

# DRUCKANSTIEG BEI BELÜFTUNGSSYSTEMEN – NEUE ERKENNTNISSE

W. Frey, Korneuburg

## 1. Allgemeines

Viele der KAN Mitglieder betreiben ein Druckbelüftungssystem. Der Systemdruck beeinflusst maßgeblich die Wirtschaftlichkeit und die Betriebssicherheit der Gesamtanlage.

Durch Vorträge und Fragebogenaktionen wurde das Thema Belüftungssysteme schon mehrfach in der Nachbarschaftsarbeit behandelt (FREY 2002, 2003). Zuletzt wurde im Jahr 2003 eine Umfrage zu Belüftungssystemen durchgeführt. Ergänzende Messungen, mit dem Ziel eine Messvorschrift zu entwickeln und zu testen, haben im Sommer 2004 stattgefunden. Der vorliegende Beitrag liefert erste Ergebnisse.

Seit dem letzten Vortrag über Betriebsprobleme mit Druckbelüftungssystemen 2002 konnten mit Reinigungsverfahren und vorbeugenden Maßnahmen weitere Erfahrungen gesammelt werden. Darüber hinaus werden vermehrt Untersuchungen an den eingesetzten Werkstoffen durchgeführt, auch darüber wird in diesem Papier ein kurzer Abriss gegeben.

## 2. Ergänzende Messungen zur Fragebogenaktion 2003

Ziel der Messungen war es einerseits möglichst exakt den Druckverlust der Belüfterelemente zu ermitteln und andererseits den dafür notwendigen Arbeits- und Zeitaufwand zu minimieren. Die Arbeiten gliedern sich in drei Abschnitte.

Im ersten Abschnitt sind anlagenspezifische Daten zu erheben.

- Belebungsbecken: Wassertiefe, Einblastiefe – Diese Informationen kann man aus Plänen (Schnitt des Beckens) herauslesen. Häufig findet man in den Plänen auch Angaben zu den Belüfterelementen (Typ, Anzahl, Felder)
- Gebläse: Baugröße, Anzahl je Becken, Drehzahl
- Belüfterelemente: Hersteller, Type, Anzahl im untersuchten Becken, Datenblatt mit Angaben zum Druckverlust in Abhängigkeit zum Luftdurchsatz

In der zweiten Phase sind die Angaben zu prüfen und Messungen zu machen.

- Einblastiefe: Ermitteln aus den Planabmessungen und dem gemessenen Freibord (Abstand Beckenoberkante bis zum Wasserspiegel).
- Gebläse: Vergleich der Daten auf dem Typenschild mit den Projektunterlagen. Eventuell ist eine Drehzahlmessung erforderlich.
- Druck im Rohrsystem: Hier muss man sich nach den örtlichen Gegebenheiten richten. In vielen Fällen existieren Entwässerungsleitungen. Mit entsprechenden Fittings kann man, nach einer Entwässerung (!), hier den Druck direkt im Rohrsystem am Beckenboden messen. Wenn keine Entwässerungsleitungen existieren bleibt die Möglichkeit das druckseitige Manometer des Gebläses abzuschrauben und dort das Druckmessgerät anzuschließen. Einige Anlagen haben auch Anschlüsse zwischen dem Gebläse und dem Becken (z.B.

Kondensatablässe). Vor hier ein Messgerät angeschlossen werden kann, ist vorhandenes Kondensat jedenfalls abzulassen.

Im dritten Abschnitt sind die Daten auszuwerten und der Druckverlust der Belüfterelemente zu ermitteln.

## 2.1 Ermittlung des Druckverlustes der Belüfterelemente

Der an der Entwässerungsleitung gemessene Druck ist je nach verwendetem Messgerät ein Absolutdruck oder ein Differenzdruck. Üblicherweise werden Differenzdruckmessgeräte eingesetzt, d.h. der abgelesene Druck ist der Überdruck in der Rohrleitung gegenüber dem Luftdruck. Dieser Überdruck resultiert aus der Einblastiefe, dem Druckverlust in der Rohrleitung von der Messtelle bis zum Belüfterkörper, dem Druckverlust des Belüfterkörpers (Düsenöffnungen, Drosselbohrungen, Schutzkappen, Rückschlagsicherungen, usw.) und dem Druckverlust der Membran.

$$\Delta p_{\text{mess}} = \text{Einblastiefe} + \text{Rohrleitung} + (\text{Belüfterkörper} + \text{Membran})$$

HINWEIS: 1 bar = 100 000 Pa es gilt daher 1 mbar = 1 hPa

$$1 \text{ mWS} = 98,1 \text{ hPa} = 98,1 \text{ mbar}$$

Mit Ausnahme der Einblastiefe sind alle Komponenten vom Luftvolumenstrom abhängig. Aus der ermittelten Einblastiefe kann der hydraulische Druck berechnet werden. Es gilt:

$$p_{\text{hydraulisch}} [\text{mbar}] = \text{Einblastiefe} [\text{m}] \times 98,1$$

Durch die Messung an der Entwässerungsleitung ist der Anteil der Rohrleitung am Gesamtdruckverlust gering. Für unsere Abschätzung kann der Rohrleitungsdruckverlust mit ausreichender Genauigkeit mit 2-5 mbar angesetzt werden. Wird der Druck beim Gebläse gemessen ist der Druckverlust mit 10-20 mbar anzusetzen.

