Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

# Betriebsprobleme mit Druckbelüftungssystemen

Wilhelm Frey *; Christian Thonhauser **

* Ingenieurkonsulent für Maschinenbau, Leobendorf
** Institut für Geochemie, Universität Wien

**Kurzfassung:** Es werden Ursachen für Probleme mit Druckbelüftungssystemen und mögliche Abhilfemaßnahmen aufgezeigt. Viele Betriebsprobleme sind auf steigenden Druckverlust der Belüfterelemente zurückzuführen. Der Anstieg des Druckverlustes wird durch Ablagerungen auf der Membran und/oder in den Membranporen hervorgerufen. Die Einflussgrößen auf die Bildung von verstopfenden Ablagerungen in Belüfterporen werden besprochen. Anhand von Beispielen wird die mechanische und chemische Reinigung von Belüfterelementen gezeigt. Als Maßnahme zur Reinigung von Belüftungsmembranen wird das Fluten der Rohrleitungen mit einer Zweikomponenten-Reinigungslösung vorgestellt.

Auf manchen Anlagen beeinflussen sich Belüftung und Umwälzaggregate stark negativ, so dass nur eine geringe Sauerstoffzufuhr erreicht wird und/oder keine ausgeprägte Umlaufströmung auftritt. Einige Zusammenhänge werden dargestellt und anhand eines Praxisbeispiels die Größenordnung des Ertüchtigungspotentials aufgezeigt.

Bei der Installation von Belüftungssystemen ist für qualitätssichernde Maßnahmen nur wenig Spielraum vorhanden (Kosten!). Speziell im Bereich gleichbleibender Produktqualität von Belüfterelementen besteht hier Handlungsbedarf. Beobachtungen aus der Praxis zeigen bestehende Schwachpunkte auf.

**Keywords:** Belüfter; Druckanstieg; Druckbelüftung; Druckverlust; Kieselsäure; Membranbelüfter; Verstopfung; Reinigung; Sauerstoffzufuhr; Silizium; Umlaufströmung; Walzenströmung

## 1 Einleitung

Von einem Belüftungssystem erwartet man, dass

- Die Mikroorganismen ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden.
- Der Beckeninhalt gut durchmischt und Ablagerungen vermieden werden.
- Die verursachten Kosten möglichst gering sind.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

Werden die gestellten Forderungen nicht oder nur teilweise erfüllt, so spricht man von Betriebsproblemen. Eine Beschreibung des Anforderungsprofils an Belüftungssysteme findet man bei v.d.EMDE (1968 und 1980).

## 2 Druckverlust

Eine wesentliche Voraussetzung für die störungsfreie Funktion einer Belebungsanlage ist ein verstopfungssicheres Belüftungssystem, das im laufenden Betrieb keinen kontinuierlichen Druckanstieg aufweist.

In der 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 Beckenkrone). 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.

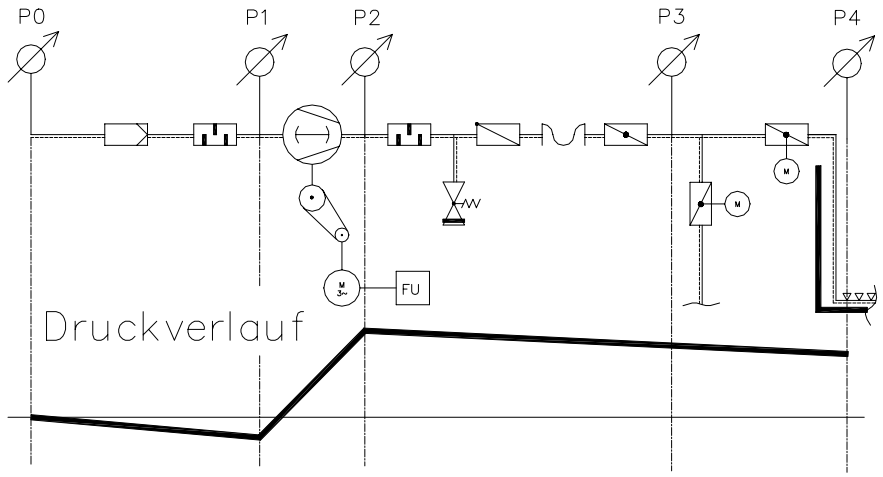



**Abbildung 1:** Gebläse- und Rohrleitungsschema

Bei ausgeführten Anlagen findet man häufig Messgeräte für P1 und P2. Die Genauigkeit ist aber in der Regel schlecht. Auf jeder Anlage mit einem Druckbelüftungssystem sollte zumindest ein mobiles Druckmessgerät (± 0,1 kPa = ± 1 hPa

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

= ± 1 mbar) zur Überprüfung der Druckverhältnisse zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme und der laufenden Kontrolle der Drücke vorhanden sein

**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 1,0 – 5,0 kPa. Der Druckverlust in den Belüfterelementen ist vom eingesetzten Belüftertyp und der Luftbeaufschlagung abhängig. Im Neuzustand bei mittlerer Luftbeaufschlagung ist mit Druckverlusten der Belüfterelemente in der Größenordnung von 2,0 – 7,0 kPa zu rechnen.
In den letzten Jahren sind vermehrt Fälle bekannt geworden, wo die Drücke deutlich von den Sollwerten abgewichen sind. Die Ursachen waren:

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

Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

# 3 Verstopfte Belüfter

Dass feinblasige Belüfter aus „starrporösem“ Material während der Einsatzdauer einen steigenden Druckverlust aufweisen ist seit langem bekannt (EPA 1989, KELLER 1982). 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.

Wie Beobachtungen in den letzten Jahren gezeigt haben, treten auch bei Belüftern aus Elastomeren, zum Teil nach kurzer Betriebszeit (wenige Wochen), deutlich erhöhte Druckverluste auf. Der Betrieb der Kläranlage wird je nach Umfang der Verstopfungen mehr oder weniger stark beeinträchtigt. Folgende Auswirkungen wurden beobachtet:

- Es tritt ein höherer Gegendruck der Belüfter auf, der einen erhöhten Energieverbrauch für die Belüftung verursacht.
- Überlastete Verdichter fallen aus und der Luftvolumenstrom muss reduziert werden.
- Die Belüfterelemente sind beschädigt. Die Schädigung reicht von überdehnten bzw. gerissene Membranen bis zu verformten bzw. gebrochenen Grundkörpern.

## 3.1 Bekannte Einflussgrößen auf den Druckverlust

**Porengröße:** Der Druckverlust eines Belüfterelementes wird durch die Größe der Poren in der Membran bestimmt. Ein Anstieg des Differenzdrucks kann entweder durch gleichmäßige Bildung von verstopfenden Ablagerungen in allen Poren oder durch vollständiges Zuwachsen eines Teiles der Membranporen hervorgerufen werden. In der Praxis treten beide Effekte gleichzeitig auf.

**Partikel in der Luft:** Verstopfungen feinblasiger Druckbelüftungssysteme durch Partikel die mit dem Luftstrom transportiert werden trifft man heute nur noch selten an. Ursache können Korrosionsprodukte aus den Rohrleitungen und Fasern aus den Luftfiltern sein. Auf den mir bekannten Anlagen mit Belüfterverstopfungen war dieser Beitrag vernachlässigbar gering bis nicht feststellbar.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

**Veränderungen des Membranmaterials:** Es ist bekannt, dass nach einigen Jahren Betrieb ein Verlust von Zuschlagstoffen (z. B. Weichmacher) und den damit einhergehenden Veränderungen der Materialeigenschaften (z.B. Zugfestigkeit, Reißdehnung, IRHD, etc) auftreten kann. Wird das Membranmaterial „fester", so ist für die selbe Größe der Pore (=Dehnung) eine größere Kraft und damit ein höherer Differenzdruck erforderlich. 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.

