

SAUERSTOFFZUFUHR IN THEORIE UND PRAXIS - WARTUNG UND GEBLÄSEAUSWAHL

Wilhelm Frey, Leobendorf

1. Einleitung

Das Belüftungssystem ist beim Belebungsverfahren einer der wichtigsten Anlagenteile. Es besteht aus einer Reihe von Einzelkomponenten die sorgfältig aufeinander abgestimmt sein müssen. In den vergangenen Jahren wurde über die Alterung und Verstopfung von Belüfterelementen und deren Wartung berichtet. Auch die Arbeitsweise, die Regelbereiche und Wirtschaftlichkeit von Gebläsen war bereits mehrfach Inhalt von Vorträgen. Im vorliegenden Papier möchte ich einerseits einen kurzen Überblick über Bekanntes geben aber auch über neue Erkenntnisse und deren Umsetzung in der Praxis berichten.

Die Ausführungen in diesem Papier beschränkt sich auf Druckbelüftungssysteme.

2. Theorie der Sauerstoffzufuhr

Wie viel des in das Belebungsbecken eingeblasenen Sauerstoffs im Becken verbleibt ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. In einem Normkubikmeter Luft (1.013 hPa, 0 °C) sind etwa 300 g O₂ enthalten. Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Sauerstoffzufuhr für Reinwasser sind:

2.1 Größe der Luftblasen

Je kleiner die einzelnen Luftblasen sind, umso größer ist die Gesamtoberfläche der Luftblasen. Die ins Abwasser übertragene Sauerstoffmenge ist umso größer, je größer die durch die Oberfläche der Luftblasen gebildete Grenzfläche zwischen Luft und Abwasser ist. Wenn 1 m_N³ Druckluft durch Reinwasser einen Meter aufsteigt, werden bei feinblasiger Belüftung (Blasengröße 2-5 mm) bis zu 25 g O₂ in sauerstofffreies Wasser übertragen. Bei zunehmender Blasengröße sinkt der Sauerstoffübergang auf bis zu 5 g O₂ pro m_N³ Luft und Meter Einblastiefe ab.

2.2 Aufenthaltszeit der Luftblasen im Wasser

Die Aufenthaltszeit ist von der vertikalen Aufstiegs geschwindigkeit der Luftblasen abhängig. Sie setzt sich aus zwei Komponenten zusammen:

- durch den Auftrieb der Blase erzeugte vertikale Geschwindigkeit
- durch die Wasserströmung verursachte vertikale Geschwindigkeit

Die Aufstiegs geschwindigkeit von Luftblasen mit einem Durchmesser 1-5 mm in Wasser liegt zwischen 20 und 30 cm/s.

Bei nur teilweiser Belegung der Beckensohle mit Belüfterelementen (z.B. Umlaufbecken mit einzelnen Belüfterfeldern) oder großem Abstand zwischen einzelnen

Belüfterelementen entstehen an den Rändern Walzenströmungen. Die vertikale Geschwindigkeit dieser Strömungswalze erreicht durch die Schleppkraft der aufsteigenden Luftblasen näherungsweise die gleiche Geschwindigkeit wie die aufsteigenden Blasen.

Durch diesen Sachverhalt reduziert sich die Aufenthaltszeit der Luftblasen in den betroffenen Randbereichen ca. auf die Hälfte. Je nach Anzahl und Größe der Belüfterfelder kann dadurch die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems um bis zu 30% kleiner ausfallen als erwartet.

3. Belüfterelemente

Die etablierten Bauformen Tellerbelüfter, Rohrbelüfter und Plattenbelüfter werden aus starrporösem Material und Elastomeren angeboten. Weiterführende Informationen findet man z.B. im DWA Regelwerk [1].

3.1 Material

3.1.1 Starrporöses Belüftermaterial

Bei starrporösen Belüfterelementen bestimmt die Korngröße die Größe der Hohlräume und damit die Blasengröße und den Druckverlust. Die Körner sind aus Kunststoff oder mineralischem Material.

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

Diese Belüfterelemente werden in der Regel für kontinuierliche Belüftung verwendet. Für intermittierenden Betrieb mit Schlamm sind sie nicht geeignet (Verstopfungsgefahr).

3.1.2 Elastomere (Membranbelüfter)

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:

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

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. Das Material ist nicht UV beständig, bei der Montage ist auf Sonnenschutz zu achten. Verarbeitet werden dünne Folien (ca. 1mm) wodurch sehr kleine Blasen erzeugt werden können. Der Druckverlust ist größer als bei anderen Materialien (typisch 50-60 hPa).

Belüfterelemente aus EPDM haben eine gute Beständigkeit gegen übliche Abwasserinhaltsstoffe (NICHT für Öl geeignet) und eine hohe mechanische Festigkeit. Auch EPDM Membranen sind nicht dauerhaft UV beständig. EPDM ist kein „reiner“ Kunststoff, sondern besteht aus einigen „Zutaten“. Je nach Rezeptur und Verarbeitung ergeben sich Unterschiede in den Gebrauchseigenschaften (Alterung!). Das Material hat eine Dicke von ca. 2mm, der Druckverlust beträgt typisch 20-30 hPa.

Abwasserbelüfter aus Silikon sind chemisch sehr beständig und werden daher gerne bei Vorhandensein von besonderen Abwasserinhaltsstoffen (Industrieabwasser, Öl) eingesetzt. Im Vergleich zu anderen Materialien hat Silikon eine geringere Weiterreißfestigkeit und muss sorgfältig verarbeitet werden (Rohrbelüfter). Das Material hat eine Dicke von ca. 2mm, der Druckverlust beträgt typisch 20-30 hPa.

3.2 Gebrauchseigenschaften

Belüfterelemente haben eine minimale und eine maximale Luftbeaufschlagung mit der sie betrieben werden können. Außerhalb dieses Betriebsbereiches kann ungleichmäßiges Abgasen auftreten.

Der Druckverlust von Belüfterelementen steigt mit der Luftbeaufschlagung. Die Sauerstoffausnutzung sinkt mit der Luftbeaufschlagung. Daher 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 Drossel bzw. Notlaufeinrichtung und/oder einer Rückschlagsicherung bestimmt. Bei großen Luftdurchsätzen wird der Druckverlust der Drossel größer als der Druckverlust der Membran. Die Drossel reduziert den Luftdurchsatz, falls die Membran beschädigt wird. Die Rückschlagsicherung verhindert das Eindringen von Wasser (und Schlamm) in das Rohrleitungssystem bei Beschädigungen der Membran oder bei intermittierendem Betrieb. 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 der unbeschädigten Belüfterelemente.

In der Abbildung 1 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.

