

EINFLÜSSE AUF DIE VERÄNDERUNG DES BETRIEBSVERHALTENS VON MEMBRANBELÜFTERN

1 ALLGEMEINES

Das Betriebsverhalten von Membranbelüftern unterliegt während der Einsatzdauer mehr oder weniger stark ausgeprägten Veränderungen. In vielen Fällen wird ein steigender Druckverlust beobachtet.

Die Tatsache, dass feinblasige Belüfter aus „starrporösem“ Material während der Einsatzdauer einen steigenden Druckverlust aufweisen ist seit langem bekannt [1], [2]. 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 [3], [4].

Je nach Dimensionierung des Belüftungssystems und Konzeption der Gesamtanlage treten betriebliche Probleme auf:

- Erhöhter Energieverbrauch für die Belüftung durch den gestiegenen Druckverlust
- Überlastete Gebläse oder Verdichter fallen aus und der Luftvolumenstrom muss reduziert werden.
- Die Belüfterelemente sind beschädigt. Die Schädigung reicht von überdehnten und gerissenen Membranen bis zu verformten bzw. gebrochenen Grundkörpern.

In den folgenden Ausführungen wird über Untersuchungen und Erfahrungen, im Hinblick auf Einflüsse und Ursachen für die Veränderung, berichtet.

2 ERKENNEN VON VERÄNDERUNGEN DURCH MESSUNG DES DRUCKVERLUSTES

Auf jeder Anlage mit einem Druckbelüftungssystem sollte zumindest ein mobiles Druckmessgerät (mit einer Auflösung von $\pm 0,1 \text{ kPa} = \pm 1 \text{ hPa} = \pm 1 \text{ mbar}$) zur Überprüfung der Druckverhältnisse zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme und der laufenden Kontrolle der Drücke vorhanden sein. Damit kann die zeitliche Entwicklung des Druckverlustes der Belüfter dokumentiert werden. Diese Daten sind, wenn es Probleme mit steigenden Druckverlusten gibt, für die Beurteilung der Situation und Entscheidungsfindung für die weitere Vorgangsweise von entscheidender Bedeutung.

Die Druckmessungen sind nur aussagefähig, wenn ein definierter Luftvolumenstrom (z.B. ein Gebläse volle Drehzahl) eingestellt und die Einblastiefe (1mWS entspricht ca. 98 mbar) im Belebungsbecken, ohne Luftbeaufschlagung, gemessen und notiert wurde! Die Frage nach dem Erkennen eines erhöhten Druckes wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes der österreichischen Kläranlagennachbarschaften bearbeitet. Eine Arbeitsanleitung ist unter www.kan.at/helpline kostenlos verfügbar. Die Frage wird demnächst auch in einem Artikel der KA Betriebsinfo behandelt.

2.1 Testaufbauten

Bei großen Anlagen hat sich gezeigt, dass zur Entscheidungsfindung über zu setzende Maßnahmen der Betrieb von Testbelüftern 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 1 zeigt eine Möglichkeit der Anbringung von Versuchsbelüftern. Diese Elemente können 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 den Luftvolumenstrom der durch das Belüfterelement geleitet wird, im Vergleich mit den eingebauten Elementen, auch vergrößern kann.



Abbildung 1: Belüfterelemente

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 2 ist ein Messaufbau zu sehen.

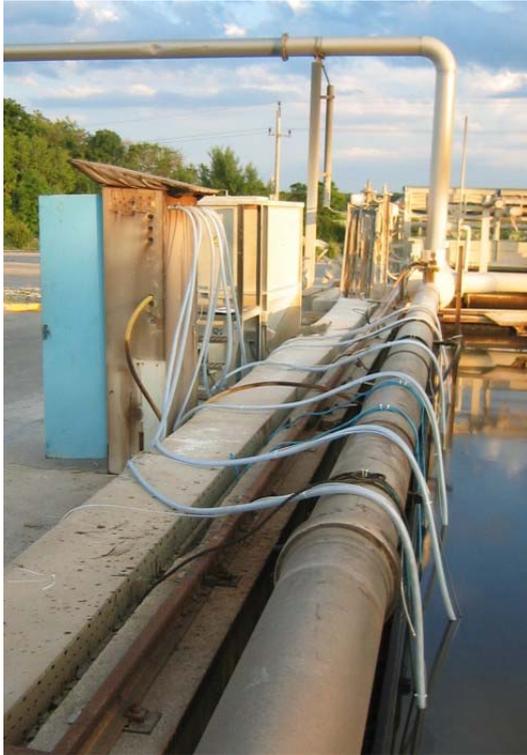


Abbildung 2: Messaufbau für Volumenstrom und Druckmessung

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 verschiedener Belüfterelemente aus verschiedenen Materialien getestet.