**Mikroorganismen - EPS (Extrazelluläre Polymere Substanz):** Es wird auch die Theorie verfolgt, dass durch bestimmte Mangelerscheinungen (Sauerstoff, Nährstoffe, ....) vermehrt sogenannter „Zwischenraumschleim" - EPS gebildet wird, der in der Folge die Poren verklebt (WAGNER 2001). Bei den von den Autoren untersuchten Anlagen konnte dieses Phänomen bisher nicht beobachtet werden.

**Kalk–Kohlensäure–Gleichgewicht:** Das Abwasser-Belebtschlammgemisch hat durch die Aktivität der Mikroorganismen einen hohen Gehalt an Kohlendioxid. Die Luft aus der Pore hat einen sehr geringen Kohlendioxidgehalt. Beim ersten Kontakt Luft - Wasser tritt nun örtlich ein rascher Transport von $CO_2$ aus dem Wasser in die Luft auf, wodurch der pH-Wert steigt und die Löslichkeit von Kalziumcarbonat sinkt. Unter der Annahme, dass während der Blasenablösung immer eine kleine Menge Wasser in die Poren eindringt und die Porenwände mit Belebungsbeckeninhalt benetzt sind, tritt die Abscheidung von Kalk bereits in den Membranporen auf. In der Abbildung 2 ist dieser Vorgang schematisch dargestellt.

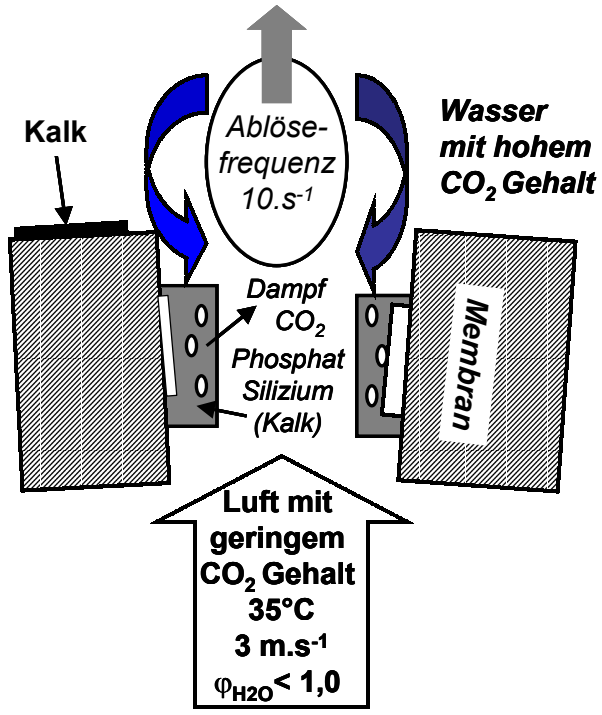


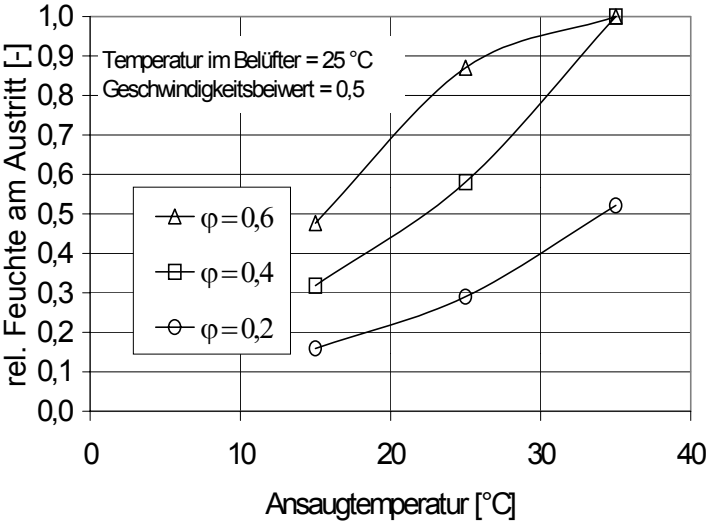

**Abbildung 2:** Schema zur Bildung von Ablagerungen in Membranporen

Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

## 3.2 Neu erkannte Einflussgrößen auf den Druckverlust

Die beobachteten Druckanstiege von Membranbelüftern sind durch mineralische Ablagerungen in den Membranporen verursacht. In fast allen Fällen findet sich hauptsächlich Phosphor und Silizium aber praktisch keine organische Substanz. Das Besondere an den Ergebnissen der Untersuchungen ist, dass sich die gefundenen Elemente eigentlich unter den in Abwasseranlagen herrschenden Verhältnissen nicht ablagern dürften. Folgende Punkte sind daher wesentlich, wenn man Untersuchungen zur Bildung verstopfender Ablagerungen durchführt.

**Zustandsgrößen der Luft:** Unter den in unseren Breiten üblichen Ansaugbedingungen der Luft ist in der Regel davon auszugehen, dass die Luft in den Rohrleitungen nicht mit Wasserdampf gesättigt ist. Modellrechnungen ergeben sogar eine geringe relative Luftfeuchtigkeit der Luft beim Austritt aus der Membran. Die Luft hat daher ein Trocknungspotential, wodurch eine Aufkonzentrierung der gelösten Stoffe im Feuchtigkeitsfilm an den Porenwänden erfolgt. Sind Stoffe in einer Konzentration im Wasser enthalten, die schon nahe ihrer Sättigungskonzentration liegt, so kann es zur Bildung von verstopfenden Ablagerungen kommen. Selbstverständlich hat auch hier der pH-Wert einen Einfluss auf die Vorgänge.




Im Rahmen der Untersuchungen für ein spezielles Projekt (Anlage OMV) wurde die Luftfeuchte in der Belüfterpore näherungsweise berechnet. In der Abbildung 3 sind die Resultate für unterschiedliche Ansaugbedingungen zusammengestellt.

**Abbildung 3:** 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.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

**Löslichkeitsprodukt**: Im Wasser gelöste Stoffe können bei Überschreiten des Löslichkeitsproduktes zu festen Ablagerungen führen. Auf Basis der bisherigen Beobachtungen ist anzunehmen, dass

- die Stickstoffparameter ($NH_4$-N, $NO_3$-N)
- die Chemikalien die zugegeben werden (z. B. Fällmittel)
- und der pH-Wert

von Bedeutung sind. In einigen untersuchten Fällen wurde Kieselsäure als hauptverantwortlich für die verstopfenden Ablagerungen identifiziert. Leider haben alle bisherigen experimentellen Versuche und Berechnungen auf Basis von experimentellen und thermodynamischen Löslichkeitsprodukten keine Klärung der tatsächlichen Vorgänge in den Poren ergeben.

