

Aktuelle Technologien zur Regelung der Sauerstoffzufuhr

Wilhelm Frey

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung, Leobendorf

Abstract: Im vorliegenden Beitrag werden die anlagentechnischen Komponenten von Druckbelüftungssystemen behandelt. Der Schwerpunkt liegt auf den Belüfterelementen, den Gebläsen sowie den Einrichtungen zur Luftvolumenstromverteilung. Es werden die Einsatzbereiche im Hinblick auf das Regelverhalten aufgezeigt. Insbesondere wird die Veränderung der Wirtschaftlichkeit der Komponenten bei unterschiedlicher Belastung besprochen.

Key Words: Belüfterelemente, Gebläse, Verdichter, Regelbereich, Wirtschaftlichkeit

1 Einführung

Zur Anpassung der Sauerstoffzufuhr an den Sauerstoffverbrauch sind Veränderungen in der Betriebsweise des Belüftungssystems erforderlich. Im Focus der Überlegungen steht die Auswahl der Komponenten des Belüftungssystems. Im Rahmen dieses Vortrages soll der Einfluss der Systemkomponenten im Regelbereich auf die Wirtschaftlichkeit beschrieben werden.

2 Belüfterelemente

Auf Kläranlagen werden Belüfterelemente aus starrporösem Material (z.B. mineralische Körner, gebranntes Material, Kunststoffgranulat) und Elastomeren verwendet. An Bauformen werden häufig Belüfterelemente in Form von Tellern, Rohren und Platten eingesetzt. In diesem Beitrage wird nur eine Kurzdarstellung gegeben. Weiterführende Informationen findet man z.B. im DWA Regelwerk [1].

2.1 Material

2.1.1 Starrporöse Belüfterelemente

Bei starrporösen Belüfterelementen bestimmt die Korngröße die Größe der Hohlräume und damit die Blasengröße und den Druckverlust.

Bei grober Körnung ergeben sich große Zwischenräume und es entstehen große Blasen. Belüfter mit großen Körnern haben eine geringere Verstopfungsanfälligkeit aber auch im Betrieb eine geringe Wirtschaftlichkeit.

Diese Belüfterelemente werden in der Regel für kontinuierliche Belüftung verwendet. Bei intermittierendem Betrieb tritt Schlamm in die Poren ein und die Belüfter können verstopfen.

2.1.2 Belüfterelemente aus Elastomeren

Alle auf Elastomeren basierenden Belüftungselemente sind für den intermittierenden Betrieb geeignet, da sie beim Abschalten weitgehend selbstabdichtend sind.

Folgende Elastomere werden für Belüfterelemente (Membranbelüfter) eingesetzt:

- EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer)
- PU (Polyurethan)
- Silikon

Belüfterelemente aus EPDM haben eine gute Beständigkeit gegen übliche Abwasserinhaltsstoffe und eine hohe mechanische Festigkeit. EPDM ist kein „reiner“ Kunststoff, sondern besteht aus einigen „Zutaten“. Je nach Rezeptur und Verarbeitung ergeben sich Unterschiede in den Gebrauchseigenschaften.

Polyurethan (PU) ist sehr reißfest und gegen viele Chemikalien beständig. Die Einsatztemperatur von PU ist mit ca. 30°C nach oben begrenzt, darüber ist die Dauerfestigkeit reduziert.

Abwasserbelüfter aus Silikon sind chemisch sehr beständig und werden daher gerne bei Vorhandensein von besonderen Abwasserinhaltsstoffen (Industrieabwasser) eingesetzt. Im Vergleich zu anderen Materialien hat Silikon eine geringere Weiterreißfestigkeit und muss sorgfältig verarbeitet werden.

2.2 Bauform

Die häufigsten Bauformen von Belüfterelementen sind:

- Rohrbelüfter (Quarzsand/Kunstharzgemisch, Elastomere mit Stützkörper):
Durchmesser: 50 mm - 100 mm; Länge: 500 mm - 1.000 mm
- Tellerbelüfter (Quarzsand/Kunstharzgemisch, Elastomere):
Durchmesser: 200 - 500 mm
- Plattenbelüfter (Elastomere):
Breite: 100 mm bis 1000 mm; Länge: 2.000 mm bis 4.000 mm

Der Grundkörper bei einem Membranbelüfter besteht in der Regel aus Kunststoff.

2.3 Betriebseigenschaften

Belüfterelemente haben eine minimale und eine maximale Luftbeaufschlagung mit der sie betrieben werden können. Die Spreizung des minimalen zum maximalen Luftdurchsatz beträgt bei Teller- und Rohrbelüftern ca. 1:5 und bei Plattenbelüftern ca. 1:8. Außerhalb dieses Betriebsbereiches kann ungleichmäßiges Abgasen auftreten. In Abbildung 1 ist der selbe Belüfter mit unterschiedlicher Luftbeaufschlagung zu sehen.



ca. 1,5 m³/h



ca. 4,0 m³/h

Abbildung 1: Abgasen bei unterschiedlicher Luftbeaufschlagung

Der Druckverlust von Belüfterelementen steigt mit der Luftbeaufschlagung. Die Sauerstoffausnutzung sinkt mit der Luftbeaufschlagung. Aufgrund dieser Tatsachen nimmt die Wirtschaftlichkeit mit zunehmender Luftbeaufschlagung ab.

Der Druckverlust eines Belüfterelementes setzt sich aus dem Druckverlust des Grundkörpers und dem Druckverlust der Membran bzw. des Frittenkörpers zusammen. Der Druckverlust des Grundkörpers wird wesentlich vom Vorhandensein einer Notlaufkonstruktion und/oder einer Rückschlagsicherung bestimmt. Bei großen Luftdurchsätzen wird der Druckverlust der Drossel größer als der Druckverlust der Membran.

Systembedingt verfügen bestimmte Membranbelüfter über eine Notlaufeinrichtung (Drossel) und/oder eine Rückschlagsicherung. Die Notlaufeinrichtung reduziert den Luftdurchsatz, falls die Membran beschädigt wird. Die Rückschlag-

sicherung verhindert das Eindringen von Wasser (und Schlamm) in das Rohrleitungssystem bei Beschädigungen der Membran oder bei intermittierendem Betrieb. In Abbildung 2 ist für einen Tellerbelüfter der Druckverlust des Grundkörpers und der Druckverlust der Membran getrennt dargestellt.

