

BETRIEBSERFAHRUNGEN MIT BELÜFTUNGSSYSTEMEN

W. Frey, Korneuburg

1. Einleitung

Das Belüftungssystem ist eine der wichtigsten maschinenbaulichen Komponenten einer Belebungsanlage. Die Funktion entscheidet über die Reinigungsleistung und hat maßgeblichen Einfluss auf die Betriebskosten der Anlage.

Es existieren unzählige Aufsätze über die verschiedenen Bauformen deren technischen Aufbau und die grundsätzliche Funktion. Auch im Rahmen des Sprechertages 1995 wurde ein Vortrag mit dem Titel „Belüftungssysteme“ gehalten (FREY 1995).

Das Ziel des vorliegenden Beitrages ist, es über Erfahrungen, mit im Einsatz befindlichen Belüftungssystemen, zu berichten.

2. Druckbelüftungssysteme

Unter anderem sind für die Wirtschaftlichkeit und die Betriebssicherheit eines Druckbelüftungssystems der **Druckverlust** im Luftleitungssystem, inklusive Belüfterelementen, und **die Ausbildung der Strömung** im Belebungsbecken aber auch eine **Qualitätskontrolle** der eingebauten Belüfter entscheidend.

2.1 Druckverlust

In der folgenden Abbildung 1 ist das Gebläse und der Rohrleitungsverlauf schematisch dargestellt. P0 ist der aktuelle Luftdruck. P1 ist der Differenzdruck (gegen den aktuellen Luftdruck) vor der Gebläsestufe, er stellt den Druckverlust der saugseitigen Einbauten dar. P2 ist der Differenzdruck nach der Gebläsestufe und P3 ist der Differenzdruck nach der Gebläsestation (z. B. an der Beckenkronen). Der Druck P4 ist der Druck im Verteilrohrsystem am Beckenboden gemessen an der Entwässerungsleitung. Er enthält die Druckverluste des Rohrsystems an der Beckensohle, den Austrittsdruckverlust der Belüfter und den hydrostatischen Druck. Die vom Gebläse aufzubringende Drucksteigerung ist P2-P1.

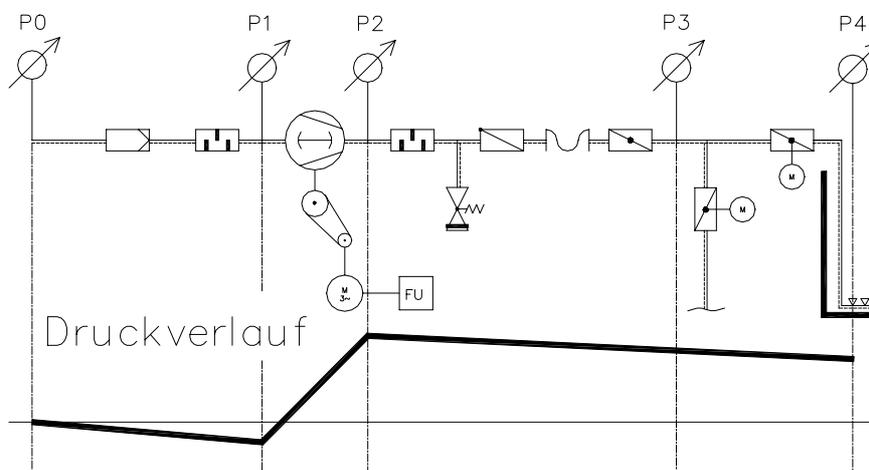


Abbildung 1: Gebläse- und Rohrleitungsschema

Bei ausgeführten Anlagen findet man häufig Messgeräte für P1 und P2. Die Genauigkeit ist aber in der Regel schlecht. Ich empfehle jedenfalls die Anschaffung eines genauen (± 1 hPa), mobilen Druckmessgerätes zur Überprüfung der Druckverhältnisse zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme und der laufenden Kontrolle.

Hinweis: Die Druckmessungen sind nur aussagefähig, wenn ein definierter Luftvolumenstrom eingestellt und die Wassertiefe im Belebungsbecken gemessen wurde!

Üblicherweise liegen die saug- und druckseitigen Verluste in den Rohrleitungen und Armaturen jeweils bei 10 - 50 hPa. Der Druckverlust in den Belüfterelementen ist vom Produkt und der Luftbeaufschlagung abhängig. Im Neuzustand bei mittlerer Luftbeaufschlagung ist mit Druckverlusten der Belüfterelemente in der Größenordnung von 20 - 70 hPa zu rechnen.

In den letzten Jahren bin ich vermehrt auf Anlagen gestoßen, wo die Drücke deutlich von den Sollwerten abgewichen sind. Die Ursachen waren:

- ungünstig gestaltete Ansaugluftführungen
- mangelhafte Konstruktionen der Saugseite der Gebläse (Schalldämpfer)
- schlechte Funktion von Rückschlagklappen und Absperrarmaturen auf der Druckseite
- Detailprobleme bei der Verrohrung zu den Belüftern
- Wasser in den Rohrleitungen
- verstopfte Belüfterelemente

Die Behebung von Problemen im Bereich der Gebläse ist jedenfalls dem Gebläsehersteller anzulasten und gestaltet sich mitunter aufwendig.

Erhöhte Verluste in den Rohrleitungen und Armaturen treten verhältnismäßig selten auf und sind auch technisch behebbar.

Das größte und teilweise ungelöste Problem sind verstopfte Belüfter.

2.2 Verstopfte Belüfter

Verstopfungen an feinblasigen Belüftern aus „starrporösem“ Material sind schon seit langem bekannt, während Belüfter aus Elastomeren (gelochte Folien) als verstopfungsunempfindlich gelten.