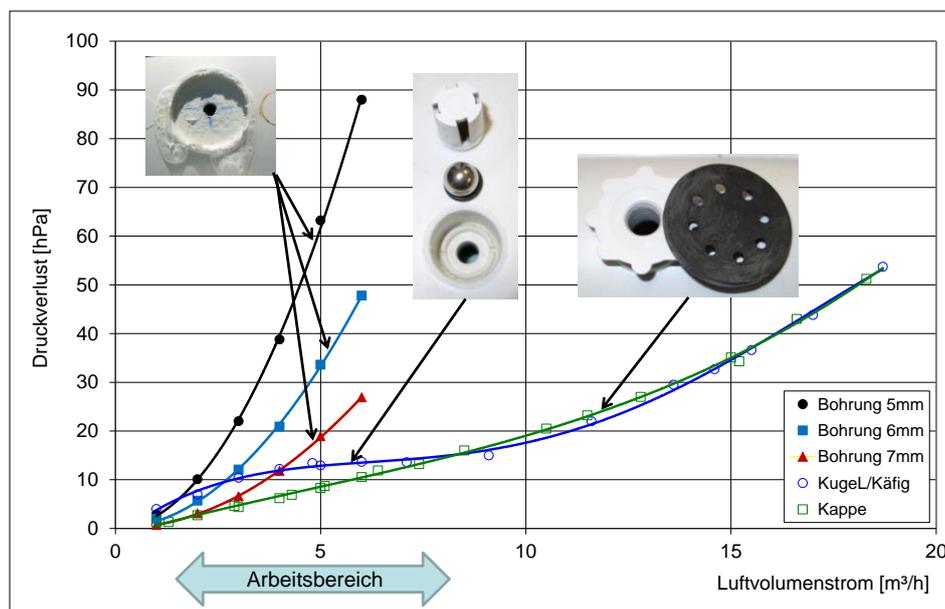


Abbildung 1: Druckverlust der Notlaufeinrichtung

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.

3.3 Wartung und Reinigung

Grundsätzlich ist zwischen Reinigungsmethoden bei denen das Belebungsbecken entleert werden muss, und jenen, wo der Anlagenbetrieb aufrechterhalten werden kann, zu unterscheiden. Die Verfahren mit entleertem Becken können weiter aufgetrennt werden in solche, wo die Belüfter ausgebaut werden und solche, wo die Belüfter nicht ausgebaut werden müssen. Häufig angewendete Methoden sind:

- Eindüsen von Säure in den Luftstrom (z.B. zur Entfernung von Kalkausfällungen).
- Dehnung der Membran durch Erhöhen des Luftdurchsatzes
- Mechanische Reinigung mit einem rotierenden Hochdruck Wasserstrahl

Weitere Informationen über unterschiedliche Wartungsmaßnahmen und Reinigungsmethoden findet man in [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8] und [9].

3.3.1 *Eindüsen von Säure*

Das Eindüsen von Säure in die Versorgungsluftleitung erfolgt ohne Betriebsunterbrechung. Ein Entleeren der Belüftungsbecken ist nicht erforderlich. Die mit der Säure in Kontakt gebrachten Materialien müssen beständig gegen die eingesetzte Säure sein.

Die Methode sollte bereits bei ersten Anzeichen einer Druckerhöhung oder als vorbeugende Maßnahme eingesetzt werden. Sind Belüftermembranen schon vollständig verstopft, so tritt dort nur mehr sehr wenig bzw. keine Luft mehr aus und die mit dem Luftstrom transportierte Säure kommt nicht zu den Stellen wo sie gebraucht würde.

Die Abbildung 2 zeigt die Anordnung einer Ameisensäuredosierung und einer ausgeführten Essigsäureeindüsung.

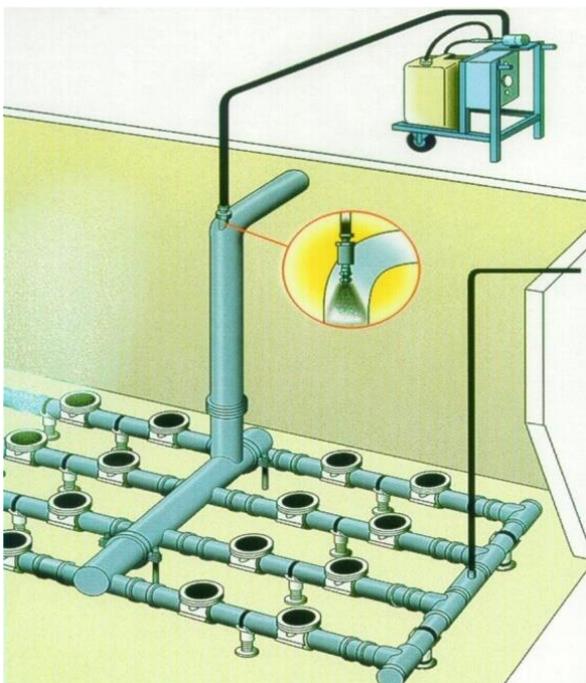


Abbildung 2: Ameisensäuredosierung

und

Essigsäureeindüsung

Voraussetzung für die Wirksamkeit der Säureeindüsung ist, dass die Verstopfungen säurelöslich sind. Grundsätzlich können unterschiedliche Säuren zum Einsatz kommen. Das von der Firma NOPON vor vielen Jahren entwickelte Verfahren verwendet Ameisensäure [10]. Die Ameisensäure hat den Vorteil, dass sie sehr gut verdampft und mit dem Luftstrom zur Membran gelangt. Die Einbringung der Säure kann mit einfachen Membrankolbenpumpen und einfachen Düsen (z.B. Kegelstrahl) erfolgen. Betreiber berichten, dass damit der Differenzdruck sehr gut reduziert werden kann. Die Dosierung wird, bei Erreichen eines Grenzdruckes, häufig nur händisch, für kurze Zeit in Betrieb genommen. Eine allgemeine Dosierempfehlung kann nicht gegeben werden. Die pro Zeiteinheit in die Luftleitung zu dosierende Säuremenge hängt vom Luftdurchsatz und dem Grad der Verstopfung ab. Die Erfahrungswerte schwanken sehr stark. Gute Ergebnisse konnten bei einmaliger Zugabe von 10 kg 80%-iger Ameisensäure in 10 Stunden in ein Becken mit 2000 m³ und ca. 40 m² abgasender Belüfterfläche erzielt werden.

Da manche Belüftermaterialien (z.B. Polyurethan) nicht gegen Ameisensäure beständig sind, wird auch Essigsäure eingesetzt. Die Essigsäure verdampft nicht so leicht wie die Ameisensäure. Für die Einbringung der Säure in den Luftstrom sind Hochdruckpumpen (ca. 30-50 bar) und spezielle Nebeldüsen erforderlich. Diese Düsen erzeugen sehr kleine Tröpfchen die dann schneller verdampfen. Auch hier kann keine allgemeine Dosierempfehlung abgegeben werden. Bei einer ausgeführten Anlage für ca. 900.000 EW wurde ein Verbrauch von ca. 1000 Liter 30%-iger Essigsäure pro Monat verzeichnet.

3.3.2 *Dehnung der Membran*

Das Dehnen und Entspannen der Membranen erfolgt ohne Betriebsunterbrechung. Ein Entleeren der Belüftungsbecken ist nicht erforderlich. Üblicherweise werden die Membranen periodisch kurz (z.B. 10 Minuten) mit maximalem Luftvolumenstrom beaufschlagt und anschließend der Druck in der Rohrleitung abgesenkt (z.B. 5 Minuten). Dadurch wird die Membran abwechselnd gedehnt und entlastet was zu einer Ablösung von Ablagerungen führt.

Der Be- und Entlastungsvorgang sollte mindestens einmal, besser mehrmals täglich durchgeführt werden. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen den Vorgang zu automatisieren. Bei bestehenden Anlagen verursacht die nachträgliche Einbindung des „Dehnungsprogrammes“ in die Gebläseregelung häufig einen hohen Aufwand. Jedenfalls müssen Fragen der Beeinträchtigung der Regelstrategie (z.B. Sauerstoffregelung, Regelung nach Stickstoffparametern) sowie der Lastabwurfsteuerung berücksichtigt werden.

