

Messwerte und Kennzahlen der maschinellen Ausrüstung auf Kläranlagen

Wilhelm Frey

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung

Abstract: An ausgewählten Komponenten der maschinellen Ausrüstung von Kläranlagen werden physikalische Grundlagen und daraus abgeleitete Kennzahlen besprochen. Für Pumpen wird die theoretische Hebearbeit berechnet und daraus eine Gebrauchsformel für Plausibilitätsprüfungen abgeleitet. Die Grundlagen des Mischens mit Luft sowie Kennzahlen zur Beurteilung von Rührwerken werden angegeben. Den Schwerpunkt der Beitrages bildet das Belüftungssystem. Es werden die charakterisierenden Parameter angegeben und Kennwerte für die Beurteilung von Belüfterelementen und Gebläsen betrachtet. Abschließend wird die Nutzung von Faulgas in Blockheizkraftwerken behandelt. Es werden typische Werte für die Energieausbeute angegeben und erforderliche Anlagengrößen abgeschätzt.

Key Words: Pumpen, Belüftungssysteme, Druckverlust, Gebläse, Mischeinrichtungen, Blockheizkraftwerk

1 Einleitung

Ein wesentlicher Bestandteil moderner Abwasserreinigungsanlagen ist die maschinelle Ausrüstung. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages werden Pumpen, Belüftungssysteme, Mischeinrichtungen und Blockheizkraftwerke behandelt. Aufgrund der Größe des Themenbereiches wurden einige Punkte ausgewählt und versucht Kennzahlen zur Bewertung und/oder Dimensionierung anzugeben.

2 Pumpen

Im Kanal und auf Abwasserreinigungsanlagen sind unterschiedlichste Pumpenbauformen in Verwendung. Häufig anzutreffen sind Kreiselpumpen (mit unterschiedlichen Laufrädern) und Exzentrerschneckenpumpen. Hinweise zu Einsatz-

bereichen und Gebrauchseigenschaften findet man in der Literatur (z. B. FREY, SCHRAMMEL 2002).

2.1 Hebearbeit

Wird ein Fluid auf ein höheres Niveau gepumpt, so wird Arbeit verrichtet. Diese Hubarbeit kann aus der Veränderung der Lage abgeschätzt werden (Gleichung 1):

$$\text{Arbeit } W [\text{J}] = \text{Masse } [\text{kg}] \times \text{Weg } [\text{m}] \times \text{Erdbeschleunigung } [\text{m/s}^2] \quad \text{Glg. 1}$$

Theoretisch ist zum Heben von 1 m³ Wasser um 1 Meter eine Arbeit von 9810 J = 2,72 Wh erforderlich. Im realen Betrieb treten Reibungsverluste auf. Außerdem hat die Pumpe und der Antriebsmotor einen Wirkungsgrad kleiner 100 % der berücksichtigt werden muss. Für Abschätzungen kann eine Arbeit von **5 Wh angenommen werden um 1 m³ Wasser 1 m** zu heben.

BEISPIEL: Die Leistungsaufnahme eines Zulaufpumpwerkes betrug im betrachteten Zeitraum 109 kWh. Die Förderhöhe betrug ca. 10 m. Welche Wassermenge wurde ca. gefördert?

Lösung: Unter der Annahme, dass zum Heben von 1 m³ Wasser um 1 m ca. 5 Wh benötigt wurden, erhält man:

$$V [\text{m}^3] = \frac{W [\text{Wh}]}{5[\text{Wh}/(\text{m} \cdot \text{m}^3)] \cdot h[\text{m}]} = \frac{109.000}{5 \cdot 10} = 2180 \text{m}^3$$

Dieses Ergebnis erhebt keinen Anspruch auf große Genauigkeit, ist aber gut dazu geeignet die Plausibilität von Daten zu prüfen.

3 Mischen

Die Durchmischung von Abwasser und Schlamm sowie das Verhindern von Ablagerungen im Belebungsbecken ist für einen ungestörten Betrieb wichtig. Die Aufgabe kann durch die eingeblasene Luft und/oder mit Rührwerken gelöst werden.

3.1 Rührwerke

Die Auswahl der Rührwerke erfolgt in der Regel auf Vorschlag des Lieferanten. Die Prüfung, ob das Rührwerk die ihm gestellten Aufgaben erfüllt, kann in der Regel erst nach Einbau und Inbetriebnahme erfolgen. Bei der Auswahl gilt es zu beachten, dass:

- der Strömungswiderstand durch aufsteigende Luftblasen (Blasenwand) die erforderliche Rührwerksleistung erhöht

und

- die Rührwerksleistung den Gesamtenergieverbrauch erhöht und dadurch die Wirtschaftlichkeit des Belüftungssystems reduziert.