**Elektrisch geladene Partikel**: Wie Laborversuche gezeigt haben, ist in manchen Fällen in Rohrleitungen und Belüfterelementen mit elektrostatischen Aufladungen zu rechnen. In der wässrigen Phase liegt beispielsweise Kieselsäure auch als Kolloid vor. Treffen unterschiedlich geladene Teilchen aus dem Wasser und der Luft im Bereich der Membranporen aufeinander, sind Ausscheidungen und damit die Bildung verstopfender Ablagerungen die Folge. Derzeit laufen halbtechnische Versuche auf einer Industrieabwasserreinigungsanlage, mit dem Ziel Methoden zu erproben, Ausscheidungen und Ablagerungen durch elektrische Ladungen zu verhindern.

## 3.3 Reinigung und Vorbeugung von Belüfterverstopfungen

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** (Ameisensäure, Essigsäure) bekämpft werden (BRETSCHER, HAGER 1983). In manchen Fällen, wenn der Druckanstieg nur langsam fortschreitet, kann es genügen eine Säuredosierung in größeren Zeitabständen als

Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

Wartungsmaßnahme, vorzusehen. Auf manchen Anlagen wird, auch vorbeugend, laufend Säure in den Luftvolumenstrom dosiert. Die Methode versagt jedoch bei nicht säurelöslichen Verbindungen (z. B. Kieselsäure).

Die Methode durch **starke Luftbeaufschlagung**, und der damit verbundenen starken Dehnung, Ablagerungen abzusprengen (ATV 1997) wird verbreitet eingesetzt, ist aber nicht immer 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 betrieben 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 veränderten Betrieb der Gebläse entstehen, zu achten.

Guten Erfolg bringt die **mechanische Reinigung** mit einem Hochdruckreinigungsgerät. Vor der Reinigung muss das Becken bis zu den Belüftern entleert werden. Die Belüfter können eingebaut bleiben und werden mit Luft beaufschlagt. Nun wird die Oberfläche mehrmals mit einem Hochdruckwasserstrahl überstrichen. Wichtig ist, dass mit einer **Dreckfräse** gearbeitet wird. Bei leistungsstarken Hochdruckreinigungsgeräten empfiehlt es sich die Belüfterelemente gering mit Wasser überdeckt zu lassen (z.B. 0,1 m).

### 3.3.1 Neue Methode zur Reinigung

Für den Fall, dass es nicht möglich ist das Becken zu entleeren und/oder andere Methoden nicht funktionieren wurde eine Methode zur Reinigung unter Vollbetrieb der Anlage entwickelt. Die Vorgangsweise ist ähnlich wie die in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie eingesetzte „Cleaning in Process“ (CIP) Methode.

Dazu wird das Rohrleitungssystem mit einer auf die Ablagerungen abgestimmten Reinigungslösung gefüllt und über die Entwässerungsleitung wieder entleert. Die Reinigungslösung besteht in der Regel aus zwei Komponenten die in getrennten Behältern vorgelegt werden. Die Flüssigkeiten werden gleichzeitig z. B.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

über die Luftleitung in die Verrohrung am Beckenboden gepumpt. Anschließend wird mit der Druckluft die Mischung der Reinigungslösungen durch die Poren gedrückt. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt um eine ausreichende Einwirkzeit zu erzielen. 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. Auch eingedrungene Biomasse (Schlamm) wird von der Reinigungslösung ab- und aufgelöst und kann so aus den Belüftern und Rohrleitungen entfernt werden.

In vielen Fällen sind keine zusätzlichen Installationen am Belüftungssystem erforderlich. Die Methode nutzt die bestehenden Anlagenteile wie die Fallleitungen, die Entwässerungsleitungen und die Gebläse. Die Auswahl der Reinigungschemikalien kann so erfolgen, dass keine negativen Auswirkungen auf den Reinigungsprozess und/oder die Ablaufqualität befürchtet werden muss.

### 3.3.2 Überlegungen zu neuen vorbeugenden Maßnahmen

Die hier angesprochenen Methoden basieren auf den Überlegungen zu den Einflussgrößen zur Bildung von verstopfenden Ablagerungen.

**Luftbefeuchtung:** Durch Erhöhung der Luftfeuchte beim Durchtritt der Luft durch die Membranporen kann die Neubildung von verstopfenden Ablagerungen deutlich zu reduziert werden. Der Effekt beruht auf:

- Der Verringerung von elektrostatischen Aufladungen. Ist die relative Feuchte größer als 60% tritt praktisch keine Triboelektrizität mehr auf. Dadurch werden auch Ausfällungen durch die Entladung von Kolloiden im Bereich der Membranporen vermieden.
- Der Verhinderung des Austrocknens der Membranporen.
- Der Reduktion des Feuchtigkeitsaufnahmevermögens der Luft und damit auf der Veränderung von Löslichkeitsprodukten.

Der Einfluss der Luftfeucht wurde schon vor Jahrzehnten erkannt (US Patent 2.689.714 aus 1954), die Aufgabe, das eingebrachte Wasser in die Gasphase überzuführen, wurde aber damals nicht gelöst. Bei der angewandten Methode erfolgt die Eindüsung in das Luftleitungssystem in Form von Aerosolen, so dass eine Änderung des Aggregatszustandes (flüssig – gasförmig) in 1-2 Sekunden erfolgt. Das eingedüste Wasser wird voll entsalzt und durch Verschneidung mit

Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

Rohwasser auf eine Leitfähigkeit von ca. 5 µS/cm eingestellt. Wichtig ist die Tröpfchengrößenverteilung (Düsenauswahl; Druck) und die Eindüsungsstelle so zu wählen, dass auch bei dem am weitesten entfernten Belüfter noch feuchte Luft (relative Feuchte $\varphi > 80\%$) ankommt.

**pH-Wert Optimierung**: Auf Basis der Analyse der verstopfenden Ablagerungen kann es vorteilhaft sein, den pH-Wert im Belebungsbecken so zu verändern, dass keine ungünstigen Konstellationen von Löslichkeitsprodukten auftreten. Speziell Kieselsäure, aber auch Eisen- und Aluminium-Ionen bilden pH abhängig Kolloide. Damit im Zusammenhang stehen wiederum Ausfällungen durch Entladung von Kolloiden.

**Kontrolle der Umladung von Kolloiden**: Bestimmte Kolloide spielen eine bedeutende Rolle bei Umladungsvorgängen. Der Mechanismus soll beispielhaft an Eisenhydroxid-Kolloiden erläutert werden. Eisenhydroxyd-Kolloide (entstehen z. B. bei der Phosphorfällung mit Eisensalzen) sind positiv geladen. Eine Entladung und Ausfällung von Eisenhydroxid-Kolloiden durch negative Ionen (z.B. Chlorid, Nitrat) erfolgt nur in Gegenwart von nennenswerten Mengen an elektrisch passiven Ionen wie z. B. Ammonium. Die Anwesenheit von dreifach geladenen und kleinen Aluminium-Ionen dagegen bewahrt den kolloidalen (positiven) Zustand des Eisenhydroxids. Aus obigen Ausführungen ist ersichtlich, dass das Verhältnis Ammonium/Nitrat eine Rolle bei der Beurteilung des Verstopfungspotentials von Eisensalzen spielen könnte.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge bei kolloidalen Umladungsvorgängen und den ggf. daraus resultierenden Ausfällungen muss festgehalten werden, dass die Forschung hier am Anfang steht und noch keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen.

