

METHODEN ZUR REINIGUNG FEINBLASIGER BELÜFTUNGSSYSTEME

1 ALLGEMEINES

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].

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 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.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf Erfahrungen mit Belüfterelementen aus elastischem Membranmaterial wie z.B. EPDM oder Polyurethan.

2 HINWEISE FÜR DIE MESSUNG DES DRUCKVERLUSTES

Auf jeder Anlage mit einem Druckbelüftungssystem sollte zumindest ein mobiles Druckmessgerät (mit einer Auflösung von $\pm 0,1$ kPa = ± 1 hPa = ± 1 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.

3 URSACHEN FÜR STEIGENDEN 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 Veränderungen des Membranmaterials

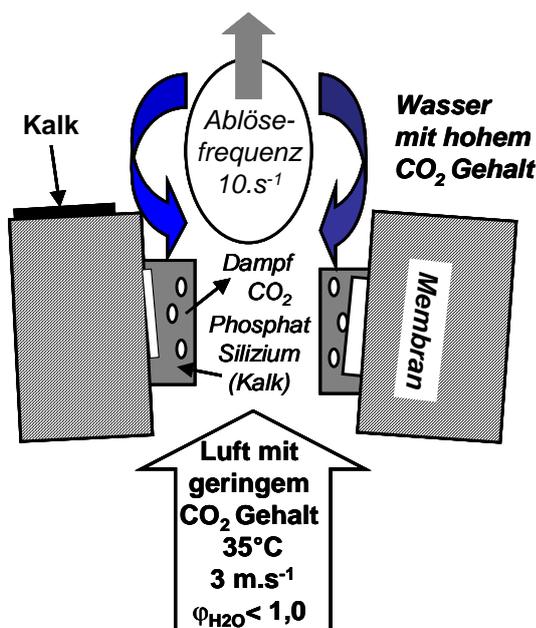
Es ist bekannt, dass nach einigen Jahren Betrieb ein Verlust von Inhaltsstoffen (z. B. Weichmacher) und damit Veränderungen der Materialeigenschaften (z.B. Zugfestigkeit, Reißdehnung, IRHD, etc.) auftreten können [7].

3.2 Mikroorganismen - EPS (Extrazelluläre Polymere Substanz)

Es wird auch die Theorie verfolgt, dass durch bestimmte Mangelerscheinungen (Sauerstoff, Nährstoffe, ...) vermehrt so genannter „Zwischenraumschleim“ - EPS gebildet wird, der in der Folge die Poren verklebt [8], [9].

3.3 Bildung von verstopfenden Ablagerungen in den Poren

Durch die Verschiebung der des Kalk–Kohlensäure–Gleichgewichts im Bereich der Poren kann die Abscheidung von Kalk auftreten. Neueste Versuchsergebnisse zeigen, dass in den Poren häufig auch Phosphor und Silizium gefunden wird. Es gibt Hinweise, dass für die Bildung dieser mineralischen, nicht kalkhaltigen, Verbindungen neben dem Löslichkeitsprodukt der Stoffe auch das Vorhandensein von Abwasserinhaltsstoffen (z.B. Ammonium, Nitrat, Aluminium, Eisen, ...) aber auch das Auftreten von elektrischen Ladungen von Bedeutung sind. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang auch der Einfluss der Luftfeuchte in den Luftleitungen, speziell beim Austritt aus der Pore. Je trockener die Luft ist, umso stärker werden Abwasserinhaltsstoffe aufkonzentriert und desto eher kommt es zu Ausfällungen. Außerdem treten in Luftströmungen unter ca. 60% relativer Feuchte statische Aufladungen auf, die wiederum die Bildung von verstopfenden Ablagerungen beeinflussen. Details dazu findet man in [10] und [11].



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 1 ist dieser Vorgang schematisch dargestellt.

Abbildung 1: Schema zur Bildung von Ablagerungen in Membranporen

4 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].

4.1 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 2 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. Eine allgemeine Dosierempfehlung kann nicht gegeben werden. Die pro Zeiteinheit in die Luftleitung zu dosierende Säuremenge hängt vom Luftdurchsatz und dem Grad der Verstopfung ab. Die Erfahrungswerte schwanken sehr stark. Gute Ergebnisse konnten bei einmaliger Zugabe von 10 kg 80%-iger Ameisensäure in 10 Stunden in ein Becken mit 2000 m³ und ca. 40 m² abgasender Belüfterfläche erzielt werden.