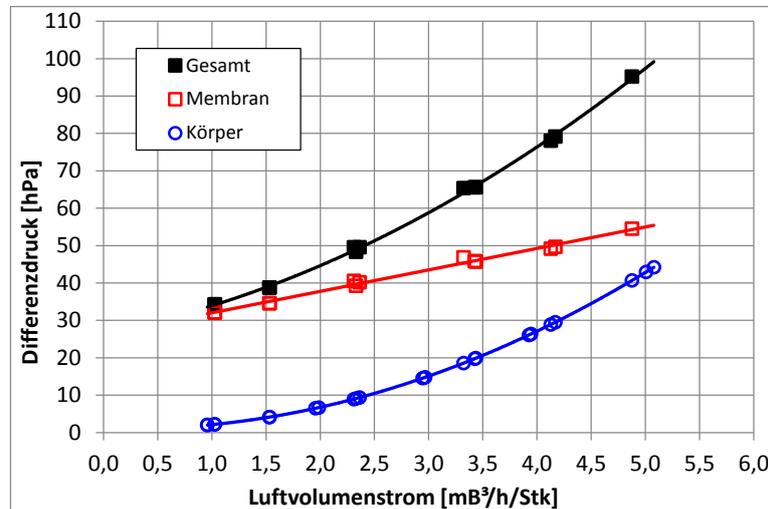


Abbildung 2: Druckverlust Grundkörper - Membran

Wird eine Membran beschädigt, nimmt der Druckverlust der Membran deutlich ab. In diesem Fall steigt der Luftvolumenstrom durch den Belüfter und es steigt der Druckverlust des Körpers bis der Gesamtdruck so groß ist wie der Druckverlust eines unbeschädigten Belüferelementes. Im gezeigten Beispiel (Abbildung 2) ist das bei ca. 3 – 4 fachem Luftvolumenstrom der Fall.

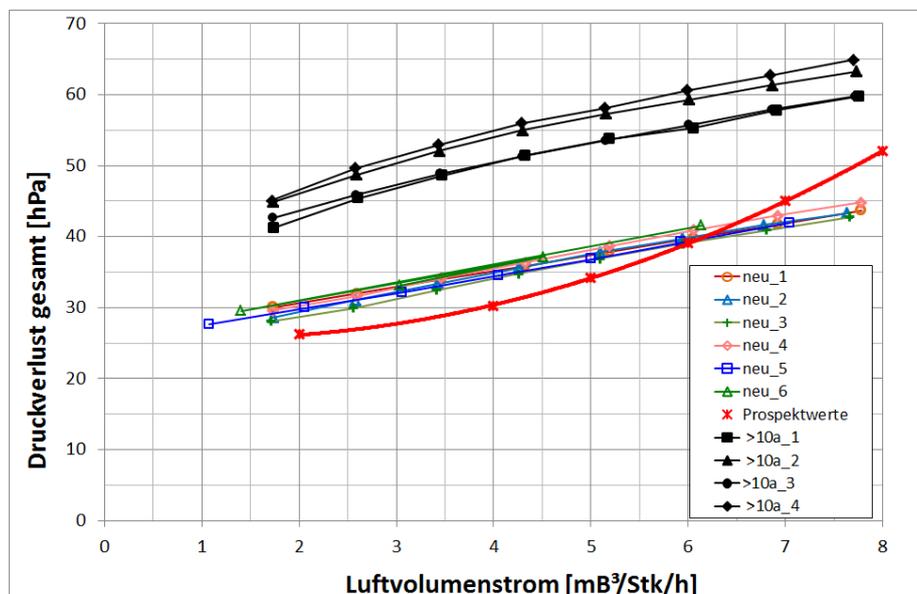


Abbildung 3: Druckverlust bei unterschiedlicher Luftbeaufschlagung

In der Abbildung 3 ist der Druckverlust von EPDM Tellerbelüftern in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung zu sehen. Es sind der im Prospekt angegebene Wert, eigene Messwerte mehrerer neuer Referenzbelüfter und der Druckverlust

gebrauchter Belüfter nach einer Einsatzdauer von mehr als 10 Jahren eingetragen.

In der Abbildung 4 sind verschiedene Ausführungen von Notlaufeinrichtungen zu sehen. Die einfachste Form ist eine Drosselbohrung, der Druckverlust steigt bei größer werdendem Luftdurchsatz rasch an. Andere Systeme haben im üblichen Betriebsbereich aufgrund variabler Strömungsquerschnitte einen flacheren Verlauf des Druckanstieges.

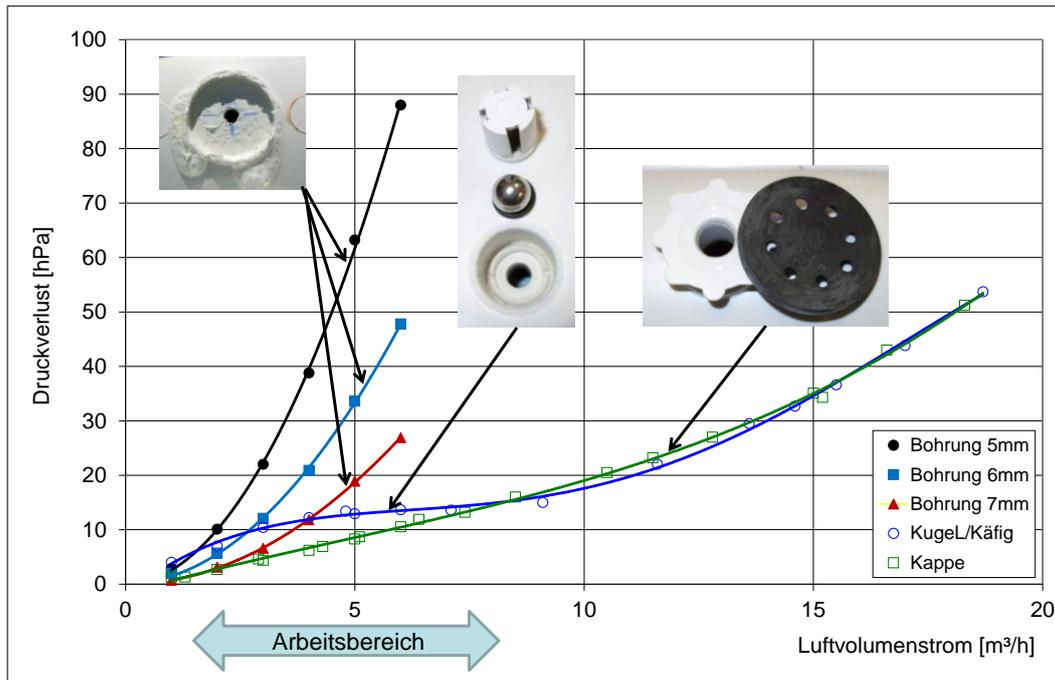


Abbildung 4: Druckverlust der Notlaufeinrichtung

Der Druckverlust der Rohrleitungen und Armaturen muss kleiner sein als der Druckverlust der Belüfterelemente, da es sonst zu einer ungleichmäßigen Luftverteilung kommen kann. Der Druckverlust der Belüfterelemente ist daher wichtig für die Luftverteilung innerhalb eines Beckens bzw. Belüfterfeldes.