## 3.4 Beispiele mechanische Reinigung

Auf der Anlage AST traten sehr rasch relativ große Druckanstiege auf. Im ersten Betriebsjahr wurden die Belüfter einzelner Becken mittels Schmutzfräse behandelt. Bei einer mittleren Luftbeaufschlagung konnte der Druckverlust der Membran von 14.0 kPa vor der Reinigung auf 7.0 kPa nach der Reinigung gesenkt werden. Vom Hersteller wurde für die gewählte Luftbeaufschlagung der Druckverlust für einen neuen Belüfter mit ca. 6.5 kPa angegeben. Eine anschließend durchgeführte mikroskopische Untersuchung an der gereinigten Membran

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

hat gezeigt, dass eine Restverschmutzung verbleibt, die die Neubildung von Ablagerungen unter Umständen beschleunigt (Rauhigkeit der Oberflächen). Der Zeitaufwand für die Reinigung eines Beckens, ohne Entleeren und Befüllen, betrug einige Tage.

Durch den rasch steigenden Druckverlust der Membranen kommen die Turboverdichter an die Leistungsgrenze (Pumpbetrieb) und die erforderliche Sauerstoffversorgung kann nicht sichergestellt werden. Zurzeit laufen intensive Untersuchungen zur Entwicklung einer Präventivmaßnahme zur Verhinderung bzw. Verlangsamung der Bildung von verstopfenden Ablagerungen.

In der folgenden Tabelle sind die Daten der Anlagen, auf denen die Methode eingesetzt wurde, zusammengestellt.

**Tabelle 1:** Anlagendaten (Mechanische Reinigung)

| | Anlagen-größe [EW] | Becken-volumen [m³] | Belüftertype; Material | Anzahl Belüfter | Belüfter-fläche [m²] | Industrie-anteil |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Anlage AST | 800,000 | 4 x 11,000<br>4 x 12,500 | Platten<br>0,15 x 4,0 m<br>Polyurethan | 2600 | 1500 | hoch |
| Anlage FEH | 30,000 | 2 x 1400 | Teller 300 mm<br>EPDM | 420 | 30 | mittel |
| Anlage FEL | 30.000 | 2 x 800 | Platten<br>1,0 x 3,6 m<br>Polyurethan | 52 | 187 | gering |

Die Belüfterelemente auf der Anlage FEL waren ca. 10 Jahre im Einsatz und in dieser Zeit 2 mal mit einem Hochdruckreinigungsgerät (siehe Abbildung 4) gereinigt worden. Im Zuge des Ausbaues der Kläranlage wurden die Belüfterplatten getestet. Dazu wurde eine Platte entnommen und der Differenzdruck in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes vor und nach der Reinigung ermittelt. Auch hier konnte der Druckverlust der Membran bei einer mittleren Luftbeaufschlagung von 14.0 kPa vor der Reinigung auf 7.0 kPa nach der Reinigung reduziert werden.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

**Abbildung 4**: Plattenreinigung

An einem Tellerbelüfter der Anlage FEH wurde eine Testreinigung im ausgebauten Zustand durchgeführt. Die Abbildung 5 zeigt den Druckverlust in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes vor und nach der Reinigung. Erst nachdem der Beweis der Wirksamkeit der Methode auch bei EPDM Tellerbelüftern erbracht war wurden alle Belüfter in beiden Becken gereinigt. Der Zeitaufwand für die Reinigung der Belüfterelemente beider Becken, mit Entleeren und Befüllen, betrug ca. 2 Tage.

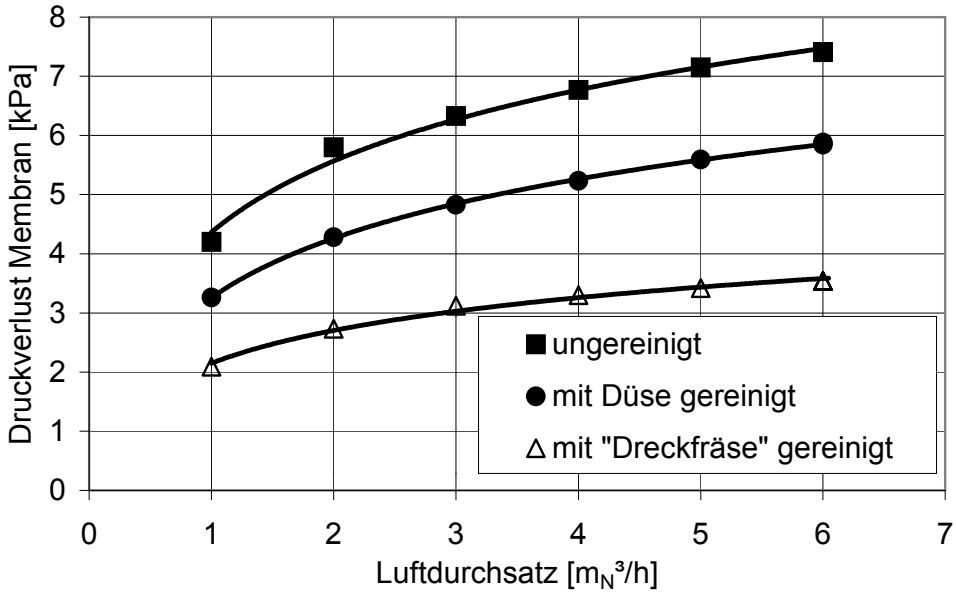



**Abbildung 5:** Druckverlust einer Membran der Anlage FEH in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

## 3.5 Beispiele chemische Reinigung

Auf der Anlage IZM waren nicht alle Becken gleichzeitig in Betrieb gegangen. In den zu Beginn in Betrieb gesetzten Becken wurde nach ca. einem Jahr ein sehr unregelmäßiges Blasenbild beobachtet. Man konnte deutlich erkennen, dass an vielen Stellen große Luftmengen nicht durch die Belüfterporen ausgetreten sind. Bei einer Beckenleerung hat man festgestellt, dass viele Belüftermembranen aus den Halteringen geschlüpft waren. Nach Behebung der mechanischen Schäden wurde eine Reinigung bei entleertem Becken durchgeführt.

In der folgenden Tabelle 2 sind die Daten der Anlagen, wo die Methode eingesetzt wurde, zusammengestellt.

**Tabelle 2:** Anlagenbeschreibung Chemische Reinigung

| | Anlagen-größe [EW] | Becken-volumen [m³] | Belüftertype; Material | Anzahl Belüfter | Belüfter-fläche [m²] | Industrie-anteil |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Anlage IZM | 4,000,000 | 12 x 28,000 | Teller 300 mm EPDM | 22,000 | 1500 | hoch |
| Anlage AST | 800,000 | 4 x 11,000 4 x 12,500 | Platten 0.15x4.0 m Polyurethan | 2600 | 1500 | hoch |
| Anlage OMV | - | 2 x 3700 | Teller 220 mm EPDM | 4500 | 180 | 100% |
| Anlage HEI | - | 2 x 2500 | Teller 300 mm EPDM | 1360 | 100 | 100% |

Die Abbildung 6 zeigt die Vorlagebehälter für die Reinigungsflüssigkeit und die Abbildung 7 zeigt das Ausströmen der Reinigungsflüssigkeit aus den Belüftern. Zur Überprüfung der Reinigungswirkung wurden Membranen entnommen und mit einer Elektronenstrahlmikrosonde untersucht.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

**Abbildung 6:** Vorlagebehälter für Reinigungsflüssigkeit

**Abbildung 7:** Ausströmen der Reinigungsflüssigkeit

In Abbildung 8 ist eine ungereinigte Pore zu sehen, man erkennt die verstopfenden Ablagerungen aus anorganischem Material (vor allem Silizium / Kieselsäure). Abbildung 9 zeigt eine Pore nach einer sauren Reinigung mit 1 molarer Salzsäure. Hier ist eindeutig eine Verbesserung zu erkennen, aber es sind auch noch deutlich säureunlösliche Reste der verstopfenden Ablagerungen zu erkennen. Die letzte Abbildung 10 zeigt eine Pore nach Reinigung mit der alkalischen und oxidierenden Zweikomponenten-Reinigungslösung. Die Pore ist praktisch frei von verstopfenden Ablagerungen und der Druckverlust entspricht demjenigen einer unbenutzten Membran.