Das Belüftungssystem und die eingesetzten Rührwerke müssen, speziell in Umlaufbecken, aufeinander abgestimmt sein. Häufig wird bei Nichterreichen von Garantiewerten für die Sauerstoffzufuhr dem Rührwerk das Verschulden zugewiesen und umgekehrt bei Nichterfüllung der Mischaufgaben die Ursache der Belüftungseinrichtung zugewiesen. Für gleichzeitig belüftete und durchmischte Belebungsbecken müssen für die Sauerstoffzufuhr und die Durchmischung getrennte Garantiewerte formuliert und auch überprüft werden.

Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Belüftungssystemen kann nach ÖN EN 12255-15 und/oder DWA M-209 erfolgen.

Für die Prüfung der Leistungsfähigkeit von Rührwerken existiert die ISO 21630 (August 2007). Diese Vorschrift dient im Wesentlichen zum Vergleich verschiedener Aggregate. Darin wird das Verhältnis Schub[N]/Leistung[W] definiert. Dieser Wert gestattet die Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der Maschine. Ein typischer Wert für langsam laufende Horizontalrührwerke beträgt **0,9 Newton/Watt**.

Eine Zusammenstellung von Kontrollmöglichkeiten der Funktion von Rührwerken ist in der Literatur zu finden (FREY 2009, VDMA-Einheitsblatt 24656, DWA M-229). Im DWA M-131 werden verfahrenstechnische Hinweise gegeben. Es wird angeführt, dass

- für „leichten Schlamm“ die Sohlgeschwindigkeit größer 0,15 m/s und
- für „schweren Schlamm“ die Sohlgeschwindigkeit größer 0,30 m/s

betragen sollte. Dazu wird angegeben, dass der dafür erforderliche Leistungseintrag je nach Beckengröße und –form 1 bis 5 W/m³ beträgt.

Unter der Annahme, dass das Rühraggregat eine hohe Wirtschaftlichkeit, d.h. eine gutes Verhältnis Schub zu Leistung, hat und hochwertige Getriebe und Elektromotore verbaut werden, kann und wird häufig die spezifische Mischleistung [Watt/m³] als Auslegungsparameter herangezogen. Ein typischer Wert für langsam laufende Horizontalrührwerke beträgt **2,5 Watt/m³**.

3.2 Mischen mit Luft

Die mit der eingeblasenen Luft eingetragene Mischenergie kann aus dem Energieeintrag der Wasserverdrängung berechnet werden. Auch hier kann die Hebearbeit von 2,72 Wh/(m³•m) für eine Abschätzung dienen (siehe 2.1). Unter der Annahme, dass für die Mischung das Luftvolumen, bezogen auf die Zustandsgrößen in halber Einblastiefe maßgeblich ist, gilt (Gleichung 2):

$$q_L = \frac{\text{spez}P_{BB}}{2,72} \cdot \frac{1}{h_e} \cdot \frac{(p_{Luft} + 98,1 \cdot \frac{h_e}{2})}{1013} \cdot \frac{273}{(273 + t_w)} \quad \text{Glg. 2}$$

Darin bedeutet:

q_L spezifischer Luftvolumenstrom [m_N³/(m³•h)]

spez. P_{BB} ...spezifische Leistung [W/ m³]

h_eEintauchtiefe [m]

p_{Luft} aktueller Luftdruck [hPa]

t_wWassertemperatur [°C]

BEISPIEL:

Für eine Einblastiefe von 5 Metern, einer Wassertemperatur von 10°C und einer erforderlichen spezifischen Mischenergie von 3 W/m_{BB}³ berechnet man den spezifischen Luftvolumenstrom zu 0,26 m_N³/(m³•h). Ein typischer Wert des spezifischen Luftvolumenstromes für eine Belebungsanlage mit Stickstoffentfernung liegt bei **0,8 m_N³/(m³•h)**, d.h. die Durchmischung kann mit der eingeblasenen Luft erreicht werden.

4 Belüftungssysteme

Am häufigsten trifft man feinblasige Druckbelüftungssysteme an. Die Luft wird dabei über an der Sohle angeordnete poröse Belüfterelemente aus Kunststoff bzw. Keramik oder so genannte Membranbelüfter, das sind mit perforierten Kunststofffolien bespannte Platten, Rohren oder Scheiben, in das Wasser eingeblasen. Die benötigte Druckluft wird von Drehkolbengebläsen, Schraubenverdichtern oder Strömungsverdichtern erzeugt.

4.1 Charakterisierende Parameter

Die Leistungsfähigkeit eines Druckbelüftungssystems wird durch folgende Parameter angegeben:

- ⇒ Sauerstoffzufuhr SOTR (früher OC) [kg/h]
- ⇒ Sauerstoffertrag SAE (früher OP) [kg/kWh]
- ⇒ spez. Sauerstoffzufuhr SSOTE [$\text{g}/(\text{m}^3_{\text{N}} \cdot \text{m}_{\text{ET}})$] oder [%/m]
- ⇒ Abminderung in Belebtem Schlamm α -Wert

Typische Werte für den Sauerstoffertrag und die Sauerstoffausnutzung feinblasiger Druckbelüftungssysteme sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Unter optimalen Voraussetzungen können die Werte um bis zu 30% größer sein!

