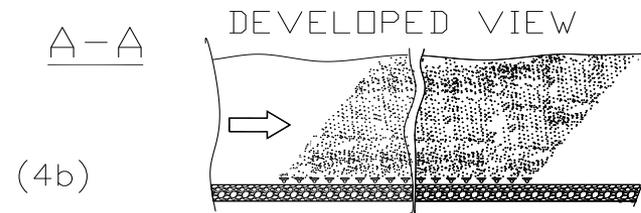
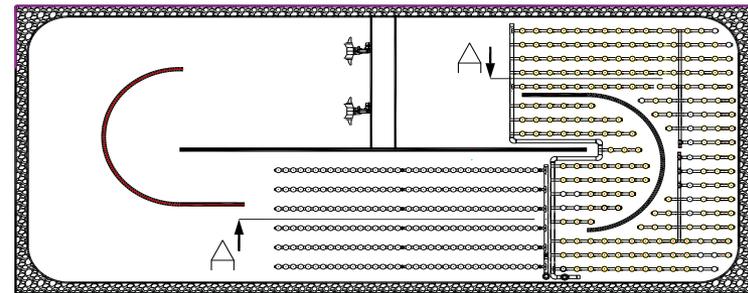


# Belüfter in der Umlenkung

- **Extreme Störung der Randzonen**
  - Trotz großer Rührwerksleistung schlechte Werte



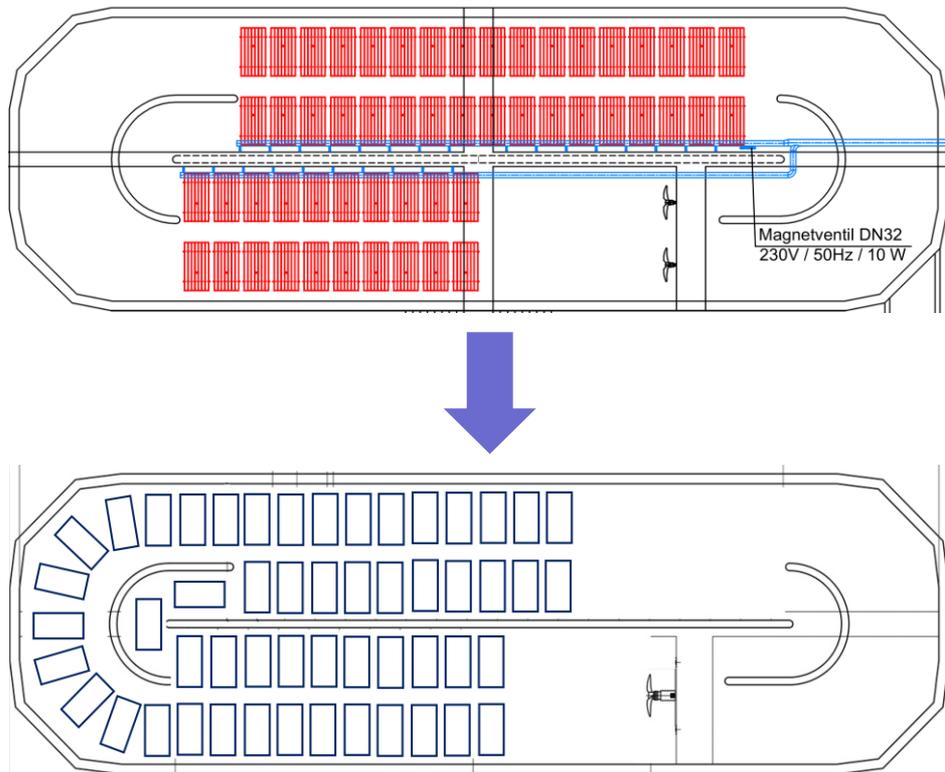
Original: SOTR = 78 kg/h



Umrüstung : SOTR = 118 kg/h

# Belüfter in der Umlenkung

- Der Strömungswiderstand wird **reduziert**.
- Die Sauerstoffzufuhr wird **verbessert**.

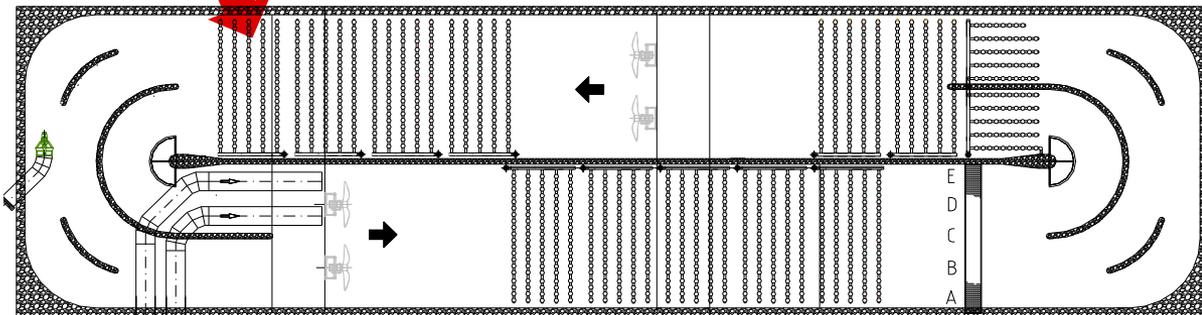


Belüfter auch in der  
Umlenkung!

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



# Beispiel: Belüfter in der Umlenkung

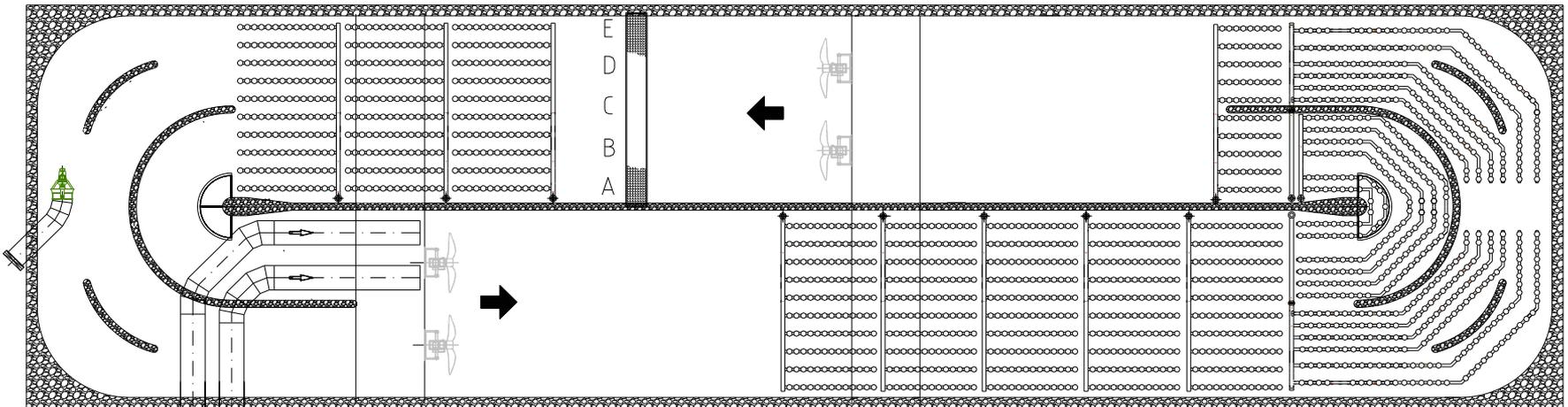


⇒ **Testbecken** (LxBxT: 64mx16mx5,2m)

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

# Beispiel: Belüfter in der Umlenkung

- **Optimiertes Becken** (LxBxT: 64mx16mx5,2m)
  - 1613 Belüfter (Sanitair 9“)
  - Belüfter in Strömungsrichtung ausgerichtet
  - 2 belüftete Sohlbereiche (4 Randwalzen)
  - **Belüfter in einer Umlenkung**