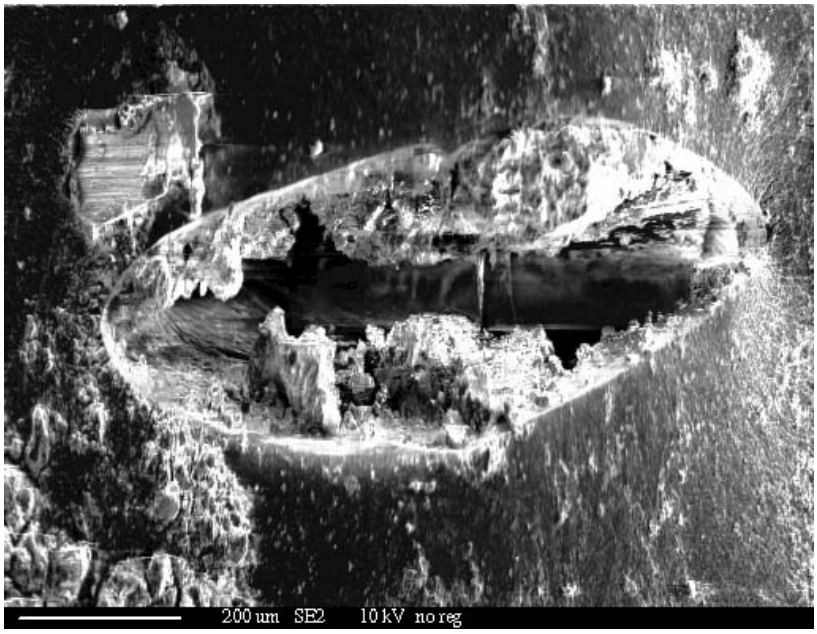



**Abbildung 8:** Ungereinigte Membranpore

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

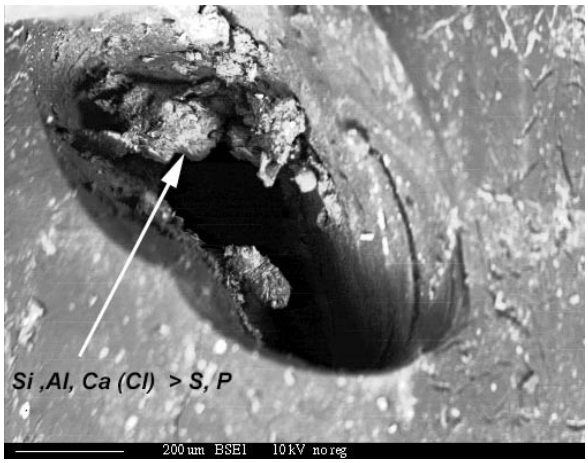



**Abbildung 9:** Sauer gereinigte Membranpore

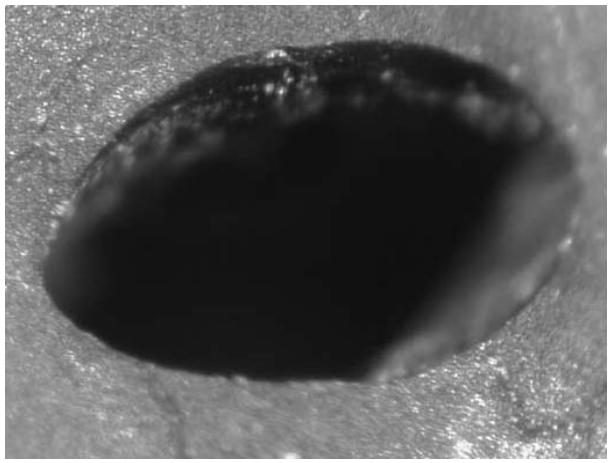


**Abbildung 10:** Alkalisch gereinigte Membranpore

Die Belüfter der noch intakten Becken der Anlage 1 konnten ohne Beckenleerung gereinigt werden. Durch das Fluten mit Reinigungslösung konnte bei einer Luftbeaufschlagung von ca. 7 m³/(Belüfter ·h) durchschnittlich eine Reduktion des Druckes von 2.0 - 2.5 kPa erreicht werden. Zur Luftvolumenstrommessung wurde in die Rohrleitung eine Messstrecke eingebaut.

Aufgrund der auf der Anlage AST sehr rasch voranschreitenden Verstopfungen schien eine CIP Reinigung zunächst, wegen der vorhersehbaren kurzen Reinigungsintervalle, nicht anwendbar.

Wie schon bei den Beispielen der mechanischen Reinigung ausgeführt musste jedenfalls versucht werden den Anlagenbetrieb aufrecht zu erhalten. In dieser Zwangslage hat sich der Anlagenbetreiber dazu entschlossen eine chemische Reinigung auszuprobieren. Die vorangegangenen Untersuchungen hatten gezeigt, dass sowohl säurelösliche als auch alkalisch entfernbare verstopfenden Ablagerungen in den Poren vorhanden sind. Die Reinigung wurde daher mit einer alkalischen und einer sauren Reinigungslösung durchgeführt.

Die Einstellung des Luftvolumenstromes war mit den eingebauten Armaturen möglich. Bei einer Luftbeaufschlagung von 20 $m_N^3/m^2/h$ ergaben sich die in Tabelle 3 zusammengefassten Differenzdrücke:

Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

**Tabelle 3:** Druckverlust der gesamten Belüfterelemente vor und nach der chemischen Reinigung (Anlage AST); Luftbeaufschlagung von 20 $m_N^3/m^2/h$

| | **Feld 1** | | | **Feld 2** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | vor der Reinigung | alkalisch gereinigt | alkalisch und sauer gereinigt | vor der Reinigung | sauer gereinigt |
| Druckverlust [kPa] | 12.0 | 8.5 | 7.0 | 13.0 | 8.5 |
| Reduktion [%] | - | 29 | 42 | - | 35 |

Durch diese Maßnahme konnte eine „Nachdenkpause“ gewonnen werden.

Die Anlage OMV ist eine Industrieabwasserreinigungsanlage zur Entfernung von Rohölrückständen aus Bohrlochwasser. Auch hier ist man auf den hohen Druckverlust erst durch ein unregelmäßiges Blasenbild aufmerksam geworden. Eine Voruntersuchung hat gezeigt, dass eine alkalische Reinigung gut wirken sollte. Für die Druckmessungen wurde ein externes Gebläse an das Luftleitungssystem angeschlossen und der Luftvolumenstrom nur zu dem zu reinigenden Feld geleitet. Durch das Fluten mit Reinigungslösung konnte eine Reduktion, des an der Entwässerungsleitung gemessenen Druckes, von 47.1 kPa auf 42.0 kPa bei einer Luftbeaufschlagung von ca. 2 $m^3/(Belüfter \cdot h)$ erreicht werden.