Tabelle 1: Typische Werte des Sauerstoffertrages und der Sauerstoffausnutzung

	Druckbelüftung		Oberflächenbelüftung	
	Reinwasser	Betrieb	Reinwasser	Betrieb
SAE [kg/kWh]	3,6	2,2	1,8	1,6
SSOTE [$\text{g}/(\text{m}^3_{\text{N}} \cdot \text{m})$]	20	12	-	-

Die Hersteller von Oberflächenbelüftungssystemen geben die Sauerstoffertragswerte in der Regel bezogen auf die Leistungsaufnahme an der Welle an. Dadurch werden Getriebe-, Kupplungs- und Elektromotorwirkungsgrade nicht berücksichtigt. In den in der Tabelle 1 angegebenen Werten, sind diese Wirkungsgrade berücksichtigt.

Die Sauerstoffzufuhr und der Sauerstoffertrag feinblasiger Druckbelüftungssysteme sind von der **Luftbeaufschlagung**, der **Einblastiefe** und der **Belegungsdichte** abhängig.

Die **Luftbeaufschlagung** ist jener Luftvolumenstrom der pro Flächeneinheit und Zeit durch die Gaszerteileroberfläche durchtritt. Die Luftbeaufschlagung der Belüftungselemente wird in Abhängigkeit von deren Form unterschiedlich angegeben. Während der Luftvolumenstrom bei Belüfterrohren auf die Länge des Rohres in Metern bezogen wird [$m_N^3/(m \cdot h)$], ist bei Tellern der Bezug auf das Element selbst üblich [$m_N^3/(\text{Stück} \cdot h)$]. Bei Plattenbelüftungselementen aus Folienmaterial wird der Luftvolumenstrom mit der Belüftergrundfläche in Beziehung gesetzt [$m_N^3/(m^2 \cdot h)$].

Die **Belegungsdichte** von feinblasigen Belüftungselementen ist das Verhältnis der abgasenden Gesamtfläche aller Belüftungselemente zur Belebungsbeckengrundfläche [%]. Neben dieser Definition wird die **Belegungsdichte** vielfach als Gesamtzahl der Elemente im Belebungsbecken, bezogen auf die Beckengrundfläche, angegeben. Übliche Belegungsdichten bei flächendeckenden Belüftungssystemen liegen zwischen 1 bis 5 Elementen pro Quadratmeter Beckengrundfläche. Typische Werte für die Luftbeaufschlagung und die Belegungsdichte feinblasiger Systeme sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Typische Werte der Luftbeaufschlagung und der Belegungsdichte

	Luftbeaufschlagung	Belegungsdichte
Rohre	4 – 10 $m_N^3/(m \cdot h)$	15 – 30 %
Teller	2 – 5 $m_N^3/(\text{Stück} \cdot h)$	5 – 20 %
Platten	10 – 50 $m_N^3/(m^2 \cdot h)$	10 – 40 %

Bei der Wahl geringer Belegungsdichten ist auf die Anordnung der Belüfter zu achten. Jedenfalls ist das Auftreten von Walzenströmungen zu vermeiden (FREY 2010).

Die Wahl der **Belegungsdichte** und der **Luftbeaufschlagung** beeinflusst maßgeblich die Wirtschaftlichkeit (laufende Betriebskosten) und die Anschaffungskosten der Belüftungseinrichtung. Grundsätzlich gilt:

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

4.1.1 Grenzflächenfaktor (α -Wert)

Durch Abwasserinhaltsstoffe (z.B. grenzflächenaktive Stoffe) wird die Sauerstoffzufuhr im Belebtschlamm-Abwassergemisch im Vergleich zu Reinwasser kleiner.

Es gibt eine Vielzahl von Einflussfaktoren, die den α -Wert beeinflussen:

- Salze (wirken erhöhend!)
- Waschmittel
- Schlammalter
- Trockensubstanzgehalt
- Reaktorkonfiguration
- Tages- bzw. Wochengang der Abwasserbeschaffenheit.

Der grundsätzlich größte Einflussparameter auf den α -Wert ist das Belüftungssystem selbst.

Typische α -Werte für Oberflächenbelüftungssysteme liegen zwischen 0,9 bis 1,0. Ein typischer Bereich bei Druckluftbelüftungssystemen in Anlagen mit Nitrifikation/Denitrifikation liegt bei **0,5 bis 0,7**.

Bei kleinem Schlammalter (nur Kohlenstoffelimination) ist der α -Wert in der Regel kleiner anzusetzen z.B. 0,3 bis 0,4. Ist das Schlammalter hoch, z.B. bei Anlagen mit gleichzeitiger aerober Schlammstabilisierung können größere α -Werte auftreten, z.B. 0,7 bis 0,8.