# Optimierungspotential durch andere Belüfteranordnung

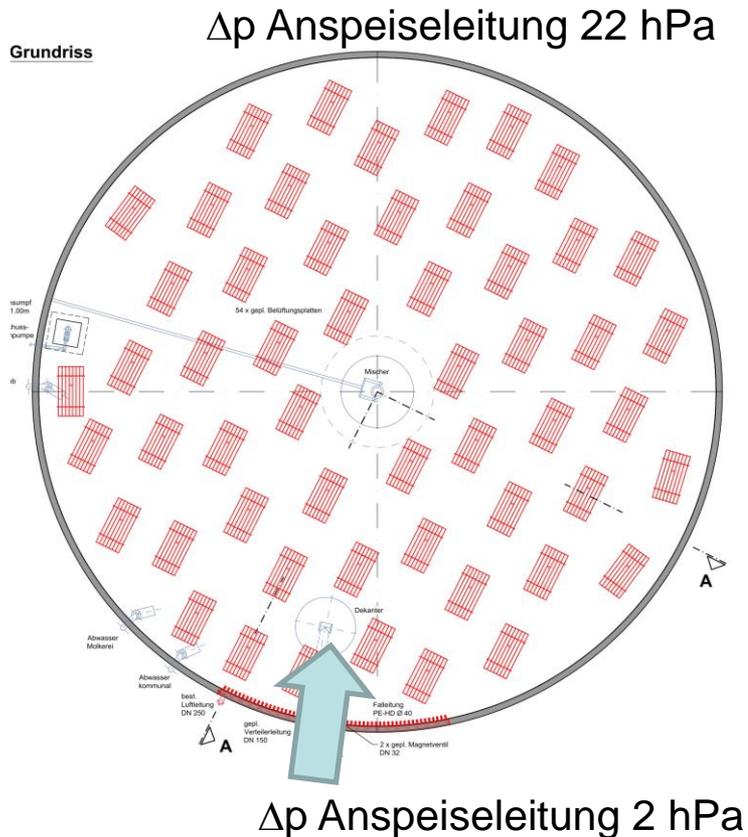
- **Sauerstoffzufuhr**

- 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%**



# Druckverluste Zuleitung - Luftverteilung

- Alle Belüfterelemente sollten gleich abgasen
  - Möglichst gleich lange Falleleitungen
  - Große Verteilleitung mit gleichen Abgängen



# MISCHEINRICHTUNGEN

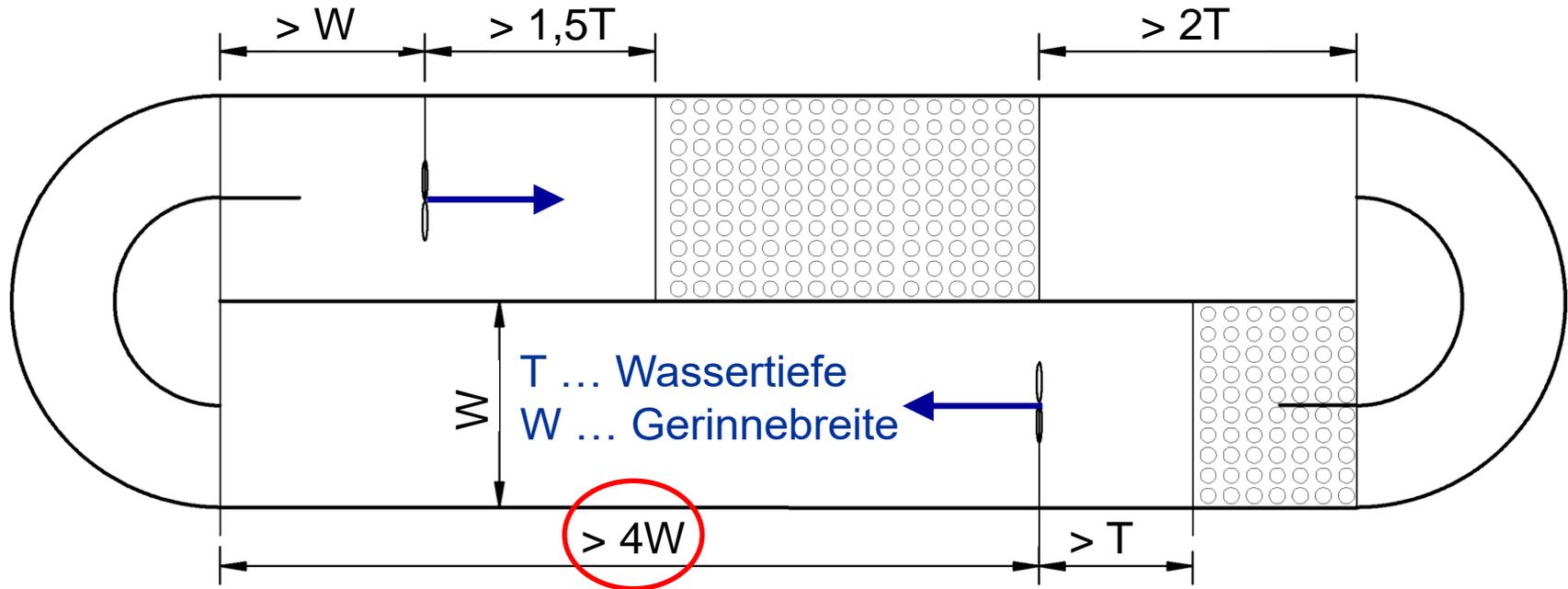
## Rührwerke – Vergleich, Leistung, Auslegung

- **DWA A131**
  - Verfahrenstechnische Hinweise
- **DWA M229** (Teil 1 und Teil 2)
  - „Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen“
- **ISO 21630:2007**
  - Schubmessung, Leistungsmessung
- **VDMA-Einheitsblatt 24656:2010**
  - Hinweise zur Auslegung und Überprüfung der Leistungsfähigkeit



# Rührwerks- und Belüfteranordnung (Fa. Xylem - Flygt)

Quelle: Uby, L.: Handbook of  
Mixing for Wastewater and  
Similar Applications (2012)



- Auch von anderen Herstellern gibt es Empfehlungen für die Positionierung der Rührwerke und Belüfter.
- Wenn die Abstände eingehalten werden verbleibt wenig Platz für die Belüfter → in der Praxis selten angewendet!

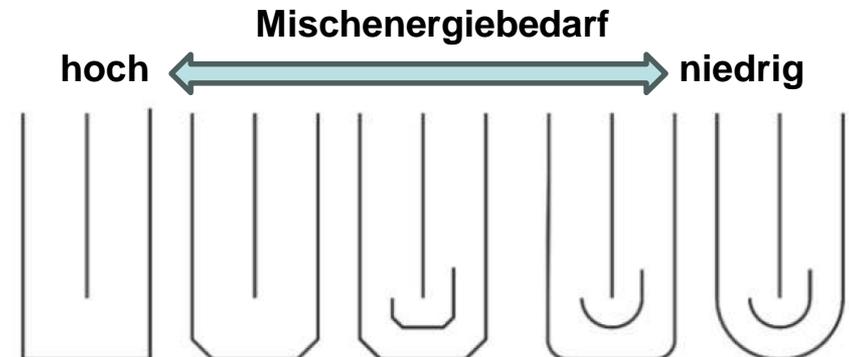
# Energiebedarf von Rührwerken



<https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/18768/1/Fuereder%20Klemens%20-%202021%20-%20Energiebedarf%20von%20Ruehrwerken%20in%20Beleungsanlagen.pdf>

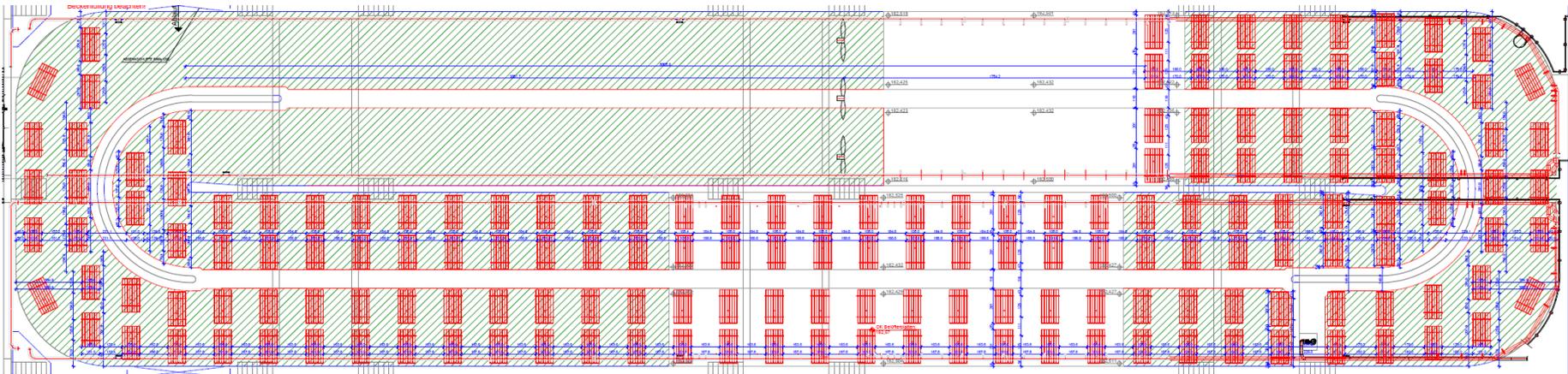
## Untersuchungen an Rührwerken (K. Füreder, 2021)

- Fragebogenaktion und Messungen an Anlagen.  
Energiekennzahlen und erreichbare Minimalwerte
  - Energiebedarf für Anlagen kleiner 5.000  $EW_{120} \rightarrow 6,8$  [kWh/ $EW_{120}$ /a]
  - Energiebedarf für Anlagen größer 30.000  $EW_{120} \rightarrow 1,3$  [kWh/ $EW_{120}$ /a]
  - Bezogen auf das Beckenvolumen wurde für günstige Randbedingungen ein Energiebedarf von  $< 24$  Wh/ $m^3$ /d ( $< 1$  W/ $m^3$ ) gefunden.
- Voraussetzung: Keine Beeinträchtigung des Reinigungsprozesses UND eine Einsparung für Mischen und Sauerstoffzufuhr
- Weniger Rührwerke oft ausreichend
- Umlaufströmung nicht erforderlich
  - **ABER:** Kurzschlussströmungen und Ablagerungen vermeiden.