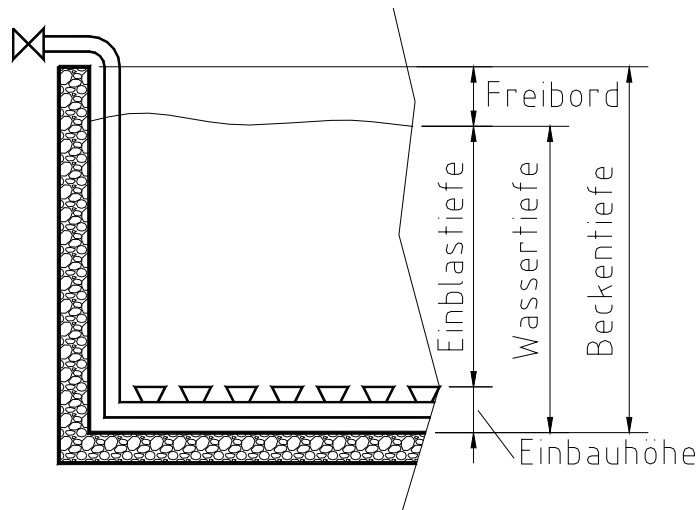
Die Summe aus dem Druckverlust des Belüfterkörpers und der Membran ist der Druckverlust des Belüfterelementes. Dieser Wert kann für neue Belüfterelemente in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes aus dem Datenblatt des Herstellers entnommen werden. Zu Vergleichszwecken ist es dringend zu empfehlen, diesen Wert zumindest näherungsweise zu ermitteln.

Um aus dem Diagramm den Druckverlust eines neuen Elementes zu ermitteln, muss vorher der Luftvolumenstrom bekannt sein. Der Luftvolumenstrom ist aus dem Datenblatt des Gebläses ersichtlich. Es hat sich gezeigt, dass eine exakte Ermittlung des Luftvolumenstromes über die Berechnungsformeln der Gebläse und die Messung der Gebläsedrehzahl sowie der Zustandsgrößen der Luft nicht erforderlich ist. Der Grund dafür liegt in den relativ flachen Kennlinien der Belüfterelemente, d.h. der Druckverlust des Belüfterelementes ändert sich nur gering mit dem Luftvolumenstrom.

Hat man nun den „Sollwert“ des Druckverlustes des Belüfterelementes aus dem Diagramm entnommen kann man die Veränderung bewerten. Von den Lieferanten der Belüfterelemente werden Druckanstiege von ca. 40 mbar in einigen Jahren genannt. Hat das betrachtete System in wenigen Monaten schon das Doppelte erreicht sollten Maßnahmen zur Verringerung des zügig vorangetrieben werden.

### 2.1.1 Berechnungsbeispiel

Die oben beschriebene Methode soll an einem Beispiel vorgezeigt werden. Die Bezeichnungen für die Beckengeometrie der Anlage ist aus der Abbildung 1 erkennbar.



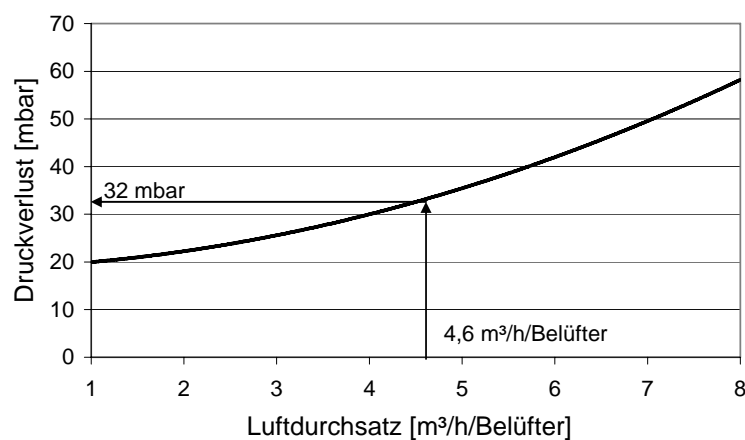
**Abbildung 1:** Beckenschnitt - Bezeichnungen

Bei einer Wassertiefe von 6,2 m und einer Einbauhöhe von 30 cm resultiert eine Einblastiefe von 5,9 m. Der hydraulische Druck errechnet sich zu

$$p_{\text{hydraulisch}} = 5,9 \text{ m} \times 98,1 = 579 \text{ mbar}$$

Zur Drucklufferzeugung wird für das betrachtete Becken ein Gebläse der Fa. AERZEN Typ GM25S eingesetzt. Laut Typenschild läuft das Gebläse (nicht der Motor!) mit 4240 U/min und saugt dabei 21 m<sup>3</sup>/min an. Damit erhält man den Luftvolumenstrom der in das Becken gelangt zu 21 x 60 = 1260 m<sup>3</sup>/h.