In der Literatur gibt es auch Angaben zu α -Werten für Anlagen mit hohem Trockensubstanzgehalt wie sie in Membranbelebungsanlagen auftreten. Auf solchen Anlagen mit TS > 10 g/L wurden α -Werte von 0,3 und darunter gemessen. Es ist **nicht zulässig** die Ergebnisse dieser Messungen auf Trockensubstanzgehalte, wie sie in konventionellen Belebungsanlagen (z.B. 3 - 4 g/L) auftreten, **zu extrapolieren!** Man würde viel zu große α -Werte erhalten.

4.2 Belüfterelemente

Die Belüfterelemente können nach der Bauform (Rohre, Teller und Platten) und nach dem Material (starrporös, EPDM, PU und Silikon) eingeteilt werden.

Für den Betrieb ist der Druckverlust des Belüfters in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung ein wesentlicher Betriebsparameter. Hinweise zur Messung des Druckverlustes von Belüfterelementen findet man unter anderem in FREY (2006).

Die folgenden Ausführungen gelten für Belüfterelemente mit elastischen Membranen. Typische Werte für den Druckverlust neuer Belüfterelemente mit Elastomeren betragen für:

- Rohre von 15 bis 35 hPa
- Teller von 20 bis 40 hPa
- Platten von 50 bis 80 hPa

Im Betrieb steigen diese Werte in der Regel leicht an. Ein typischer Druckanstieg beträgt ca. 30 % des Ausgangswertes. Wie Untersuchungen gezeigt haben (FREY 2004, KRAMPE, KAEBERT 2006, KRAMPE 2006) findet man auf vielen Anlagen im laufenden Betrieb, teilweise schon nach einem Jahr, deutlich größere Druckanstiege. Für Vergleichszwecke ist es sehr empfehlenswert Anfangsdruckmessungen durchzuführen. In der Abbildung 1 ist das Ergebnis einer Vergleichsmessung an gebrauchten und einer neuen Tellermembran dargestellt.

In dem dargestellten Fall war der Differenzdruck der Membran bei einem Luftdurchsatz von $4 \text{ m}^3/(\text{Stk}\cdot\text{h})$ von 22 hPa auf ca. 128 hPa angestiegen. Die Belüftungsenergie ist direkt proportional dem Gegendruck. Für eine Einblas-tiefe von 4,2 m ($= 4,2\text{m} \times 98,1\text{hPa/m} = 412 \text{ hPa}$) kann aus dem Verhältnis der Gesamtdrücke „gebraucht“ zu „neu“ den theoretischen Energiemehrverbrauch

errechnen: $\frac{412+128}{412+22} = 1,24$

Man erkennt, dass der Energiebedarf für die Belüftung über den Betriebszeitraum um 24% größer geworden ist.

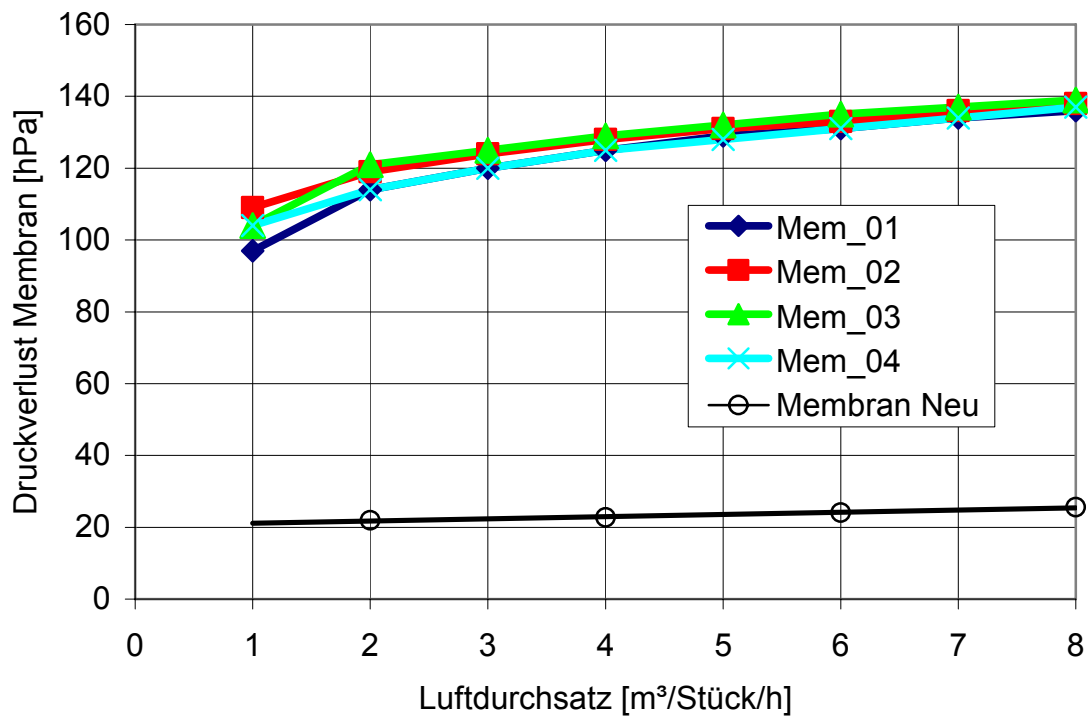


Abbildung 1: Druckverlust an Tellerbelüftermembranen (Durchmesser 300mm)

Die Ursache für steigenden Druckverlust sind häufig Ablagerungen in den Belüfterporen. In Abbildung 2 sind die Ablagerungen in einer Belüfterpore zu sehen.