Das Ablassen des Druckes aus der Luftleitung ist in der Regel mit starker Lärmentwicklung verbunden, es sind Maßnahmen zur Schalldämpfung zu treffen.

Auch das Problem des Wassereintrittes in die Belüfterelemente und die Beckenverrohrung während der Druckabsenkung darf nicht vernachlässigt werden. Bei neueren Installationen wird daher das Rohr aus dem die Luft abgelassen wird auf Höhe der Belüfterelemente in das Belebungsbecken hinuntergezogen. Dadurch wird die Lärmentwicklung reduziert und an den Membranen herrscht luft- und wasserseitig der gleiche Druck.

3.3.3 *Mechanische Reinigung*

Vor der Reinigung muss das Becken bis zu den Belüftern entleert werden. Vorteilhaft ist, dass für die Reinigung die Belüfter nicht demontiert werden müssen. Wichtig ist, dass mit einer **Dreckfräse** (rotierender Wasserstrahl) gearbeitet wird. Bei leistungsstarken Hochdruckreinigungsgeräten empfiehlt es sich die Belüfterelemente gering mit Wasser überdeckt zu lassen (z.B. 10 cm). ACHTUNG Gefahr der Beschädigung der Membranen!

Die Methode kann für Platten- und Tellerbelüfter mit nach oben gerichteter Abgasungsfläche eingesetzt werden. Bei Rohrbelüftern ist die Zugänglichkeit an der Unterseite schlecht und die Reinigung mit dem Hochdruckreiniger daher weniger empfehlenswert.

In der Vergangenheit wurden die Belüfterelemente häufig zerlegt und versucht die Membranen von beiden Seiten mit dem Hochdruckreinigungsgerät sauber zu machen. Der Effekt waren blanke Oberflächen, aber die verstopfenden Ablagerungen in den Poren wurden durch diese Vorgangsweise nicht entfernt. Lässt man die Belüfter montiert, beaufschlagt sie gering mit Luft (falls mehrere Becken mit einem Gebläse beschickt werden, muss die Luft zum entleerten Becken eingedrosselt werden!) und behandelt die abgasenden Flächen mit dem rotierenden Wasserstrahl der Dreckfräse, so werden die verstopfenden Ablagerungen aus den Poren heraus gewaschen.

Die mechanische Reinigung ist als Wartungsmaßnahme zu sehen. Je nach Geschwindigkeit des Anstieges des Druckverlustes muss entschieden werden, ob eine Reinigung als einzige Maßnahme sinnvoll ist oder nicht. Ist die Zeitspanne zwischen zwei Reinigungen kurz (wenige Monate), so ist langfristig nach anderen Möglichkeiten zur Begrenzung des Druckanstieges zu suchen.

3.4 Anordnung der Belüfterelemente im Becken

Wie schon in 2.2 Aufenthaltszeit der Luftblasen im Wasser angesprochen, haben Strömungswalzen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Belüftungssystems. 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 %) siehe Abbildung 1.

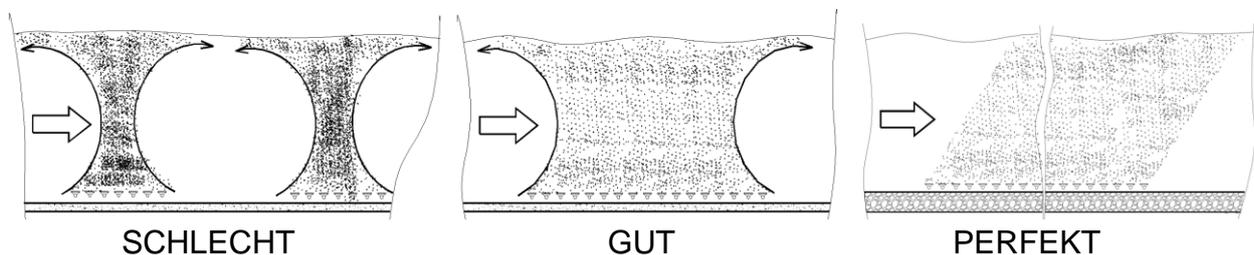


Abbildung 1: Einfluss von Strömungswalzen vor und hinter einem Belüpfungsfeld

Je größer das Belüpfungsfeld wird, bzw. je weniger Randwalzen es gibt, desto geringer wird die Reduktion der Sauerstoffzufuhr durch den Strömungswalzeneneinfluss.

Es hat sich gezeigt, dass es günstig ist die Belüfterfelder zu vergrößern und mehr Belüfter einzubauen. Diese Maßnahme erfordert bei Becken mit geringer Länge den Einbau von Belüftern in der Umlenkung. Ordnet man zusätzlich die Belüfterfelder so an, dass sie zusammenhängen, d.h. nur zwei Randwalzen auftreten erhält man die höchste Sauerstoffzufuhr.

Werden Belüfter in den Umlenkungen angeordnet ergeben sich folgende Vorteile:

- Es steht mehr Bodenfläche für die Belüftermontage zur Verfügung, d.h. es kann eine größere Beckengrundfläche mit Belüftern belegt werden. Die Belegungsichte kann innerhalb dieser Bereiche verringert werden, wodurch der Strömungswiderstand reduziert wird. Wichtig ist dabei, dass Maximalabstände nicht überschritten werden, und es nicht zur Ausbildung von Walzenströmungen innerhalb des Belüftungsfeldes kommt [11].

- In den nun größeren Belüfterfeldern gibt es einen großen Bereich in dem die Blasen ungestört aufsteigen können. Durch die Zusammenlegung der Belüfterfelder wird die Anzahl der Strömungswalzen verringert und der Randwalzeneinfluss nimmt deutlich ab.
- Durch das Wasser-Luftgemisch in der Umlenkung treten geringere Strömungsverluste auf und es bildet sich, auch bei geringer Rührwerksleistung, eine stabile Umlaufströmung aus.
- Die Erhöhung der Belüfteranzahl (bedeutet bei gleichem Luftvolumenstrom eine Reduktion der Luftbeaufschlagung), die Verringerung der Randwalzeneinflüsse und die stabile Umlaufströmung begünstigen den Stoffübergang und die Sauerstoffausnutzung wird deutlich verbessert.

Detaillierte Angaben zu gemessenen Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit findet man in [12]. Die Abbildung 3 zeigt ein Beispiel aus den letzten Monaten.

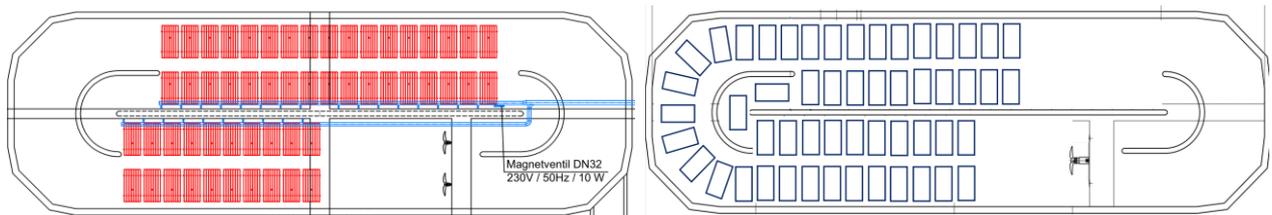


Abbildung 3: Anordnung von Belüftern in der Umlenkung

Bei günstiger Lage des Zulaufes und des Ablaufes kann während der Belüftung auf den Betrieb der Rührwerke verzichtet werden. Voraussetzung ist, dass Kurzschlussströmungen vermieden werden und das gesamte Beckenvolumen für die biologischen Vorgänge genutzt wird. Bei ersten Versuchen auf Anlagen mit 2000 – 5000 m³ Beckenvolumen konnte keine Verschlechterung der Reinigungswirkung beobachtet werden.