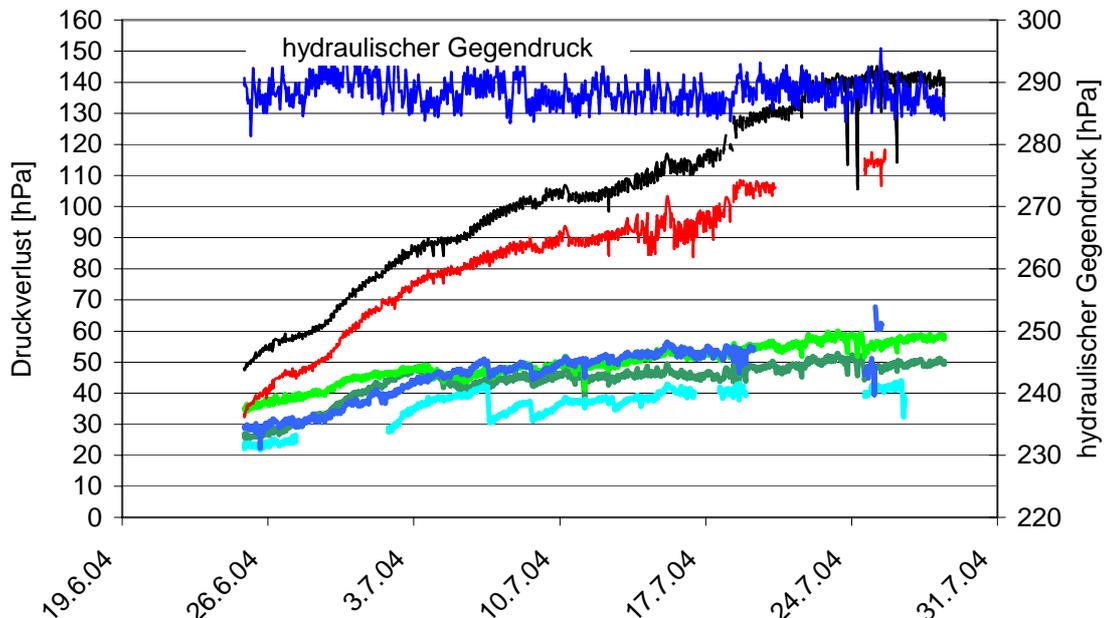


Abbildung 3: Ergebnisse der Druckmessungen

In der Abbildung 3 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.

2.2 Bezugssystem der Differenzdruckangaben

In den Prospekten und technischen Spezifikationen der Hersteller feinblasiger Belüfterelemente findet man Differenzdruckkurven in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes. Der Luftdurchsatz ist in der Regel auf einen Zustand der Luft (Druck, Temperatur) bezogen. Ein direkter Vergleich der in den Datenblättern enthaltenen Druckverluste mit den auf der Anlage ermittelten Druckverlusten ist in der Regel **nicht** möglich! Der Grund dafür ist die Kompressibilität der Luft. Bei gleichem Massenstrom (Normkubikmeter pro Stunde) strömt je nach Beckentiefe (und damit unterschiedlichem Druck) ein anderer Luftvolumenstrom pro Zeiteinheit durch die Belüfterelemente. Nach der Theorie der reibungsbehafteten Fluidströmung ist der Druckverlust von der Dichte und der Strömungsgeschwindigkeit abhängig.

Um eine Veränderung der Druckverluste auf einer Anlage zuverlässig zu erkennen, ist es daher sinnvoll eine Bestandsaufnahme der Druckverhältnisse im Neuzustand, z.B. im Rahmen von Sauerstoffzufuhrmessungen, durchzuführen.

Hat man aushebbare Belüfterelemente, kann man an diesen unter definierten Bedingungen den Druckverlust messen. Auf der Hauptkläranlage Wien ist in jeder der 30 neuen Umlaufbecken ein aushebbares Element mit drei Belüftern installiert. An diesen werden in regelmäßigen Abständen die Druckverluste gemessen (Abbildung 4)



Abbildung 4: Druckmessung an aushebbaren Belüftern

3 BEKANNTE EINFLUSSGRÖSSEN AUF DEN DRUCKVERLUST

Eine Betrachtung der möglichen Ursachen für ansteigenden Druckverlust bei feinblasigen Druckbelüftungssystemen ist z.B. in [5] und [6] zu finden. Im Folgenden werden einige Punkte angesprochen:

3.1 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.

3.2 Partikel in der Luft

Verstopfungen feinblasiger Druckbelüftungssysteme, durch Partikel die mit dem Luftstrom transportiert werden, trifft man heute nur noch selten an. Voraussetzung dafür ist selbstverständlich eine sorgfältige Wartung und Reinigung der Luftfilter. Bei einigen Untersuchungen des Luftvolumenstromes auf Korrosionsprodukte aus den Rohrleitungen und Fasern aus den Luftfiltern haben gezeigt, dass der Beitrag zu Belüfterverstopfungen vernachlässigbar gering bis nicht feststellbar ist.

3.3 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 können [7].

Wird das Membranmaterial „fester“, so ist für die gleiche 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.

Von den Kunststoffexperten werden folgende 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. 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.

Bei der Bearbeitung von Problemen mit Materialveränderungen auf einer Anlage mit EPDM Belüftern wurden Materialuntersuchungen durchgeführt. Als erste Maßnahme wurde mit sehr einfachen Mitteln ein Spannungs - Dehnungsdiagramm aufgenommen. In der Abbildung 5 erkennt man eine signifikante „Verhärtung“ des Materials. Der Anstieg der erforderlichen Kraft um die gleiche Dehnung hervorzurufen, bedeutet für den Belüfterbetrieb einen Anstieg des Druckverlustes bei gleichem Luftdurchsatz.