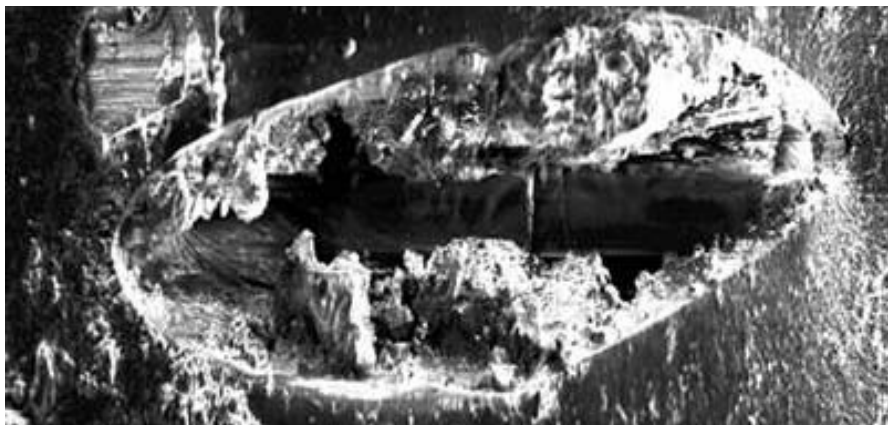


Abbildung 2: Ablagerung in einer Belüfterpore

Zur Beurteilung der Verluste in den Saug- und Druckrohrleitungen, den Rohrleitungseinbauten und den Belüfterelementen kann das Druckverhältnis der Druckerhöhung in der Gebläsestufe zu hydraulischem Gegendruck durch die Einblastiefe berechnet werden.

$$\text{Druckverhältnis} = \frac{\Delta p_{\text{Gebläse}}}{\Delta p_{\text{hydraulisch}}} \quad \text{Glg. 3}$$

Ein typischer Wert für das **Druckverhältnis** bei feinblasigen Belüftungssystemen beträgt **1,2**. Das bedeutet, dass ca. 20% der Drucksteigerung (und damit der Belüftungsenergie) aufzuwenden sind um die Strömungsverluste abzudecken. Je größer das Druckverhältnis, desto größer sind die Verluste in den Rohrleitungen, den Rohrleitungseinbauten und den Belüfterelementen.

4.2.1 Druckverlust und Bezugsluftvolumenstrom

Die Datenblätter von Belüfterelementen beinhalten neben dem Diagramm für die Sauerstoffausnutzung in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung und/oder der Belegungsdichte auch eine Information über den Druckverlust in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung. Für die Berechnung der Luftbeaufschlagung wird oft der Luftvolumenstrom in Normkubikmeter verwendet. Ohne Kenntnis des Versuchsaufbaus ist diese Information unvollständig.

Für die Gebrauchseigenschaften des Belüfters sind die Betriebskubikmeter entscheidend, da die Strömungsgeschwindigkeiten im Belüfterelement und in den Rohrleitungen von den aktuellen Betriebskubikmetern abhängig ist und nicht vom Massenstrom ausgedrückt als Normkubikmeter. Dies ist auch der Grund, weshalb die im Becken bei einer Einblastiefe von z.B. 5 Metern gemessenen Druckverluste eines Belüfters immer kleiner sind als die in den Datenblättern angegebenen Druckverluste (meist bezogen auf Normbedingungen oder 1 bar und 20° C).

Für den Druckverlust eines Belüfterelementes gilt:

$$\Delta p = \Sigma \zeta \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad \text{Glg. 4}$$

Für die Umrechnung des Luftvolumenstromes für verschiedene Zustandsgrößen gilt:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{T_2 \cdot p_1}{T_1 \cdot p_2} \quad \text{Glg. 5}$$

Für die Lufttemperatur an den Austrittsöffnungen im Becken kann dann vereinfacht die Wassertemperatur zugrunde gelegt werden. Für die Umrechnung der Dichte für verschiedene Zustandsgrößen der Luft gilt:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{T_1 \cdot p_2}{T_2 \cdot p_1} \quad \text{Glg. 6}$$

Berechnet man nun die Druckverluste bei verschiedenen Zustandsgrößen der Luft (aber konstantem Massenstrom) erhält man nach Umformung:

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \frac{T_2 \cdot p_1}{T_1 \cdot p_2} \quad \text{Glg. 7}$$

Darin bedeutet:

- Δp Druckverlust des Belüfterelementes [hPa]
- p Luftdruck [hPa]
- Q Luftvolumenstrom [m^3/h]
- T Temperatur des Luftstromes [K]
- ζ Widerstandsbeiwert [-]
- v Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
- ρ Dichte der Luft [kg/m^3]
- 1,2 Index für den jeweiligen Betriebszustand

BEISPIEL: Ein Belüfterhersteller bestimmt den Druckverlust seiner Belüfterelemente, indem er die Belüfter in einem Tauchbecken mit 20 cm Wasserüberstau montiert. Die Temperatur der durchgeblasenen Luft beträgt ca. 20 °C. Der Umgebungsluftdruck beträgt 1.000 hPa. Der Luftvolumenstrom beträgt 3 $\text{m}_\text{N}^3/\text{h}$. Der Messwert des Druckverlustes am Belüfterelement wird mit 30 hPa gemessen.

Auf dem Typenblatt des Belüfters ist angegeben: Druckverlust bei einem Luftvolumenstrom von 3 $\text{m}_\text{N}^3/\text{h}$ beträgt 30 hPa. Der tatsächliche Luftvolumenstrom betrug 3,1 m^3/h , d.h. die Abweichung ist vernachlässigbar gering.

Nun werden diese Belüfter in ein Becken mit einer Einblastiefe von 5 Metern und einer Wassertemperatur von 10°C eingebaut. Der Umgebungsluftdruck beträgt wieder 1.000 hPa. Über die Gebläse wird ein Luftvolumenstrom umgerechnet auf Normbedingungen von 3 m_N^3 pro Belüfter und Stunde eingestellt. Unter der Annahme, dass sich die Lufttemperatur der Wassertemperatur nahezu angleicht, beträgt der tatsächliche Luftvolumenstrom 2,0 $\text{m}^3/(\text{Stk} \cdot \text{h})$. Die Luftbeaufschlagung ist also deutlich geringer als angenommen. Der Druckverlust wird auf 19,4 hPa reduziert.

4.3 Gebläse

Je nach Wassertiefe und Anlagengröße kommen folgende Druckluftherzeuger (Gebläse) zum Einsatz:

- Drehkolbenverdichter (zwei- und dreiflügelig), maximale Druckdifferenz 0,9 bar, Volumenströme bis ca. 3.000 m³/h
- Schraubenverdichter, maximale Druckdifferenz 3 bar, Volumenströme bis ca. 8.000 m³/h
- Strömungsverdichter (einstufig), maximale Druckdifferenz 1,5 bar, Volumenströme bis ca. 30.000 m³/h

Strömungsverdichter haben aufgrund ihrer Arbeitsweise, bei gleichem Volumenstrom und gleichen Betriebsparametern, einen geringeren Leistungsbedarf als Verdrängermaschinen (z.B. Drehkolben). Eine Grundlegende Darstellung der Arbeitsweise und den erreichbaren Verdichtungswirkungsgraden findet man bei WESTPHAL (1995).

4.3.1 Kennwerte zur Beurteilung

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit kann die spezifische Einblasenergie berechnet werden. Es gibt zwei Möglichkeiten diesen Wert zu berechnen:

- Spezifische Einblasenergie bezogen auf die Einblastiefe, spez.P_h [Wh/(m³•m)]

Dieser Wert eignet sich besonders zur Beurteilung der Gesamtsituation. Er beinhaltet die inneren Verluste des Gebläses, sowie die Verluste der Saug- und Druckrohrleitung, der Rohrleitungseinbauten und der Belüfterelemente.

$$\text{spez.P}_h = \frac{P_{\text{Gebläse}}}{Q_{\text{Luft,ansaug}} \cdot h_e} \quad \text{Glg. 8}$$

Darin bedeutet:

P_{Gebläse} Klemmenleistung des Gebläseantriebsmotors [W]

Q_{Luft,ansaug} ... Luftvolumenstrom im Ansaugzustand [m³/h]

h_e Einblastiefe im Belebungsbecken [m]

Dieser Wert sollte zur besseren Vergleichbarkeit mit dem Luftvolumenstrom bezogen auf die Ansaugbedingungen berechnet werden. Ältere, in der Literatur

zu findende, Werte sind in der Regel mit dem Luftvolumenstrom bezogen auf Normzustand (0°C, 1013 hPa) berechnet. Ein typischer Wert für die spezifische Einblasenergie von Drehkolbengebläsen bezogen auf die Einblastiefe, beträgt **spez.P_h = 4,8 [Wh/(m³•m)]**.