In der Abbildung 5 ist die Sauerstoffausnutzung von EPDM Tellerbelüftern in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung zu sehen. Es sind der im Prospekt angegebene Wert und eigene Messwerte an neuen Referenzbelüftern bei unterschiedlicher Belegungsdichte und Einblastiefe zu sehen.

Die Wirtschaftlichkeit eines Druckbelüftungssystems wird mit dem Sauerstoffertrag angegeben.

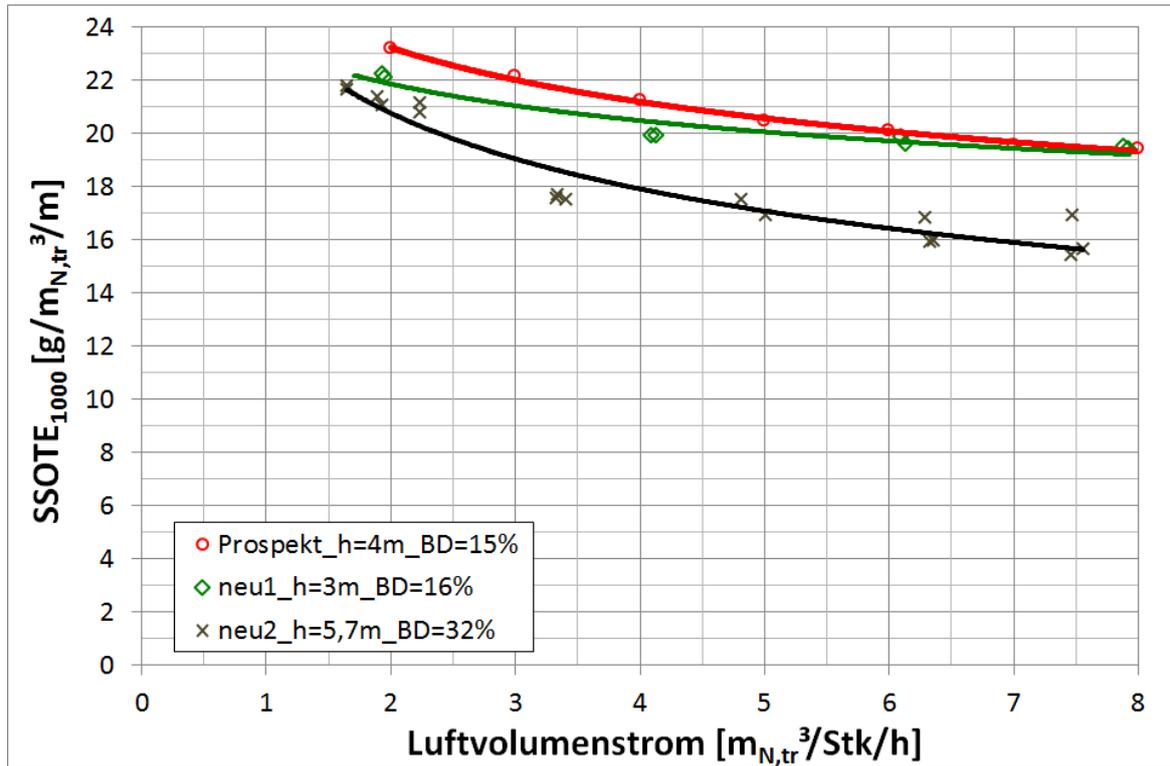


Abbildung 5: Sauerstoffausnutzung bei unterschiedlicher Luftbeaufschlagung

In der Abbildung 6 ist auf Basis der Prospektwerte von EPDM Belüfterelementen für ein Beispiel (Einblastiefe, Zustandsgrößen der Luft, Belegungsdichte, etc.) die Abhängigkeit des Sauerstoffertrages (in Reinwasser) von der Luftbeaufschlagung dargestellt.