Im Becken sind 270 Stück Tellerbelüfter montiert. Aus dem Luftvolumenstrom errechnet man durch Division mit der Belüfteranzahl die Luftbeaufschlagung zu 1260/270 = 4,6 m<sup>3</sup>/h/Belüfter.



**Abbildung 2:** Datenblatt des Belüfters (Druckverlust – Luftdurchsatz)

Mit diesem Luftdurchsatz geht man nun in das obige Datenblatt des Belüfters (Abbildung 2) und ermittelt den Druckverlust eines neuen Belüfterelementes zu  $\Delta p_{\text{neu}} = 32 \text{ mbar}$ .

An der Entwässerungsleitung beim Becken wurde der Differenzdruck ( $\Delta p_{\text{mess}}$ ) zu 668 mbar gemessen.

Mit der Gleichung  
(Belüfterkörper + Membran) =  $\Delta p_{\text{mess}}$  - Einblastiefe – Rohrleitung erhält man

$$(\text{Belüfterkörper} + \text{Membran}) = 668 \text{ mbar} - 579 \text{ mbar} - 3 \text{ mbar} = 86 \text{ mbar}$$

Der Druckverlust der Belüfterelemente ist also von 32 mbar im Neuzustand auf 86 mbar angestiegen. Nach Betreiberangaben sind die Belüfter seit 7 Jahren in Betrieb. Dieser Druckverlust ist als typisch zu bezeichnen, wenn man die Betriebsdauer berücksichtigt. Ob in diesem Fall eine Reinigung oder ein Austausch sinnvoll ist, könnte nur durch eine Probereinigung an einem Belüfter und/oder Materialuntersuchungen ermittelt werden.

Die Belüftungsenergie ist direkt proportional dem Gegendruck, man kann aus dem Verhältnis der Drücke „nach Gebrauch“ und im Neuzustand den Mehrverbrauch errechnen:

$$\frac{579+3+86}{579+3+32} = 1,09$$

Man erkennt, dass der Energiebedarf über den Betriebszeitraum um 9% größer geworden ist. Während der Lebenserwartung des Belüfterelementes steigt der Druckverlust immer etwas an. Für Amortisationsrechnungen darf nur die durch Reinigungs- oder vorbeugende Maßnahmen erreichbare Reduktion des Differenzdruckes angesetzt werden.

### **3. Weiterführende Untersuchungen**

Wie schon im Rahmen der KAN berichtet gibt es für die Entstehung der verstopfenden Ablagerungen verschiedenste Theorien, aber eine eindeutige Zuordnung von Ursache und Wirkung ist bisher nicht gelungen. Es wird daher in verschiedensten Bereichen nach Antworten gesucht.

#### **3.2 Materialeigenschaften und Werkstoffprüfung**

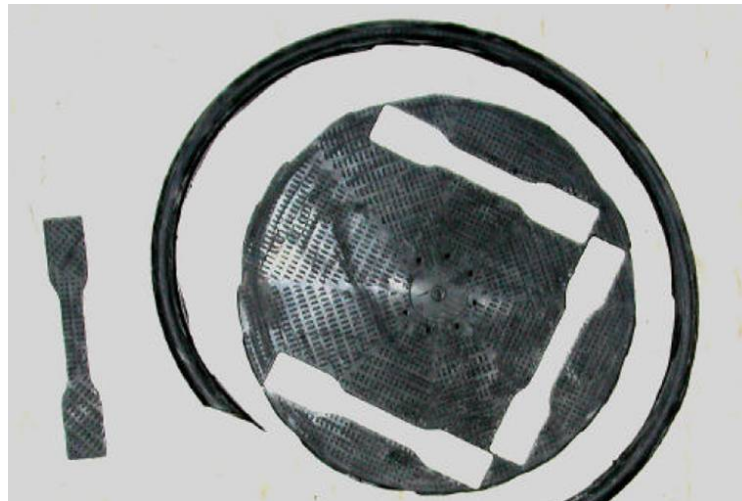
Eine Stoßrichtung der Untersuchungen richtet sich auf die Materialeigenschaften und deren Veränderungen während der Gebrauchsdauer. Von den Kunststoffexperten werden mechanische Eigenschaften wie z.B.

- Volumenänderung (Quellung, Schrumpfung)
- Masseänderung
- Härte (Shore A, IRHD)
- Elastizitätsmodul
- Zugfestigkeit
- Bruchdehnung

untersucht. Als wesentlicher Einflussfaktor wird bei EPDM (es existieren verschiedenste Rezepturen!) die Art und der Anteil der Zuschlagstoffe genannt (MONEKE 2004). In der Diskussion um die Veränderung der Gebrauchseigenschaften durch mikrobiellen Angriff wird als hauptverantwortlich die Qualität und Reinheit des beigemengten Rußes genannt. Je „reiner“ der Ruß ist desto weniger wird das mikrobielle Wachstum unterstützt wodurch die Änderung von Materialeigenschaften ebenfalls geringer ausfällt.