4. Gebläse

Zu den größten Energieverbrauchern einer Belebungsanlage mit einem Druckbelüftungssystem gehören die Gebläse. Der Auswahl und Abstufung der Druckluftherzeuger wird teilweise zu wenig Beachtung geschenkt.

Im Sprachgebrauch wird nicht immer zwischen Gebläse und Verdichter unterschieden. Eine Einteilung wird nach dem Druckverhältnis ($\Pi = p_2/p_1 = \text{Enddruck/Ansaugdruck}$) vorgenommen. Es gilt:

- Ventilator: p_2/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

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

4.5 Gebläsearten

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

- Drehkolbengebläse mit geraden Kolbenflanken (zwei und drei flügelig)
Typische Werte: Luftvolumenstrom 500-5.000 m³/h; Drucksteigerung 30-70 kPa

Maximalwerte: Luftvolumenstrom 15.000 m³/h; Drucksteigerung 100 kPa
Verdrängerprinzip mit äußerer Verdichtung

- Drehkolbengebläse mit verschraubten Kolbenflanken (Profil 3+3; Profil 3+4)
Typische Werte: Luftvolumenstrom 1.000-3000 m³/h; Drucksteigerung 50-80 kPa
Maximalwerte: Luftvolumenstrom 6.000 m³/h; Drucksteigerung 80 kPa (150hPa)
Verdrängerprinzip mit äußerer Verdichtung (3+3) und innerer Verdichtung (3+4)
- Niederdruck-Schraubengebläse (verdichter) Profil 3+4
Typische Werte: Luftvolumenstrom 2.000-6.000 m³/h; Drucksteigerung 80-120 kPa
Maximalwerte: Luftvolumenstrom 15.000 m³/h; Drucksteigerung 200 kPa
Verdrängerprinzip mit innerer Verdichtung
- Schraubengebläse (verdichter) Profil 4+6
Typische Werte: Luftvolumenstrom 2.000-6.000 m³/h; Drucksteigerung 80-180 kPa
Maximalwerte: Luftvolumenstrom 9.000 m³/h; Drucksteigerung 350 kPa
Verdrängerprinzip mit innerer Verdichtung
- Strömungsgebläse (Turboverdichter einstufig) mit konstanter Drehzahl, mit Vorleitgitter und Diffusor
Typische Werte: Luftvolumenstrom 3.000-30.000 m³/h; Drucksteigerung 50-100 kPa
Maximalwerte: Luftvolumenstrom 100.000 m³/h; Drucksteigerung 150 kPa
Strömungsprinzip → Bewegungsenergie wird in Druckenergie umgewandelt
- Strömungsgebläse (Turboverdichter einstufig) mit variabler Drehzahl (Frequenzumrichter), ohne Vorleitgitter und Diffusor
Typische Werte: Luftvolumenstrom 3.000 - 14.000 m³/h; Drucksteigerung 50-80 kPa
Maximalwerte: Luftvolumenstrom 15.000 m³/h; Drucksteigerung 120 kPa
Strömungsprinzip → Bewegungsenergie wird in Druckenergie umgewandelt

Der Regelbereich beträgt typisch 50 – 100%. Bei Turbogebläsen sinkt der Regelbereich mit steigendem Druckverhältnis [13].

Der Verdichtungsprozess in einer Drehkolbenmaschine unterscheidet sich deutlich vom Verdichtungsprozess in einem Turbogebläse [14]. Die Zusammenhänge sind in den Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

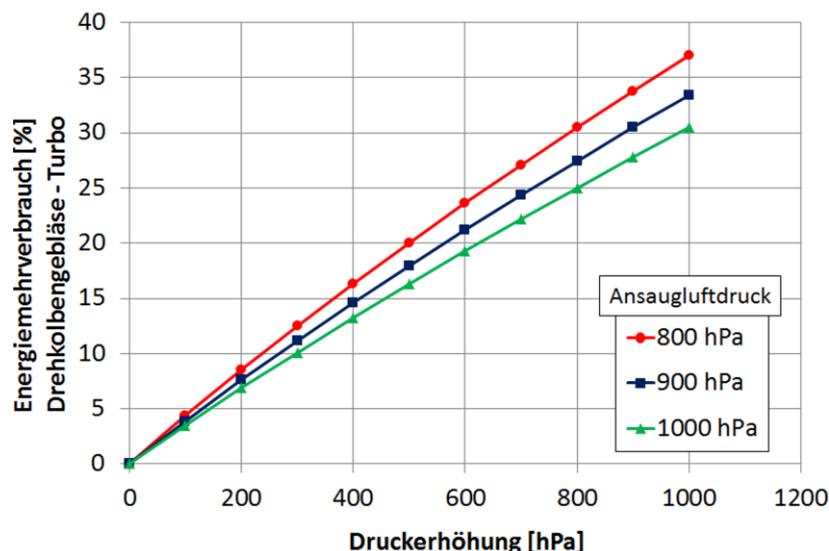


Abbildung 4: Energiemehrbedarf eines Drehkolbengebläses zu einem Strömungsgebläse in Abhängigkeit des Ansaugluftdruckes und der Druckerhöhung

Bei gleichem nutzbaren Luftvolumenstrom und gleichen Randbedingungen benötigt die Turbomaschine weniger Antriebsleistung. Der Unterschied wird durch steigenden Differenzdruck und sinkenden Ansaugdruck verstärkt. Weiter Einflussgrößen sind die Ansaugtemperatur und die Feuchte der angesaugten Luft. Eine Erhöhung dieser Zustandsgrößen bewirkt einen Rückgang der Wirtschaftlichkeit.

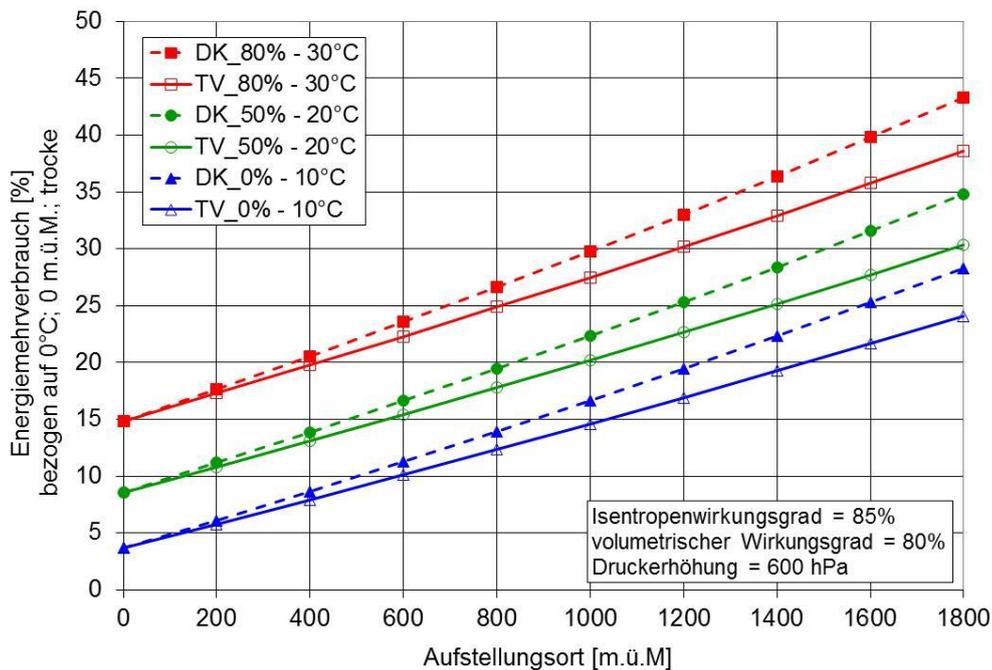


Abbildung 5: Energiemehrbedarf eines Drehkolbengebläses zu einem Strömungsgebläse in Abhängigkeit der Zustandsgrößen der Ansaugluft (Druck, Temperatur, Feuchte)