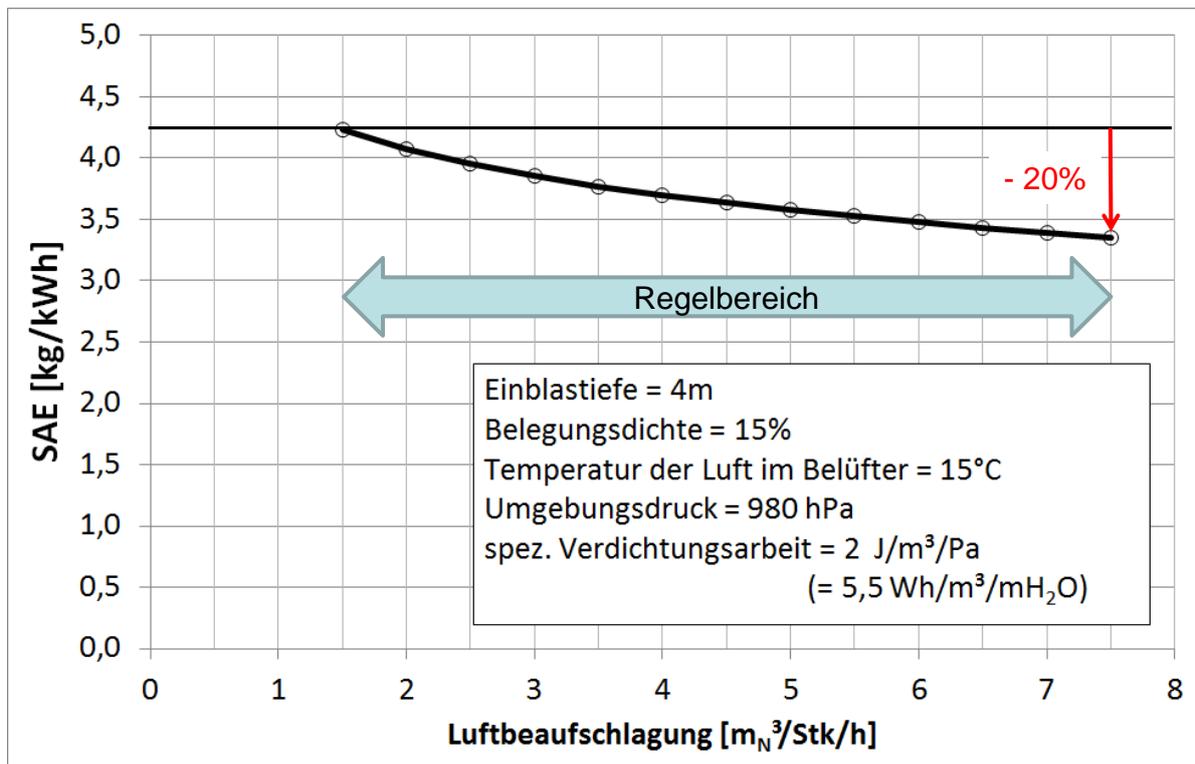


Abbildung 6: Sauerstoffertrag bei unterschiedlicher Luftbeaufschlagung

Der wirtschaftliche Betrieb erfordert eine sorgfältige und realistische Festlegung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr. Wird das Belüftungssystem zu groß dimensioniert treten Probleme mit ungleichförmigem Abgasen auf. Es wurde auch beobachtet, dass Belüfterelemente die lange Zeit nur mit minimaler Luftbeaufschlagung betrieben wurden einen größeren Druckverlust haben, als solche die mit etwas höherer Luftbeaufschlagung betrieben wurden.

Wird das Belüftungssystem zu klein dimensioniert, sinkt die Wirtschaftlichkeit durch die größere Luftbeaufschlagung. Beide Fälle sind auf Kläranlagen anzutreffen.

Günstig ist es die Belüfter in Feldern zusammenzufassen und bei Bedarf die Anzahl der beaufschlagten Felder zu verändern. So kann die Luftbeaufschlagung in einen günstigen Bereich verschoben werden.

Regelmäßige Kontrollen des Systemdruckes lassen eine Beeinträchtigung der Wirtschaftlichkeit eines Belüftungssystems erkennen. Erforderliche Wartungsmaßnahmen und Entscheidungshilfen zur Festlegung des Austauschzeitpunktes findet man in der Literatur z.B. [2], [3], [4].

3 Gebläse

Je nach Wassertiefe und Anlagengröße kommen unterschiedliche Druckluftheizer (Gebläse, Verdichter) zum Einsatz.

Es kann eine Einteilung nach dem Druckverhältnis vorgenommen werden. Danach wird zwischen

- Ventilator: Enddruck p_2 /Anfangsdruck p_1 kleiner 1,1 (1,3)
- Gebläse: p_2/p_1 ca. 1,1 bis 2,0 (3,0)
- Verdichter: p_2/p_1 ca. 3 bis 50 bar

unterschieden. Diese Einteilung wird im täglichen Sprachgebrauch nicht immer korrekt verwendet. Auch im vorliegenden Beitrag wird nicht immer exakt zwischen Gebläse und Verdichter unterschieden.

Zur Belüftung der Belebungsbecken werden auf Kläranlagen überwiegend folgende Maschinen eingesetzt:

- Drehkolbengebläse mit geraden Kolbenflanken
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 500 - 5.000 m³/h und einem Überdruck von max. 1000 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 25 – 100%.

- Drehkolbengebläse mit verschraubten Kolbenflanken
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 500 - 5.000 m³/h und einem Überdruck von max. 1500 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 25 – 100%.
- Schraubenverdichter
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 1.000 - 8.000 m³/h und einem Überdruck von max. 2.000 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 25 – 100%.
- Strömungsgebläse (Turboverdichter einstufig) mit konstanter Drehzahl, mit Vorleitgitter und Diffusor
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 3.000 - 30.000 m³/h und einem Überdruck von max. 2.000 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 40 – 100%.
- Strömungsgebläse (Turboverdichter einstufig) mit variabler Drehzahl (Frequenzumrichter), ohne Vorleitgitter und Diffusor
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 2.000 - 15.000 m³/h und einem Überdruck von max. 1.000 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 40 – 100%.

Der Verdichtungsprozess in einer Drehkolbenmaschine unterscheidet sich deutlich vom Verdichtungsprozess in einem Turbogebläse [5]. Bei gleichem nutzbaren Luftvolumenstrom und gleichen Randbedingungen benötigt die Turbomaschine weniger Antriebsleistung. Der Unterschied wird durch steigenden Differenzdruck und sinkenden Ansaugdruck verstärkt.

Die Wirtschaftlichkeit der Druckluftherzeugung kann durch die spezifische Verdichtungsarbeit angegeben werden [6]. Es wird empfohlen die spezifische Verdichtungsarbeit in SI Einheiten anzugeben. Man erhält dann eine dimensionslose Kennzahl für die Verdichtungsarbeit, es gilt: 1 [J/m³/Pa] = 1 [-]. Für die Umrechnung können die Faktoren aus Tabelle 1 verwendet werden:

Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren für die spezifische Verdichtungsarbeit

	J/m ³ /Pa	Wh/m ³ /bar	Wh/m ³ /mH ₂ O
1 J/m ³ /Pa	1	27,78	2,725
1 Wh/m ³ /bar	0,036	1	0,0981
1 Wh/m ³ /mH ₂ O	0,367	10,2	1

Weitere Details zu den eingesetzten Gebläsen findet man in [7].

3.1 Gebrauchseigenschaften von Verdrängergebläsen im Regelbetrieb

Die Anpassung der Druckluftherzeugung an den Luftbedarf, erfolgt bei Verdrängergeräten durch Veränderung der Kolbendrehzahl.

Ein Aggregat mit niedriger spezifischer Verdichtungsarbeit hat einen guten Wirkungsgrad und benötigt weniger Antriebsleistung.

Einen grundlegenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Aggregates hat die Antriebseinheit (Elektromotor, Frequenzumrichter, etc.).