Durch die Anwendung einer intermittierenden Betriebsweise werden auf vielen Anlagen sogenannte Membranbelüfter eingesetzt. Als Grundmaterial kommen Elastomere unter anderem EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer), PU (Polyurethan) und Silikon zum Einsatz. Zur Veränderung der Eigenschaften werden dem Grundmaterial Zuschlagstoffe (Füllmaterial, Ruß, Weichmacher,...) beigegeben. Wie Untersuchungen in den letzten Jahren gezeigt haben, treten aber auch bei Membranbelüftern Verstopfungen auf.

Je nach Umfang der verstopfenden Ablagerungen tritt ein geringfügig höherer Gegendruck auf, der auf Grund der ungenauen Messgeräte nicht bemerkt wird, oder im anderen Extremfall kommt es zum Versagen des Belüftungssystems. Die eingeschränkte Funktion bzw. der Ausfall des Belüftungssystems reicht vom Ausfall der Gebläse, wegen Überlastung, bis zur Zerstörung der Belüfterelemente.

Im Zusammenhang mit Verstopfungen von Belüftern ist jedenfalls auch der Zeitraum, in dem sich die Ablagerungen bilden, zu betrachten. Treten Druckerhöhungen im Laufe der Jahre auf, so kann die Ursache auch eine Materialveränderungen der Membran (z. B. Verlust der Weichmacher) sein. In den Fällen wo innerhalb weniger Wochen ein deutlicher Druckanstieg beobachtet wird, der nicht zum Stillstand kommt, ist von der Bildung verstopfender Ablagerungen an der Membran und/oder in den Poren der Membran auszugehen.

Verstopfungen feinblasiger Druckbelüftungssysteme können durch die Druckluftanspeisung, (sehr selten) durch die Betriebsweise der Anlage und durch das Abwasser hervorgerufen werden.

Abwasserbedingte Verstopfungen beruhen entweder auf Ausfällungen (Kalk; Eisen, usw.), manchmal auch Sedimentation von Abwasserinhaltsstoffen oder biologischem Bewuchs.

Häufig wird bei neu in Betrieb gegangenen Druckbelüftungssystemen innerhalb der ersten 1-3 Monate ein Druckanstieg festgestellt (KELLER 1982). Dieser fällt in den folgenden Monaten wieder auf einen zulässigen Wert ab. Eine Erklärung hierfür scheint am ehesten, die Theorie zu bringen, wonach sich anfangs Verstopfungen aufbauen, gleichzeitig bildet sich ein bakterieller Bewuchs, welcher anfänglich zur Verstopfung mit beiträgt, dann aber infolge seiner Stoffwechseltätigkeit CO_2 bildet. Das saure CO_2 vermag einen Teil der Calcium- ev. auch Phosphor-, Sulfat- und Eisenverbindungen teilweise aufzulösen und so den Druckverlust wieder zu reduzieren.

Die Ursache der Bildung von verstopfenden Ablagerungen ist derzeit Gegenstand intensiver Forschungsarbeit.

In Deutschland verfolgt man die Theorie, dass durch bestimmte Mangelerscheinungen (Sauerstoff, Nährstoffe, ..) sich vermehrt EPS (Extrazelluläre Polymerer Substanz) sogenannter „Zwischenraumschleim“ bildet, der in der Folge die Poren verklebt.

Die von mir beobachteten Druckanstiege (mit unterschiedlichen Membranmaterialien EPDM und PU) sind durch mineralische Ablagerungen in den Membranporen (THONHAUSER 2001) verursacht. Die Abbildung 2 zeigt eine Elektronenstrahl Mikrosonden Aufnahme einer vorgespannten Belüfterpore von der Wasserseite. Die angewandte Methode liefert nicht nur Bilder der Ablagerungen, sondern erlaubt auch die Elemente, aus denen sich die Ablagerungen zusammensetzen, zu bestimmen. In fast allen Fällen haben wir hauptsächlich Phosphor und Silizium aber praktisch keine organische Substanz gefunden.



Abbildung 2: verstopfte Belüfterpore

Das Besondere an den Ergebnissen der Untersuchungen ist, dass sich die gefundenen Elemente eigentlich unter den in Abwasseranlagen herrschenden Verhältnissen nicht ablagern dürften.

Der Grund für die Bildung der Ablagerungen liegt im Zusammenspiel der Wasserchemie, mikrobiologischer Vorgänge, Fällungsreaktionen und den Zustandsgrößen der Luft beim Durchtritt durch die Poren. Im Moment wird nach den erforderlichen Rahmenbedingungen und den Bildungsmechanismen die zu den Ablagerungen führen geforscht.

2.2.1 Reinigung verstopfter Belüfter

Grundsätzlich ist zwischen Reinigungsmethoden bei denen das Belebungsbecken außer Betrieb genommen 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. Detaillierte Informationen über unterschiedliche Reinigungsmethoden findet man in EPA (1989).

„Konventionelle“ Verstopfungen (z. B. Kalkausfällungen) können mit einer Säuredosierung bekämpft werden (BRETSCHER, HAGER 1983). Die Methode versagt jedoch bei nicht säurelöslichen Verbindungen.

Auch die Methode durch starke Luftbeaufschlagung, und der damit verbundenen starken Dehnung, Ablagerungen abzusprengen (ATV 1997) ist eher selten erfolgreich.

Ein Hersteller von Belüfterelementen gibt für sein Produkt ein Entspannungsprogramm vor mit dem ein Druckanstieg verhindert werden soll. Hierbei werden die Belüfterelemente periodisch mit großer Luftbeaufschlagung gefahren und anschließend der Druck im Rohrleitungssystem rasch auf Umgebungsdruck abgesenkt, so dass die Membranen ganz zusammenfallen können. Auf manchen Anlagen konnte damit eine Verbesserung erzielt werden. Beim Einsatz dieser Methode ist jedenfalls auf das Regelkonzept der Anlage, die Reinigungsleistung der Anlage und die Kosten, die durch den Volllastbetrieb der Gebläse entstehen, zu achten.