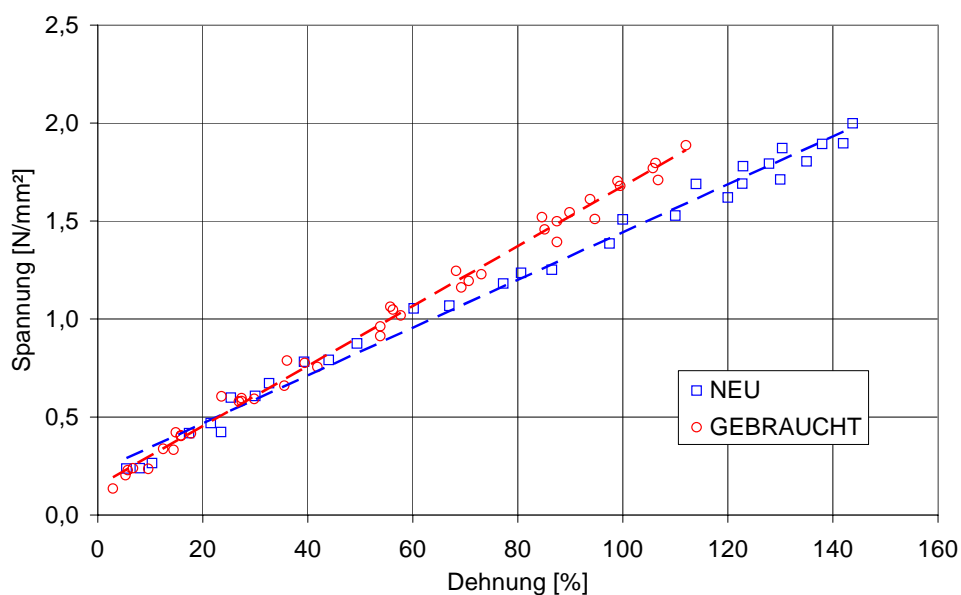
In diesem Zusammenhang wird immer wieder Silikon als Alternative genannt. Wesentliche Nachteile von Silikon sind die im Vergleich zu EPDM schlechteren mechanischen Eigenschaften und der höhere Preis.

Bei der Bearbeitung von Problemen mit Verstopfungen auf einer Anlage mit EPDM Belüftern wurden Materialuntersuchungen durchgeführt. Als erste Maßnahme wurde ein Spannungs - Dehnungsdiagramm aufgenommen. Wichtig ist die Probenvorbereitung, da das Material je nach Perforation in verschiedenen Richtungen unterschiedliche Ergebnisse liefert. Wir haben jeweils mehrere Proben in unterschiedlicher Orientierung aus den Membranen entnommen, diese untersucht und Mittelwerte gebildet. Die folgende Abbildung 3 zeigt die Probenentnahme.



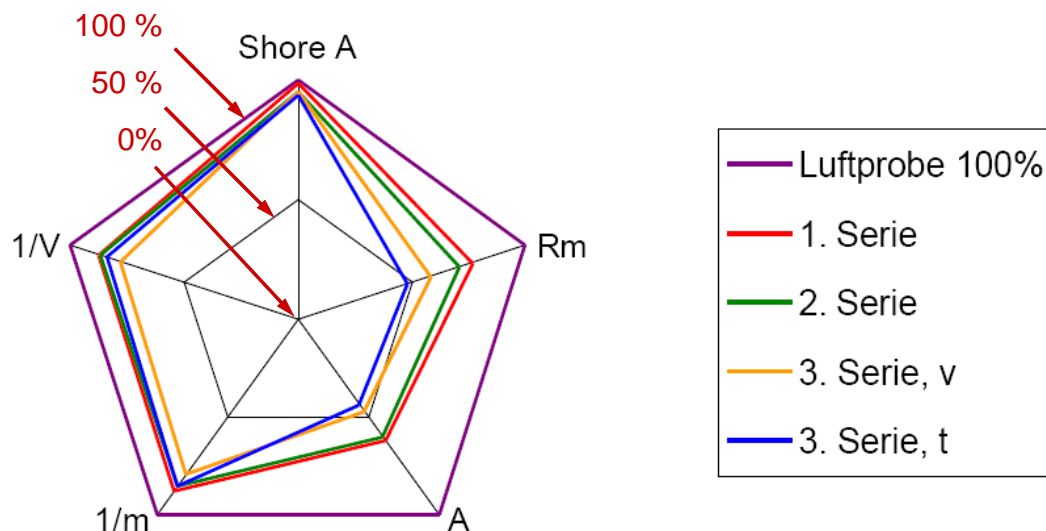
**Abbildung 3:** Probenentnahme aus Membran

Die nächste Abbildung 4 zeigt das Spannungs-Dehnungsdiagramm. Man erkennt doch eine signifikante „Verhärtung“ des Materials. Dieser Anstieg der erforderlichen Kraft um die gleiche Dehnung hervorzurufen, bedeutet für den Belüfterbetrieb einen Anstieg des Druckverlustes bei gleichem Luftdurchsatz.