Auch die Anlage HEI ist eine Industrieabwasserbehandlungsanlage. Das hier behandelte Abwasser stammt aus der Kunstfaserproduktion und weist eine außergewöhnliche Hydrochemie auf.

In Abbildung 11 sind die Druckverluste eines Belüfterelementes mit einer verstopften Membran der Kläranlage HEI nach ca. 4 Jahren Betrieb und die Druckverluste eines Belüfterelementes mit einer gereinigten Membran gegenübergestellt. Zum Vergleich ist auch der Druckverlust eines unbenutzten Belüfterelementes eingetragen.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

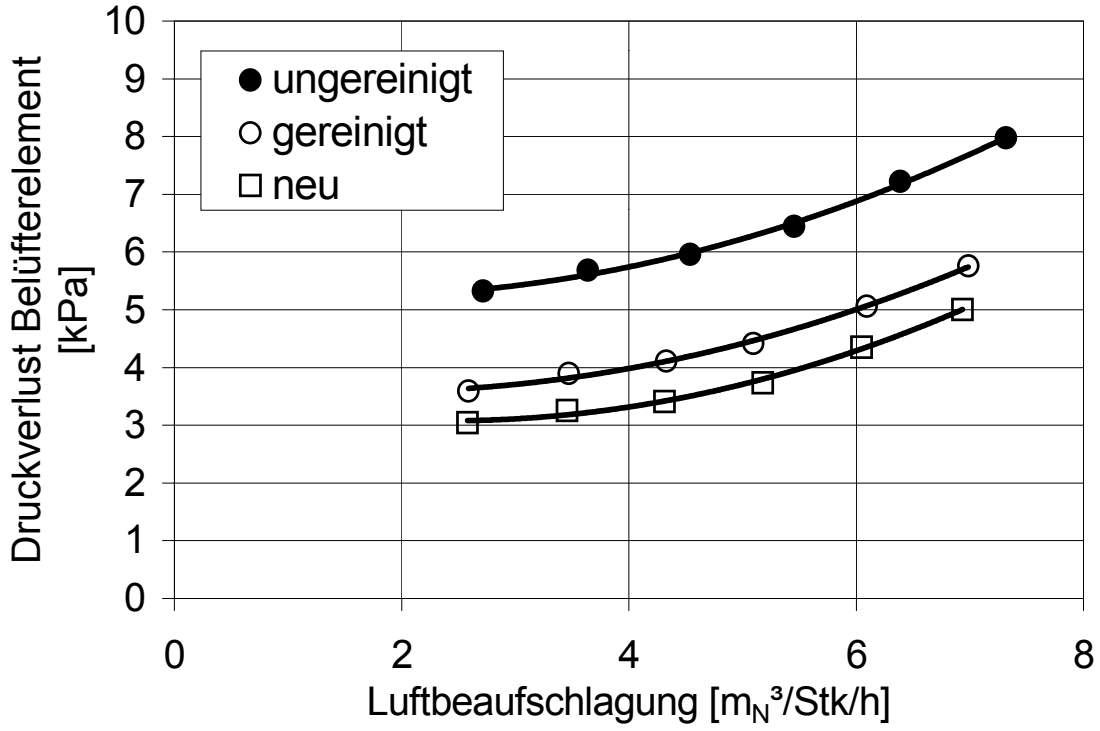



**Abbildung 11:** Druckverlust eines Belüfterelementes mit einer ungereinigten, einer gereinigten und einer unbenutzten Membran der Anlage HEI

## 3.6 Beispiele Luftbefeuchtung

Erst durch den Einsatz von sehr feinen Hochdruckdüsen ist es gelungen, das Wasser in Form von Aerosolen einzubringen, so dass es rasch in den gasförmigen Zustand übergehen kann. Die Eindüsung erfolgt auf der Anlage OMV in eine längs der Beckenkrone verlaufende Hauptleitung mit 80 m Länge von welcher die Fallleitungen in das Becken führen. Messungen haben gezeigt, dass es gelungen ist den Luftstrom zu so zu befeuchten, dass auch am Ende der Leitung praktisch Wasserdampfsättigung gegeben ist. Die folgenden Abbildungen zeigen den Aufbau der Befeuchtungseinheit. In Abbildung 12 ist die Hochdruckeinheit zu sehen, Abbildung 13 zeigt die Wasseraufbereitungsanlage und Abbildung 14 zeigt die Situation am Becken.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

**Abbildung 12:** Hochdruckeinheit

**Abbildung 13:** Wasseraufbereitungsanlage

**Abbildung 14:** Eindüsung

Die Anpassung der Wassermenge an den Luftvolumenstrom erfolgt über zwei Düsengruppen. Jede Düsengruppe ist einem Gebläse zugeordnet. Schaltet das Gebläse ein wird ein Magnetventil geöffnet und die jeweilige Düsengruppe wird mit Hochdruckwasser versorgt. Die Veränderung des Wasserdurchsatzes in Abhängigkeit der Zustandsgrößen der angesaugten Luft erfolgt derzeit manuell. Dazu wird einmal täglich das Kondensat über die Entwässerungsleitungen abgezogen. Solange deutlich Kondensat anfällt und die Leitfähigkeit unter jener des Belebungsbecken liegt wird nichts verändert. Fällt kein Kondensat an bzw. ist die Leitfähigkeit deutlich höher als jene im Belebungsbecken wird mehr Wasser eingedüst. Fällt sehr viel Kondensat an wird die Wassermenge reduziert. Die Veränderung der Wassermenge erfolgt über eine Überströmleitung an der Hochdruckpumpe.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

Erste Ergebnisse nach ca. 5 Wochen Betrieb haben gezeigt, dass es gelungen ist die Bildung von verstopfenden Ablagerungen zu verzögern. In dem Belüfterfeld, mit Eindüsung von aufbereitetem Wasser, ist der Druck von 34.0 kPa auf 35.5 kPa angestiegen, während er sich in einem unbehandelten Referenzfeld von 34.0 auf 42.0 kPa erhöht hat.

Eine auf der Anlage AST betriebene Versuchsanlage, wo zwei Belüfterplatten mit deutlich unterschiedlicher Luftfeuchte betrieben wurden zeigte keinen signifikanten Unterschied im Druckverlust in Abhängigkeit der Luftfeuchte. Die Luftbeaufschlagung war im mittleren Bereich „angesiedelt“ und wurde konstant gehalten. Innerhalb weniger Wochen ist ein deutlicher Druckanstieg erfolgt. Das Ergebnis der Versuche hat gezeigt, dass durch Befeuchten des Luftstromes nicht gesichert ein Erfolg zu erzielen ist, bzw. es gibt noch weitere, derzeit unbekannte, Einflussfaktoren. Eine Erklärung für das unterschiedliche Verhalten fehlt zum gegenwärtigen Zeitpunkt.