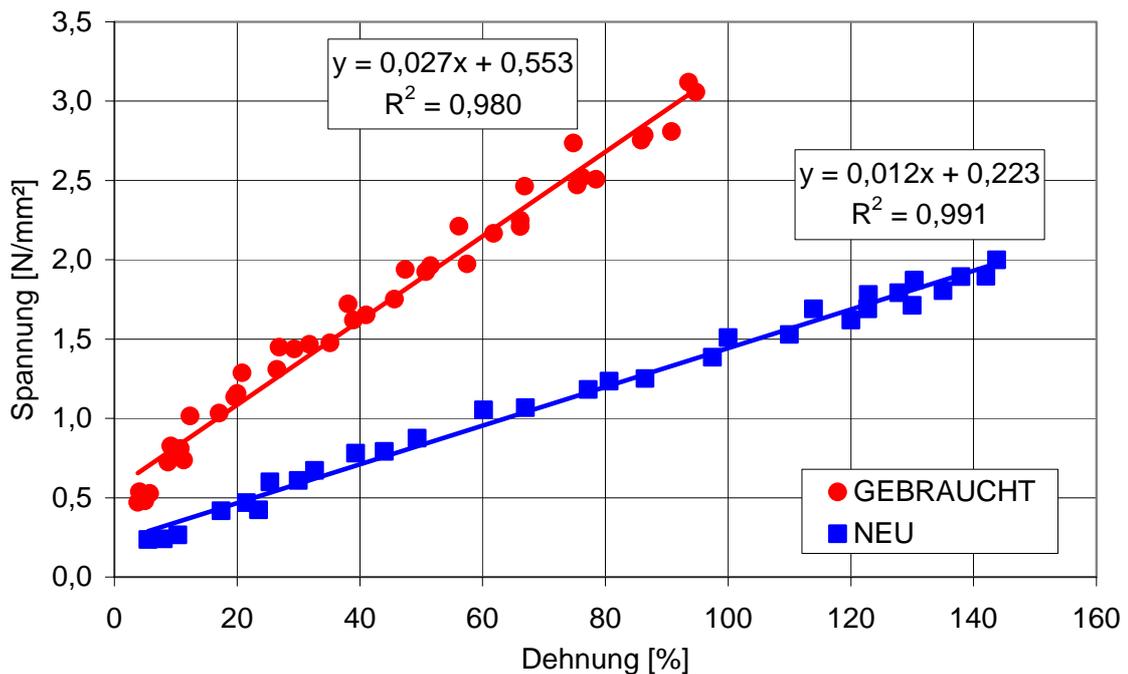


Abbildung 5: Spannungs-Dehnungsdiagramm EPDM

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden weiterführende Untersuchungen durchgeführt. In einem, auf die Untersuchung von Kunststoffen, spezialisierten Labor wurden die Volumenveränderung (V), die Masseveränderung (m), die Härte (Shore A) die Bruchdehnung (A) und Zugfestigkeit (Rm) ermittelt.

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 6 zeigt die Probenentnahme.

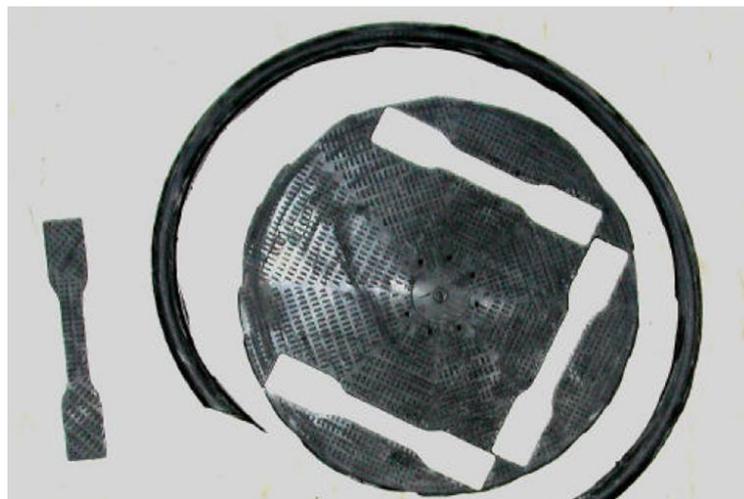


Abbildung 6: Probenentnahme aus Membran

In der Abbildung sind die Veränderungen der Werte zusammengefasst. Zur besseren Lesbarkeit wurden die Volumen- und die Masseveränderung als Kehrwert eingetragen. Bei einer Zunahme des Volumens oder der Masse werden die Kehrwerte kleiner 100%, siehe Abbildung 7.

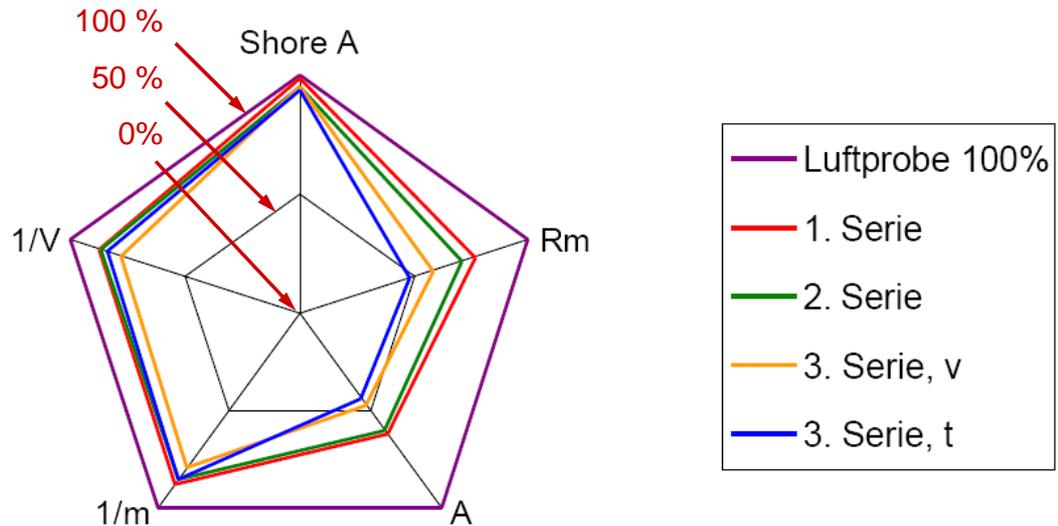


Abbildung 7: Werkstoffeigenschaften EPDM

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.

3.4 Mikroorganismen - EPS (Extrazelluläre Polymere Substanz)

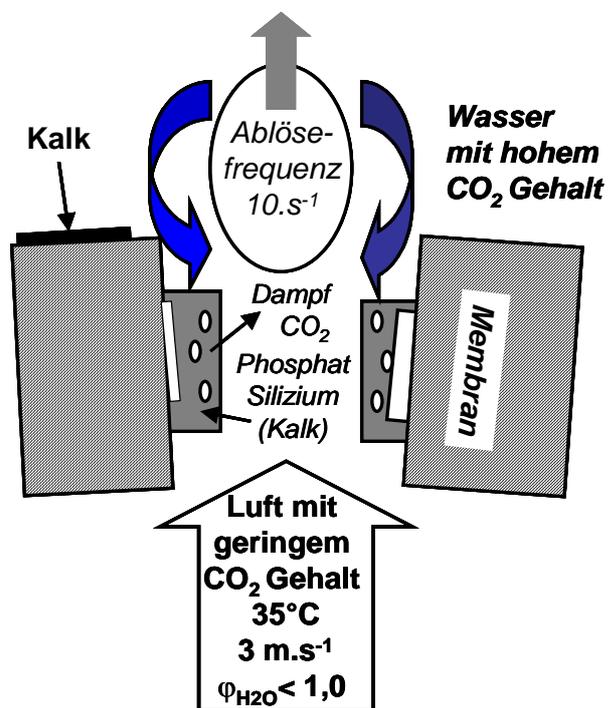
Es wird die Theorie verfolgt, dass durch bestimmte Mangelerscheinungen (Sauerstoff, Nährstoffe, ...) vermehrt sogenannter „Zwischenraumschleim“ - EPS gebildet wird, der in der Folge die Poren verklebt [8], [9]. In der Abbildung 8 ist ein betroffener Belüfter zu sehen.