Da manche Belüftermaterialien (z.B. Polyurethan) nicht gegen Ameisensäure beständig sind, wird auch Essigsäure eingesetzt. Die Essigsäure verdampft nicht so leicht wie die Ameisensäure. Für die Einbringung der Säure in den Luftstrom werden

Hochdruckpumpen (ca. 30-50 bar) und spezielle Nebeldüsen eingesetzt. Diese Düsen erzeugen sehr kleine Tröpfchen die dann schneller verdampfen. Auch hier kann keine allgemeine Dosierempfehlung abgegeben werden. Bei einer ausgeführten Anlage für ca. 900.000 EW wurde ein Verbrauch von ca. 1000 Liter 30%-iger Essigsäure pro Monat verzeichnet.



Abbildung 2: Ameisensäuredosierung und Essigsäureeindüsung

4.2 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 3 zeigt die Ausrüstung für automatisiertes Dehnen und Entlasten von Membranen.

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

Da das Ablassen des Druckes aus der Luftleitung in der Regel mit starker Lärmentwicklung verbunden ist, sind Maßnahmen zur Schalldämpfung zu überlegen.

Auch das Problem des Wassereintrittes in die Belüfterelemente und die Beckenverrohrung während der Druckabsenkung darf nicht vernachlässigt werden.

Bei neueren Installationen wird daher das Rohr aus dem die Luft abgelassen wird auf Höhe der Belüfterelemente in das Belebungsbecken hinuntergezogen. Dadurch wird die Lärmentwicklung reduziert und an den Membranen herrscht luft- und wasserseitig der gleiche Druck.



Abbildung 3: Installation zur Entspannung auf Umgebungsdruck

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

In der Abbildung 4 erkennt man deutlich den Reinigungseffekt und einen Defekt an einer Platte.



Abbildung 4: 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.

4.3.1 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	Nm ³ /Stk/h	-	-	5,0
Luftbeaufschlagung	Nm 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 Linz

Auf der Kläranlage Linz ist der Druckverlust innerhalb des ersten Betriebsjahres von ca. 70 hPa auf 140 hPa angewachsen. Durch den hohen Druckverlust der Membranen kamen die Turboverdichter an die Leistungsgrenze (Pumpbetrieb) und die erforderliche Sauerstoffversorgung konnte nicht sichergestellt werden. Um die Anlage betreiben zu können musste daher rasch gehandelt werden. Man entschloss sich die Becken nacheinander zu entleeren und die Belüfter mechanisch, mittels Dreckfräse, zu reinigen.

Die Entleerung erfolgte bis ca. 10 cm oberhalb der Belüfter. Die Belüfter wurden während der Reinigung gering mit Luft beaufschlagt. Nun wurde die abgasende Oberfläche der Belüfterplatten mehrmals mit einem rotierenden Hochdruckwasserstrahl (Dreckfräse) überstrichen.

Bei einer mittleren Luftbeaufschlagung konnte der Druckverlust der Membran von 140 hPa vor der Reinigung auf 70 hPa nach der Reinigung gesenkt werden. Vom Hersteller wurde für die gewählte Luftbeaufschlagung der Druckverlust für einen neuen Belüfter mit ca. 65 hPa angegeben. Eine anschließend durchgeführte mikroskopische Untersuchung an der gereinigten Membran hat gezeigt, dass eine geringe Restverschmutzung verblieben ist. Der Zeitaufwand für die Reinigung der Belüfterplatten eines Beckens (ca. 330 Stück), ohne Entleeren und Befüllen, betrug ca. 5 Tage.

Fallbeispiel Feldbach

Die Belüfterelemente in Feldbach waren ca. 10 Jahre im Einsatz und in dieser Zeit 2-mal mit einem Hochdruckreinigungsgerät gereinigt worden. Im Zuge des anstehenden Ausbaues der Kläranlage wurden die Belüfterplatten getestet. Dazu wurde eine Platte entnommen und über einen externen Seitenkanalverdichter mit Luft versorgt. Der Luftvolumenstrom zur Platte wurde mit einem Schwebekörperdurchflussmesser ermittelt. Die Reinigung erfolgte mittels Hochdruckreinigungsgerät mit Dreckfräse (siehe Abbildung 5).