- Spezifische Einblasenergie bezogen auf die Druckerhöhung in der Gebläsestufe spez.P_p [Ws/(m³•Pa)] =[-]

Dieser Wert eignet sich besonders zur Beurteilung der Gebläsestufe. Er beinhaltet im Wesentlichen die Verluste des Gebläses (volumetrischer Wirkungsgrad). Durch Verwendung von SI Einheiten ist diese Kennzahl dimensionslos. Dieser Wert ist zur besseren Vergleichbarkeit mit dem Luftvolumenstrom bezogen auf die Ansaugbedingungen zu berechnen.

$$\text{spez.P}_p = \frac{P_{\text{Gebläse}}}{Q_{\text{Luft,ansaug}} \cdot \Delta p_{\text{Gebläse}}} \quad \text{Glg. 9}$$

Darin bedeutet:

P_{Gebläse} Klemmenleistung des Gebläseantriebsmotors [W]

Q_{Luft,ansaug} ... Luftvolumenstrom im Ansaugzustand [m³/s]

Δp Drucksteigerung in der Gebläsestufe [Pa]

Ein typischer Wert für die spezifische Einblasenergie von Drehkolbengebläsen, bezogen auf die Druckerhöhung in der Gebläsestufe, beträgt **spez.P_p = 1,5 [-]**.

5 Blockheizkraftwerke

Das bei der anaeroben Schlammfäulung gewonnene Faulgas wird zur Produktion elektrischer Energie und Wärme häufig in Blockheizkraftwerken verbrannt.

Je Kilogramm abgebauter organischer Trockenmasse entstehen ca. 500 Liter reines Methan. Faulgas besteht im Wesentlichen aus Methan (65%) und Kohlendioxid (35%). Ein typischer Wert der Faulgasproduktion auf kommunalen Kläranlagen liegt bei 18 Liter pro EW₁₂₀ und Tag. Ausführliche Betrachtungen und Datenauswertungen findet man z.B. bei SVARDAL (2010), LINDTNER (2009).

Der Gasanfall ist u.a. von den Betriebsparametern der Faulanlage, der Menge an Primärschlamm, dem Schlammalter der Belebungsanlage und der Zugabe von Co-Substraten abhängig.

Reines Methan hat einen Energieinhalt von 36.000 kJ/m^3 ($=10 \text{ kWh/m}^3$). Faulgas mit einer Zusammensetzung von 65% Methan und 35% Kohlendioxid hat demnach einen Energieinhalt von ca. 24.000 kJ/m^3 ($6,5 \text{ kWh/m}^3$). Wird dieses Gas in einem BHKW verstromt kann im Mittel mit einer Energieausbeute von ca. 2 kWh/m^3 Faulgas gerechnet werden. In der folgenden Abbildung 3 ist die Energieausbeute in Abhängigkeit vom Methangehalt und dem elektrischen Wirkungsgrad des BHKW dargestellt.

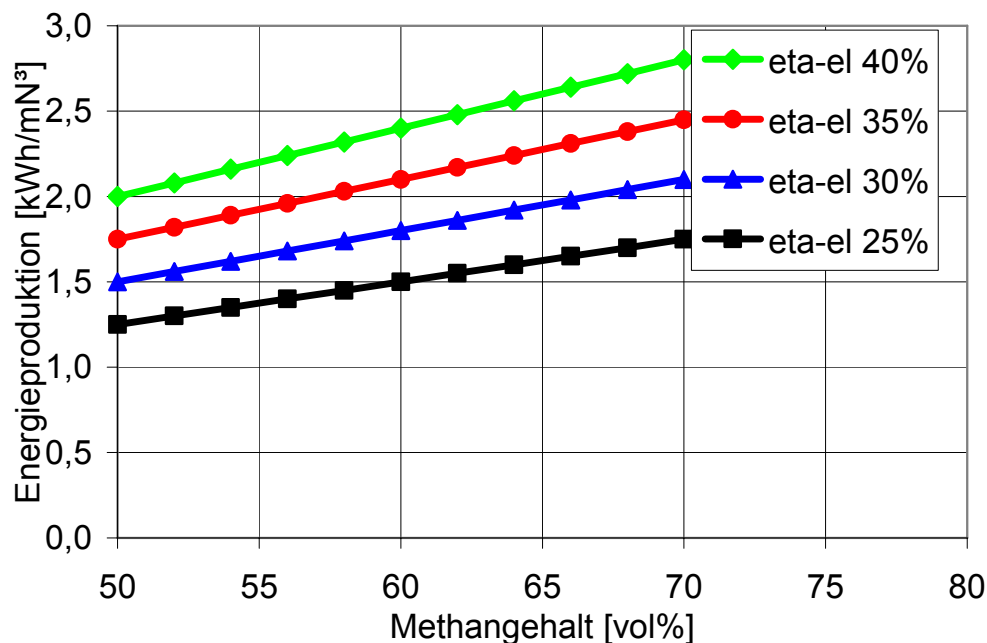


Abbildung 3: Energieausbeute in Abhängigkeit vom Methangehalt und dem elektrischen Wirkungsgrad

Zur Einschätzung der Größe des BHKW in Abhängigkeit des Gasanfalls und der Anlagengröße kann die Abbildung 4 eine Hilfestellung bieten.

Aus dem Diagramm ist ableitbar, dass z.B. bei einem Gasanfall von $18 \text{ L}/(\text{EW}_{120} \cdot \text{d})$ erst ab einer Anlagengröße von 30.000 EW_{120} ein Aggregat mit $50 \text{ kW}_{\text{el}}$ im Dauerbetrieb betrieben werden kann.