Mehr Erfolg bringt die mechanische Reinigung bei der die Belüfter gering mit Luft beaufschlagt werden und mit einem Hochdruckwasserstrahl (Kärcher) die Oberfläche mehrmals überstrichen werden (Abbildung 3). Auf der Kläranlage A (4 Becken mit 11.000 m³ und je 320 Streifenbelüfter sowie 4 Becken mit je 12.500 m³ und 352 Streifenbelüfter) und der Kläranlage F (Belebungsanlage 30. 000 EW) konnte mit dieser Methode der Druckverlust der Membran von 140 hPa auf



70 hPa gesenkt werden. Eine anschließend durchgeführten mikroskopischen Untersuchung an der gereinigten Membran hat gezeigt, dass aber eine Restverschmutzung verbleibt, die bei der Neubildung von Ablagerungen sicher beschleunigend wirkt.

Abbildung 3:
Plattenreinigung

Für den Fall, dass es nicht möglich ist das Becken zu entleeren und/oder andere Methoden nicht funktionieren wurde von Herrn Mag. Thonhauser und mir eine Methode zur Reinigung entwickelt. Dazu wird das Rohrleitungssystem mit einer auf die Ablagerungen abgestimmten Reinigungslösung gefüllt und über die Entwässerungsleitung wieder entleert. Die Reinigungslösung löst nicht nur Bestandteile der Ablagerungen sondern unterwandert diese auch und sprengt Teile ab. Diese Wirkung wird durch Tenside und eine gasbildende Komponente der Reinigungslösung erreicht. Die Methode wurde auf der Kläranlage I (4 Millionen EW), hier wurden 22.000 Belüfter, auf der Kläranlage O (2 Becken mit je 3700 m³), hier wurden 4500 Belüfter, und der Kläranlage H (2 Becken mit je 2500 m³) 1360 Belüfter gereinigt, eingesetzt. Die Reinigungslösung besteht in der Regel aus zwei Komponenten die in getrennten Behältern vorgelegt werden (Abbildung 4). Die Flüssigkeiten werden gleichzeitig in die Luftleitung gepumpt und die Verrohrung



am Beckenboden gefüllt. Anschließend wird mit der Druckluft die Reinigungslösung durch die Poren gedrückt. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt um eine ausreichende Einwirkzeit zu erzielen. Auf einer Anlage wurde dieser Vorgang bei entleertem Becken durchgeführt, die Abbildung 5 zeigt das Ausströmen der Reinigungsflüssigkeit.

Abbildung 4: Vorlagebehälter für Reinigungsflüssigkeit



Abbildung 5: Ausströmen der Reinigungsflüssigkeit

In der Abbildung 6 sind die Druckverluste einer verstopften Membran der Kläranlage H nach ca. 4 Jahren Betrieb und die Druckverluste einer gereinigten Membran gegenübergestellt. Zum Vergleich ist auch der Druckverlust einer neuen Membran eingetragen.

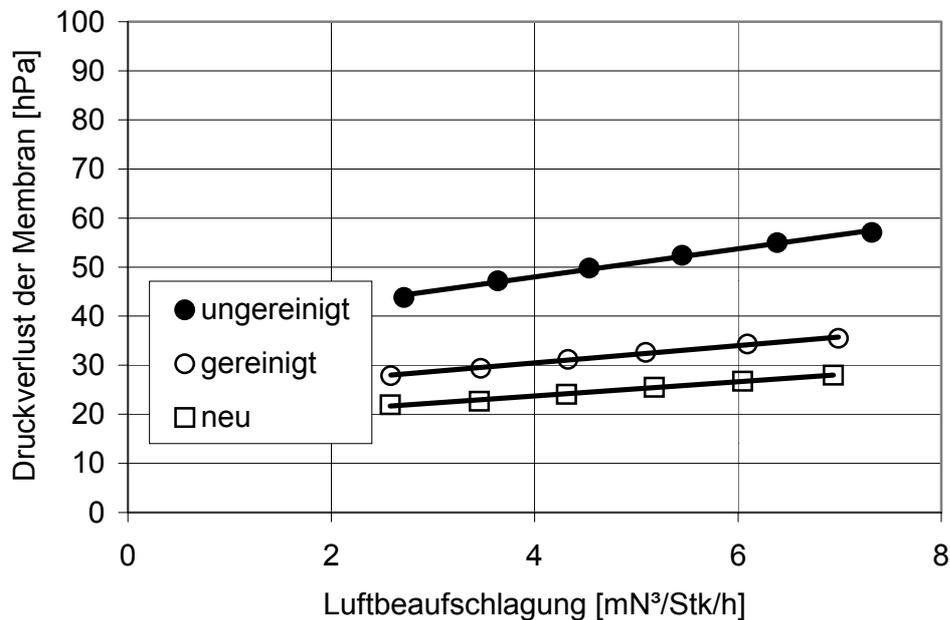


Abbildung 6: Gegenüberstellung Druckverluste

2.2.2 Vorbeugende Maßnahmen

In manchen Fällen, wenn der Druckanstieg nur langsam fortschreitet, kann es genügen eine Reinigung durch Säuredosierung oder Fluten mit Reinigungslösung, in größeren Zeitabständen als Wartungsmaßnahme, vorzusehen. Auf manchen Anlagen wird, auch vorbeugend mit Erfolg, laufend Säure in den Luftvolumenstrom dosiert.

Einige an mich herangetragene Problemfälle zeigen aber auf eine Säuredosierung praktisch keine Wirkung. Mein Kollege Mag. Thonhauser und ich betreuen derzeit einige solche Problemfälle. Auf der Anlage O ist es uns gelungen durch Veränderung der Zustandsgrößen der Luft beim Durchtritt durch die Membran die Neubildung von verstopfenden Ablagerungen deutlich zu reduzieren. Die Methodik beruht auf der Einbringung von speziell aufbereitetem Wasser mittels Hochdruck in Form von feinsten Teilchen die sehr rasch in den gasförmigen Zustand übergehen. Die folgenden Abbildungen zeigt den Aufbau auf der Kläranlage O. In Abbildung 7 ist die Hochdruckeinheit zu sehen, Abbildung 8 zeigt die Wasseraufbereitungsanlage und Abbildung 9 zeigt die Situation am Becken.