# Reduktion der Rührwerksleistung

- Umlaufbecken  
Beckenvolumen ca. 14.500 m<sup>3</sup>
- Luftvolumenstrom ca. 5.500 m<sup>3</sup>/h)
- 3 Rührwerke je 4,5 kW
- spez. Leistung kleiner 1 W/m<sup>3</sup>
- Einsparung ca. 320 kWh/d

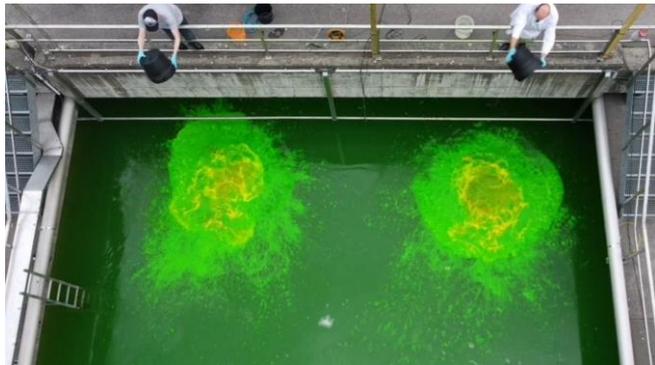
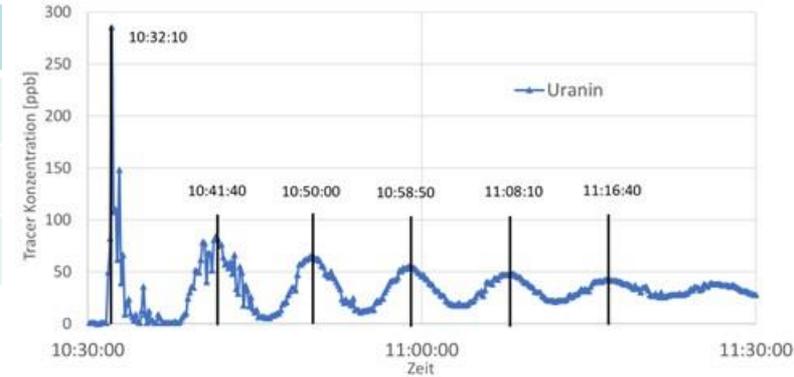


# Reduktion der Rührwerksleistung

- Nachweis der Strömungsgeschwindigkeit mittels Tracermessung



	Strömungsgeschwindigkeit	
	6 Rührwerke	3 Rührwerke
Ohne Luft	0,37 m/s	0,26 m/s
Mit Luft (5.500 m³/h)	0,32 m/s	0,23 m/s



# Drucklifterzeuger - Einteilung

Die Einteilung und Benennung von Drucklifterzeugern erfolgt nach dem Druckverhältnis „Pi“ ( $\Pi$ ).

$$\Pi = \frac{\text{Enddruck}}{\text{Saugdruck}}$$

- Ventilator: typisch  $\Pi = 1,1$  (1,05 bis 1,3)
- **Gebälse:** typisch  $\rightarrow \Pi = 1,6$  (1,3 bis 2)
  - Drehkolbengebläse zwei und dreiflügelig
  - Schraubengebläse mit 3+3 oder 3+4 Profilen
  - Turbogebälse (Strömungsgeläse)
    - konstante Drehzahl, mit Leitapparaten
    - variable Drehzahl, ohne Leitapparate
- Verdichter : typisch  $\rightarrow \Pi = 2$  (1,6 bis 3,5)
  - Schraubenverdichter mit einem 4+6 Profil
- Kompressor :  $\Pi$  größer 3



# Druckluftherzeugung – Hersteller und Aggregate

## Verdrängermaschinen

### Gebläse

ohne innere Verdichtung

### Verdichter

mit innerer Verdichtung

## Strömungsmaschinen

### Turboverdichter

mit Leitapparaten

### Turboverdichter

mit Drehzahlverstellung

Drehkolben-  
gebläse

Hybrid-  
gebläse

Schrauben-  
verdichter

Howden  
(HV-Turbo, KKK)

Sulzer (HST),  
Aerzener

Atlas Copco,  
Piller

Aerzener, Kaeser, Robuschi, Baratti, Becker, Rietschle, ...



G. Seibert-Erling: Auswahl von Druckluftherzeugern und Gestaltung von Verdichterstationen  
6. Infotag IWAR am 20.09.2018 in Darmstadt

# Drucklufterzeuger - Typen

- **Drehkolbengebläse** (mit geraden Kolbenflanken) in 2- und 3-flügeliger Ausführung  
 $\Delta p_{\max} \approx 0,9 \text{ bar}$ , typisch bis  $Q_{\text{Luft}} \approx 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$
- **Drehkolbengebläse** (mit verschraubten Kolbenflanken) (Profil 3+3; 3+4);  $\Delta p_{\max} \approx 1,0 \text{ bar}$ , typisch bis  $Q_{\text{Luft}} \approx 4.000 \text{ m}^3/\text{h}$
- **Schraubenverdichter** (Profil 4+6)  
 $\Delta p_{\max} \approx 3,5 \text{ bar}$ , typisch bis  $Q_{\text{Luft}} \approx 8.000 \text{ m}^3/\text{h}$
- **Turbogebälse** mit konstanter Drehzahl, ausgestattet mit Vorleitgitter und Diffusor  
 $\Delta p_{\max} \approx 1,0 \text{ bar}$ , typisch bis  $Q_{\text{Luft}} \approx 30.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  
Drehzahl  $\approx 10.000 - 15.000 \text{ U/min}$
- **Turbogebälse** mit variabler Drehzahl (Frequenzumrichter), ohne Vorleitgitter und Diffusor  
 $\Delta p_{\max} \approx 1,0 \text{ bar}$ , typisch bis  $Q_{\text{Luft}} \approx 15.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  
Drehzahl  $\approx 10.000 - 30.000 \text{ U/min}$