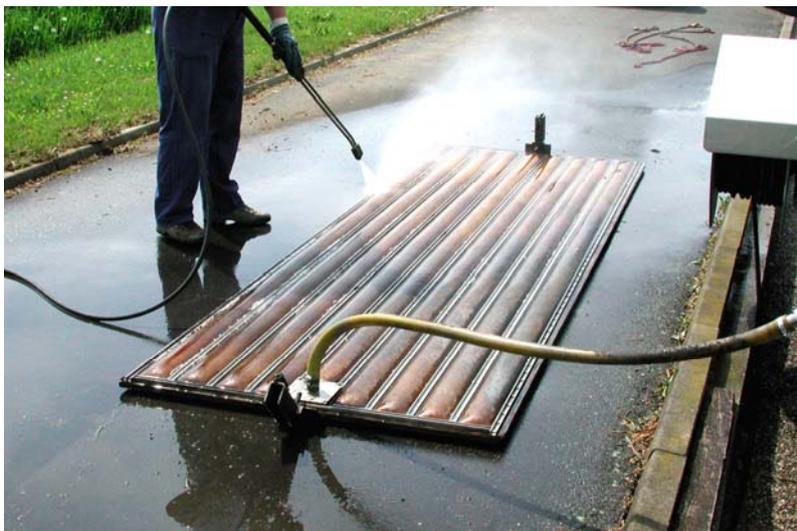


Abbildung 5: Plattenreinigung in Feldbach

Da mit der Platte noch weitere Untersuchungen angestellt wurden, wurde nur ca. 75 % der abgasenden Fläche gereinigt. Zur Dokumentation der Wirkung wurde der Differenzdruck in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes vor und nach der Reinigung ermittelt (siehe Abbildung 6).

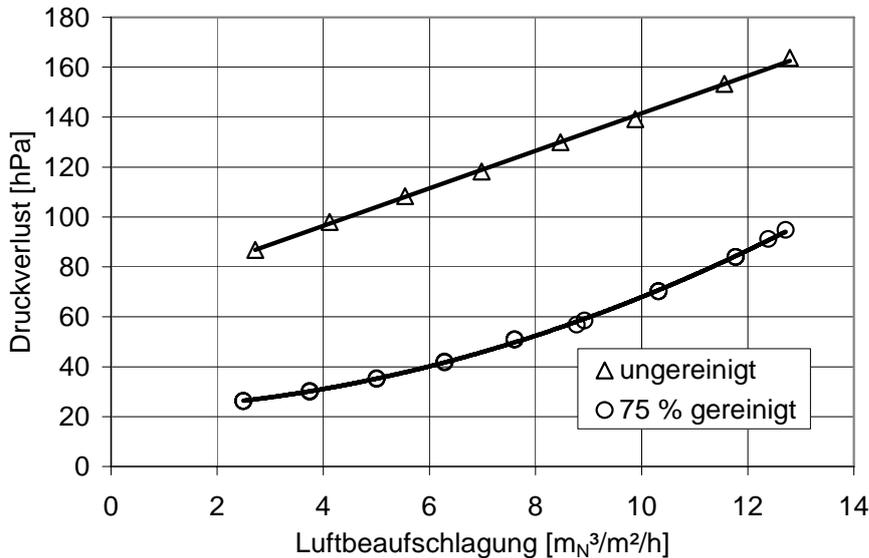


Abbildung 6: Druckverlust der Belüfterplatte vor und nach der Reinigung von ca. 75 % der Oberfläche

Vom Hersteller wurde für den Neuzustand bei einer Luftbeaufschlagung von 10 $\text{Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ein Druckverlust von 55 hPa angegeben.

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 7 zeigt den Druckverlust in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes vor der Reinigung, nach der Reinigung mit „normalem Fächerstrahl“ und nach der zusätzlichen Reinigung mit rotierendem Wasserstrahl. Nachdem der Beweis der Wirksamkeit der Methode auch bei EPDM Tellerbelüftern erbracht war, wurden alle Belüfter in beiden Becken mit rotierendem Wasserstrahl gereinigt. Der Zeitaufwand für die Reinigung der Belüfterelemente beider Becken, mit Entleeren und Befüllen, betrug ca. 2 Tage.