Abbildung 7: Hochdruckeinheit



Abbildung 8: Wasseraufbereitungsanlage



Abbildung 9: Eindüsung

Erste Ergebnisse auf der Anlage O (ca. 5 Wochen Betrieb) haben gezeigt, dass die Methode wirkt. In dem Belüfterfeld, mit Eindüsung von aufbereitetem Wasser, ist der Druck von 340 hPa auf 355 hPa angestiegen, während er in einem unbehandelten Referenzfeld von 340 auf 420 hPa angestiegen ist.

2.2.3 Wirtschaftliche Betrachtungen

Bei Problemen mit verstopften Belüftern empfiehlt es sich jedenfalls die Kosten für die geplanten Maßnahmen abzuschätzen und dem Nutzen gegenüberzustellen

In der Regel am einfachsten und schnellsten ist der Austausch der Belüftermembranen durchzuführen. Diese Maßnahme ist jedoch nur dann empfehlenswert, wenn die Belüfter beschädigt sind oder bereits ein gewisses Alter (z.B. 3 Jahre) haben, bzw. bei geringen Stückzahlen. Außerdem sollte sichergestellt sein, dass das vorhandene Problem damit gelöst werden kann und nicht in kurzer Zeit, auch mit den getauschten Belüftern, wieder auftritt.

Das Beaufschlagen der Belüfter mit hohen Volumenströmen und das „Entspannungsprogramm“ kann in Einzelfällen (z.B. bei noch nicht ausgelasteten Anlagen) erhebliche Zusatzkosten für die Druckluftzeugung verursachen.

Die Reinigung von Belüftern mittels Säuredosierung ist in der Regel recht einfach und verursacht relativ geringe Investitions- und Betriebskosten. Voraussetzung für die Anwendbarkeit ist, dass die Verstopfungen mit Säure aufgelöst werden können.

Das Befüllen der Luftleitungen mit Reinigungslösung bietet sich speziell bei großen Anlagen oder bei Anlagen wo eine Entleerung nicht möglich ist an. Die Kosten für die erforderlichen Behälter, Pumpen und verbindenden Leitungen sind in der Regel gering bis vernachlässigbar. Die Kosten für die Reinigungslösung sind abhängig von den erforderlichen Komponenten (abhängig von der Art der Ablagerungen) der Reinigungslösung und dem zu befüllenden Rohrleitungsvolumen. Als Richtwert kann mit € 500,- je Kubikmeter Reinigungslösung gerechnet werden. Jedenfalls sind chemische Voruntersuchungen zur Festlegung der Rezeptur der Reinigungslösung erforderlich.

Die Einbringung von aufbereitetem Wasser, in Form von Aerosolen in den Luftvolumenstrom, zur Verzögerung bzw. Verhinderung der Bildung verstopfender Ablagerungen befindet sich derzeit auf zwei Anlagen im Versuchsstadium. Die Investitionskosten für die Wasseraufbereitung und die Hochdruckanlage auf der Anlage O (2 Becken mit je 3700 m³, 4400 Tellerbelüfter Sani-tair 7“ ; Luftvolumenstrom im Betrieb max. 4400 m³/h) lagen bei ca. € 25.000,-, darin ist auch die Einbindung in das Prozessleitsystem der Anlage enthalten.

Der Nutzen der aus der Reduktion des Druckverlustes zu ziehen ist, liegt in geringeren Energiekosten für die Gebläse, in der geringeren Beanspruchung der Gebläse aber auch in einem Gewinn an Betriebssicherheit (Ausfall der Gebläse durch Überlast).

Die Energiekostensparnis ist näherungsweise gleich dem prozentuellen Anteil der Druckerhöhung im Gesamtsystem. Am Beispiel der Kläranlage O wurde durch die Reinigung eine Reduktion von 420 auf 340 hPa erreicht, langfristig hoffen wir 370 hPa halten zu können. Daraus ergibt sich eine Reduktion des Gegendruckes von ca. 12 %, dementsprechend kann auch der Energieverbrauch der Belüftung um 12% gesenkt werden.

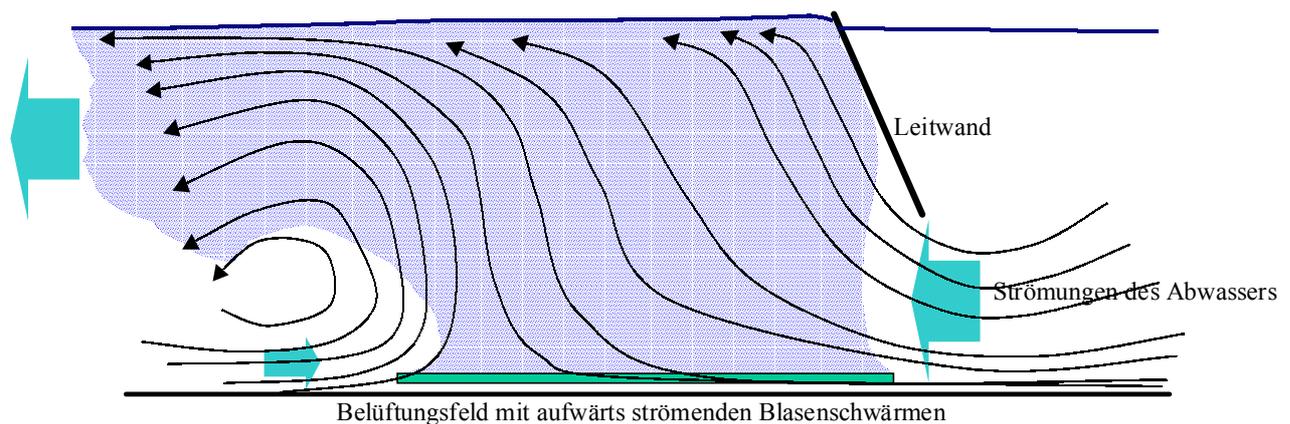
2.3 Strömungsverhältnisse

Viele Anlagen werden heute mit Umlaufbecken ausgeführt. Dem Zusammenspiel Beckengeometrie – Belüfteraufteilung – Rührwerksposition wird in der Regel zu wenig Beachtung geschenkt (FREY 1998).