Abbildung 8: Verschleimtes Belüfterelement

3.5 Kalk–Kohlensäure–Gleichgewicht

Das Abwasser-Belebtschlammgemisch hat durch die Aktivität der Mikroorganismen einen hohen Gehalt an Kohlendioxid. Die



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 9 ist dieser Vorgang schematisch dargestellt.

Abbildung 9: Schema zur Bildung von Ablagerungen in Membranporen

4 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.

4.1 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 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 10 sind die Resultate für unterschiedliche Ansaugbedingungen zusammengestellt.

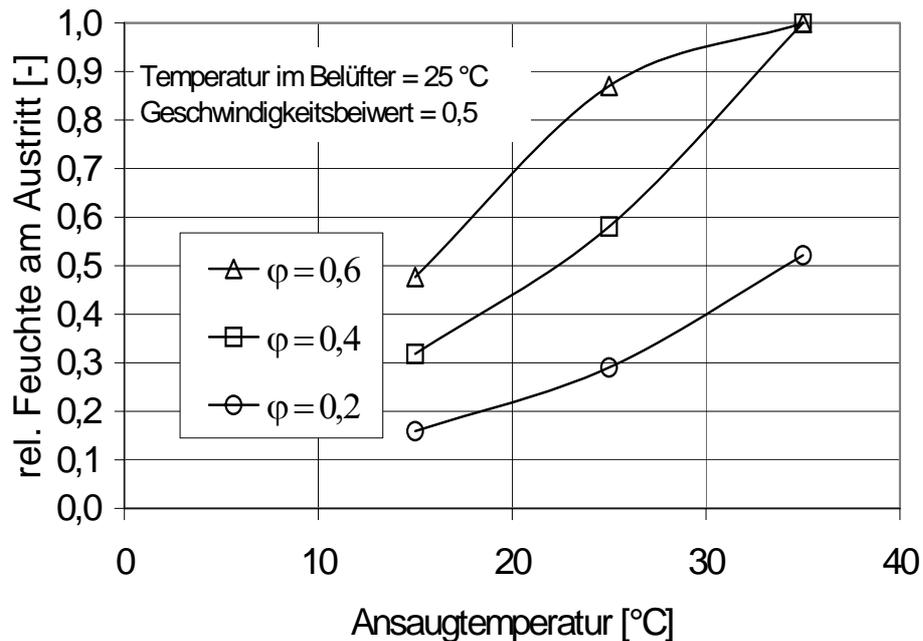


Abbildung 10: Relative Feuchte am Porenaustritt in Abhängigkeit der Ansaugtemperatur und der Luftfeuchte für einen mittleren Geschwindigkeitsbeiwert

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

In manchen Fällen kann man sich rasch einen Überblick verschaffen, indem man die Leitfähigkeit des aus den Entwässerungsleitungen austretenden Wassers misst. Nur wenn die Leitfähigkeit des austretenden Wassers wesentlich kleiner als die Leitfähigkeit des Beckeninhaltes ist kann von Kondensatbildung ausgegangen werden. Auf Anlagen mit starker Kondensatbildung wurde in der Regel nur ein geringer Druckanstieg festgestellt.

4.2 Löslichkeitsprodukt

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

- die Stickstoffparameter ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$)
- 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.

4.3 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 Teil-

chen aus dem Wasser und der Luft im Bereich der Membranporen aufeinander, sind Ausscheidungen und damit die Bildung verstopfender Ablagerungen die Folge.

Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang auch der Einfluss der Luftfeuchte in den Luftleitungen, speziell beim Austritt aus der Pore. In Luftströmungen treten unter ca. 60% relativer Feuchte statische Aufladungen auf, die wiederum die Bildung von verstopfenden Ablagerungen beeinflussen. Details dazu findet man in [10] und [11].

5 REINIGUNGSMETHODEN

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. Häufig angewendete Methoden sind:

- Eindüsen von Säure in den Luftstrom (z.B. zur Entfernung von Kalkausfällungen).
- Dehnung der Membran durch Erhöhen des Luftdurchsatzes
- Mechanische Reinigung mit einer „Dreckfräse“ = rotierender Hochdruck Wasserstrahl
- Fluten mit Reinigungslösung

Weitere Informationen über unterschiedliche Reinigungsmethoden findet man in [1], [12] und [13].

5.1 Eindüsen von Säure

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

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

Voraussetzung für die Wirksamkeit der Säureeindüsung ist, dass die Verstopfungen säurelöslich sind. Grundsätzlich können unterschiedliche Säuren zum Einsatz kommen. Das von der Firma NOPON vor vielen Jahren entwickelte Verfahren verwendet Ameisensäure [14]. Die Ameisensäure hat den Vorteil, dass sie sehr gut verdampft und mit dem Luftstrom zur Membran gelangt. Die Einbringung der Säure kann mit einfachen Membrankolbenpumpen und einfachen Düsen (z.B. Kegelstrahl) erfolgen. 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 (z.B. Polyurethan) nicht gegen Ameisensäure beständig sind, wird auch Essigsäure eingesetzt. Die Essigsäure verdampft nicht so leicht wie die Ameisensäure. Für die Einbringung der Säure in den Luftstrom werden Hochdruckpumpen (ca. 30-50 bar) und spezielle Nebeldüsen eingesetzt. Diese Düsen erzeugen sehr kleine Tröpfchen die dann schneller verdampfen.