Die spezifische Verdichtungsarbeit steigt, d.h. die Wirtschaftlichkeit sinkt, mit sinkendem Ansaugluftdruck und steigender Ansaugtemperatur

Bei Drehkolbenmaschinen steigt die spezifische Verdichtungsarbeit im Regelbetrieb mit steigender Druckerhöhung (Spaltverluste) und mit sinkender Kolbendrehzahl.

Aus der Abbildung 7 ist ersichtlich, dass je nach Baugröße ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Minimum der spezifischen Verdichtungsarbeit, in Abhängigkeit des Betriebspunktes vorhanden ist. Einzelne Maschinen benötigen im Teillastbetrieb eine 10 - 20% größere spez. Verdichtungsarbeit. Dieser Sachverhalt ist bei Gebläseauswahl zu berücksichtigen.

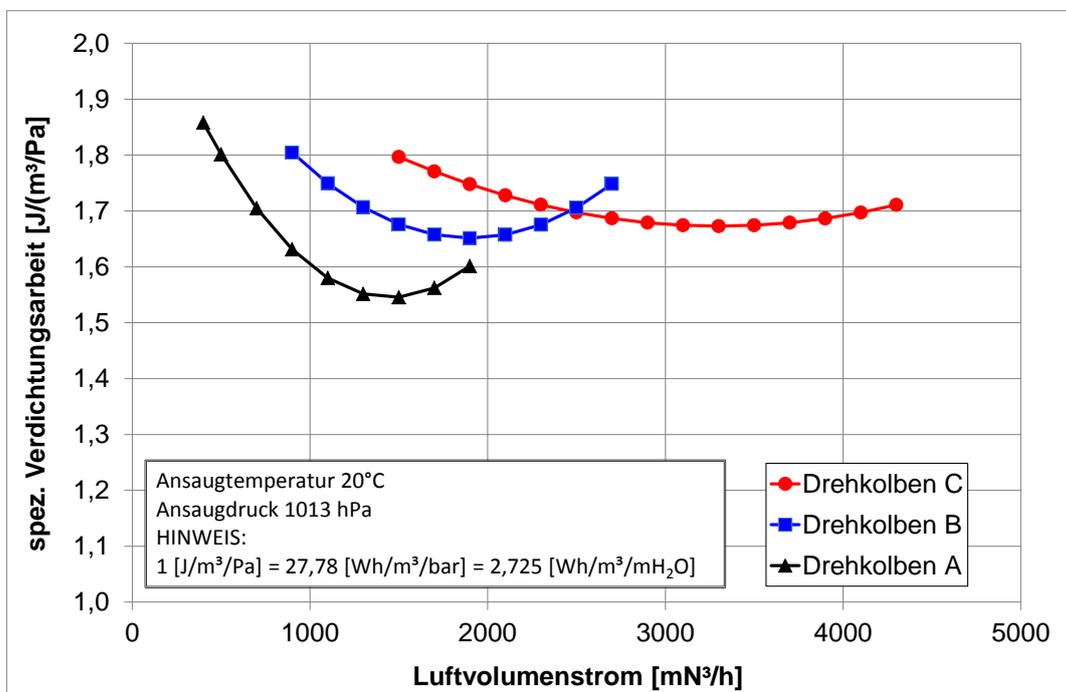


Abbildung 7: Drehkolbengebläse; spez. Verdichtungsarbeit in Abhängigkeit des Luftvolumenstromes

Drehkolbengebläse können in kurzen Zeiträumen ein- und wieder ausgeschaltet werden. Eine Limitierung ist durch die thermische Belastung des Aggregates gegeben.

In Abhängigkeit der Betriebs-/Anlagenkennlinie erhält man den minimalen und maximalen Förderstrom. Wie aus der Abbildung 8 ersichtlich ist, nimmt die Wirtschaftlichkeit der Maschine in der Nähe des minimalen Luftvolumenstromes deutlich ab (die Wirkungsgradkurven liegen eng nebeneinander).

Durch Verstopfungen in den Belüfterporen oder Materialveränderungen kann ein Druckanstieg der Belüfterelemente verursacht werden. Der dynamische Druckverlust der Belüfterelemente steigt und die Anlagenkennlinie wird steiler (Abbildung 9). Der Arbeitsbereich des Gebläses wird kleiner und er verschiebt sich in den Bereich niedrigerer Wirkungsgrade.

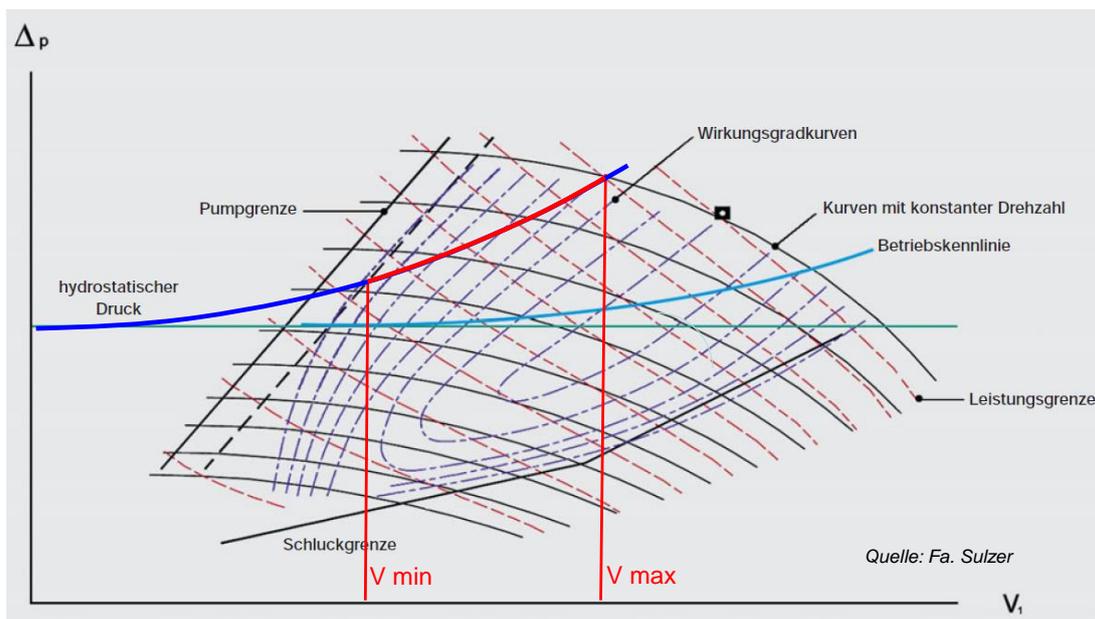


Abbildung 9: Kennfeld Turbogebälse mit variabler Drehzahl, bei verstopften Belüftern