**Abbildung 4:** Spannungs-Dehnungsdiagramm EPDM

In einem, auf die Untersuchung von Kunststoffen, spezialisierten Labor wurden danach noch die Volumenveränderung (V), die Masseveränderung (m), die Härte (Shore A) die Bruchdehnung (A) und Zugfestigkeit (Rm) ermittelt. In der Abbildung sind die Veränderungen der Werte zusammengefasst. Zur besseren Lesbarkeit wurden die Volumen- und die Masseveränderung als Kehrwert eingetragen. Bei einer Zunahme von V oder m werden die Kehrwerte kleiner 100%, siehe Abbildung 5.



**Abbildung 5:** Werkstoffeigenschaften EPDM

Das Volumen und die Masse hatten leicht zugenommen. Dies liegt in diesem Fall an den außergewöhnlichen Abwassereigenschaften. Man erkennt auch, dass die Härte, sie galt bisher als sehr aussagekräftig, praktisch nicht angestiegen war. Am stärksten hatten sich die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung verringert.

Die Zusammenarbeit der Kunststoffexperten, Werkstoffkundlern und Abwasserfachleuten steht am Anfang. Es ist zu erwarten, dass hier künftig neue Erkenntnisse gefunden werden.

### 3.3 Versuchsanlagen – Testaufbau

Bei großen Anlagen hat sich gezeigt, dass zur Entscheidungsfindung über zu setzende Maßnahmen der Betrieb von Versuchsanlagen hilfreich ist.

Dazu werden in der Regel verschiedene Belüfter an absenkbaren Rahmen oder Ballastgewichten in bestehende Belebungsbecken eingebracht und betrieben. Zur Überwachung sind Durchflussmengenmessgeräte und ggf. registrierende Druckmessungen vorzusehen.

Die folgende Abbildung 6 zeigt eine einfache Möglichkeit der Anbringung von Versuchsbelüftern. Diese Elemente können einfach in das Becken versenkt und auch zur Inspektion wieder ausgehoben werden. Der Luftanschluss kann über das Luftsystem der Anlage oder ein kleines eigenes Gebläse erfolgen. Ich modifiziere die Belüfterkörper auch so, dass der Druckverlust von Drosselbohrungen und Rückschlagsicherungen minimiert wird. Der Vorteil ist, dass man denn Luftvolumenstrom der durch das Belüfterelement geleitet wird, im Vergleich mit den eingebauten Elementen, auch vergrößern kann.



**Abbildung 6:** Belüfterelemente an Ballastgewichten

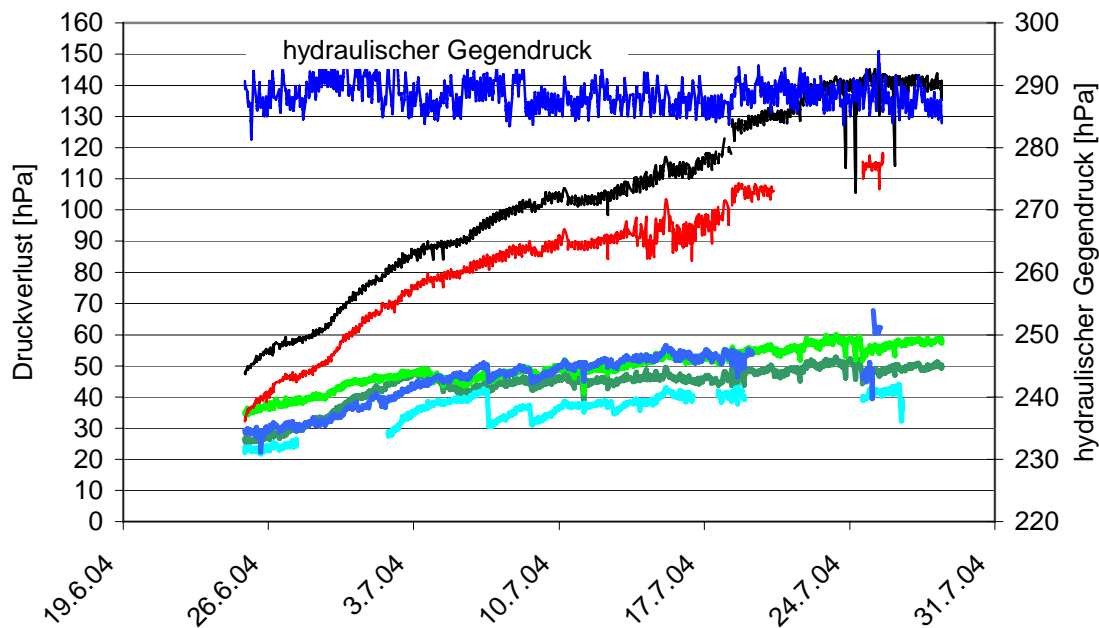
Um den Druckverlust unabhängig von der Zuleitung zu messen, hat es sich bewährt einen dünnen Messschlauch in der Luftzuleitung bis zum Belüfterelement zu führen. In der folgenden Abbildung 7 ist ein Messaufbau zu sehen.



**Abbildung 7:** Messaufbau für Volumenstrom und Druckmessung

Der Aufbau ist für die Erfassung von 6 Belüfterelementen geeignet. Der siebente Drucksensor erfasst über eine Einperlmessung die Wassertiefe. Mit diesem Versuchsaufbau wurde die Differenzdruckentwicklung an verschiedenen Belüfterelementen mit und ohne Befeuchtung und mit verschiedenen Materialien getestet.