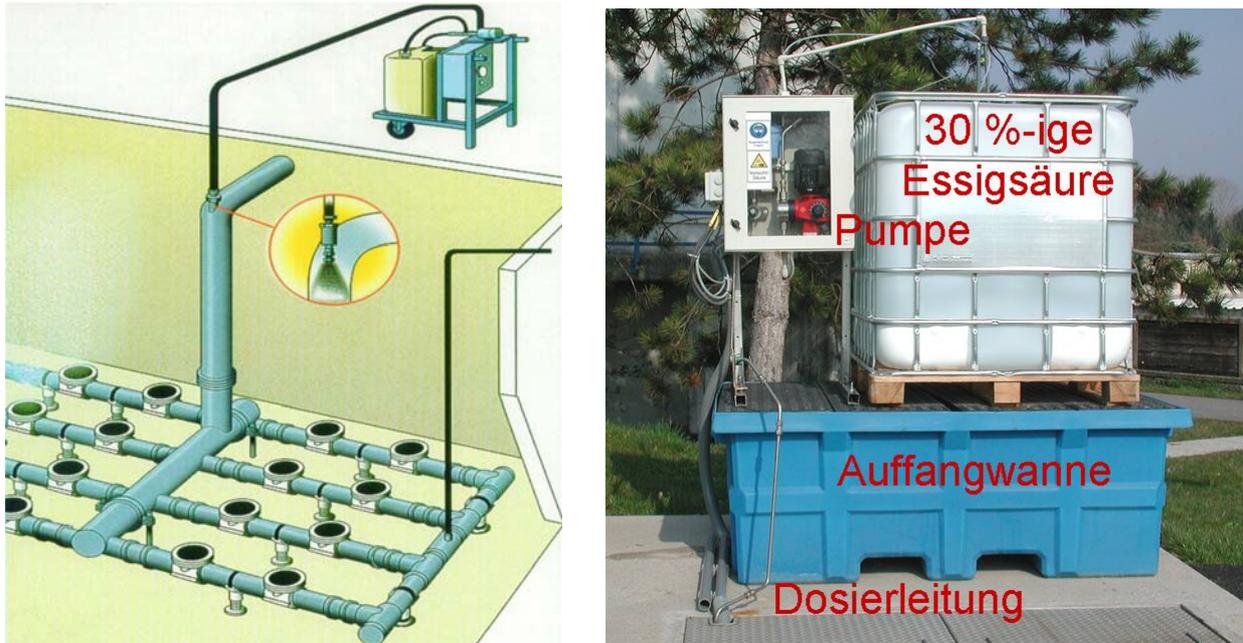


Abbildung 11: Ameisensäuredosierung und Essigsäureeindüsung

5.2 Dehnung der Membran

Das Dehnen und Entspannen der Membranen erfolgt ohne Betriebsunterbrechung. Ein Entleeren der Belüftungsbecken ist nicht erforderlich. Üblicherweise werden die Membranen periodisch kurz (z.B. 10 Minuten) mit maximalem Luftvolumenstrom beaufschlagt und anschließend der Druck in der Rohrleitung abgesenkt (z.B. 5 Minuten). Dadurch wird die Membran abwechselnd gedehnt und entlastet was zu einer Ablösung von Ablagerungen führt. Die folgende Abbildung 12 zeigt die Ausrüstung für automatisiertes Dehnen und Entlasten von Membranen.



Abbildung 12: Installation zur Entspannung auf Umgebungsdruck

5.3 Mechanische Reinigung

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

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



In der Abbildung 13 erkennt man deutlich den Reinigungseffekt und einen Defekt an einer Platte.

Abbildung 13: Mechanische Reinigung von Belüfterplatten

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

5.3.1 Anwendungsbeispiele mechanische Reinigung

Im Folgenden wird über Erfahrungen und Ergebnisse mit der Reinigung mittels Hochdruckreinigungsgerät berichtet. In den beschriebenen Anwendungsfällen konnte durch die Reinigung der Druckverlust der Belüfterelemente deutlich reduziert werden. Im laufenden Betrieb wurde über sehr unterschiedliche Zeitspannen wieder ein Anstieg des Druckes beobachtet.

In der folgenden Tabelle 1 sind die Daten von drei Anlagen, auf denen die Methode eingesetzt wurde, zusammengestellt.

Tabelle 1: Anlagendaten - Mechanische Reinigung mit Dreckfräse

		Linz	Feldbach	Fehring
Anlagengröße	EW	900.000	35.000	11.000
Beckenvolumen	m ³	8 x 11.000	2 x 1300	2 x 1400
Einblastiefe	m	7,17	4,2	3,76
Belüfter		PU	PU	EPDM
Anzahl Belüfterelemente	Stk.	2600	52	420
Abgasende Fläche	m ²	1500	187	30
Luftbeaufschlagung	m _N ³ /Stk/h	-	-	5,0
Luftbeaufschlagung	m _N ³ /m ² /h	20	10	-
Wasserdruck	hPa	703	412	369
P3 (vor der Reinigung)	hPa	843	554	441
P3 (nach der Reinigung)	hPa	773	482	403
Verringerung Druckverlust	hPa	70	72	38
Theoretische Energieeinsparung	%	8,3	13,0	8,6

*****P3 ist der Systemdruck in der Luftleitung an der Beckenkronen*****

Fallbeispiel Fehring

In Fehring wurde versucht den Unterschied zwischen einer Reinigung mit und ohne rotierendem Wasserstrahl aufzuzeigen. Dazu wurde an einem Tellerbelüfter eine Testreinigung im ausgebauten Zustand durchgeführt. Die Abbildung 14 zeigt den Druckverlust in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes vor der Reinigung, nach der Reinigung mit „normalem Fächerstrahl“ und nach der zusätzlichen Reinigung mit rotierendem Wasserstrahl.