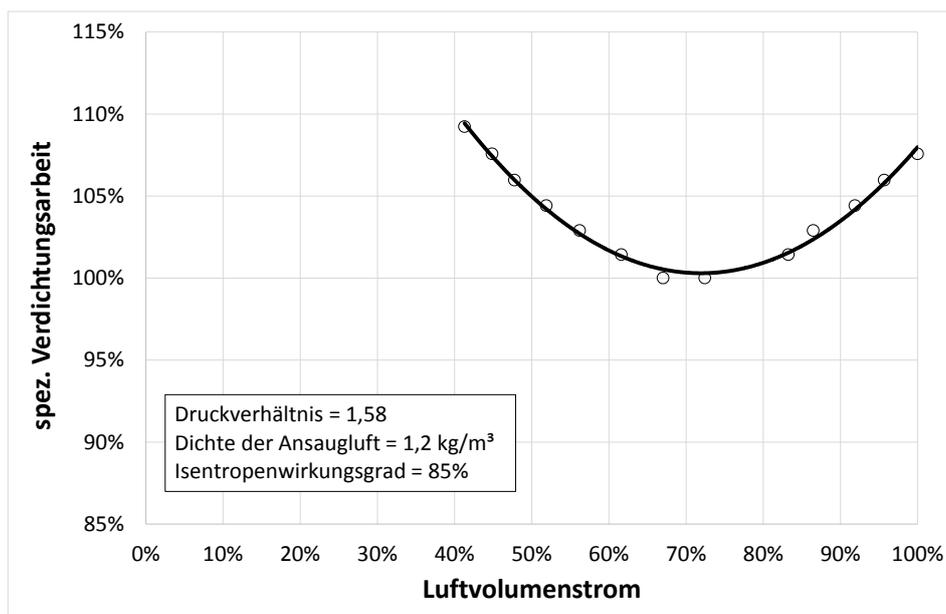


Abbildung 10: Strömungsgebälse; spez. Verdichtungsarbeit in Abhängigkeit des Luftvolumenstromes

Ausgehend von der isentropen Verdichtungsarbeit und entsprechenden Annahmen zur Druckerhöhung und den Zustandsgrößen der Ansaugluft kann die Abbildung 10 erhalten werden. Darin ist die Veränderung der spez. Verdichtungsarbeit in Abhängigkeit des Luftvolumenstromes zu sehen.

Ähnlich wie bei den Drehkolbengebläsen haben auch Strömungsverdichter ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Minimum der spezifischen Verdichtungsarbeit. Festzuhalten ist, dass dieses Minimum nicht bei maximalem Luftvolumenstrom auftritt.

Strömungsgebläse sind aufgrund Ihrer Bauweise (z.B. Lagerung) nicht dafür geeignet in kurzen Zeitintervallen ein- und ausgeschaltet zu werden.

3.3 Staffelung von Gebläsen

Die Gebläseauswahl kann nach verschiedenen Methoden erfolgen:

- Diskrete Zuordnung von Gebläsen zu einzelnen Becken oder Beckengruppen. Daraus resultiert in der Regel eine große Anzahl kleiner, praktisch identischer, Gebläse. Im Regelfall kann auf eine Luftverteilerregelung mit Luftvolumenstrommessung und Regelventilen verzichtet werden.
- Errichtung einer zentralen Gebläsestation für die gesamte Anlage. Diese Vorgangsweise ermöglicht eine Zusammenstellung einer geringen Anzahl verschiedener, an den Betrieb angepasster, Gebläse. Eine Regelung der Luftterzeugung und/oder eine Luftverteilerregelung ist in der Regel notwendig.

Jedenfalls muss die Gebläseauswahl auf Basis einer realistischen Berechnung/Abschätzung, unter Berücksichtigung der Entwicklung der Belastung, erfolgen. Zu große Maschinen mit hoher Schalzhäufigkeit die überwiegend in energetisch ungünstigen Betriebspunkten laufen sind zu vermeiden.

Bei der Ertüchtigung von bestehenden Belüftungssystemen/Gebläsestationen sollte eine Analyse der Belastung und Auswertung der Betriebsdaten (Häufigkeit der auftretenden Luftvolumenströme) erfolgen [8].

Bei der Maschinenauswahl ist darauf zu achten, dass

- die Umschaltung/Zuschaltung von Gebläsen nicht bei häufig auftretenden Luftvolumenströmen erfolgt.
- seltener auftretende Luftvolumenstrombereiche können mit weniger effizienten aber leicht und robust zu betreibenden Maschinen abgedeckt werden.
- die Luftvolumenstrombereiche, die mit großer Häufigkeit auftreten, mit einem effizienten Aggregat (Betriebspunkt mit gutem Wirkungsgrad) abgedeckt werden können.