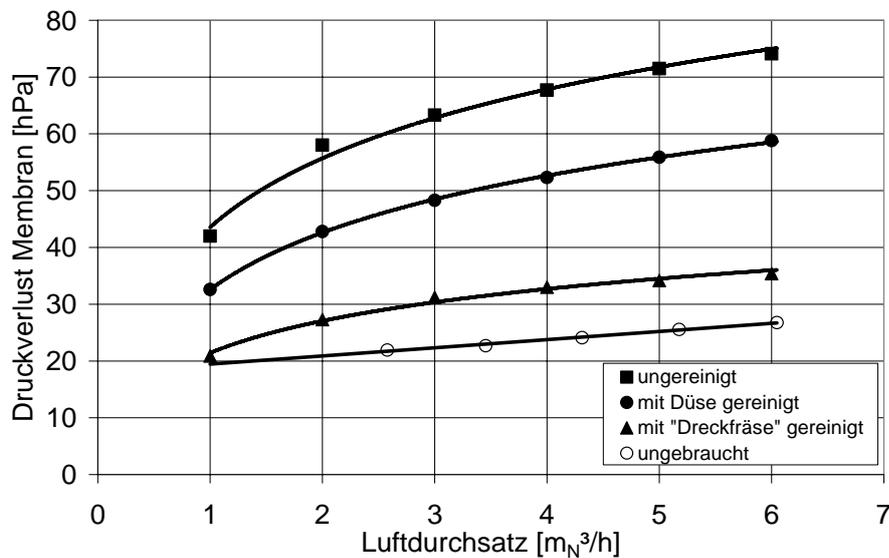


Abbildung 7: Druckverlust einer Membran der Kläranlage Fehring in Abhängigkeit des Luftdurchsatzes durch einen Belüfter

4.4 Chemische Reinigung

Die Methode wird vorzugsweise bei gefülltem Becken angewendet. 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. Die Flüssigkeiten werden gleichzeitig über die Luftleitung in die Verrohrung am Beckenboden gepumpt. Anschließend wird mit der Druckluft die Reinigungslösung durch die Poren der Belüftermembranen gedrückt. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt um eine ausreichende Einwirkzeit zu erzielen. 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.

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 Reinigungschemikalien 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].

An Installationen sind mindestens ½“ besser 1“ Stutzen mit Kugelhähnen am Luftleitungssystem erforderlich. Die günstigste Position der Befüllöffnungen ist in den Fallrohren zu den einzelnen Belüfterfeldern. In vielen Fällen sind keine zusätzlichen Installationen am Belüftungssystem erforderlich. Die Methode nutzt die bestehenden Anlagenteile wie die Falleleitungen, die Entwässerungsleitungen und die Gebläse.

4.4.1 Anwendungsbeispiele chemische Reinigung

Im Folgenden wird über Erfahrungen und Ergebnisse mit der Reinigung durch Befüllen mit Reinigungsflüssigkeiten berichtet. In der folgenden Tabelle 2 sind die Daten ausgewählter Anlagen, wo die Methode eingesetzt wurde, zusammengestellt.

Tabelle 2: Anlagenbeschreibungen und Ergebnisse der chemischen Reinigung

		Izmir (Industrie)	Linz	OMV (Industrie)	Heiligenkreuz (Industrie)	Fehring
Reinigungslösung		Lauge	Lauge + Säure	Lauge	Lauge	Lauge
Anlagengröße	EW	4.000.000	900.000	?	40.000	11.000
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	Nm ³ /Stk/h	7	-	2	7	5
Luftbeaufschlagung	Nm 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*****

Fallbeispiel Izmir

Auf der Kläranlage Izmir war nach ca. einem Jahr Betrieb ein unregelmäßiges Blasenbild aufgetreten. Man konnte deutlich erkennen, dass an vielen Stellen große Luftmengen ausgetreten sind. Bei einer Beckenleerung hat man festgestellt, dass viele Belüftermembranen aus den Halterungen geschlüpft waren. Nach Behebung der mechanischen Schäden wurde eine Reinigung der Belüfterelemente bei entleertem Becken durchgeführt.

Die Abbildung 8 zeigt das Ausströmen der Reinigungsflüssigkeit aus den Belüftern. Zur Überprüfung der Reinigungswirkung wurden Membranen entnommen und mit einer Elektronenstrahlmikrosonde untersucht.