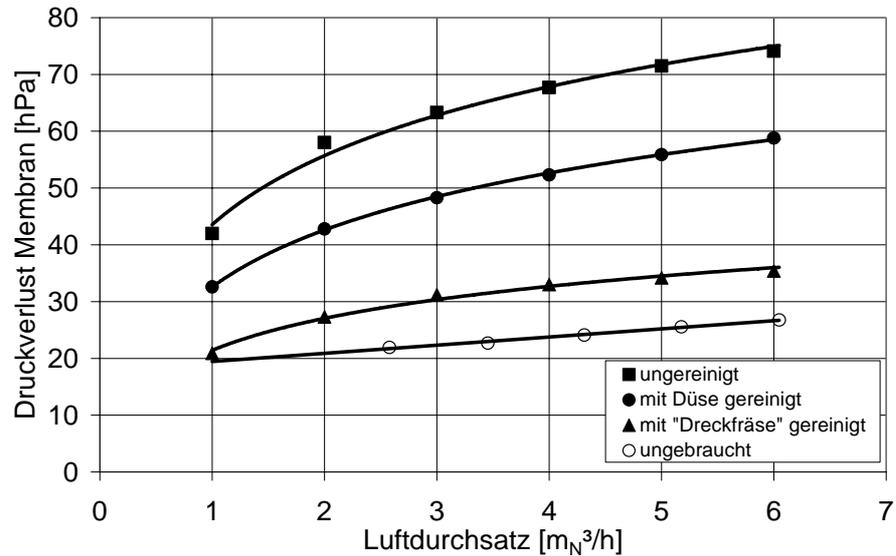


Abbildung 14: Druckverlust einer Membran der Kläranlage Fehring in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes durch einen Belüfter

5.4 Chemische Reinigung

Die Methode wird vorzugsweise bei gefülltem Becken angewendet, kann aber selbstverständlich auch bei entleerten Becken eingesetzt werden. In der Regel ist nur mit einer geringen Beeinträchtigung des Normalbetriebes zu rechnen.

Zur Reinigung der Belüfterelemente wird das Rohrleitungssystem an der Beckensohle mit einer auf die Ablagerungen abgestimmten Reinigungslösung gefüllt. Die Befüllung der Belüfterfelder erfolgt zeitlich hintereinander, so dass der Abwasserreinigungsprozess möglichst wenig beeinträchtigt wird.

Die Reinigungslösung besteht in der Regel aus zwei Komponenten die in getrennten Behältern vorgelegt werden. Wichtig ist eine gute Mischung der Chemikalien in den Behältern. Die erforderlichen Behälter, Pumpen und verbindenden Rohrleitungen samt elektrischem Schaltschrank können in einem Anhänger untergebracht sein (siehe Abbildung 15), es sind aber auch individuelle Lösungen vor Ort möglich.



Abbildung 15: Aufbau der mobilen Reinigungsanlage

Die Flüssigkeiten werden gleichzeitig über die Luftleitung in die Verrohrung am Beckenboden gepumpt.



Abbildung 16: Anschlussstutzen zur Einbringung der Reinigungslösung

Anschließend wird mit der Druckluft die Reinigungslösung durch die Poren der Belüftermembranen gedrückt. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt um eine ausreichende Einwirkzeit zu erzielen.

Die Abbildung 17 zeigt das Ausströmen der Reinigungsflüssigkeit aus Belüftern in einem entleerten Becken.



Abbildung 17: Ausströmen der Reinigungsflüssigkeit

Nach entsprechender Aufenthaltszeit muss die Reinigungslösung aus dem Rohrsystem entfernt werden. Dies kann durch „Ausblasen“ oder Abpumpen über die Entwässerungsleitungen erfolgen. Anschließend ist das Rohrsystem mit Wasser zu spülen und wieder zu entleeren. In Abbildung 18 ist die Entleerung über die Entwässerungsleitungen zu sehen.



Abbildung 18: Entleerung über die Entwässerungsleitungen

Zur Überprüfung der Reinigungswirkung können Membranen entnommen und mit einer Elektronenstrahlmikrosonde untersucht werden. In Abbildung 19 ist eine ungereinigte Pore zu sehen. Man erkennt die verstopfenden Ablagerungen aus anorganischem Material (vor allem Silizium / Kieselsäure). Abbildung 20 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 Ablagerun-

gen zu sehen. Die letzte Abbildung 21 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 19: Ungereinigte Membranpore

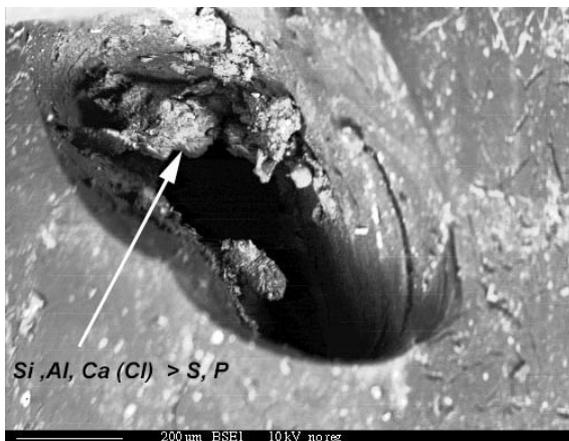


Abbildung 20: Sauer gereinigte Membranpore

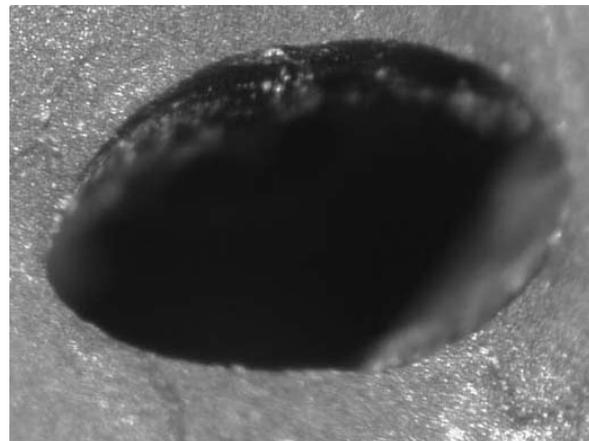


Abbildung 21: Alkalisch gereinigte Membranpore

Zur Feststellung des Reinigungsergebnisses wurde der Druck vor und nach der Reinigung gemessen. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten ist es erforderlich einen bekannten Luftvolumenstrom durch die Belüfterfelder zu leiten.