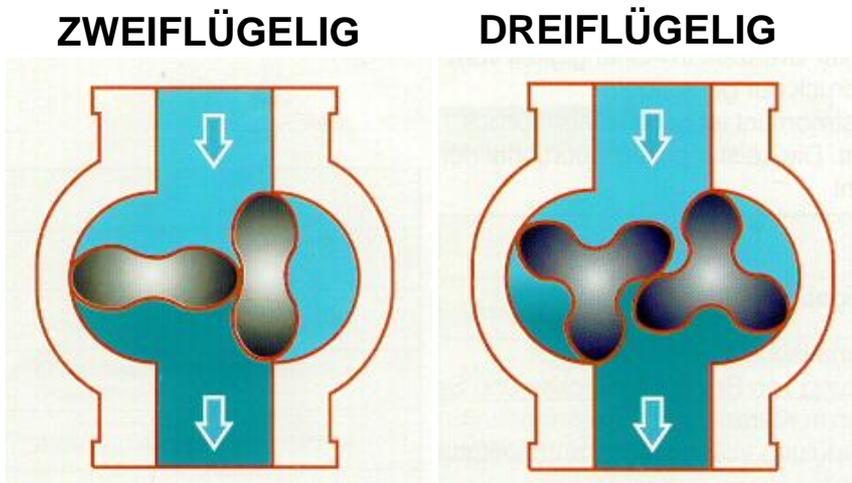


# Funktionsweise Drehkolbengebläse

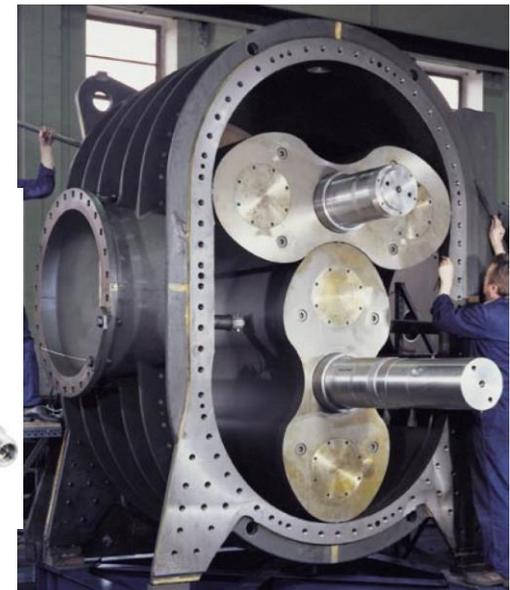


<https://www.youtube.com/watch?v=k8DKzxGxgsg>

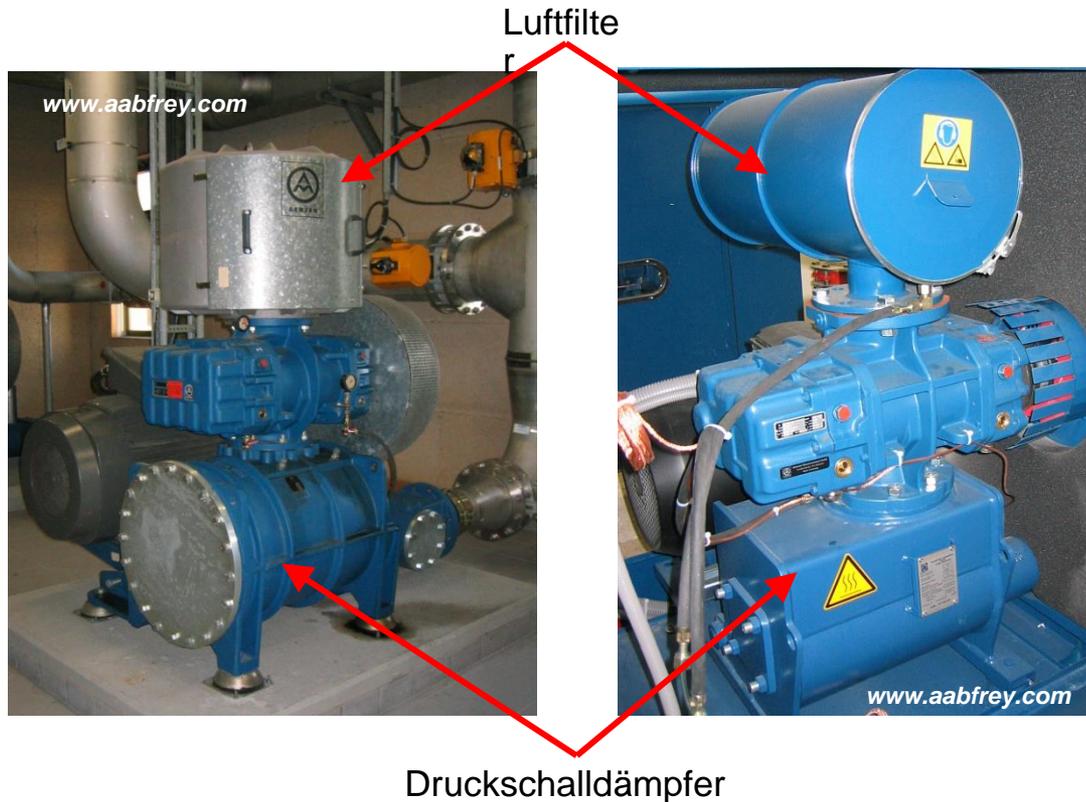
Arbeiten nach dem **Verdrängungsprinzip**. Die Luft wird **quer** zu den Kolbenwellen durch das Gehäuse gefördert und auf der Druckseite durch die gegenläufigen Kolben (gleiche Drehzahl) aus dem Gehäuse hinausgeschoben. Der Förderstrom **pulsiert** bei zweiflügeligen Gebläsen stärker als bei dreiflügeligen.



Quelle: Fa.: AERZEN



# Drehkolbengebläse - Ausführungen



Kompakttaggregat mit Schallschutzhaube



# Gebrauchseigenschaften Drehkolbengebläse

## Vorteile

- Gut geeignet für die üblichen Einblastiefen (ca. 5 m)
- Günstiger Anschaffungspreis
- Regelbarkeit über Drehzahländerung
- Gute Wirkungsgrade bei niedriger Druckerhöhung und großer Drehzahl

## Nachteile

- Nicht einsetzbar für große Wassertiefen
- Kleine bis mittlere Luftmengen
- Wirkungsgrad **sinkt**
  - mit steigender Druckerhöhung
  - mit sinkendem Ansaugluftdruck
  - **mit steigender Ansaugtemperatur**



# Gebrauchseigenschaften Drehkolbengebläse mit verschraubten Flanken

## Vorteile

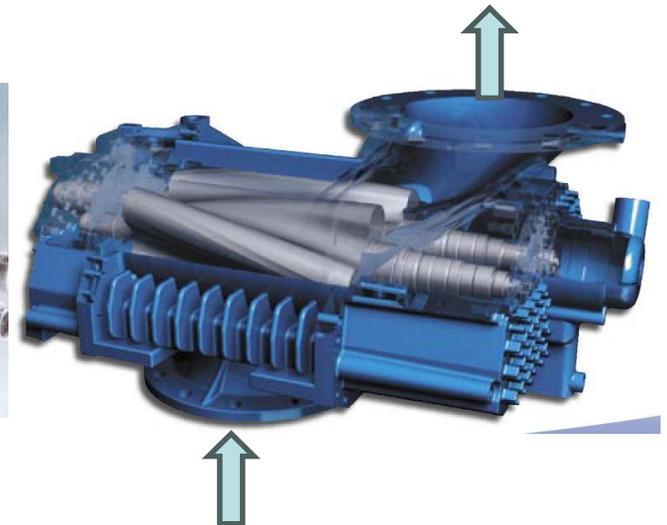
- Geeignet auch für größere Einblastiefen
- Regelbarkeit über Drehzahländerung
- Geringere Betriebskosten

## Nachteile

- Teurer als Drehkolbengebläse mit geraden Flanken
- Mittlere Luftmengen verfügbar



Quelle: Fa.: AERZEN



# Schraubenverdichter - Funktionsweise

- Arbeiten auch nach dem **Verdrängungsprinzip**. Die Luft wird **parallel** zu den Kolbenwellen durch das Gehäuse gefördert. Die positiv und negativ ausgeformten Kolben laufen mit unterschiedlicher Drehzahl. Dadurch erfolgt bereits im Gehäuse eine innere Verdichtung der Luft und der Förderstrom ist weitgehend **pulsationsfrei**.



# Schraubenverdichter - Gebrauchseigenschaften

## Vorteile

- Gut **geeignet** für **große Einblastiefen**
- Geringe Betriebskosten
- Regelbarkeit über Drehzahländerung



(Profil 4+6)