Abbildung 8: Ausströmen der Reinigungsflüssigkeit

In Abbildung 9 ist eine ungereinigte Pore zu sehen. Man erkennt die verstopfenden Ablagerungen aus anorganischem Material (vor allem Silizium / Kieselsäure). Abbildung 10 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 sehen. Die letzte Abbildung 11 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 9: Ungereinigte Membranpore

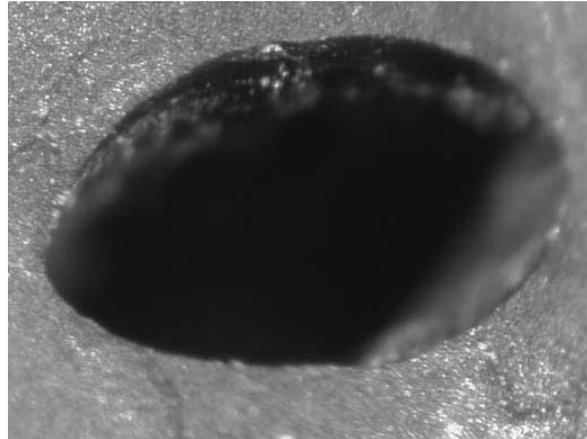
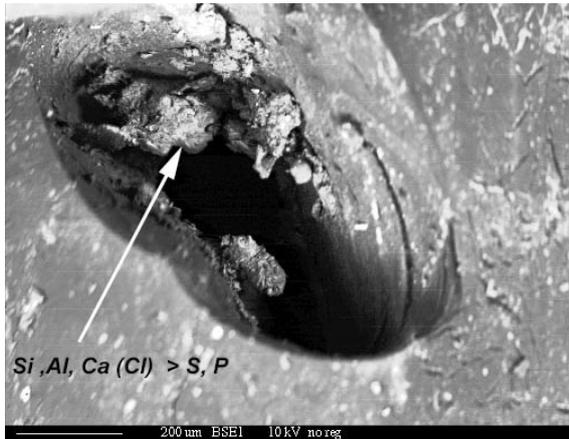


Abbildung 10: Sauer gereinigte Membranpore

Abbildung 11: 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. Im vorliegenden Anwendungsfall musste eine Messstrecke für die Luftvolumenstrommessung in die Rohrleitung eingebaut werden. In **Abbildung 12** ist die Einbausituation dargestellt.



Abbildung 12: „Mobile“ Luftvolumenstrommessung

Nachdem nun die Wirksamkeit der Methode nachgewiesen war, wurden, im Rahmen der Anlagenwartung, die Belüfter der in Betrieb befindlichen Becken ohne Entleerung gereinigt. Nach bisherigen Erfahrungen ist ein Reinigungsintervall von ca. 1,5 Jahren ausreichend.

Fallbeispiel Heiligenkreuz

Die Kläranlage Heiligenkreuz ist eine Industrieabwasserbehandlungsanlage. Das hier behandelte Abwasser stammt aus der Kunstfaserproduktion und weist eine außergewöhnliche Hydrochemie auf. Während der ersten Betriebsjahre wurde ein kontinuierlicher Anstieg des Systemdruckes beobachtet. Die Außerbetriebnahme der Anlage hätte Auswirkungen auf den Produktionsprozess des Betriebes gehabt. Man hat sich daher entschlossen eine Reinigung im laufenden Betrieb durchzuführen.

Das Füllvolumen der Rohrleitungen und Belüfterelemente im Belebungsbecken wurde mit ca. 600 Liter berechnet. Für die Reinigung wurde daher ein Volumen von 1000 Liter vorbereitet. Im Container A wurde die alkalische Komponente (500 Liter) und im Container B verdünntes Wasserstoffperoxid (500 Liter) bereitgestellt.