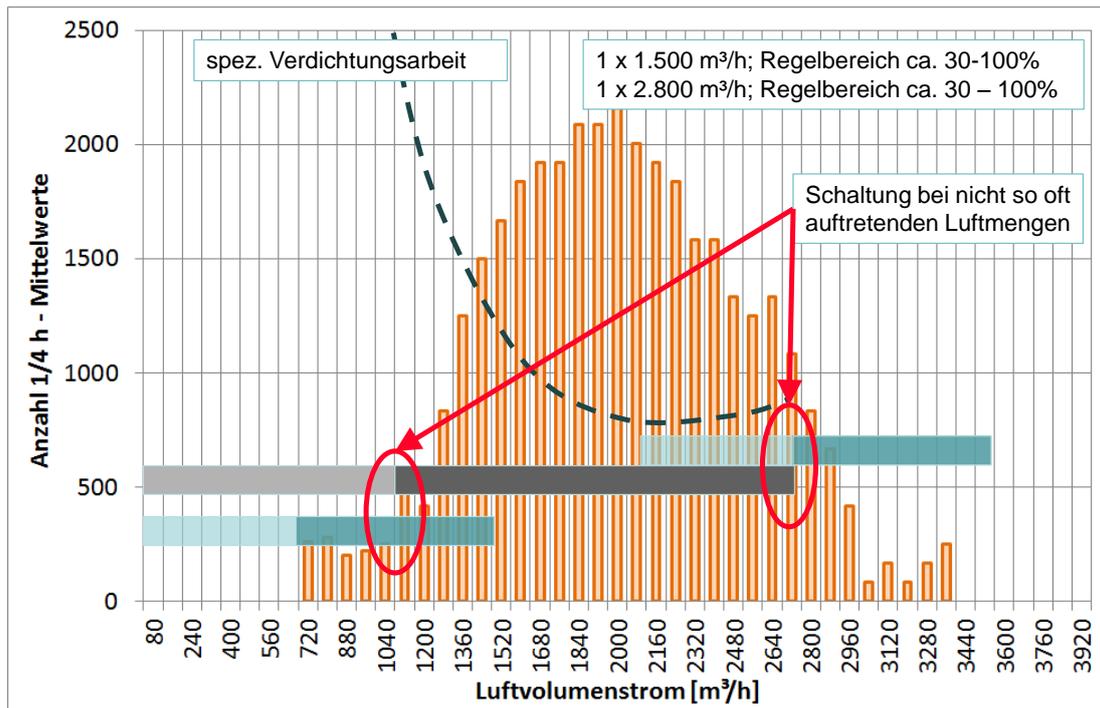


Abbildung 11: Häufigkeit der Luftvolumenströme - Umschaltunkte

In der Abbildung 11 sind für ein Beispiel die Häufigkeiten der auftretenden Luftvolumenströme und die Umschaltunkte eingetragen. Wenn es nun noch gelingt ein Aggregat zu finden, dass bei den häufig auftretenden Luftvolumenströmen um $1.900\text{m}^3/\text{h}$ eine niedrige spez. Verdichtungsarbeit hat, hat man eine gute Wahl getroffen.

4 Sonstige Komponenten

Für ein wirtschaftliches Belüftungssystem sind auch die Funktion, der Wartungsaufwand und die Zuverlässigkeit der, für eine Luftverteilerregelung, eingesetzten Systemkomponenten wichtige Faktoren.

Wichtig für Funktion und den wirtschaftlichen Einsatz der Mess- und Regeltechnischen Komponenten sind die örtlichen Rahmenbedingungen. Messgeräte benötigen eine angepasste Rohrleitungsführung mit Beruhigungsstrecken. In der Praxis wird diese Forderung häufig, auch bei Neubauten, nicht berücksichtigt. Noch kritischer ist die Situation bei Um- bzw. Nachrüstungen auf bestehenden Anlagen. Es wird dringend empfohlen, nicht nur auf die Qualität der Komponenten sondern auch auf die Einbaugeometrie und die Einsatzbedingungen zu achten.

Die Dimensionierung des Rohrleitungssystems wird an dieser Stelle nicht besprochen. Der Fokus liegt auf den Stellventilen und Messeinrichtungen.

4.1 Stellventile

Soll die Luft von einer Gebläsestation auf mehrere Becken oder Beckenbereiche verteilt werden sind Stellgeräte erforderlich.

In der Abbildung 12 ist das Stellverhalten verschiedener Ventilformen eingetragen.

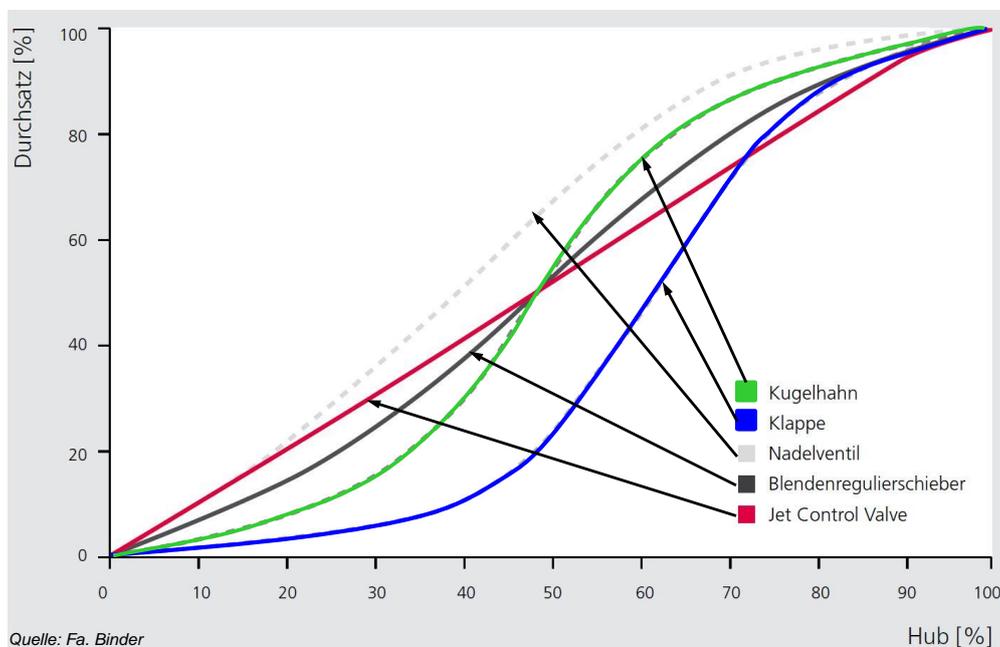


Abbildung 12: Stellverhalten verschiedener Ventilformen

Auf vielen Anlagen werden zentrische Klappenventile eingesetzt. Besser ist es Ventile mit möglichst linearem Stellverhalten einzusetzen.

Der bleibende Druckverlust bei voll geöffnetem Ventil sollte gering sein. Ein geringer Druckverlust ist für eine aktive Regelung erforderlich. Übliche Werte betragen ca. 10 hPa. Eine Sonderstellung nehmen hier die Blendenregulierschieber, mit integrierter Messung des Durchflusses auf Basis eines Drosselgerätes, ein. Um ein Messsignal zu generieren muss der Schieber ein wenig geschlossen sein (siehe auch Kapitel 4.2).

Für eine hohe Regelgüte ist auch die Reproduzierbarkeit der Druckverluste in Abhängigkeit der Position (Drehwinkel Hub, etc.) wichtig.

In der Tabelle 2 sind verschiedene Gebrauchseigenschaften von Regelventilen zusammengestellt.