Quelle: Aerzen

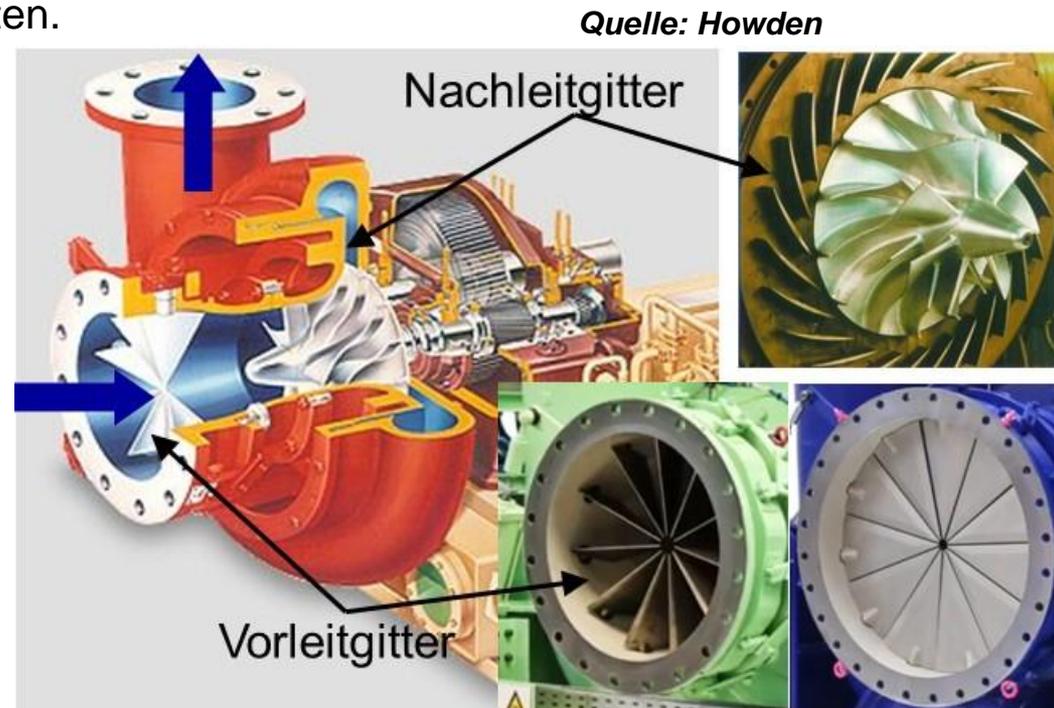
## Nachteile

- Hohe Anschaffungskosten
- Mittlere bis große Luftmengen verfügbar



# Turbogebälde mit konstanter Drehzahl MIT Vor- und Nachleitgitter

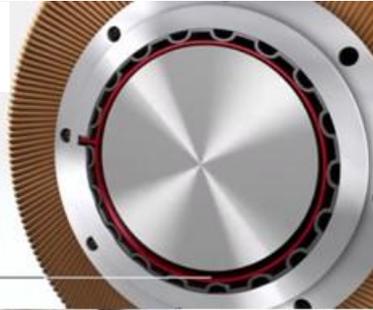
- Arbeiten wie eine **Kreiselpumpe**. Die Luft strömt zentrisch über das Vorleitgitter in das Laufrad, wird von diesem beschleunigt und radial über das Nachleitgitter in das Spiralgehäuse gefördert. Die verdichtete Luft strömt pulsationsfrei über den Druckstutzen in die Rohrleitung.
- **Luftvolumenstromeinstellung**
  - Das Laufrad dreht sich mit konstanter Drehzahl. Die Luftvolumenstromverstellung erfolgt mit den beiden Leitapparaten.
  - Das **Vorleitgitter** hat die Aufgabe, die zuströmende Luft so abzulenken, dass sie stoßfrei (also energetisch günstig) in das Laufrad eintritt. Der erforderliche Winkel wird abhängig von der Dichte der Luft (Luftdruck, Lufttemperatur) automatisch eingestellt.
  - Mit dem **Nachleitgitter** (Verstell-Diffusor) wird der Luftvolumenstrom eingestellt.



# Turbogebälde mit variabler Drehzahl OHNE Vor- und Nachleitgitter

## Luftlager

Durch Rotation der Welle entsteht ein Luftpolster mit einem Druck von 30-40 bar.



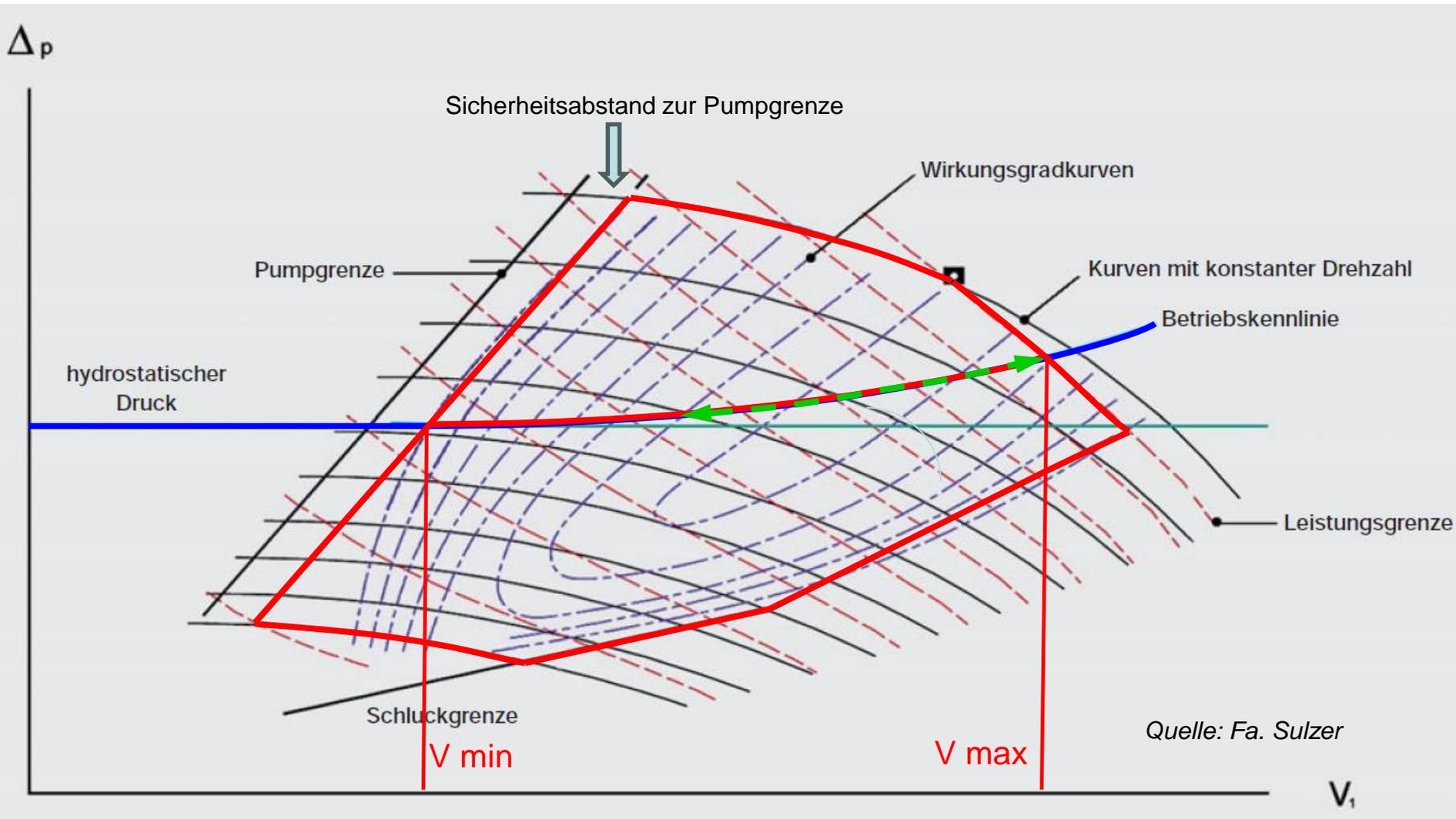
Quelle: Aerzen



## Magnetlager



# Kennfeld Turbogebbläse - Regelbereich



# Turbogebläse - Gebrauchseigenschaften

## Vorteile

- gut geeignet für mittlere und größere Einblastiefen
- große Luftmengen verfügbar
- (sehr) geringe Betriebskosten

## Nachteile

- (sehr) hohe Anschaffungskosten
- exakte Auslegung erforderlich
- bei Schäden – teure Reparatur
- Regelbereich vom Druckerhöhung und Durchsatz abhängig
- nicht für häufiges Ein- und Ausschalten geeignet

## Turbo mit variabler Drehzahl

- kleinere Luftvolumenströme verfügbar
- sehr hohe Drehzahl
- Luftlager (möglichst wenig Startvorgänge)
- Magnetlager teuer
- Frequenzumrichter – Lebensdauer – Kosten

## Turbo konstanter Drehzahl

- sehr große Luftmengen verfügbar
- aufwändige Regelung (Optimierungsrechner)
- (sehr) guter Wirkungsgrad auch bei Teillast
- größere Drücke möglich



# Wirtschaftlichkeit von Gebläsen

Zur Beurteilung der **Wirtschaftlichkeit** hat sich eine dimensionsbehaftete Kennzahl etabliert.

$$\text{spez. } P = \frac{P_{\text{Gebläse}}}{Q_{\text{Luft}} \cdot \Delta p_{\text{Gebläse}}}$$

## Legende:

- spez. P [Wh/m<sub>N</sub><sup>3</sup>/bar] ..... spezifischer Leistungsbedarf  
P [W] ..... Leistungsaufnahme des Gebläses  
Q<sub>Luft</sub> [m<sub>N</sub><sup>3</sup>/h] ..... Luftvolumenstrom im Normzustand  
Δp<sub>Gebläse</sub> [bar] ..... Drucksteigerung des Gebläses

Gebläse/Verdichter	spezifischer Leistungsbedarf [Wh/m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /bar]
Drehkolbengebläse	40 bis 55
Schraubengebläse 3+3 und 3+4	35 bis 40
Schraubenverdichter 4+6	32 bis 35
Turbogebälse (mit und ohne Leitapparate)	31 bis 34