4.6 Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Gebläsearten

Die Wirtschaftlichkeit der Druckluftherzeugung kann durch die spezifische Verdichtungsarbeit angegeben werden. Es hat sich in den letzten Jahren eine dimensionsbehaftete Kennzahl etabliert (Gleichung 1).

$$\text{spez. P} = \frac{P_{\text{Gebläse}}}{Q_{\text{Luft}} \times \Delta p_{\text{Gebläse}}} \quad \text{Glg. 1}$$

Legende:

- spez. P [W/(m³/h)/bar]..... spezifischer Leistungsbedarf
- P [W] Leistungsaufnahme des Gebläses
- Q_{Luft} [m³/h] Luftvolumenstrom im Normzustand
- Δp_{Gebläse} [bar] Drucksteigerung des Gebläses

Die Wirtschaftlichkeit der Gebläse verändert sich im Regelbetrieb. Alle Arten von Gebläsen haben im Teillastbetrieb einen höheren spezifischen Leistungsbedarf. Den geringsten spezifischen Leistungsbedarf haben Gebläse nicht bei maximaler Leistung sondern in der Regel darunter. In der Abbildung 6 ist der spezifische Leistungsbedarf für drei typische Drehkolbengebläse dargestellt. Drehkolbengebläse haben einen spezifischen Leistungsbedarf zwischen 60 und 45 W/(m³/h)/bar. Der spezifische Leistungsbedarf ist im Teillastbetrieb deutlich größer als bei etwa 80% der Maximalleistung. Bei sehr großen Maschinen ist der spezifische Leistungsbedarf größer als bei mittleren Baugrößen.

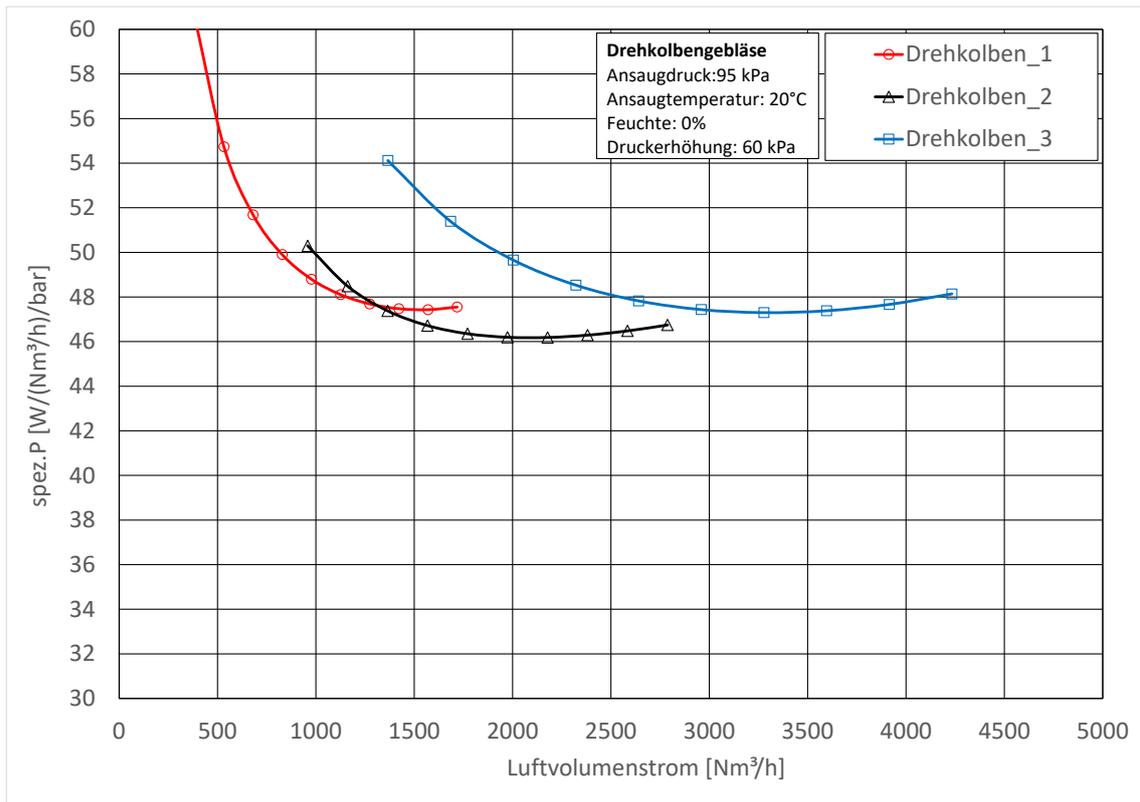


Abbildung 6: spezifischer Leistungsbedarf für drei Baugrößen von Drehkolbengebläsen

In Abbildung 7 ist der spezifische Leistungsbedarf für Schraubengebläse für verschiedene Profilpaarungen und Baugrößen dargestellt.