Im Rahmen des Versuches wurden auch andere Produkte, bzw. Materialien getestet. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen haben alle eingesetzten Belüfter einen vergleichbaren Druckanstieg während der Laufzeit gezeigt. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

**Tabelle 4:** Drücke der Versuchsbelüfter auf der Anlage AST

| | Nr. 1 | Nr. 2 | Nr. 3 | Nr. 4 |
|---|---|---|---|---|
| Belüfterform | Platte | Platte | Teller | Rohr |
| Belüftermaterial | Polyurethan | Polyurethan | EPDM | Silikon |
| Luftaufbereitung | Trocknung | Befeuchtung | keine | keine |
| Luftbeaufschlagung [$m^3/(m^2 \bullet h)$] | 45 | 45 | 65 | 29 |
| Druckverlust am Anfang [kPa] | 5,5 | 6,0 | 4,0 | 5,9 |
| Druckverlust nach 6 Wochen [kPa] | 9,5 | 10,0 | 6,5 | 9,5 |
| Anstieg des Druckverlustes [%] | 73 | 66 | 63 | 61 |

Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

## 3.7 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, bereits ein gewisses Alter (z.B. 3 Jahre) haben oder nur geringen Stückzahlen benötigt werden. 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“ können in Einzelfällen (z.B. bei noch nicht ausgelasteten Anlagen) Zusatzkosten für die Drucklufterzeugung verursachen.

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

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. 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 € 400,-- je Kubikmeter Reinigungslösung gerechnet werden. Jedenfalls sind chemische Voruntersuchungen zur Festlegung der Rezeptur der Reinigungslösung erforderlich bzw. in Hinblick auf eine Minimierung des Chemikalieneinsatzes sinnvoll.

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

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

Anlage OMV 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 ganz wesentlich im **Gewinn an Betriebssicherheit** (kein Ausfall der Gebläse durch Überlast; keine beschädigten Belüfter).

Die Energiekostenersparnis ist näherungsweise gleich dem prozentuellen Anteil der Druckerhöhung im Gesamtsystem. Am Beispiel der Kläranlage OMV wurde durch die Reinigung eine Reduktion von 47,1 auf 42,0 kPa erreicht. Daraus ergibt sich eine Reduktion des Gegendruckes von ca. 11 %, dementsprechend geht auch der Energieverbrauch der Belüftung um 11% zurück.

# 4 Belüfteranordnung in Umlaufbecken

Viele Anlagen werden heute mit Umlaufbecken ausgeführt. Dem Zusammenspiel Beckengeometrie – Belüfteraufteilung – Rührwerksposition wird in der Regel zu wenig Beachtung geschenkt (FREY 1998; 2002). Ziel muss es sein, dass mit möglichst geringer Rührwerksleistung Ablagerungen vermieden werden und eine, verfahrenstechnisch erwünschte, Umlaufströmung erzielt wird. Gleichzeitig darf die Strömung die Sauerstoffzufuhr des Belüftungssystems nicht negativ beeinflussen.

Durch die eingeblasene Luft entsteht eine „Blasenwand“ die einen großen Strömungswiderstand darstellt. Auf vielen Anlagen werden zufolge der Forderung nach Mindestströmungsgeschwindigkeiten (z. B. 0,3 m/s) bei Luftbeaufschlagung große Rührwerksleistungen installiert. Im Mischbetrieb (Denitrifikation) treten dann mitunter hohe Strömungsgeschwindigkeiten (>1 m/s) auf, die auch Schäden an den Einbauten (z. B. Belüfterelementen) verursachen können.

Seit Jahrzehnten ist bekannt, dass die sogenannte Linienbelüftung wegen der Ausbildung einer ausgeprägten Walzenströmung, die die Aufenthaltszeit der Luftblasen im Wasser verkürzt, eine deutlich geringere Sauerstoffzufuhr erbringt als die Flächenbelüftung. Werden nun in einem Umlaufbecken kurze Belüfterfelder eingesetzt, bzw. gibt es Bereiche, wo sich Walzenströmungen aus-

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

bilden können, so wird die Sauerstoffzufuhr, wie bei der Linienbelüftung, deutlich kleiner. Durch „Auseinanderziehen“ der Belüfterfelder, oder Einbau zusätzlicher Belüfterfelder, kann der Randwalzeneinfluss verringert und die Situation in der Regel entschärft werden.

Werden in ein Belebungsbecken mehr Belüfterelemente eingebaut und der Luftvolumenstrom nicht verändert, so sinkt der Luftvolumenstrom je Belüfter (die Luftbeaufschlagung). Bei sinkender Luftbeaufschlagung steigt die Sauerstoffausnutzung und damit die Sauerstoffzufuhr und der Sauerstoffertrag. Gleichzeitig wird auch der Luftvolumenstrom pro Quadratmeter Beckengrundfläche (in anderen Bereichen der Technik wird dieser Wert Leerrohrgeschwindigkeit genannt) reduziert. Durch die Reduktion der Luft pro Volumeneinheit wird der „Wandeffekt“, der die Umlaufströmung bremst, verringert.

Eine deutliche Reduktion der hydraulischen Verluste kann durch die (zusätzliche) Anordnung von Belüftern in einer Umlenkung erzielt werden. Dadurch kann, bei vergleichsweise geringer Rührwerksleistung, eine sehr ausgeprägte Umlaufströmung erreicht und die Ausbildung von Walzenströmungen reduziert oder verhindert werden.

## 4.1 Anwendungsbeispiel

Die Anlage THA hat zwei Umlaufbecken mit je 30 m Länge einer Fließbreite von 6 m und einer Wassertiefe von 6 m. Auf einer Langseite waren die Belüfter und auf der andern Seite die Rührwerke (2 x 1,8 kW) installiert. Die, nach der Fertigstellung durchgeführten, Sauerstoffzufuhrmessungen hatten eine viel zu kleine Sauerstoffzufuhr erbracht. In Tabelle 5 sind die Anlagenparameter und die Messergebnisse zusammengestellt.

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

**Tabelle 5:** Anlagenparameter und Messwerte

| | Auslegung | vor Umbau | nach Umbau |
|---|---|---|---|
| Belüfteranzahl | 210 | 210 | 433 |
| Luftvolumenstrom [$m_N^3$/h] | 1160 | 1160 | 1160 |
| Luftbeaufschlagung [$m_N^3$/m²/h] | 138 | 138 | 67 |
| Luftbeaufschlagung [$m_N^3$/Stk/h] | 5,5 | 5,5 | 2,7 |
| Belegte Bodenfläche [m²] | 60 | 60 | 144 |
| Leerrohrgeschwindigkeit [$m_N^3$/m²/h = m/h] | 19,3 | 19,3 | 8,1 |
| Sauerstoffzufuhr [kg/h] | 105 | 78 | 118 |

Der optische Eindruck der Strömung war sehr schlecht, es traten extreme Rückströmungen auf. Ein Sanierungsversuch mit diversen Maßnahmen brachte nicht den gewünschten Erfolg. In einem zweiten Schritt wurden zusätzliche Belüfterelemente in eine Umlenkung eingebaut.

Der Erfolg der Maßnahme war schon anhand der Strömungsausbildung nach dem Umbau sehr eindrucksvoll. Die Rückströmung war vollkommen verschwunden und es zeigte sich ein Blasenaufstieg wie aus dem Lehrbuch. Die Sauerstoffzufuhrmessung hat deutlich gesteigerte Werte ergeben. Die Abbildung 15 zeigt links die Einbausituation im Original und rechts nach dem Einbau zusätzlicher Belüfterelemente.