**Abbildung 8:** Ergebnisse der Druckmessungen

In der Abbildung 8 ist absichtlich keine Legende enthalten, da die Ergebnisse nur für dieses spezielle Industrieabwasser Gültigkeit haben. Man erkennt jedoch deutlich, dass zwei Belüfterelemente einen sehr raschen Anstieg des Differenzdruckes zeigen und die restlichen vier als gleichwertig mit geringem Druckanstieg zu beurteilen sind. Dieses Untersuchungsergebnis stellt eine wesentliche Hilfe bei der Auswahl des neuen Belüftermaterials dar.

## 4. Erfahrungen mit eingesetzte Abhilfemaßnahmen

### 4.1 Mechanische Reinigung



Auf vielen Kläranlagen in Österreich wird zur Begrenzung des Druckverlustes periodisch mechanisch gereinigt (FREY 2004). Es hat sich gezeigt, dass es günstig ist das Becken nicht vollständig zu entleeren sondern eine geringe Wasserüberdeckung der Belüfter zu belassen. In der Abbildung 9 erkennt man deutlich den Reinigungseffekt und einen Defekt an einer Platte

**Abbildung 9:** Mechanische Reinigung von Belüfterplatten



Eine weitere Maßnahme die auf Anlagen mit Platten- oder Streifenbelüftern häufig anzutreffen ist, ist das Entspannungsprogramm. Hierbei werden die Membran periodisch kurz mit großem Luftvolumenstrom beaufschlagt und anschließend der Druck in der Rohrleitung auf Umgebungsdruck abgesenkt. Dadurch wird die Membran abwechselnd gedehnt und entlastet was zu einer Ablösung von Ablagerungen führen soll. Die folgende Abbildung 10 zeigt die Ausrüstung für automatisiertes Dehnen und Entlasten von Membranen.



**Abbildung 10:** Mechanische Reinigung von Belüfterplatten

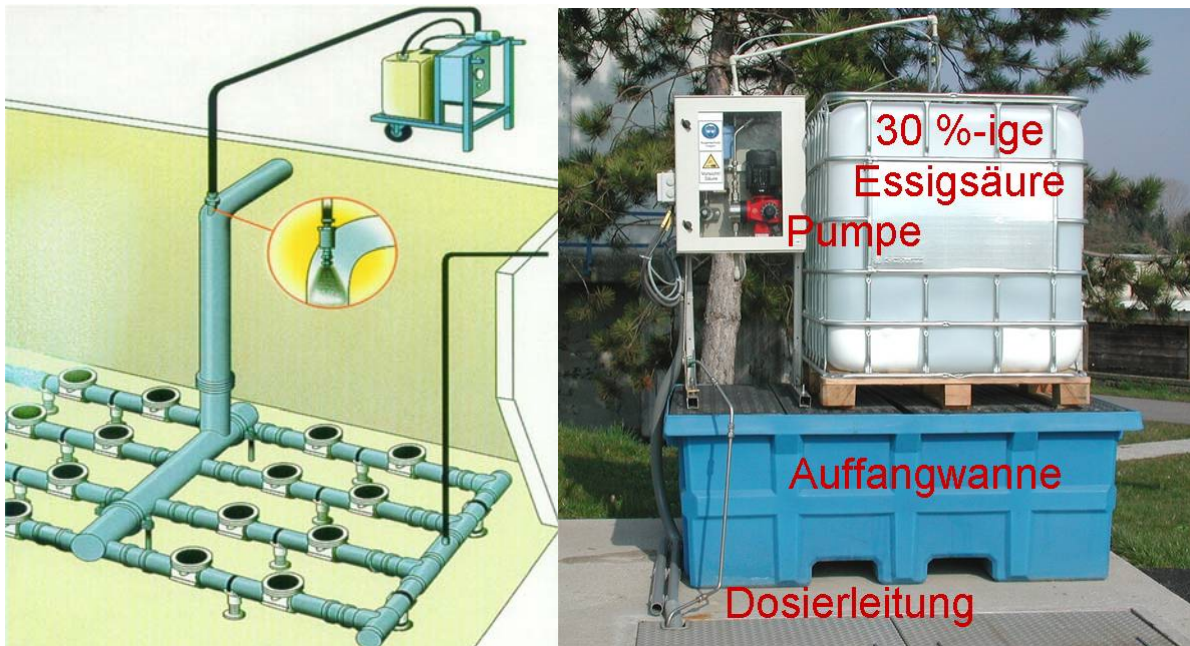
#### 4.2 Eindüsung von Säure

Wenn die Verstopfungen säurelöslich sind hat sich das Eindüsen von Säure in die Versorgungsluftleitung bewährt. Grundsätzlich können unterschiedliche Säuren zum Einsatz kommen. Das von der Firma NOPON vertriebene Verfahren verwendet Ameisensäure. Die Ameisensäure hat den Vorteil, dass sie sehr gut verdampft und mit dem Luftstrom zur Membran gelangt. Bei der Ameisensäuredosierung ist keine Hochdruckpumpe und keine „Nebeldüse“ notwendig. Die Abbildung 11 zeigt die Anordnung einer Ameisensäuredosierung und einer ausgeführten Essigsäuredosierung.