Seit vielen Jahren ist bekannt, dass die sogenannte Linienbelüftung, zufolge der Ausbildung einer ausgeprägten Walzenströmung, die die Aufenthaltszeit der Luftblasen im Wasser verkürzt und eine deutlich geringere Sauerstoffzufuhr erbringt als die Flächenbelüftung. Werden nun in einem Umlaufbecken gedrungene Belüfterfelder eingesetzt, bzw. gibt es viele Bereiche wo sich Walzenströmungen ausbilden können, so erreicht die Sauerstoffzufuhr nicht die garantierten Werte. Ich habe in den letzten Jahren eine Reihe von Sauerstoffzufuhrversuchen durchgeführt, wo die Garantiewerte um bis zu 30% unterschritten wurden. In einigen Fällen konnte das Problem durch „Auseinanderziehen“ der Belüfterfelder entschärft werden.

Viele kleine und mittlere Anlagen, die für simultane Nitrifikation und Denitrifikation gebaut sind, haben nur auf einer Langseite Belüfter. Dies ist zwar verfahrenstechnisch richtig, bereitet aber bei der Sauerstoffzufuhr Probleme. Wenn die Anlagen schwach belastet sind wird häufig auf intermittierende Betriebsweise umgestellt. In diesem Fall ist es jedenfalls günstiger auf beiden Langseiten Belüfterelemente zu haben.

Von einer Schweizer Firma wurde ein System zur Nutzung der aufsteigenden Blasen zur Erzeugung einer Umlaufströmung vorgestellt. Dazu wird vor dem Belüfterfeld eine schräge Wand quer zur Strömungsrichtung eingebaut. Diese hindert die aufsteigenden Blasen eine Walze auszubilden und leitet sie in Umlaufrichtung ab. Mein Büro hat an zwei Anlagen, wo solche Leitwände eingebaut waren, Messungen durchgeführt. Die Resultate zeigen eine Einsparung an Rührwerksenergie bei gleichbleibenden Strömungsverhältnissen. Leider wurde die Idee nicht weiter verfolgt, mir sind keine weiteren Ergebnisse bzw. Anlagen mit diesem System bekannt.



**Abbildung 10: Leitwand zur Verhinderung von Rückströmungen
(HUBER & SUHNER AG 2001)**

2.4 Qualitätskontrolle von Belüfterelementen

Derzeit ist es üblich vor der vollständigen Befüllung von Becken eine sogenannte Blasenbildkontrolle durchzuführen. Dazu werden die fertig montierten Belüfter mit Wasser überstaut und geringfügig mit Luft beaufschlagt. Durch die optische Betrachtung wird festgestellt ob alle Belüfter gleichmäßig abgasen. In Abbildung 11 ist eine Blasenbildkontrolle der Anlage I zu sehen.



Abbildung 11: Blasenbild

Weiterführende Kontrollen wie z. B. stichprobenweise Materialprüfung (z.B. **I**nternational **R**ubber **H**ardness **D**egrees – IRHD – nach DIN 53519 Teil 1) oder die Ermittlung des Druckverlustes neuer Belüfterelemente bzw. Membranen werden derzeit praktisch nicht vorgenommen. Im Fall eines unzulässigen Druckanstieges fehlen dann in der Regel die Bezugsgrößen um Veränderungen durch den Betrieb zu erkennen. Die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Werte sind in der Regel Standardwerte die einmal festgestellt wurden, haben aber keinen Bezug zur jeweiligen auf der Anlage eingesetzten Charge.

Es wird daher empfohlen, speziell bei größeren Anlagen, die angelieferten Belüfterelemente stichprobenweise zu untersuchen. Dadurch kann eine chargenübergreifende Qualitätssicherung betrieben werden, Abweichungen in der Konstruktion oder Materialqualität werden vor dem Einbau erkannt und es werden Daten als Bezugswerte für spätere Überprüfungen gesammelt.

Auf der Anlage O haben die Belüfter nach wenigen Wochen Betrieb sehr unterschiedlich abgast. Nach einer Beckenentleerung konnte festgestellt werden, dass, an den vom Hersteller fertig montierten Verteilrohren mit je 7 Belüfterelementen, unterschiedliche Membranen verbaut worden waren.

Auf der Anlage H (zwei vollständig abgedeckte Belebungsbecken mit je 2500 m³; 1360 Belüfterelemente NOPON 300) wurde eine Reinigung der Belüfterelemente durch Fluten mit Reini-

gungslösung durchgeführt. Bei der Nachmessung des Druckverlustes nach der Reinigung wurde zunächst, im Vergleich zu den von der Lieferfirma angegebenen Werten, nur ein bescheidener Erfolg von ca. 20 hPa festgestellt. Es wurden daher Belüfter entnommen und mikroskopisch untersucht. Die Poren waren praktisch frei von Ablagerungen. In einem weiteren Schritt wurden die Druckverluste in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung auf einem Prüfstand in meinem Büro nachgemessen. Untersucht wurde ein neuer Belüfter der selben Type und mehrere aus dem Becken entnommener Belüfter. Hierbei wurden große Differenzen der Druckverluste gefunden. Um diese Diskrepanz zu klären wurden nun einige Belüfter zerlegt und vermessen. Bei einigen Belüftern (nicht bei allen!) waren die Käfige der Kugelrückschlagsicherung deutlich kleiner ausgeführt und der freie Strömungsquerschnitt empfindlich kleiner! In der folgenden Abbildung 12 sind der Käfige von Belüftern die gleichzeitig im Becken eingebaut waren dargestellt.