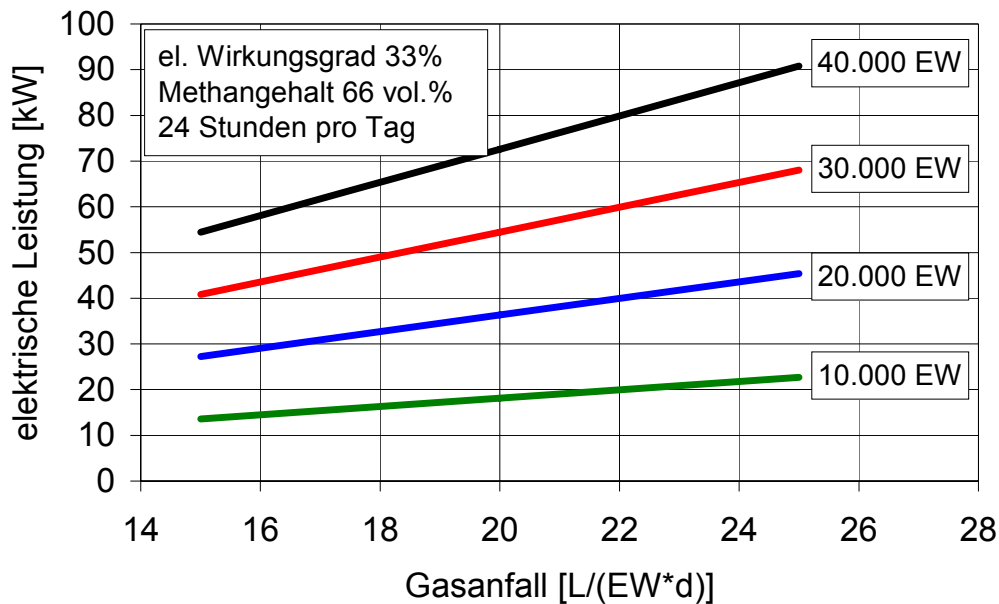


Abbildung 4: Elektrische Leistung in Abhängigkeit des Gasanfalls und der Anlagengröße

6 Literatur

- EN 12255-15 (2003): Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen
- ISO 21630 (2007): Pumps - Testing - Submersible mixers for wastewater and similar applications
- ATV-DVWK-A 131 (2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen
- DWA-M 209 (2007): Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm
- DWA-M 229 (in Ausarbeitung): Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen
- VDMA-Einheitsblatt 24656 (2010): Rührwerke in Belebungsbecken von Abwasserreinigungsanlagen; Hinweise zur Planung, Projektierung und Ausführung
- FREY, W.; SCHRAMMEL, A. (2002): Maschinelle Ausrüstung der Schlammbehandlung, Wiener Mitteilungen Band 177b, Seite 77-123, ISBN 3-85234-068-3
- FREY, W. (2003): Fragebogen Belüftungssysteme - Ergebnisse der Umfrage Frühjahr 2003, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen, KAN Folge 11
- FREY, W. (2006): Diagnose: Zu hoher Druckverlust; KA Betriebsinfo 3/2006
- FREY W. (2009): Garantienachweise für die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen - Belüftungssysteme und Rührwerke, Schriftenreihe Kläranlagennachbarschaften, Band 17; ISBN: 3-902084-54-5

- FREY, W. (2010): Durchmischung von Belebungsbecken mittels Belüftungssystemen, 6. Frankfurter Abwassersymposium 17. Juni 2010, Beeinflussung der biologischen Leistungsfähigkeit von Abwasserreinigungs- und Biogasanlagen durch Mischen und Rühren
- KRAMPE, J.; KAEBERT, S. (2006): Stand der Belüftungstechnik in Baden-Württemberg Jahresbesprechung der Lehrer des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg, 30. März 2006, Stuttgart
- KRAMPE, J. (2006): Vergleich verschiedener Druckbelüftungssysteme unter Betriebsbedingungen in kommunalen Kläranlagen, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 186, S. 59 - 77, Oldenbourg Verlag, München, 2006
- LINDTNER, S. (2009): Benchmarking: Grundlagen / Praxiserfahrungen;
http://www.abwasserbenchmarking.at/upload/documents/cms/42/BM_Grundlagen_Praxiserfahrungen_20090617.pdf (Zugriff am: 2011-02-13; Uhrzeit: 11:50)
- SVARDAL, K. (2010): Die Energieautarke Kläranlage, Schriftenreihe Kläranlagennachbarschaften, Band 18; ISBN: 978-3-902084-82-8
- WESTPHAL, G. (1995): Leistungseintrag in Belebungsbecken - Eine grundlegende Darstellung, Korr.Abw. 8/95; S.1353 ff

Korrespondenz an:

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
2100 Leobendorf
eMail: aab.frey@aon.at
web: www.aabfrey.com