In beiden Containern war je eine Tauchpumpe angeordnet. Mit Schläuchen wurden die Reinigungslösungen über die Anschlussstutzen im Gebläsehaus in die Falleitung gefördert. Es wurden beide Pumpen gleichzeitig in Betrieb genommen und darauf geachtet, dass die Zugabe möglichst gleichmäßig erfolgt. Aus jedem Behälter wurden ca. 300 L herausgepumpt und dann die Pumpen abgestellt. Während der Befüllung war ein Gebläse mit minimaler Leistung in Betrieb, um ein Hochspritzen der Reinigungslösung in der Luftverrohrung zu verhindern und den Transport der Flüssigkeit in den horizontalen Rohrstrecken der Falleitungen zu unterstützen. In Abbildung 13 ist der zeitliche Ablauf der Befüllung mit Reinigungslösung, der Einwirkzeiten und der Luftbeaufschlagung zusammengestellt.

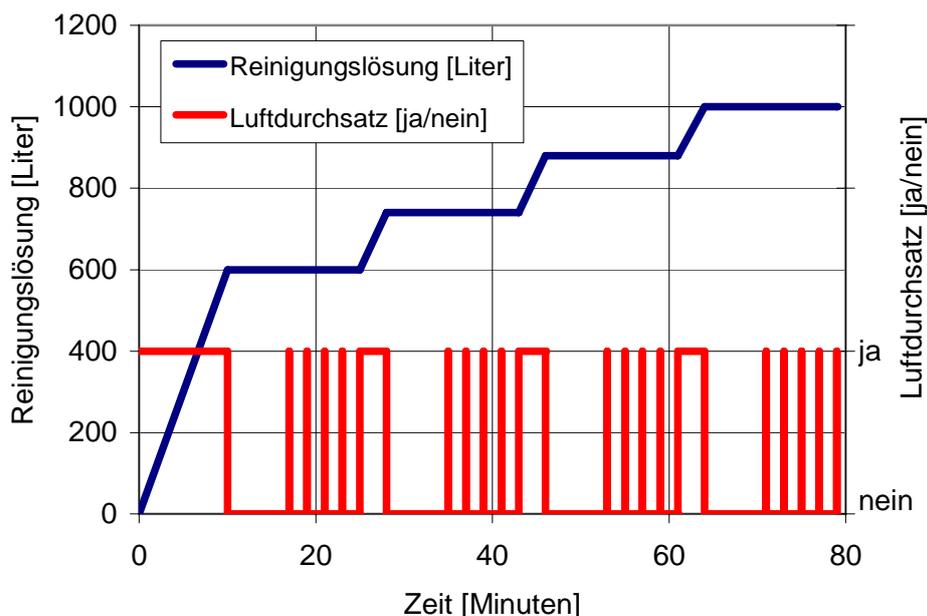


Abbildung 13: Zeitliche Abfolge eines Reinigungsvorganges

Nun wurde in kurzen Abständen die Luftzufuhr zu dem zu reinigenden Feld geöffnet und wieder geschlossen, um die Reinigungslösung in und durch die Membranporen zu drücken. Nach ca. 15 Minuten wurden aus jedem Behälter ca. 70 l nachgepumpt. Der Vorgang wurde noch zweimal wiederholt. Hier ist es wichtig, dass kein Überströmen der Reinigungslösungen von Container A nach B bzw. umgekehrt erfolgt. Dazu waren Rückschlagsicherungen in die Schlauchleitungen eingebaut.

Nach insgesamt einer Stunde Einwirkzeit wurde mit der Entleerung der Feldverrohrung über die Entwässerungsleitung begonnen. Zuletzt wurde das Rohrleitungssystem mit 2 x 600 Liter Brauchwasser nach gewaschen. Um Kalkausfällungen zu verhindern, wurde dem Brauchwasser je 600 Liter ein Liter 37 %-ige Schwefelsäure zugesetzt.

In Abbildung 14 sind die Druckverluste eines Belüfterelementes mit einer verstopften Membran nach ca. 4 Jahren Betrieb und die Druckverluste eines Belüfterelementes mit einer chemisch gereinigten Membran gegenübergestellt. Zum Vergleich ist auch der Druckverlust eines unbenutzten Belüfterelementes eingetragen.