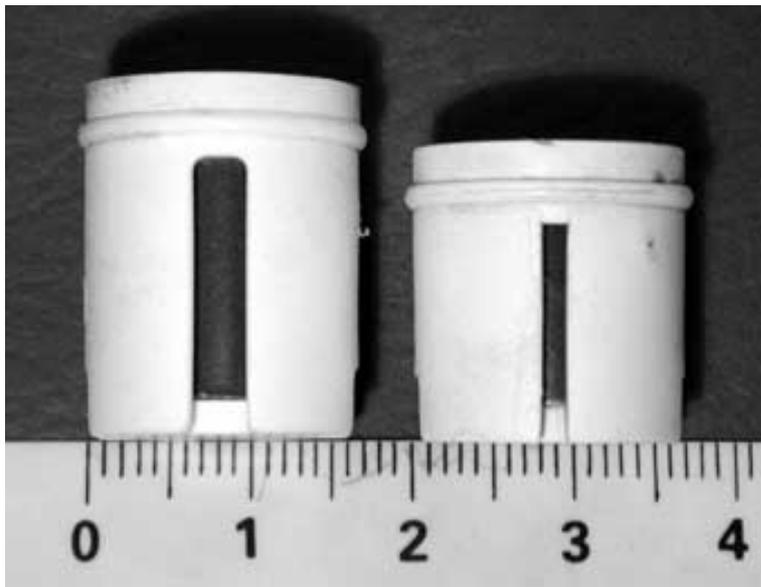


Abbildung 12: Käfige der Rückschlagsicherung

Der freie Strömungsquerschnitt des großen Käfigs war ca. 97 mm² während der kleine Käfig nur ca. 30 mm² hat. Durch den wesentlich geringeren Strömungsquerschnitt des kleinen Käfigs ergibt sich eine wesentlich größere Strömungsgeschwindigkeit und damit ein deutlich höherer Druckverlust.

In der Abbildung 13 sind die Druckverluste der Belüfterkörper (ohne Membran) gegenübergestellt.

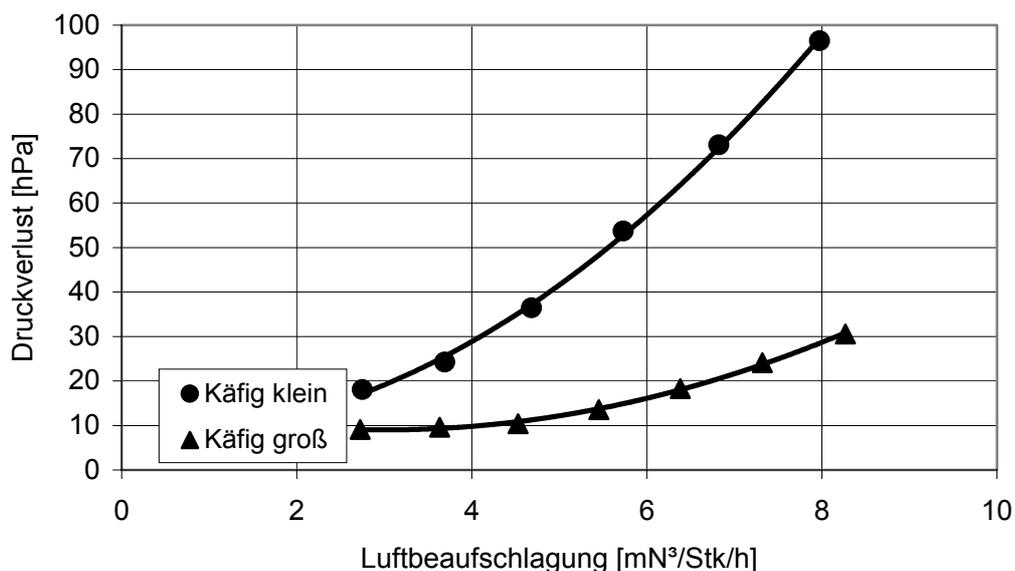


Abbildung 13: Druckverlust Belüfterelemente (ohne Membran)

Auch der Umstand, dass auf der Anlage H einige Membranen aus den Halterungen geschlüpft waren ist damit erklärbar. Der Druckverlust des Belüfterelementes setzt sich aus dem Druckverlust des Belüfterkörpers und dem Druckverlust der Membran zusammen. Bei gleichem Druckverlust an allen Belüfterelementen strömt durch jene mit dem großen Käfig deutlich mehr Luft und verursacht einen größeren Druckverlust an der Membran. Dadurch steigt die hier wirkende Kraft und zieht die Membran aus der Halterung.

Zuletzt möchte ich noch auf die Frage, ob Entwässerungsleitungen erforderlich sind oder nicht eingehen. Grundsätzlich sind Entwässerungsleitungen immer dann sinnvoll, wenn Wasser in die Rohrleitungen eindringen kann. Jeder Anlagebauer bzw. Belüfterlieferant wird selbstverständlich behaupten, dass sein System dicht ist. Die Praxis zeigt hier aber häufig ein anderes Bild. Ich empfehle in solchen Fällen, das aus den Entwässerungsleitungen austretende Wasser aufzufangen und die Leitfähigkeit zu messen. Üblicherweise liegt die Leitfähigkeit von Abwasser in der Größenordnung von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Bei den von mir untersuchten Anlagen lag die Leitfähigkeit des aus den Leitungen austretenden Wassers häufig in der gleichen Größenordnung.