Tabelle 2: Vergleich häufig eingesetzter Regelarmaturen,
 (Quelle: Firmenschrift Binder Engineering – modifiziert)

	Klappe	Blendenregulierschieber	Kugelhahn	Jet control valve
Regelgüte	--	++	--	+++
Druckverlust	++	0	-	+++
Regelbereich	--	++	--	+++
Installation (Gewicht)	+++	++	--	++
Geräusch	+	+++	+	+++
Korrosionsbeständigkeit	++	+	+++	+++
Investitionskosten	+++	+	-	--
Betriebskosten	---	++	-	+++
Wartungskosten	+	+	0	+++

Legende:

exzellent	+++	limitiert	-
sehr gut	++	kritisch	--
gut	+	nicht akzeptabel	---
akzeptabel	0		

Details zum Regelverhalten von Ventilen findet man z.B. in [9]. Für eine detaillierte Betrachtung wird auf [10] und [11] verwiesen.

4.2 Messeinrichtungen

Der Einsatz von Luftvolumenstrommesseinrichtungen bietet betriebliche Kontroll- und Optimierungsmöglichkeiten [12], dazu zählen:

- eine Verbesserung der Regelgüte, die Regelung wird schneller
- eine Veränderung der Betriebseigenschaften (z.B. Druckverlust) der Belüfterelemente kann frühzeitig erkannt werden
- Kontrolle der Luftverteilung bei Abwasserverteilung auf parallele Belebungsstraßen
- Durchführung von Plausibilitätsprüfungen, z.B. Zusammenhang zwischen Luftmenge und Sauerstoffkonzentration
- Wirtschaftliche Kennzahlen (z.B. Verdichtungsarbeit) können gemessen und für die Instandhaltung des Belüftungssystems genutzt werden

Das Volumen gasförmiger Medien ist von der Dichte und damit von der Gaszusammensetzung, dem Druck und der Temperatur abhängig.

Wichtig für die Sauerstoffzufuhr ist der Massenstrom an Sauerstoff der in das Becken geleitet wird und nicht der Volumenstrom. Daher wird bei Gasen der Volumenstrom im Normzustand angegeben, d.h. der Volumenstrom wird auf die Normtemperatur (0° Celsius = 273,15 Kelvin) und den Normdruck (1013,25 hPa

absolut) umgerechnet. Bei Abnahmemessungen ist es wichtig auch den Wasserdampf zu berücksichtigen und den trockenen Massenstrom zu berechnen. Details zur Umrechnung von Gasvolumenströmen findet man z.B. in [13].

Bei Messverfahren für Gase bei denen der Volumenstrom in Betriebskubikmeter ermittelt wird, ist daher auch die Messung des Systemdruckes und der Temperatur notwendig.

Zur Messung von Luftvolumenströmen an Belebungsbecken findet man häufig folgende Systeme:

- Drosselgeräte nach [14]: Blende, Venturidüse, Venturirohr
- Staurohr
- thermischer Massendurchfluss
- Ultraschall-Mitführeffekt

Details findet man z.B. in [12] und [15].

Es ist darauf hinzuweisen, dass alle Drosselgeräte nach [14] einen bleibenden Druckverlust haben der durch die Druckerhöhung der Gebläse abgedeckt werden muss. Messblenden haben, wenn sie auf einen großen Messbereich ausgelegt sind, im oberen Messbereich einen großen bleibenden Druckverlust.

Bei der Auswahl ist jedenfalls auf den durch die Messeinrichtung (inklusive Einengungen, Strömungsgleichrichter, etc.) verursachten Druckverlust zu achten. Die Messstelle muss leicht zugänglich sein und es sollte auch eine Möglichkeit zur Überprüfung vorgesehen werden.

Grundsätzlich ist das gesamte Regelkonzept auf die Notwendigkeit einer Luftvolumenstrommessung zu prüfen.

5 Literatur

- [1] DWA-M229: Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen; Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung (Mai 2013) und Teil 2: Betrieb (in Vorbereitung)
- [2] LOOCK, P. (2009): Veränderung der Leistungsfähigkeit feinblasiger Membranbelüftungselemente unter abwassertechnischen Bedingungen; Schriftenreihe WAR Band 202 (2009); TU Darmstadt
- [3] FREY, W.: Maßnahmen zum Erhalt der Leistungsfähigkeit von Belüftern; DWA Fachtagung: Energieeffizienz bei Belüftern und bei der Homogenisierung, 18. Juni 2009 in Neuhausen/Fildern

- [4] FREY, W.: ÖWAV Seminar „Belüftung auf Abwasseranlagen“ 19. Mai 2015 Wien, Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Belüftungssystemen in Abhängigkeit der Einsatzdauer
- [5] WESTPHAL G.: Leistungseintrag in Belebungsbecken - Eine grundlegende Darstellung, Korr. Abwasser, 1995, Nr.8, s.1353-1358
- [6] FREY, W.: Messwerte und Kennzahlen der maschinellen Ausrüstung auf Kläranlagen; ÖWAV-TU Seminar: Monitoring auf Kläranlagen, März 2011; Wiener Mitteilungen Band 224
- [7] FREY, W.: Gebläse für Belebungsanlagen, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen; KAN Folge 20, 2012
- [8] SEIBERT-ERLING, G.: ÖWAV Seminar „Belüftung auf Abwasseranlagen“ 19. Mai 2015 Wien, Einfluss der Auslegung und Abstufung der Gebläse auf die Effizienz der Belüftungseinrichtung
- [9] KROUPA, R.: Ventiltechnologie im Anlagenbau, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1994
- [10] ON EN 60534-2-1:2012-01: Stellventile für die Prozessregelung - Teil 2-1: Durchflusskapazität - Bemessungsgleichungen für Fluide unter Betriebsbedingungen
- [11] VDI/VDE 2173: 09/2007: Strömungstechnische Kenngrößen von Stellventilen und deren Bestimmung
- [12] DWA-M264: Gasdurchflussmessungen auf Abwasserbehandlungsanlagen; (Mai 2015)
- [13] FREY W. (2010): Endbericht zum KAN Forschungsprojekt „Garantienachweise für die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen - Blockheizkraftwerke“ (www.kan.at → KAN Materialien → Berichte;
http://www.kan.at/KAN.aspx_param_target_is_84630_and_Title_is-Berichte.v.aspx)
- [14] EN ISO 5167 Teil 1-4:2003: Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt
- [15] BONFIG, W.: Technische Durchflussmessung, Vulkan Verlag Essen, 3. Auflage, 2002

Korrespondenz an:

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

Tel.: +43 664 142 0181
Mail: aab.frey@aon.at
Homepage: www.aabfrey.com