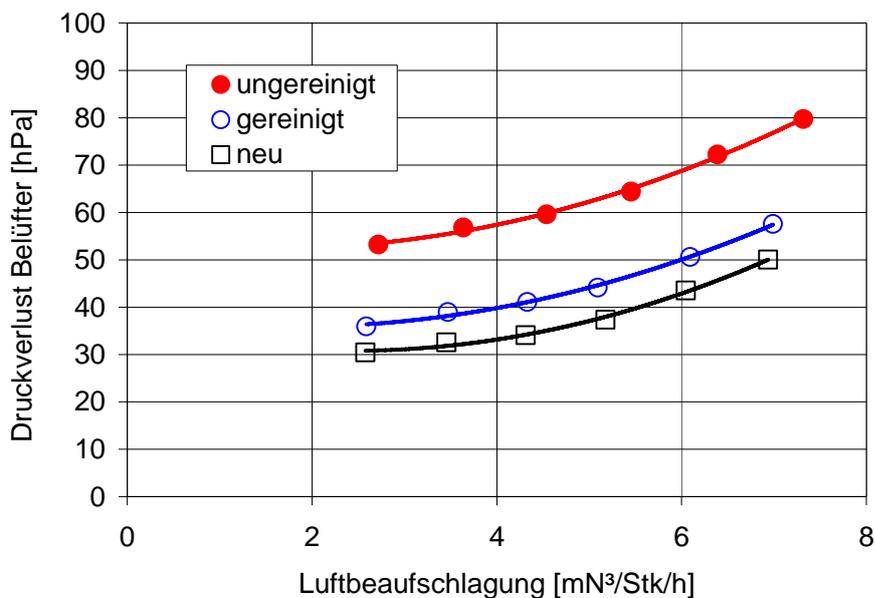


Abbildung 14: Druckverlust eines Belüfterelementes mit einer ungereinigten und einer unbenutzten Membran der Kläranlage Heiligenkreuz

Der Druckanstieg in Heiligenkreuz erfolgt langsam. Die Wartung der Belüftungselemente durch chemische Reinigung in einem Zeitraum von zwei bis drei Jahren ist für den Betreiber eine günstige Lösung.

Fallbeispiel Fehring

In Fehring war der Druckverlust der Belüfterelemente innerhalb von 18 Monaten um ca. 40 hPa angestiegen. Die installierte Ameisensäuredosierung, zur Reduktion des Druckanstieges, brachte zu Beginn eine geringfügige Verbesserung, zeigte aber nach einigen Monaten praktisch keine Wirkung mehr.

An den Membranen wurden optische und nasschemische Untersuchungen ausgeführt, außerdem wurde die Membran einer Elektronenstrahl - Mikrosondenuntersuchung unterzogen. Die Ergebnisse bestätigten die Beobachtung, dass die Ablagerungen nur in sehr geringem Umfang von Säure angegriffen wurden. Mit Natronlauge konnte eine sehr gute Ablösung der Verstopfungen und Reinigung der Poren erreicht werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse hat sich der Betreiber dazu entschlossen zu prüfen, ob die chemische Reinigung wirksam und praktikabel ist und in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden soll.

Die Belüfter sind je Becken in 10 Felder unterteilt. Das Rohrleitungsvolumen am Beckenboden hatte ein Volumen von ca. 1000 Liter. Das Fluten mit Reinigungslösung war durch die große Feldzahl entsprechend arbeitsintensiv und zeitaufwändig.

Die Reinigungslösungen wurden in zwei Containern mit je 960 Liter Fassungsvermögen angemischt. Es wurden je Komponente 800 Liter Lösung angesetzt. In den Container 1 wurden ca. 400 Liter Brauchwasser vorgelegt und danach die Reinigungschemikalien, im wesentlichen Kaliumhydroxidlösung, zugegeben. Abschließend wurde das Volumen auf 800 Liter mit Wasser ergänzt. In den Container 2 wurden ebenfalls 400 Liter Wasser vorgelegt, danach 100 Liter 30 %-iges Wasserstoffperoxid zugegeben und mit Brauchwasser ebenfalls auf 800 Liter Gesamtvolumen ergänzt. Wichtig ist eine gute Mischung der Chemikalien in den Behältern. Zur Kontrolle, ob die Komponenten in den Containern gut gemischt waren, wurden Analysen und Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt.



Die erforderlichen Behälter, Pumpen und verbindenden Rohrleitungen samt elektrischem Schaltschrank waren in einem Anhänger untergebracht. Die Beschickung und Entleerung der Container erfolgte mit den eingebauten Exzentrerschneckenpumpen. In Abbildung 15 ist der Anhänger mit Einbauten zu sehen.