# Umrechnung von Luftvolumenströmen

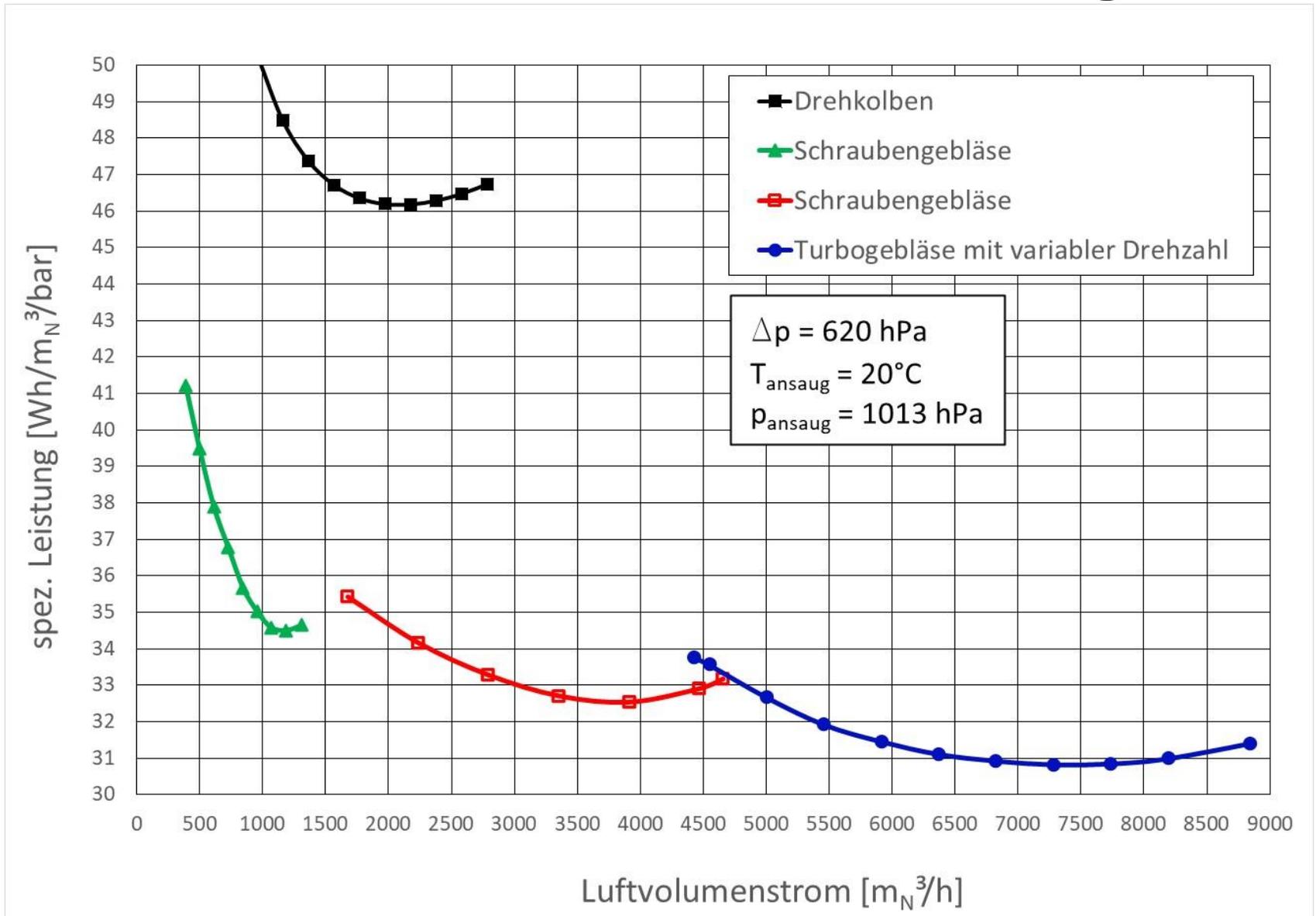
- Von den Gebläseherstellern werden oft Volumenströme ( $Q$ ) bezogen auf andere Zustandsgrößen ( $T \rightarrow$  Temperatur in K;  $p \rightarrow$  Absolutdruck in hPa) der Luft angegeben. Hier ist eine Umrechnung mit der Zustandsgleichung für ideale Gase notwendig. Es gilt:

$$Q_1 = Q_2 \times \frac{T_1 \times p_2}{T_2 \times p_1}$$

- In der Abwassertechnik wird der **physikalische Normzustand** nach DIN 1343 ( **$T = 273,15 \text{ K}$ ;  $101,325 \text{ kPa}$** ) verwendet.
- International werden fallweise auch folgende Angaben verwendet:
  - ISO 2533 (ISA = International Standard Atmosphere definiert, auch üblich im Handel mit Druckgasflaschen):
    - $p = 101,325 \text{ kPa}$ ;  $T = 288,15 \text{ K}$
  - ISO 6358 / ISO 8778 (Standard Reference Atmosphere, v. a. in USA gebräuchlich) entsprechend DIN 1945-1 (technischer Normzustand):
    - $p = 100 \text{ kPa}$ ;  $T = 293,15 \text{ K}$



# Wirtschaftlichkeit von Gebläsen - Vergleich



# Oberflächenbelüftungssysteme

Sauerstoffeintrag durch Schaffung einer großen Wasseroberfläche und Einmischung in den Wasserkörper.

- **WALZENBELÜFTER**

- Horizontale Welle mit Stäben
- Durchmesser (700 bis) 1.000 mm
- Länge 4,5 – 6,0 – 7,5 – 9,0 m
- Umfangsgeschwindigkeit 3 bis 4 m/s
- Antriebsleistung bis 45 kW



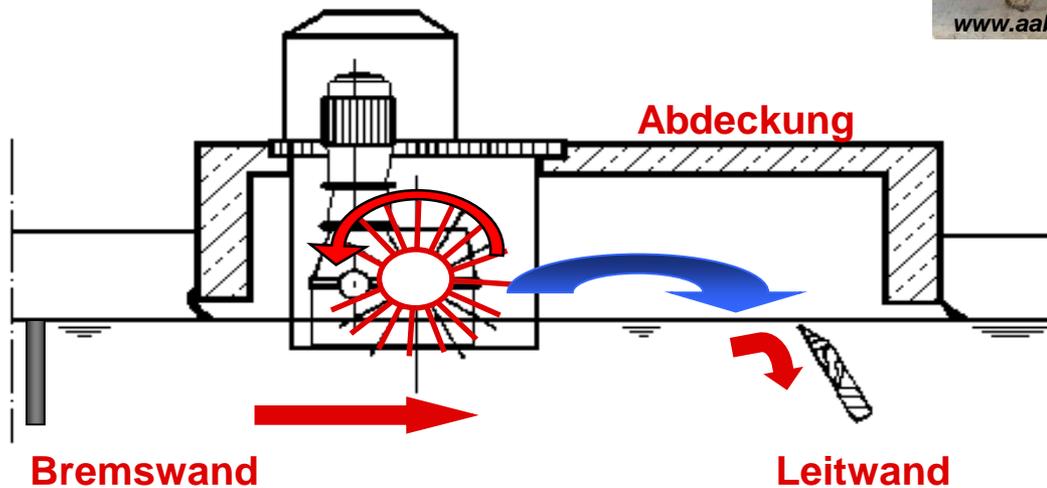
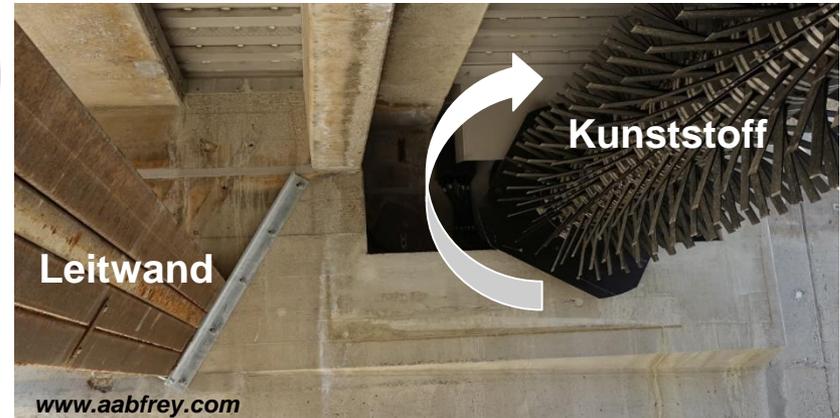
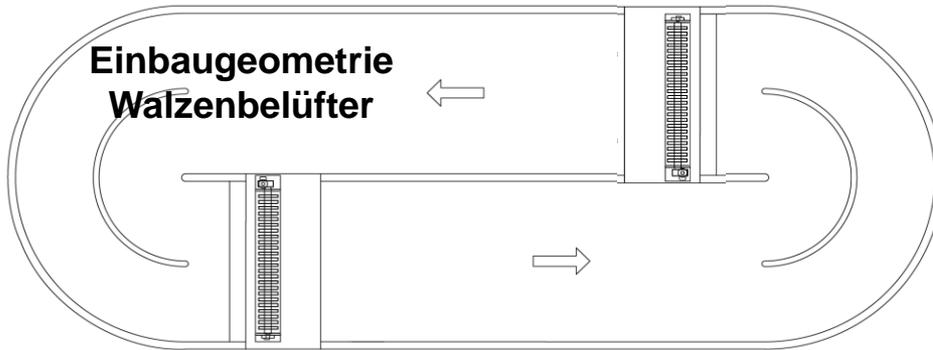
- **KREISELBELÜFTER**

- Vertikale Welle
- Offene und geschlossene Bauform
- Durchmesser bis 4 m
- Umfangsgeschwindigkeit 4 bis 6 m/s
- Antriebsleistung bis 300 kW



Besonders für  
Hochlastanlagen  
geeignet!