Kondensate in den Luftleitungen treten nur unter bestimmten Ansaugbedingungen (hohe Temperatur und hohe Luftfeuchtigkeit) und entsprechenden Abkühlmöglichkeiten (z. B. lange bodenverlegte Luftleitungen) auf. Unter den in unseren Breiten üblichen Ansaugbedingungen der Luft ist in der Regel davon auszugehen, dass in den Rohrleitungen im Belebungsbecken keine Kondensate auftreten. Im Rahmen der Untersuchungen an der Kläranlage O habe ich die Luftfeuchte an der Belüfterpore näherungsweise berechnet. In der Abbildung 14 sind die Resultate für unterschiedliche Ansaugbedingungen zusammengestellt.

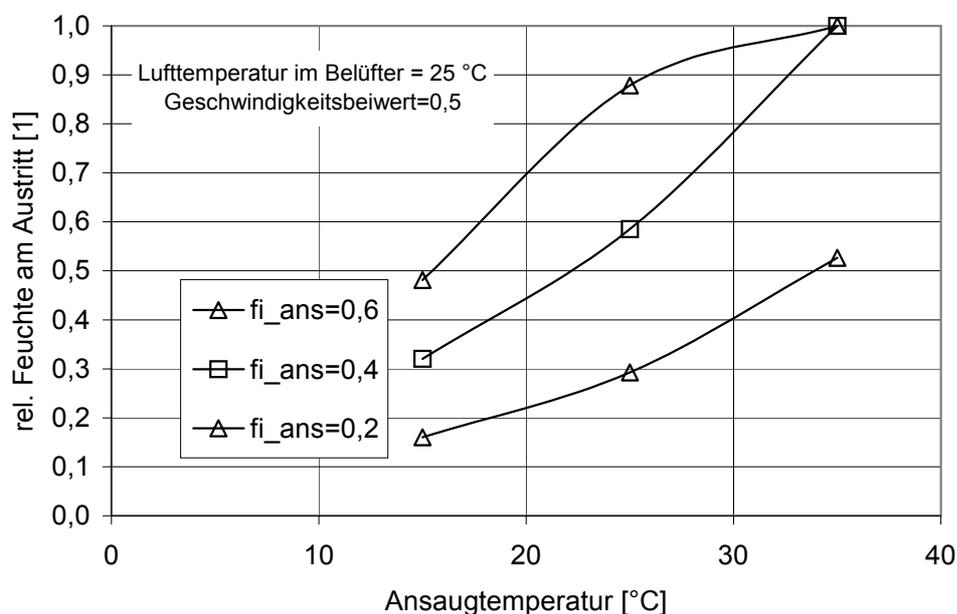


Abbildung 14: Relative Feuchte am Porenaustritt in Abhängigkeit der Ansaugtemperatur und der Luftfeuchte für einen mittleren Geschwindigkeitsbeiwert

Wie man erkennt, ist die Luft am Porenaustritt nur bei höherer Ansaugtemperatur und höherer Ansaugfeuchte gesättigt.

Trotzdem empfehle ich funktionstüchtige Entwässerungsleitungen vorzusehen, aber nicht zur Ableitung der Kondensate sondern zur Entfernung eventuell eingedrungenen Wassers. Entwässerungsleitungen müssen auf möglichst kurzem Weg über den Wasserspiegel geführt werden und müssen gefahrlos betätigt werden können!

3. Oberflächenbelüftungssysteme

Der überwiegende Teil der österreichischen Kläranlagen ist mit Druckbelüftungssystemen ausgestattet. Nur wenige kommunale Kläranlagen und einige Industrieabwasserreinigungsanlagen arbeiten mit Oberflächenbelüftern. Die in den letzten Jahren auf Anlagen mit Oberflächenbelüftungssystemen durchgeführten Sauerstoffzufuhrmessungen haben gezeigt, dass die Hersteller sehr genau um die Leistungsfähigkeit bescheid wissen, alle Garantiewerte wurden erreicht. Im Gegensatz werden bei Messungen an Druckbelüftungssystemen die Garantiewerte immer öfter erst nach Adaptierungen und dann auch häufig nur sehr knapp bestätigt. Nicht unerwähnt darf natürlich bleiben, dass der Sauerstoffertrag in Reinwasser bei Druckbelüftungssystemen (bis 4 kg/kWh) in der Regel deutlich höher angesetzt wird als bei Oberflächenbelüftungssystemen (bis 2,5 kg/kWh).

Auf einer kommunalen Anlage mit Mammutrotoren hatten wir das Problem, dass die Antriebe bereits im Leerlauf praktisch den Nennstrom aufgenommen haben. Der Grund dafür war eine falsche Ölfüllung der Getriebe gewesen.

3.1 Energiekostenvergleich

In die Energiekosten ist jedenfalls der gesamte Energieaufwand für die Biologie einzurechnen. Die in Umlaufbecken mit Druckbelüftung vorhandenen Rührwerke laufen in der Regel 24 Stunden am Tag. Um auch während der Belüftungsphasen eine Umlaufströmung aufrecht zu erhalten, muss die installierte Leistung relativ hoch sein (bis 5 W/m³). Wenn die Anforderungen an die Stickstoffentfernung hoch sind, müssen in der Regel auch in Umlaufbecken mit Stabwalzen Rührwerke eingebaut werden. Da diese aber nur ohne zusätzliche Luftbeaufschlagung die Strömung aufrecht zu erhalten haben, kann deren spezifische Leistung geringer angesetzt werden.

Es wird im Folgenden eine Betrachtung des Energieaufwandes für das Belebungsbecken durchgeführt. Als veränderliche Parameter sind der Sauerstoffverbrauch und der Sauerstoffertrag der Druck- und Oberflächenbelüftungssysteme enthalten. An Annahmen wurden getroffen:

- spezifische Rührwerksleistung für Druckbelüftung 3 W/m³ und 2 W/m³ für Oberflächenbelüftung.
- Sauerstoffgehalt in der Biologie 1,5 mg/l
- intermittierende Betriebsweise 50% Nitrifikation und 50 % Denitrifikation. Bei Druckbelüftung laufen die Rührwerke durch und bei Oberflächenbelüftern werden sie während der Belüftungsphase abgestellt.