Die Reinigungslösung löst nicht nur Bestandteile der Ablagerungen auf, 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. **Die Auswahl der Reinigungsmitteln erfolgt so, dass keine negativen Auswirkungen auf den Reinigungsprozess und/oder die Ablaufqualität auftreten.** Es kommen die gleichen Grundstoffe, wie sie

auch zur Reinigung von Anlagen in der Lebensmittelindustrie und Getränkeherstellung verwendet werden, zum Einsatz. Eine genaue Beschreibung des Verfahrens findet man in [6] und [15].

5.4.1 Anwendungsbeispiele chemische Reinigung

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

Tabelle 2: Anlagenbeschreibungen und Ergebnisse der Chemische Reinigung

		Izmir	Linz	OMV	Heiligenkreuz	Fehring
Reinigungslösung		Lauge	Lauge + Säure	Lauge	Lauge	Lauge
Anlagengröße	EW	4.000.000	900.000	-	40.000	11.000
Industrieanteil	%	50	40	100	100	20
Beckenvolumen	m ³	12 x 28.000	8 x 11.000	2 x 3700	2 x 2500	2 x 1400
Einblastiefe	m	5,7	7,17	3,15	5,74	3,76
Belüfter		EPDM	PU	EPDM	EPDM	EPDM
Anzahl Belüfterelemente	Stk.	22000	2600	4500	1360	420
Abgasende Fläche	m ²	1500	1500	180	100	30
Luftbeaufschlagung	m _N ³ /Stk/h	7	-	2	7	5
Luftbeaufschlagung	m _N ³ /m ² /h	-	20	-	-	-
Wasserdruck	hPa	559	703	309	563	369
P3 (vor der Reinigung)	hPa	649	823	471	638	472
P3 (nach der Reinigung)	hPa	624	773	420	617	446
Verringerung Druckverlust	hPa	25	50	51	21	26
Theoretische Energieeinsparung	%	3,9	6,1	10,8	3,3	5,5

*****P3 ist der Systemdruck in der Luftleitung an der Beckenkron*****

5.4.2 Hinweise zum Einsatz der Methode

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 nicht hoch und als einmalige Investition zu betrachten. Alternativ besteht auch die Möglichkeit eine mobile Reinigungseinheit zu mieten.

Die Kosten für die Reinigungslösung(en) sind abhängig von den erforderlichen Chemikalien (abhängig von der Art der Ablagerungen) und dem zu befüllenden Rohrleitungsvolumen. Als Richtwert kann mit € 400,-- je Kubikmeter Reinigungslösung gerechnet werden. Vor dem ersten Einsatz sind chemische und mikroskopische Voruntersuchungen zur Festlegung der Rezeptur der Reinigungslösung erforderlich bzw. im Hinblick auf eine Minimierung des Chemikalieneinsatzes sinnvoll. Dazu werden mindestens zwei Belüfterelemente aus dem Becken benötigt, die, wenn nicht anders möglich, auch mit Tauchereinsatz geborgen werden können.

Je nach Geschwindigkeit des Anstieges des Druckverlustes muss entschieden werden, ob eine Reinigung wirtschaftlich und betrieblich sinnvoll ist und in den Wartungsplan übernommen werden soll. Erfolgt die Bildung der verstopfenden Ablagerungen rasch,

d.h. die Zeitspanne zwischen zwei Reinigungen ist kurz (wenige Monate), so ist langfristig nach anderen Möglichkeiten zur Begrenzung des Druckerhöhunges zu suchen.

5.5 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 geringe 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.

Der **Nutzen** der aus der Reduktion des Druckverlustes zu ziehen ist, liegt in geringeren Energiekosten für die Belüftung, in der geringeren Beanspruchung der Systemkomponenten (Gebläse, Belüfterelemente) aber ganz wesentlich im **Gewinn an Betriebssicherheit** (kein Ausfall der Gebläse durch Überlast; keine beschädigten Belüfter).

Die Energiekostensparnis ist näherungsweise gleich dem prozentuellen Anteil der Druckerhöhung im Gesamtsystem. Am Beispiel der Anlage der OMV wurde durch die Reinigung eine Reduktion des Systemdrucks von 471 hPa auf 420 hPa erreicht. Daraus ergibt sich eine Reduktion von ca. 11 %, dementsprechend geht auch der Energieverbrauch der Belüftung um ca. 11% zurück.

6 ÜBERLEGUNGEN ZU VORBEUGENDEN MASSNAHMEN ZUR VERHINDERUNG DER BILDUNG VON VERSTOPFENDEN ABLAGERUNGEN

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

6.1 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.

6.2 Kontrolle der Umladung von Kolloiden

Bestimmte Kolloide spielen eine bedeutende Rolle bei Umladungsvorgängen. Der Mechanismus soll beispielhaft an Eisenhydroxid-Kolloiden erläutert werden. Eisenhydroxid-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.

6.3 Luftbefeuchtung

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. Die Luft hat daher ein Trocknungspotential, wodurch eine Aufkonzentrierung der gelösten Stoffe im Feuchtigkeitsfilm an den Porenwänden erfolgt. Auf manchen Anlagen wird regelmäßig Wasser über die Entwässerungsleitungen aus der Beckenverrohrung entfernt. Es wird empfohlen in diesem Wasser die Leitfähigkeit zu messen. Häufig findet man sogar höhere Werte als im Belebungsbecken! Dies ist ein Beweis, dass das Wasser aus dem Becken in die Rohrleitung eingedrungen ist und dort sogar aufkonzentriert wurde.