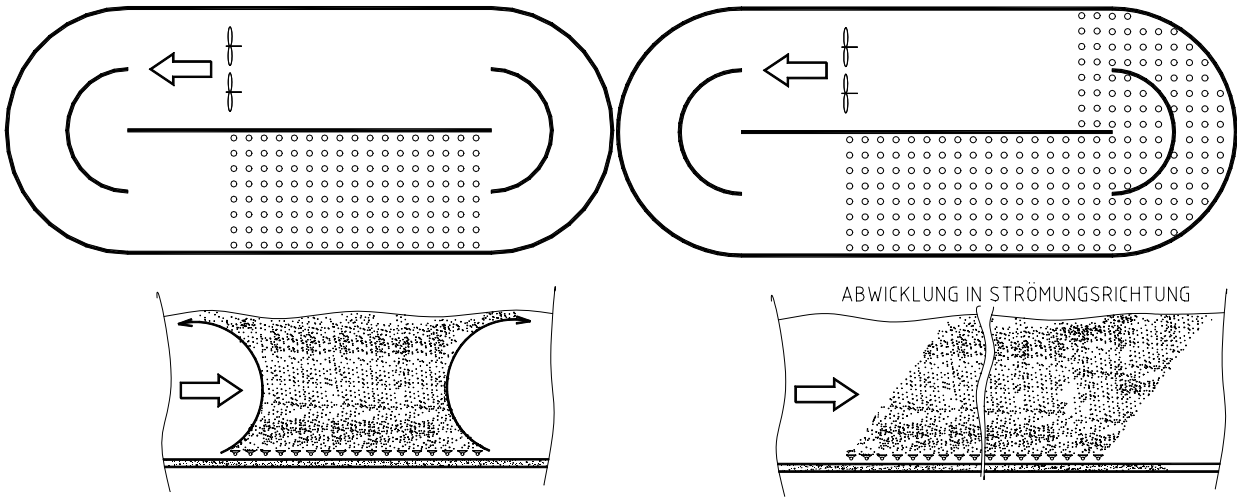



**Abbildung 15:** Belüfteranordnung und Strömungsausbildung

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

Wegen einer fehlenden Absperrarmatur konnte der Fall, hohe Luftbeaufschlagung und alleiniger Betrieb der „neuen“ Belüfter in der Kurve, nicht getestet werden.

# 5 Qualitätskontrolle von Belüftungssystemen

Probleme mit Belüftungssystem treten auch dann auf, wenn die montierten Rohrleitungen, Armaturen oder die Belüfterelemente selbst Mängel haben. Beispiele für die auftretenden Unzulänglichkeiten sind:

- Ungünstigen Rohrleitungen und Armaturen (z.B. hohe Druckverluste; fehlender Längenausgleich; Resonanz – Lärmentwicklung; ...).
- Chargenunterschiede bei Belüfterelementen (z. B. ungleiche Drosseln – ungleichmäßige Luftverteilung; Abweichungen beim Membranmaterial – Dicke Lochung; ...).
- Nicht ausgereifte Belüfterkonstruktionen (z. B. Dauerfestigkeitsbrüche; Versagen von Haltekonstruktionen).

In Abbildung 16 sind die Druckverluste von Belüfterelementen die gleichzeitig in einem Becken der Kläranlage HEI eingebaut waren, dargestellt.

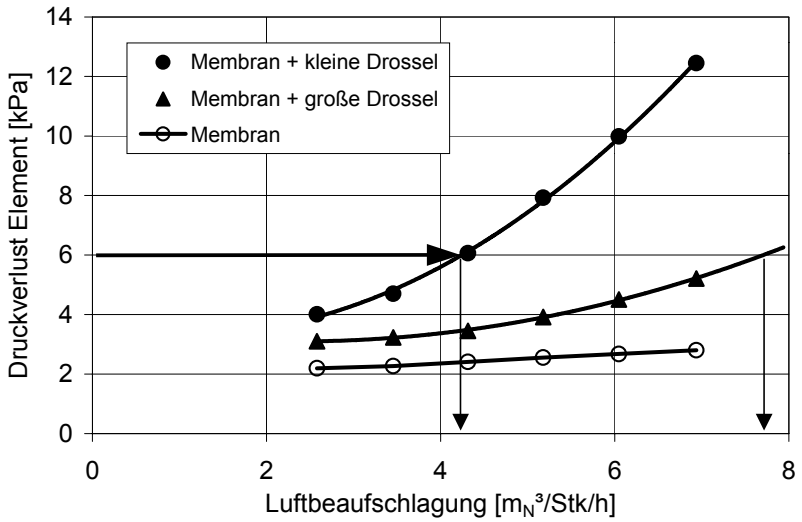



**Abbildung 16:** Druckverlust Belüfterelemente

Der Druckverlust eines Belüfterelementes setzt sich aus dem Druckverlust des Belüfterkörpers und dem Druckverlust der Membran zusammen. Bei gleichbleibendem Druck im Rohrsystem strömt durch das Belüfterelement mit kleinem

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

Druckverlust in der Drossel deutlich mehr Luft und verursacht einen größeren Druckverlust an der Membran. Mit den üblicherweise durchgeführten Blasenbildkontrollen können solche Abweichungen nicht immer festgestellt werde.

Weiterführende Kontrollen wie z. B. stichprobenweise Materialprüfung (z.B. International Rubber Hardness Degrees – IRHD – nach DIN 53519 Teil 1; Reißfestigkeit; etc.) 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 keine hohe Aussagekraft für die jeweilige, auf der Anlage eingesetzte 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.

# 6 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

EMDE v. d. W. (1968): Belüftungssysteme und Beckenformen, Münchner Beiträge, Bd.5

EMDE v. d. W. (1980): Untersuchungen über Energieeinsparungen beim Belebungsverfahren, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, TU München, Nr.28, S.253-276

EPA (1989): Design Manual „Fine Pore Aeration Systems“, Environment Protection Agency, EPA/625/1-89/023

FREY W. (1998): Planung und Gestaltung von Belüftungssystemen; Wiener Mitteilungen Band 145; 1998

FREY W. (2002): Betriebserfahrungen mit Belüftungssystemen, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen; KAN Folge 10

KELLER U. (1982): Langzeitversuche mit verschiedenen Druckbelüftern und mit Luftmengenregulierung der ARA Altenrhein; Verbandsbericht Nr.: 216, 1982, Verband Schweizer Abwasserfachleute

Wiener Mitteilungen (2003) Band 183
Copyright © 2003; Institut für Wassergüte / TU-Wien

US Patent (1954): Method and Apparatus for Preventing the Clogging of Diffuser Media. United States Patent 2,689,714

WAGNER M. (2001): Neue Tendenzen bei der Belüftungstechnik; WAR Schriftenreihe Band 134; Seite 1-29

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Ingenieurkonsulent für Maschinenbau
**A**bwassertechnische **A**usbildung und **B**eratung
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2
A-2100 Korneuburg
Telefon : ++43 (0) 2262 68 173
Fax: ++43 (0) 2262 66 385
e-mail: aab.frey@aon.at

Mag. Christian Thonhauser
Institut für Geochemie
Universität Wien
Althanstraße 14
A-1090 Wien
Telefon : ++43 (0) 1 869 41 82 - 18
Fax: ++43 (0) 1 888 37 39
e-mail: christian.thonhauser@univie.ac.at