Abbildung 15: Aufbau der mobilen Reinigungsanlage

Die Reinigungslösungen wurden in getrennten Schläuchen bis kurz vor die Einleitstelle gefördert und dort in einem T-Stück gemischt. Die Einleitung in die Fallleitung ist in Abbildung 16 zu sehen. Es wurden beide Pumpen gleichzeitig in Betrieb genommen und darauf geachtet, dass die Zugabe möglichst gleichmäßig erfolgte. Die

Luftklappen in den Fallrohren waren geschlossen um ein Abfließen der Reinigungslösung in die Hauptluftleitung zu verhindern.

Nach der Befüllung aller Felder wurde kurz ein Gebläse in Betrieb genommen um die Reinigungslösung in und durch die Membranporen zu drücken. Nach ca. 20 Minuten wurde in jedes Feld ca. 30 % des Füllvolumens nachgepumpt.



Abbildung 16: Anschlussstutzen zur Einbringung der Reinigungslösung

Nach insgesamt einer Stunde Einwirkzeit wurde das Gebläse eingeschaltet und die Feldverrohrung über die Entwässerungsleitungen entleert. Zuletzt wurde das Rohrleitungssystem mit 1600 Liter Wasser nachgewaschen. Dem Wasser wurden 30 Liter 80 %-ige Essigsäure zugesetzt, um Kalkausfällungen zu verhindern. In Abbildung 17 ist die Entleerung über die Entwässerungsleitungen zu sehen.



Abbildung 17: Entleerung über die Entwässerungsleitungen

4.4.2 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 Druckanstieges zu suchen.

4.5 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.

5 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.

5.1 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.

5.2 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.

5.3 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 eingedüστε 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 18 dargestellt.

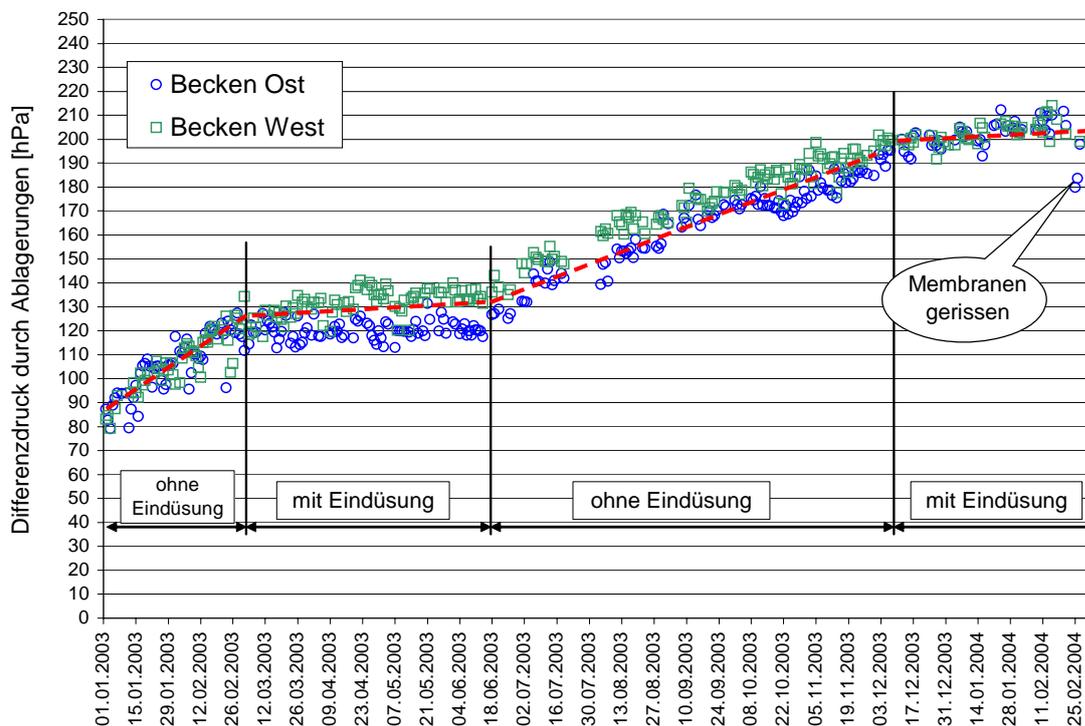


Abbildung 18: Druckmesswerte mit Befeuchtung

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 18 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.

6 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