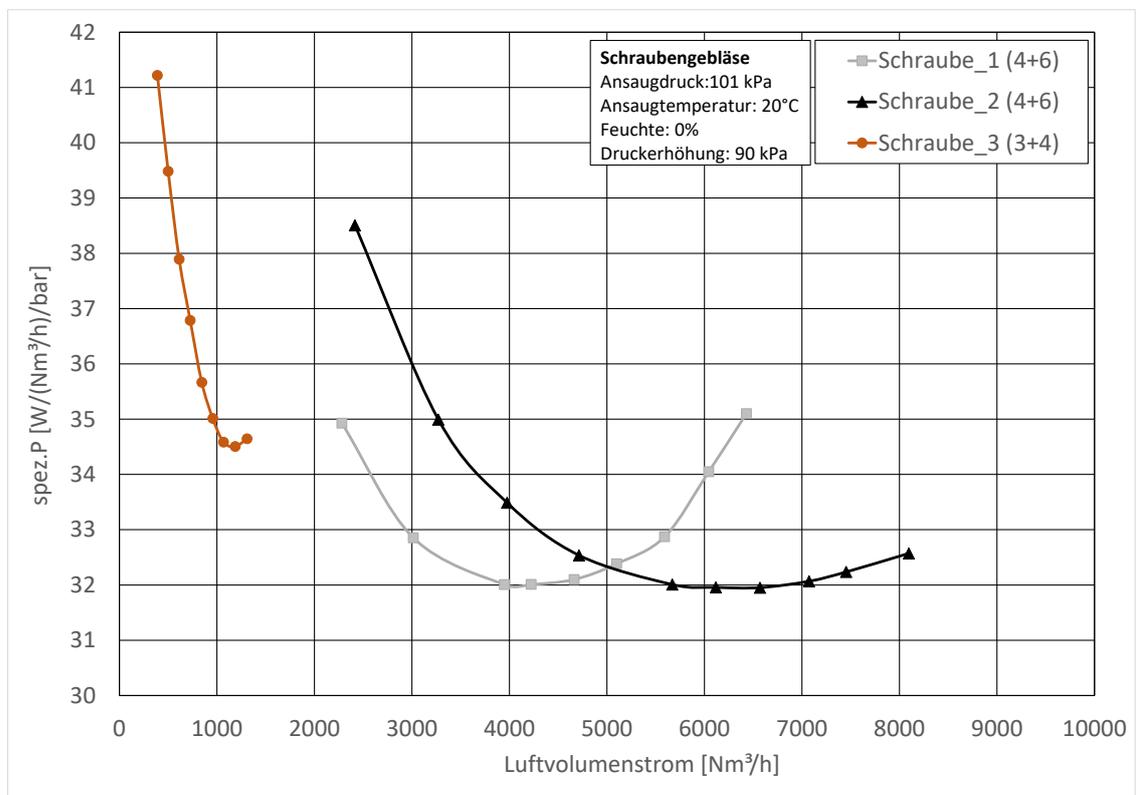


Abbildung 7: spezifische Leistungsbedarf für Schraubengebläse

Schraubengebläse haben einen geringeren spezifischen Leistungsbedarf als Drehkolbengebläse. Die hier untersuchten Aggregate hatten zwischen

42 und 32 W/(Nm³/h)/bar. Turbogebläse haben den geringsten spezifischen Leistungsbedarf er liegt in günstigen Fällen bei ca. 30 W/(Nm³/h)/bar.

In Abbildung 8 ist der spezifische Leistungsbedarf für Turbogebläse mit variabler Drehzahl für unterschiedliche Baugrößen von unterschiedlichen Herstellern dargestellt.

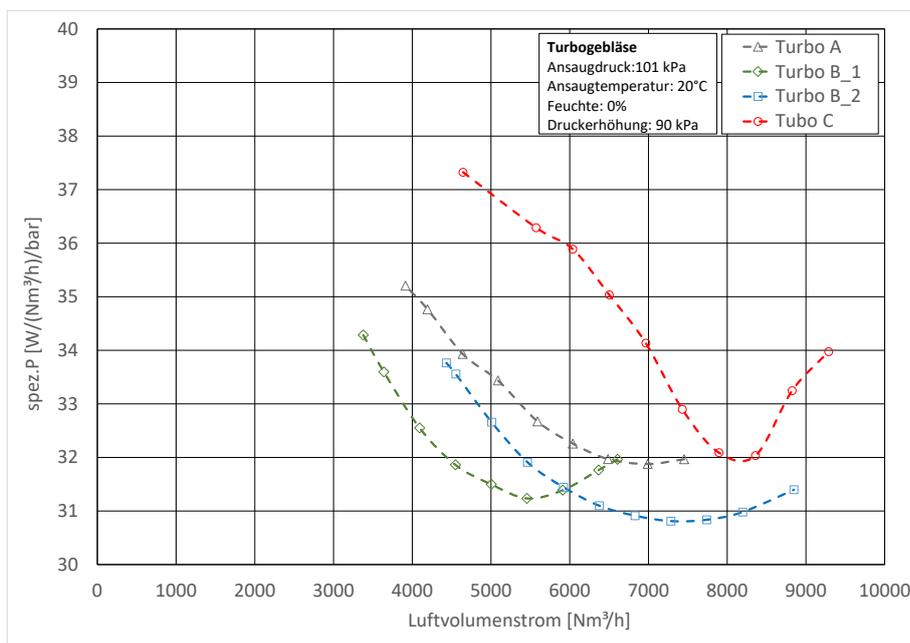


Abbildung 8: spezifische Leistungsbedarf für Turbogebläse

In Abbildung 9 ist der spezifische Leistungsbedarf für Drehkolben-, Schrauben- und Turbogebläse zusammengestellt.

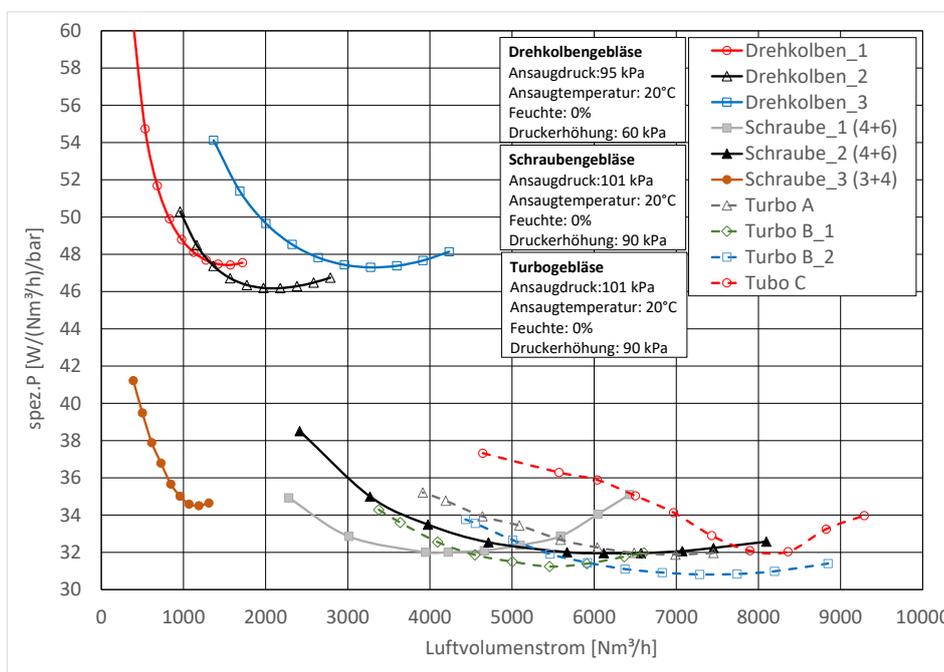


Abbildung 9: spezifischer Leistungsbedarf für Drehkolben-, Schrauben- und Turbogebläse

Leider standen nicht für alle Maschinen Daten für die gleichen Ansaugbedingungen zur Verfügung. Daher der Hinweis → Der spezifische Leistungsbedarf bei Drehkolbengebläsen steigt mit steigender Druckerhöhung. Der spezifische Leistungsbedarf bei Schrauben- und Turbogebläsen sinkt mit steigender Druckerhöhung. Konkret bedeutet das,

dass die Differenz zwischen Drehkolbenmaschinen und Schrauben- oder Turbogebläsen bei identischen Ansaugbedingungen kleiner wird.

4.7 Fallbeispiel zur Gebläseauswahl und Festlegung der Betriebsweise

Im Rahmen einer Studie zur Ertüchtigung eines Belüftungssystems wurde die Kombination verschiedener Gebläsearten untersucht. Das Ziel war es in Summe einen Luftbedarf von ca. 6.000 – 18.000 m³/h kostengünstig abzudecken. Die Randbedingungen waren:

- Prüfung der Wirtschaftlichkeit der bestehenden Gebläse
- Erweiterung der Gebläsestation mit einem Zusatzaggregat
- Festlegung der Betriebspunkte der Maschinen bei einem vorgegebenen Luftbedarf

Im Bestand waren 3 Stück Schraubengebläse (Profil 3+4) und 3 Stück Schraubengebläse (Profil 4+6). Mit der vorhandenen Motorisierung der Maschinen war ein Luftvolumenstrom von maximal 18.000 m³/h erreichbar. Konkret waren keine nennenswerten Reserven vorhanden und einige Betriebspunkte waren unwirtschaftlich.