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.

Da manche Belüftermaterialien nicht gegen Ameisensäure beständig sind, wird auch Essigsäure eingesetzt. Die Essigsäure verdampft nicht so leicht wie die Ameisensäure, es muss daher mit höherem Druck und speziellen Nebeldüsen gearbeitet werden. Diese Düsen erzeugen sehr kleine Tröpfchen die dann leichter verdampfen.

Auf manchen Anlagen wird eine Kombination aus Entspannungsprogramm und Säuredosierung mit Erfolg eingesetzt.



**Abbildung 11:** Ameisensäuredosierung und Essigsäureeindüsung

#### 4.3 Chemische Reinigung

Das Fluten der Belüfterrohrleitungen und Belüfterelemente mit einer zwei Komponenten Reinigungslösung wurde beim KAN Sprechertag 2002 bereits vorgestellt. Seither konnten Erfahrungen mit der Methode gesammelt werden und auch die erforderlichen Geräte konnten verbessert werden (FREY und THONHAUSER 2003). Die Abbildung 12 zeigt eine, von einer Fachfirma gebaute, mobile Reinigungseinheit die auf die Anlage transportiert werden kann. Es sind darauf Vorlagebehälter für die Reinigungslösungen, das Washwasser so wie die erforderlichen Pumpen samt elektrischem Schaltschrank untergebracht.



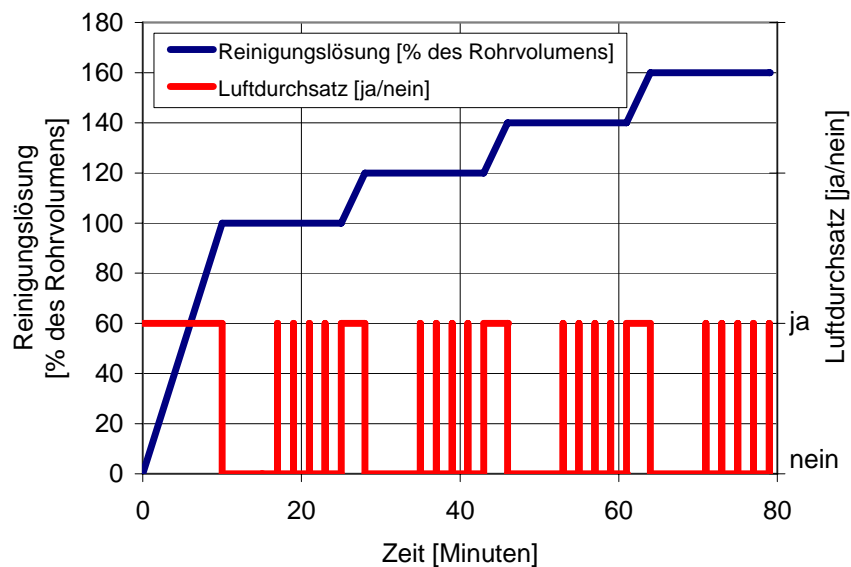
**Abbildung 12:** Mobile Reinigungseinheit

Die Reinigungslösungen werden in getrennten Schläuchen bis kurz vor die Einleitestelle gefördert und dort in einem T-Stück gemischt. Die Einleitung in die Falleitung ist in Abbildung 13 zu sehen. Beide Pumpen sind gleichzeitig in Betrieb zu nehmen und darauf zu achten, dass die Zugabe möglichst gleichmäßig erfolgt. Die Luftklappen in den Fallrohren sind zu schließen, um ein Abfließen der Reinigungslösung in die Hauptluftleitung zu verhindern.



**Abbildung 13:** Anschlussstutzen zur Einbringung der Reinigungslösung

Nach der Befüllung des Feldes ist die Luftzufuhr in Abständen zu öffnen und wieder zu schließen, um die Reinigungslösung in und durch die Membranporen zu drücken. Die nächste Abbildung 14 zeigt den zeitlichen Ablauf der Zugabe der Reinigungslösung.