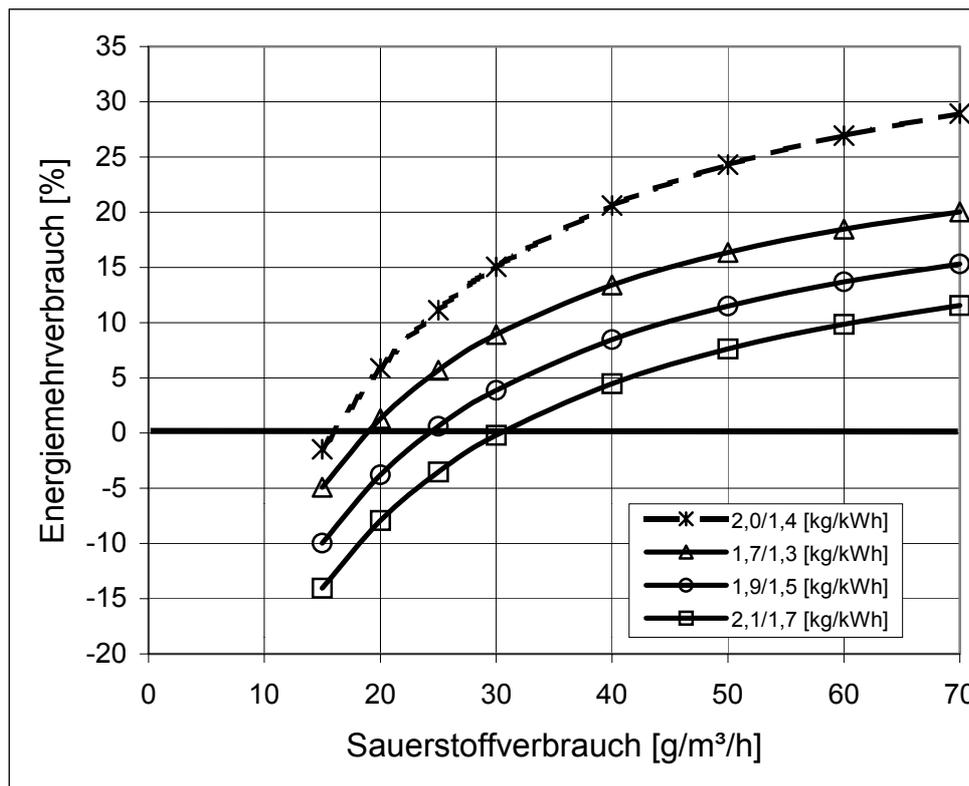


Abbildung 15: Energiemehrverbrauch – Sauerstoffverbrauch

In der Abbildung 15 ist der Energiemehrverbrauch über dem Sauerstoffverbrauch aufgetragen. Die erste Zahl in der Legende ist der Sauerstofftrag des Druckbelüftungssystems und die zweite Zahl ist der Sauerstofftrag des Oberflächenbelüftungssystems, jeweils in belebtem Schlamm. Durch den dauernden Betrieb der Rührwerke ist die erforderliche Leistung für die Mischung bei kleinen Atmungen im Verhältnis zur Belüfterleistung deutlich erhöht. Der geringere Sauerstofftrag der Oberflächenbelüftungssysteme wird dadurch kompensiert. Bei hohen Werten der Sauerstoffträge wird das Druckbelüftungssystem erst bei höheren Sauerstoffverbrauchswerten wirtschaftlicher als das Oberflächenbelüftungssystem. Der Grund dafür liegt in der kurzen Laufzeit des Gebläses bei niedrigem Sauerstoffverbrauch und der längeren Laufzeit der Rührwerke. Bei kleineren Sauerstoffträgen beider Systeme erreicht der Energiemehrverbrauch höhere Werte als bei höheren Sauerstoffträgen. Je größer die Differenz der Sauerstoffträge zwischen den Systemen ist desto größer wird der Energiemehrverbrauch.

Die Kurven in Abbildung 15 zeigen auch, dass mit Druckbelüftungssystemen nicht in jedem Fall ein geringerer Energiebedarf für den Betrieb der Biologie erreicht wird. So ist unter mittleren Verhältnissen (Sauerstoffverbrauch bis ca. 30 g/m³/h) praktisch kein Energiemehrverbrauch feststellbar. Bei niedrig belasteten Anlagen ergeben sich, unter den getroffenen Annahmen, sogar Vorteile für die Oberflächenbelüftungssysteme.

4. Literatur

- ATV (1997): ATV Handbuch; Biologische und weitergehende Abwasserreinigung, 4 Auflage, Verlag Ernst & Sohn*
- BRETSCHER U., HAGER W. H.(1983): Die Reinigung von Abwasserbelüftern, gwf 124, 1983, Heft 6*
- EPA (1989): Design Manual „Fine Pore Aeration Systems“, Environment Protection Agency, EPA/625/1-89/023*
- FREY W. (1995): Belüftungssysteme, KAN, Folge 2*
- FREY W. (1998): Planung und Gestaltung von Belüftungssystemen; Wiener Mitteilungen Band 145; 1998*
- HUBER & SUHNER AG (2001): Firmenschrift; Huber & Suhner AG Pfäffikon Schweiz*
- KELLER U. (1982): Langzeitversuche mit verschiedenen Druckbelüftern und mit Luftmengenregulierung der ARA Altenrhein; Verbandsbericht Nr.: 216, 1982, Verband Schweizer Abwasserfachleute*
- THONHAUSER C. A. (2002): persönliche Mitteilung*

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

Telefon : ++43 (0) 2262 68173
Fax: ++43 (0) 2262 66 385
e-mail: aab.frey@aon.at