In einer ersten Sichtung des Marktes wurden verschiedene Hersteller gebeten technische Daten beizustellen. Abgefragt wurden die Leistungsaufnahme und der gelieferte Luftvolumenstrom in mindestens 8 gleichmäßig über den Regelbereich verteilten Betriebspunkten. Vorgegeben wurden die Ansaugbedingungen der Luft und die Druckerhöhung. Diese Werte wurden entsprechend der Erfahrung (z.B. Druckanstieg der Belüfterelemente während der Gebrauchsdauer) noch variiert. Mit diesen Daten wurden die spezifischen Leistungen berechnet und grafisch aufgetragen (ähnlich Abbildung 9). Zur Erweiterung der Gebläsestation wurde ein Turbogebläse mit variabler Drehzahl ausgewählt.

In Abbildung 10 ist der spezifische Leistungsbedarf der bestehenden Schraubenverdichter und des neu anzuschaffenden Turbogebläses zusammengestellt.

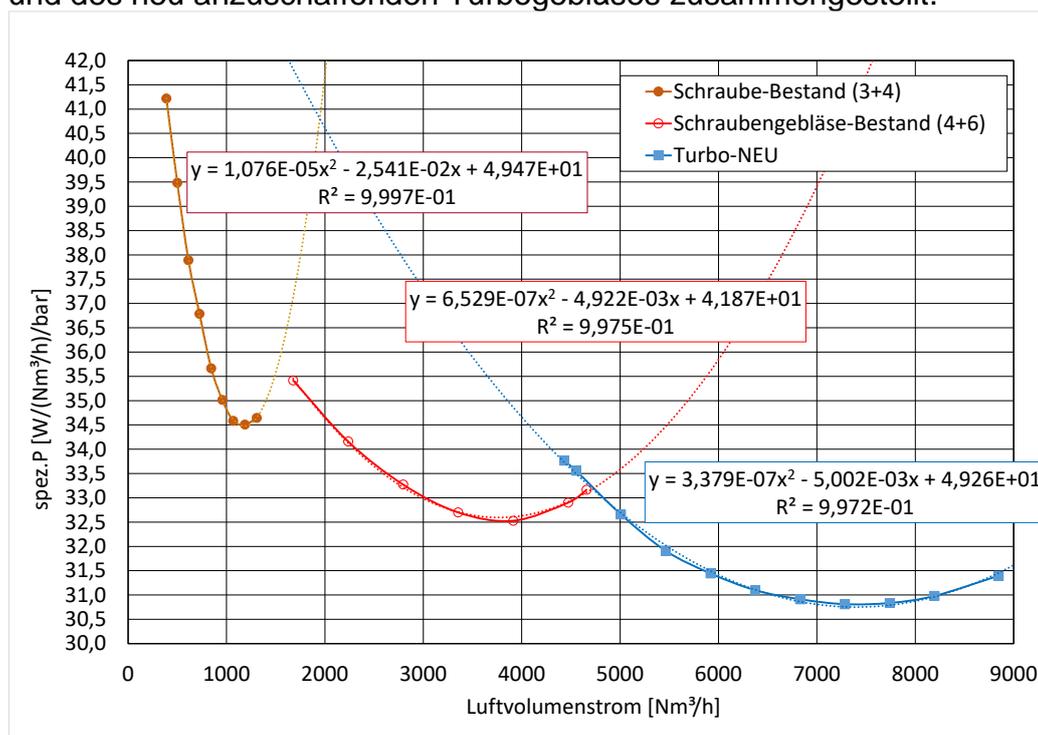


Abbildung 10: spezifische Leistungsbedarf Bestand und neuer Turbo

Mit den Polynomen kann man mit Hilfe einer Optimierungsrechnung (z.B. Excel Solver) für einen vorgegebenen Gesamtluftvolumenstrom berechnen, welche Maschinenkombination den niedrigsten Leistungseinsatz erfordert. Das Ergebnis dieser Berechnungen ist in der Abbildung 11 zusammenfassend dargestellt.

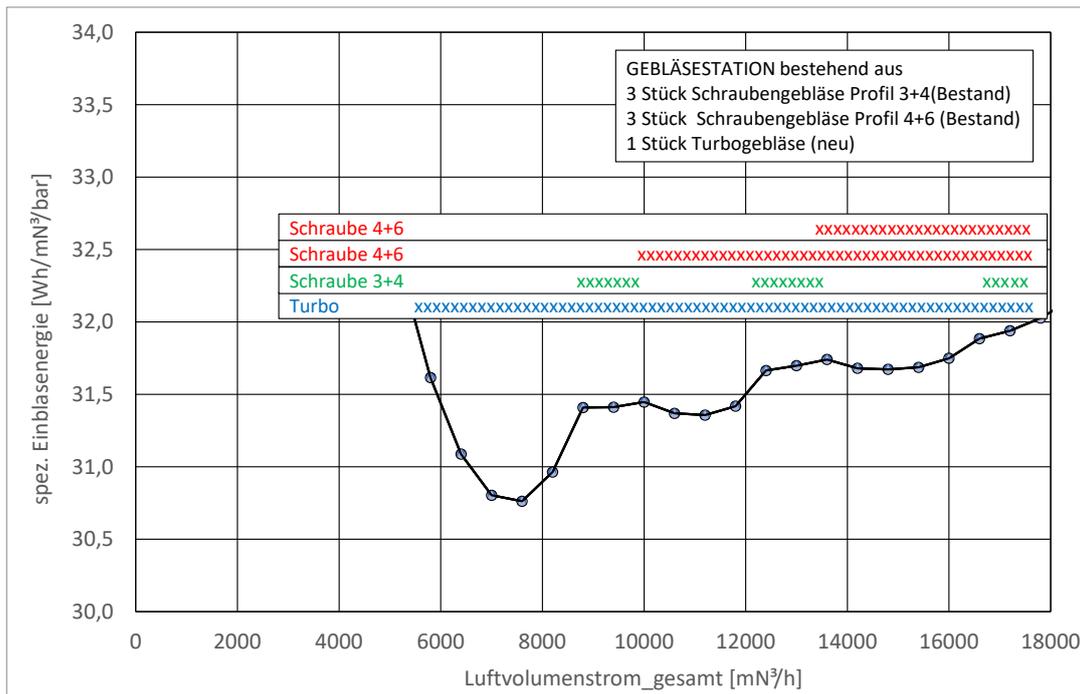


Abbildung 11: Wirtschaftlichkeitskennlinie einer zentralen Luftversorgung bestehend aus 3 Stück Schraubengebläse (Profil 3+4), 3 Stück Schraubengebläse (4+6) und einem Turbogebläse

Im Arbeitsbereich zwischen 6.000 bis 18.000 mN^3/h treten, bei optimiertem Betrieb der Gebläse, spezifische Einblasenergien zwischen 30,8 und 32,0 $\text{W}/(\text{mN}^3/\text{h})/\text{bar}$ auf. Durch die Zuschaltung der kleinen Schraubengebläse können Spitzen geglättet werden.

Mit den heute verfügbaren Maschinen sind niedrige Energiekosten zu erwarten, für eine Entscheidungsfindung sind aber auch die für Schrauben- und Turbogebläse deutlich höheren Anschaffungskosten zu berücksichtigen. Einige Gebläsehersteller bieten eine Dimensionierung der Gebläse mit Vorgabe des Betriebspunktes der einzelnen Aggregate für einen durchgehend energieoptimierten Betrieb an.