# Stabwalzenbelüfter – Aufbau - Beckengeometrie



# Stabwalzenbelüfter – Aufbau - Funktion

- Bestehen aus einem **Stahlrohr** ( $d=0,4\text{ m}$ ) mit radial angeschraubten **Flachstäben** (aus Stahl oder Kunststoff). Der Gesamtdurchmesser beträgt üblicherweise 1 m. Die maximale Eintauchtiefe des Belüfters beträgt etwas mehr als die Länge eines Stabes ca. 32 cm. Einsatz in **Umlaufbecken!** Die Wassertiefe beträgt 2 – 3 m.
- Die Walze wird über ein Getriebe von einem Elektromotor angetrieben. Das Getriebe hat eine **hochgezogene Entlüftung**, so dass auch bei starker Schaumentwicklung kein Schaum eindringen kann.
- Der Walzenbelüfter wird **horizontal quer** über dem Gerinne eines Umlaufbeckens montiert. Durch die Drehbewegung wird ein **turbulentes Luft-Wassergemisch** erzeugt und über die Wasseroberfläche geworfen sowie eine **Umlaufströmung** in das Becken eingetragen.
- Hinter dem Belüfter ist eine **Leitwand** angeordnet, sie hat die Aufgabe das mit Sauerstoff angereicherte Wasser in Richtung Beckensohle umzulenken.

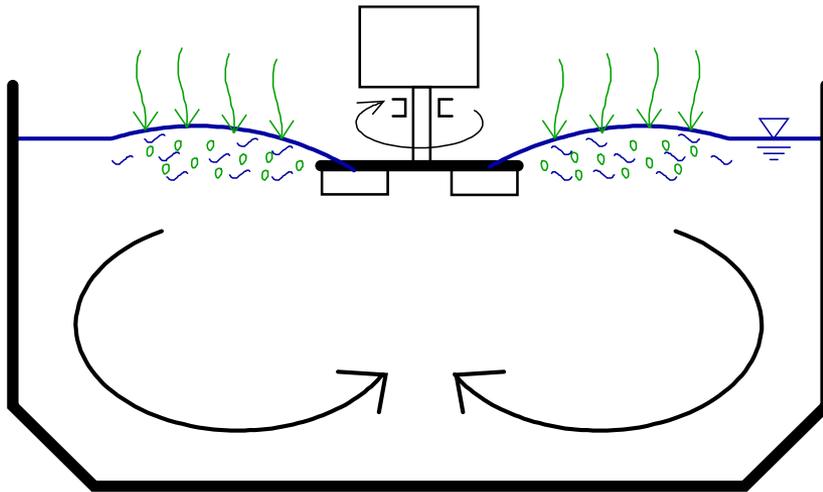


# Stabwalzenbelüfter – Hinweise

- Sind in einem Umlaufbecken mehrere Walzen knapp hintereinander (Abstand kleiner 15 m) angeordnet oder beträgt die Energiedichte mehr als  $30 \text{ W/m}^3$ , so werden auch **Bremswände** montiert. Die Bremswände haben die Aufgabe die Umlaufströmung zu verlangsamen, so dass die Relativgeschwindigkeit der auf das Wasser aufschlagenden Rotorstäbe nicht zu klein wird und damit die Wirksamkeit der Belüftung nicht abnimmt.
- Vermeidung der **Spritzwirkung** durch breite Brücken bzw. Schutzbleche.
- Veränderung des Sauerstoffeintrages durch ein/aus-Betrieb der Walzen manchmal auch durch **Drehzahländerung**. Eintauchtiefe dient zur Grobeinstellung, für eine Regelung zu träge.
- Im Winter können **Beschädigungen** durch gefrorene Eisplatten (Schaum) auftreten  
→ Belüfter abstellen, Eis entfernen!



# Kreiselbelüfter



# Kreiselbelüfter – Aufbau - Funktion

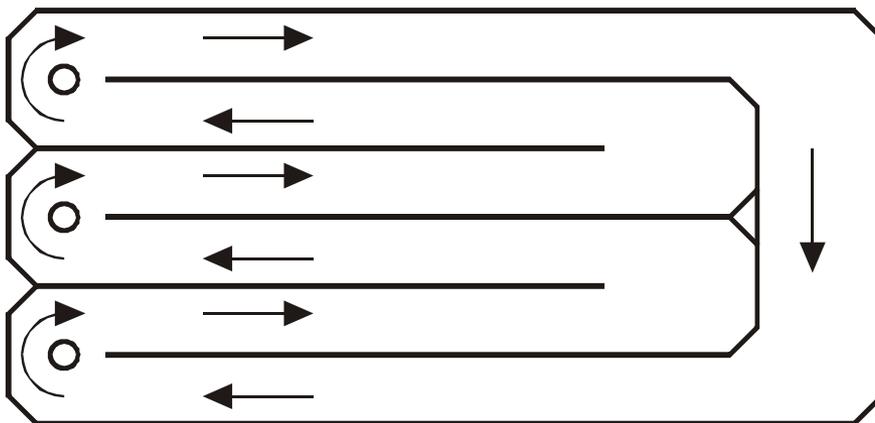
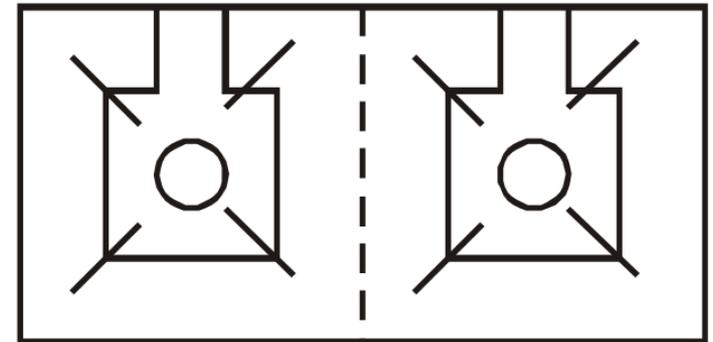
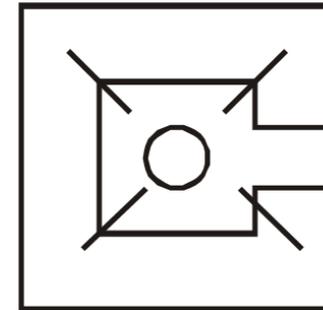
- **Vertikale Welle** mit Laufrad (0,5 bis 4 m Durchmesser). Die Oberkante des Laufrades liegt in der Regel auf Höhe der Wasseroberfläche.
- Durch die Drehbewegung entsteht ein turbulentes **Luftblasen-Wassergemisch**, das über die Beckenoberfläche geworfen wird. Der **Beckengrundriss** ist **quadratisch**, so dass ein Mitdrehen des Wasserkörpers gebremst wird. Die Wassertiefe beträgt 2 bis 4 m.
- Zur Verringerung der **Spritzwirkung** große Kreiselische mit bis zur Wasseroberfläche reichenden Schürzen.
- Zur Verhinderung des Aufschaukelns von Wellen können/müssen **Strömungskreuze** am Boden und **umlaufende Leitbleche** an den Wänden montiert werden.
- Bei Wassertiefen über 4 Meter werden in der Regel **Saugrohre** unter dem Kreisel angebracht.
- Im Winterbetrieb durch **Vereisung der Welle** Unwucht → hohe Lagerbeanspruchung.
- Veränderung des Sauerstoffeintrages durch **Drehzahländerung**. Eintauchtiefe dient zur Grobeinstellung, für eine Regelung zu träge.