Durch Erhöhung der Luftfeuchte beim Durchtritt der Luft durch die Membranporen kann die Neubildung von verstopfenden Ablagerungen deutlich reduziert werden [11]. 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 Luftfeuchte 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 Aggregatzustandes (flüssig – gasförmig) in 1-2 Sekunden erfolgt. Das eingedüste Wasser wird voll entsalzt und durch Verschneidung mit Rohwasser auf eine Leitfähigkeit von ca. 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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.

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 der Befeuchtungseinrichtung zur Konsequenz. Auf einer Industriekläranlage konnte über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr der Druckverlauf im System mit und ohne Befeuchtung erfasst werden. Die Druckmesswerte über der Zeit sind in der folgenden Abbildung 22 dargestellt.

Belüftung von Belebungsbecken Osnabrück Mai 2006

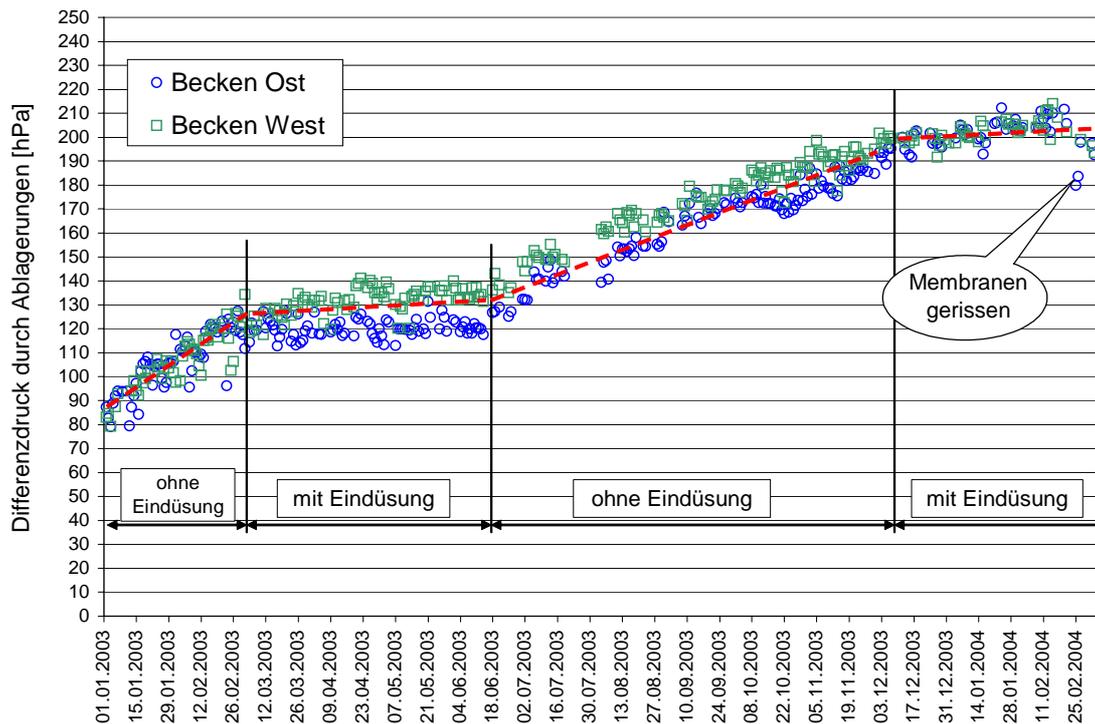


Abbildung 22: Druckmesswerte mit Befeuchtung

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 hPa 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 hPa weiter angestiegen. Durch einen technischen Defekt an der Wasseraufbereitung ist die Befeuchtung ausgefallen. Wie aus der Abbildung 22 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.

7 LITERATUR

- [1] EPA: Design Manual „Fine Pore Aeration Systems“, *Environment Protection Agency*, EPA/625/1-89/023, 1989
- [2] U. Keller: Langzeitversuche mit verschiedenen Druckbelüftern und mit Luftmengenregulierung der ARA Altenrhein; *Verbandsbericht Nr.: 216*, 1982, Verband Schweizer Abwasserfachleute
- [3] W. Frey: Fragebogen Belüftungssysteme - Ergebnisse der Umfrage Frühjahr 2003, *Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen*, KAN Folge 11, 2003
- [4] W. Frey: Druckanstieg bei Belüftungssystemen – Ergebnisse weiterführender Untersuchungen, *Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen*; KAN Folge 13, 2005
- [5] W. Frey: Betriebserfahrungen mit Belüftungssystemen, *Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen*; KAN Folge 10, 2002
- [6] W. Frey, C. Thonhauser: Betriebsprobleme mit Druckbelüftungssystemen; *Wiener Mitteilungen Band 183*; 2003
- [7] M. Moneke: Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften von EPDM-, PU- und Silikonmembranen, 2. WAR Infotag April 2004 Darmstadt, Belagsbildung auf Membranen von Belüftungselementen
- [8] M. Wagner: Neue Tendenzen bei der Belüftungstechnik; *WAR Schriftenreihe Band 134*; Seite 1-29, 2001
- [9] M. Wagner: Probleme mit Belagsbildung auf Membranen von Belüftungselementen – eine Übersicht, 2. WAR Infotag April 2004 Darmstadt, Belagsbildung auf Membranen von Belüftungselementen
- [10] US Patent (1954): Method and Apparatus for Preventing the Clogging of Diffuser Media. United States Patent 2,689,714
- [11] Österreichisches Patent: Luftbefeuchtung bei Druckbelüftungssystemen, Nr.: 411.252, 2003
- [12] ATV –Handbuch: Biologische und weitergehende Abwasserreinigung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 1997
- [13] U. Bretscher, W.H. Hager: Die Reinigung von Abwasserbelüftern, *gwf* 124, 1983, Heft 6
- [14] Deutsches Patent: Verfahren zur Beseitigung bzw. Verhinderung von Verstopfungen in Tiefenbelüftern bei der Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung unter Betriebsbedingungen, DE 33 33 602 A1, 1983
- [15] Österreichisches Patent: Reinigungsverfahren und Reinigungsflüssigkeit für Belüfterkörper, Nr.: 411.359, 2003

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
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