Wie bereits mehrfach angeregt [15] wurde in einem weiteren Bearbeitungsschritt die Häufigkeit der benötigten Luftvolumenströme ausgewertet. Die Zusammenschau der Häufigkeiten und der spezifischen Leistung ist in Abbildung 12 zu sehen.

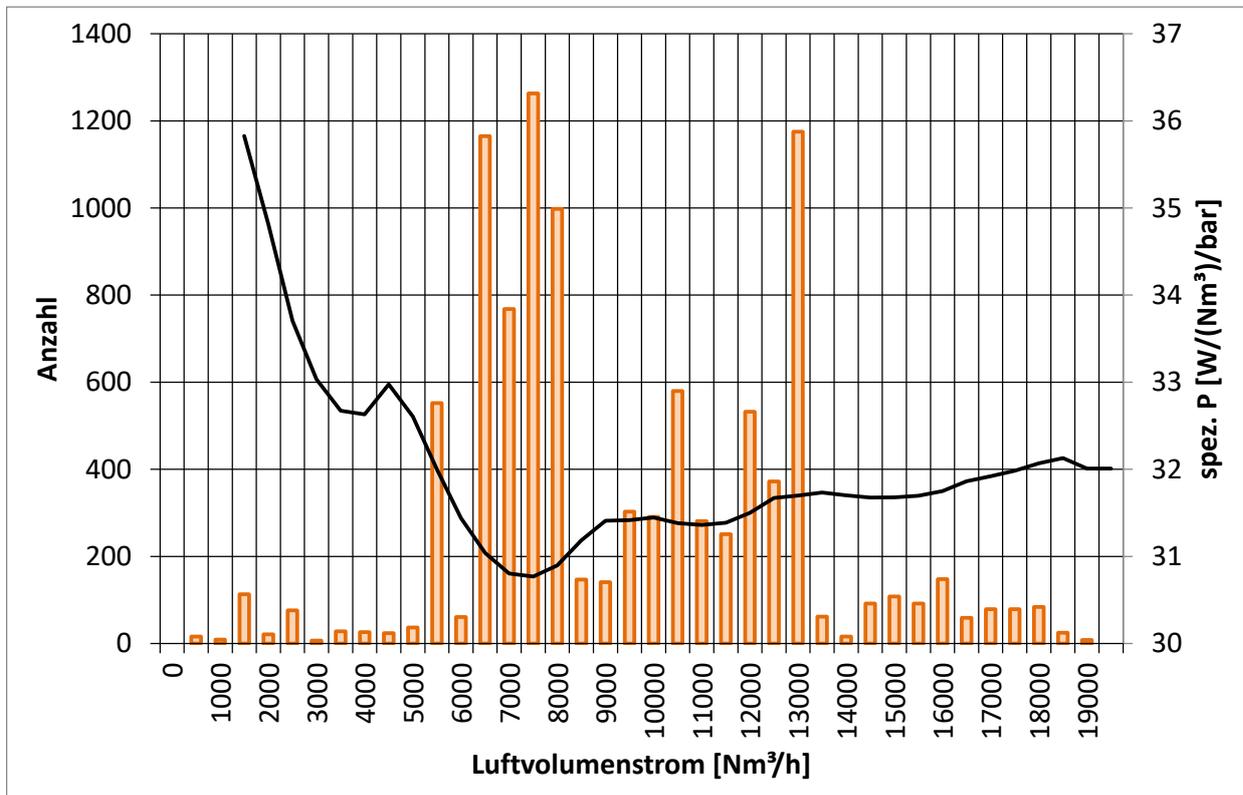


Abbildung 12: Zusammenschau der Häufigkeiten und der spezifischen Leistung

Man erkennt, dass bei häufig auftretenden Luftmengen bei 7.000 – 8.000 m_N³/h auch die geringste spezifische Leistung auftritt. Im gesamten Regelbereich beträgt die spezifische Leistungsaufnahme unter 32 W/(m_N³/h)/bar. Die Umbaumaßnahmen des Belüftungssystems werden voraussichtlich noch 2020 fertiggestellt.

5. Literatur

- [1] DWA-M229: Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen; Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung (2017)
Teil 2: Betrieb (2017)
- [2] LOOCK, P. (2009): Veränderung der Leistungsfähigkeit feinblasiger Membranbelüftungselemente unter abwassertechnischen Bedingungen; Schriftenreihe WAR Band 202 (2009); TU Darmstadt
- [3] EPA: Design Manual „Fine Pore Aeration Systems“, Environment Protection Agency, EPA/625/1-89/023, 1989
- [4] ATV –Handbuch: Biologische und weitergehende Abwasserreinigung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 1997
- [5] U. Bretscher, W.H. Hager: Die Reinigung von Abwasserbelüftern, *gwf* 124, 1983, Heft 6
- [6] FREY, W. (2004): Mechanische Reinigung feinblasiger Druckbelüftungselemente; KA – Betriebsinfo 2004 (34), Nr. 2; Hennef, April 2004; (auf www.aabfrey.com zum Download verfügbar)
- [7] FREY, W. (2004): Chemische Reinigung feinblasiger Druckbelüftungselemente; KA – Betriebsinfo 2004 (34) Nr. 4; Hennef, Oktober 2004; (auf www.aabfrey.com zum Download verfügbar)

- [8] FREY, W. (2006): Einflüsse auf die Veränderung des Betriebsverhaltens von Membranbelüftern; Abschlussseminar zum DBU-Projekt: Messverfahren für die Sauerstoffeintragsleistung in Belebungsbecken; 8./9. Mai 2006, Osnabrück; (auf www.aabfrey.com zum Download verfügbar)
- [9] FREY, W. (2009): Maßnahmen zum Erhalt der Leistungsfähigkeit von Belüftern; DWA Fachtagung: Energieeffizienz bei Belüftern und bei der Homogenisierung, 18. Juni 2009 in Neuhausen/Fildern; (auf www.aabfrey.com zum Download verfügbar)
- [10] Deutsches Patent: Verfahren zur Beseitigung bzw. Verhinderung von Verstopfungen in Tiefenbelüftern bei der Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung unter Betriebsbedingungen, DE 33 33 602 A1, 1983
- [11] THIERSCH, B. (2001): Der Zusammenhang von Strömungsstrukturen und Sauerstoffeintrag bei druckbelüfteten Belebungsbecken, Mitteilung Nr. 67, Hydraulik und Gewässerkunde, Technische Universität München
- [12] FREY, W.: Energieverbrauch für die Belüftung und Durchmischung - Erfahrungen, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen; KAN Folge 22, 2014; (auf www.aabfrey.com zum Download verfügbar)
- [13] FREY, W.: Aktuelle Technologien zur Regelung der Sauerstoffzufuhr; ÖWAV-TU Seminar: Wiener Mitteilungen (2016), Band 239, Seiten 235-252, (auf www.aabfrey.com zum Download verfügbar)
- [14] WESTPHAL G.: Leistungseintrag in Belebungsbecken - Eine grundlegende Darstellung, Korr. Abwasser, 1995, Nr.8, s.1353-1358
- [15] SEIBERT-ERLING, G.: ÖWAV Seminar „Belüftung auf Abwasseranlagen“ 19. Mai 2015 Wien, Einfluss der Auslegung und Abstufung der Gebläse auf die Effizienz der Belüftungseinrichtung

Verfasser:

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2
A-2100 Korneuburg
e-mail: aab.frey@aon.at
internet: www.aabfrey.com