# Einbau Kreiselbelüfter



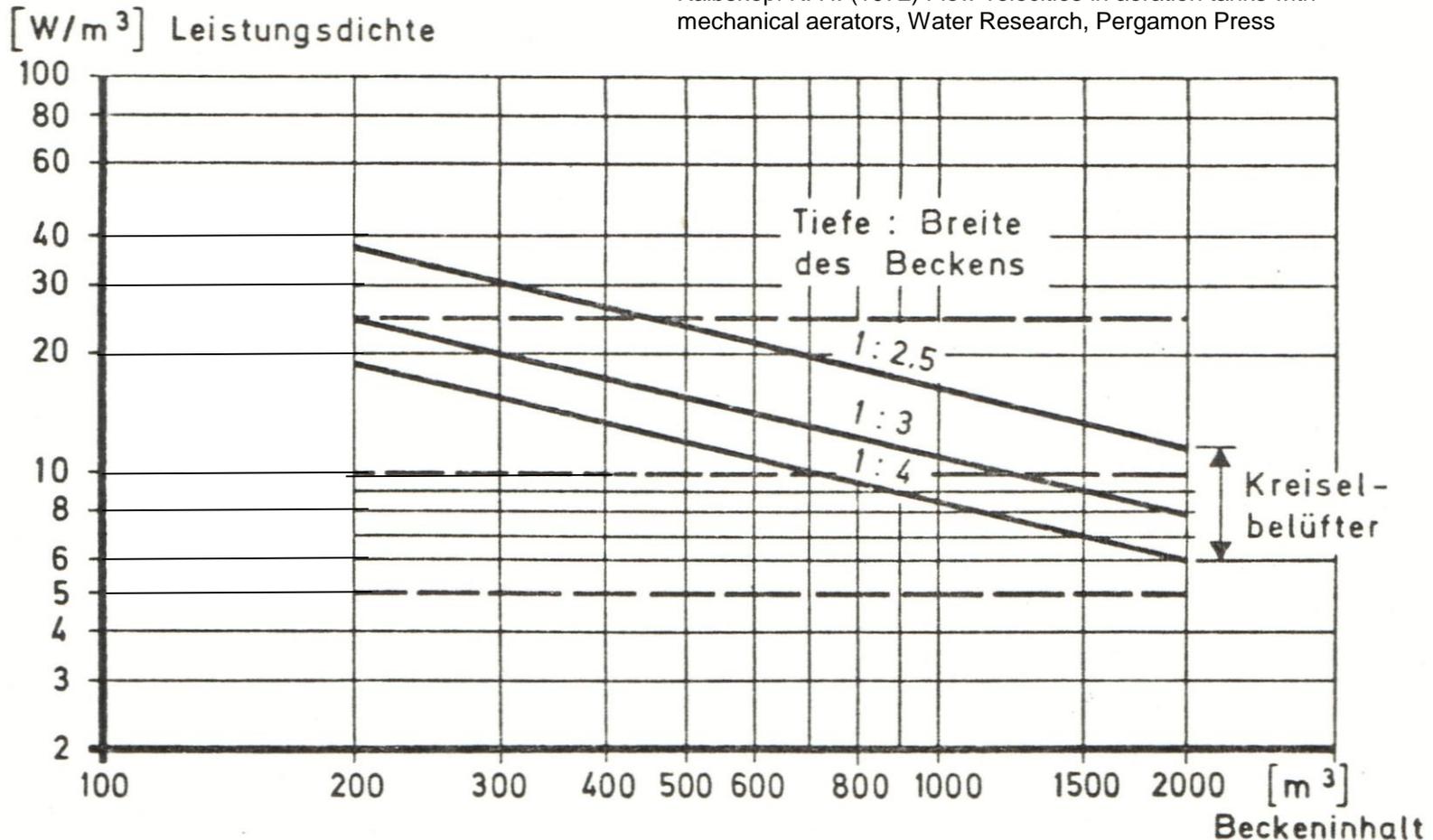
## Einbaugeometrie Kreisel



# Kreiselbelüfter Sohlströmung

- Randbedingungen für eine ausreichende Sohlströmung

Kalbskopf K. H. (1972) Flow velocities in aeration tanks with mechanical aerators, Water Research, Pergamon Press

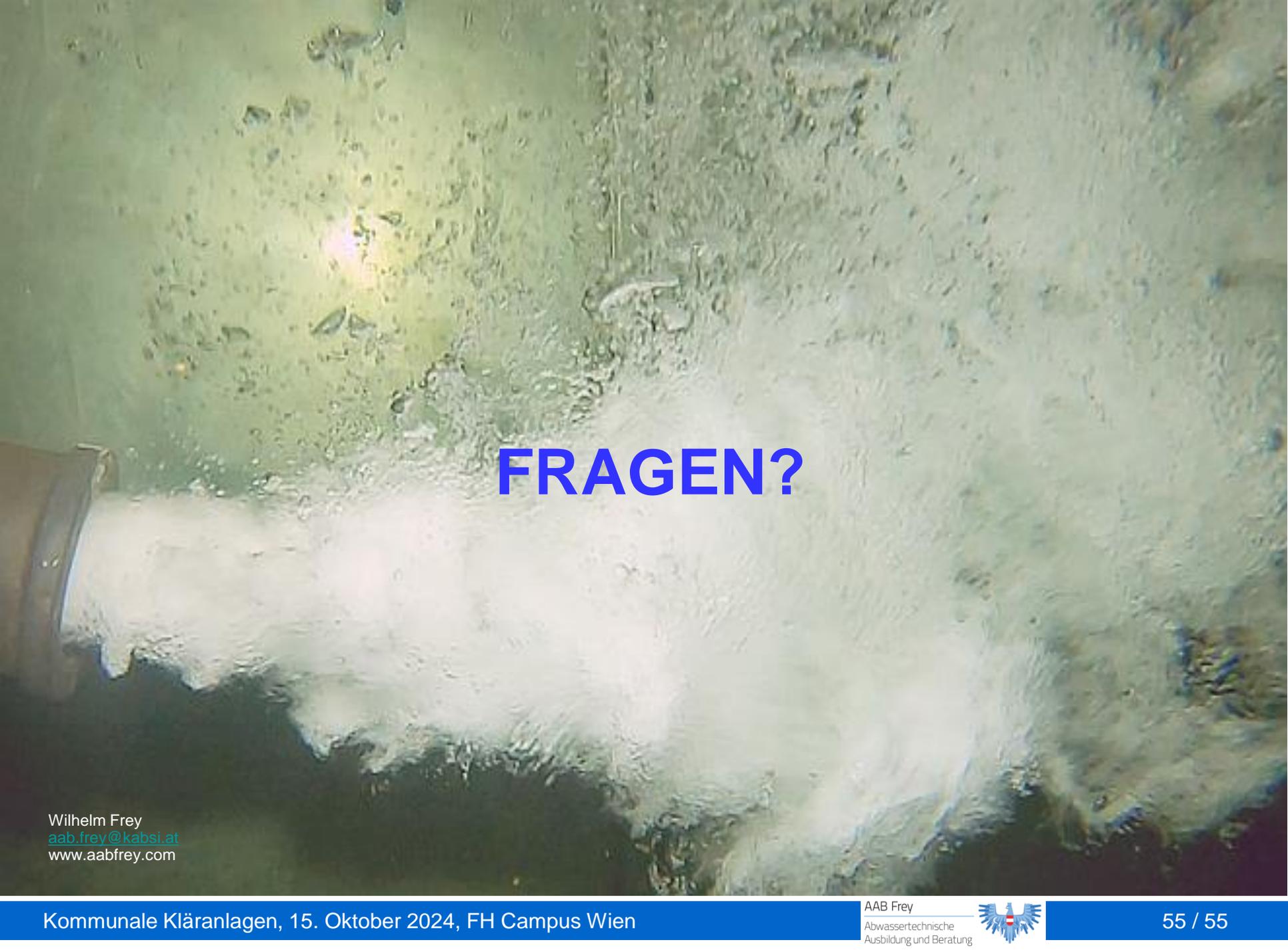


# Vergleich Gebrauchseigenschaften

	Druckbelüftung	Oberflächenbelüftung
<b>Sauerstoffzufuhr</b>	hoch	hoch
<b>Beckengeometrie</b>	Grundriss und Tiefe frei wählbar	je nach System enge Grenzen
<b>Flächenbedarf</b>	i.d.R. keiner	i.d.R. größer
<b>Betriebssicherheit</b>	mittel bis niedrig	hoch
<b>Beckenreinigung</b>	durch Einbauten an der Sohle, hoher Aufwand	einfach
<b>Alterung, Verstopfung</b>	bei Elastomermembranen oft stark ausgeprägt	praktisch nicht vorhanden
<b>Reparatur</b>	i.d.R. Beckenentleerung	i.d.R. keine Beckenentleerung
<b>Standzeit</b>	kurz	lang
<b>Regelbarkeit</b>	gut	gut
<b>Winterbetrieb</b>	gut	mittel (Vereisungsgefahr)
<b>Einfluss auf pH-Wert</b>	Beeinträchtigung möglich [1]	sehr geringer Einfluss
<b>Emissionen</b>	niedrig bis mittel	mittel bis hoch
<b>Schaumbildung</b>	wird verstärkt	wird bekämpft
<b><math>\alpha</math>-Wert</b>	niedrig	hoch

[1] SCHWAGER A., GUJER W.: pH-Berechnung beim Belebtschlammverfahren und Auswirkungen des pH-Wertes auf die Nitrifikation, VSA-Verbandsbericht Nr.: 348 (1987)



An underwater photograph showing a large pipe on the left side, with a stream of water and many bubbles flowing from it. The word "FRAGEN?" is written in large, bold, blue capital letters in the center of the image.

# FRAGEN?

Wilhelm Frey  
[aab.frey@kabsi.at](mailto:aab.frey@kabsi.at)  
[www.aabfrey.com](http://www.aabfrey.com)