**Abbildung 14:** Zeitliche Abfolge eines Reinigungsvorganges

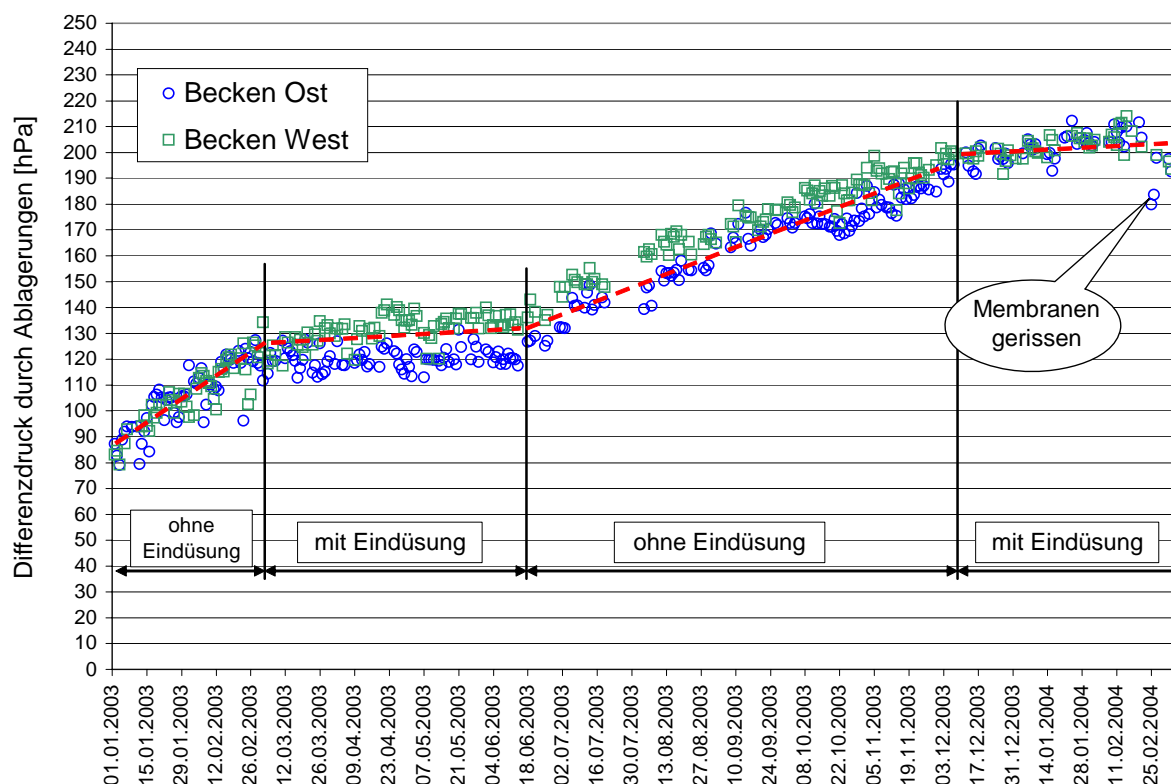


Wichtig ist das Rohrleitungssystem mit etwa dem doppelten Volumen an Waschwasser nach zu waschen. Um Kalkausfällungen zu verhindern, kann es notwendig sein dem Waschwasser Säure zuzugeben.

Auf vielen Anlagen sind die Belüfter aus Redundanzgründen manchmal in viele Felder aufgeteilt. Dadurch ist jedes einzelne Feld einem Reinigungszyklus zu unterziehen, wodurch die benötigte Zeit für eine Reinigung sehr groß werden kann.

#### 4.4 Befeuchtung

Auch über die Befeuchtung des Luftvolumenstromes, als vorbeugende Maßnahme gegen die Bildung von verstopfenden Ablagerungen, wurde schon berichtet. Die bisherigen Erfahrungen mit der Befeuchtung, haben gezeigt, dass speziell im Bereich der Wasseraufbereitung auf eine weitgehende Automatisierung nicht verzichtet werden kann. Jeder Ausfall der Wasseraufbereitung hat auch einen Ausfall Befeuchtungseinrichtung zur Konsequenz. Auf einer Industriekläranlage konnte über einen Zeitraum von mehr als einen Jahr der Druckverlauf im System mit und ohne Befeuchtung erfasst werden. Die Druckmesswerte über der Zeit sind in der folgenden Abbildung 15 dargestellt.



**Abbildung 15:** Druckmesswerte mit Befeuchtung

Der Beobachtungszeitraum gliedert sich in vier Abschnitte. Im ersten Abschnitt war die Befeuchtung nicht in Betrieb. In beiden Becken war der Systemdruck innerhalb von 8 Wochen um etwa 40 mbar angestiegen. Nach Inbetriebnahme der Luftbefeuchtung ist eine eindeutige Verlangsamung des Druckanstieges feststellbar. So ist der Druck in einem Zeitraum von ca. 12 Wochen nur um etwa 20 mbar weiter angestiegen. Durch einen technischen Defekt an der Wasseraufbereitung ist die Befeuchtung ausgefallen. Wie aus der Abbildung 15 ersichtlich ist, kam es

dadurch zu einem neuerlichen raschen Anstieg des Druckverlustes. Dieser Stillstand hat mehrere Monate gedauert. Aufgrund der extrem hohen Druckverluste aber waren bereits Schäden an den Belüfterelementen aufgetreten. Ein Austausch des gesamten Systems steht an.

## **5. Literatur**

*FREY W. (2002): Betriebserfahrungen mit Belüftungssystemen, KAN, Folge10*

*FREY W. (2003): Fragebogen Belüftungssysteme, KAN, Folge11*

*FREY W., THONHAUSER C. (2003): Betriebsprobleme mit Druckbelüftungssystemen;  
Wiener Mitteilungen Band 183*

*FREY W. (2004): Mechanische Reinigung feinblasiger Druckbelüftungselemente, KA-Betriebs-Info 2004 (34) Nr.2*

*MONEKE M. (2004): Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften von EPDM- PU- und Silikonmembranen,  
2. WAR Infotag April 2004 Darmstadt, Belagsbildung auf Membranen von Belüftungselementen*

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