

Biologische Abwasserbehandlung im Spannungsfeld zwischen Belüftungseffizienz und Energieverbrauch

3. Infotag IWAR Abwassertechnik; 24. November 2011

Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?

Wilhelm Frey, Leobendorf/Österreich

INHALT

- Erkennen von Veränderungen
- Messung des Druckverlustes
- Ursachen für hohen Druckverlust
- Abhilfe und Vorbeugung
- Veränderung der Wirtschaftlichkeit
- Zusammenfassung

ERKENNEN HOHER DRUCKVERLUSTE

- Erhöhter Energiebedarf
- Kennwerte
- Druckmessungen
Info und Messanleitung: KA Betriebsinfo 3/2006 und im Internet unter: www.aabfrey.com
- Blasenbildkontrolle
- Ansprechen der Sicherheitsventile am Gebläse
- Gebläseausfall wegen Überlastung

Kennwert: Druckverhältnis

$$\text{Druckverhältnis} = \frac{\Delta p_{\text{Gebläse}}}{\Delta p_{\text{hydraulisch}}} \approx 1,2 [-]$$

- Es gilt: $p_{\text{hydraulisch}} [\text{hPa}] = 98,1 \cdot \text{Einblastiefe} [\text{m}]$
- Je größer das Druckverhältnis, desto größer sind die **Verluste** in den **Rohrleitungen und Armaturen** (Saug- und Druckseite) und den **Belüfterelementen**.

Kennwert: spezifische Energie (Drehkolbengebläse)

→ spezifische Einblasenergie - Einblastiefe [Wh/(m³·m),

$$\text{spez. } P_h = \frac{P_{\text{Gebläse}}}{Q_{\text{Luft,ansaug}} \cdot h_e} \approx 4,8 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3 \cdot \text{m}}$$

→ spezifische Einblasenergie - Druckerhöhung [J/J]

$$\text{spez. } P_p = \frac{P_{\text{Gebläse}}}{Q_{\text{Luft,ansaug}} \cdot \Delta p_{\text{Gebläse}}} \approx 1,5 [-]$$

⇒ Der Kehrwert entspricht dem Wirkungsgrad der Gebläseeinrichtung: typischer Wert ca. 67%

DRUCKMESSUNG

→ Ermittlung der **Einblastiefe** ohne Luftbeaufschlagung

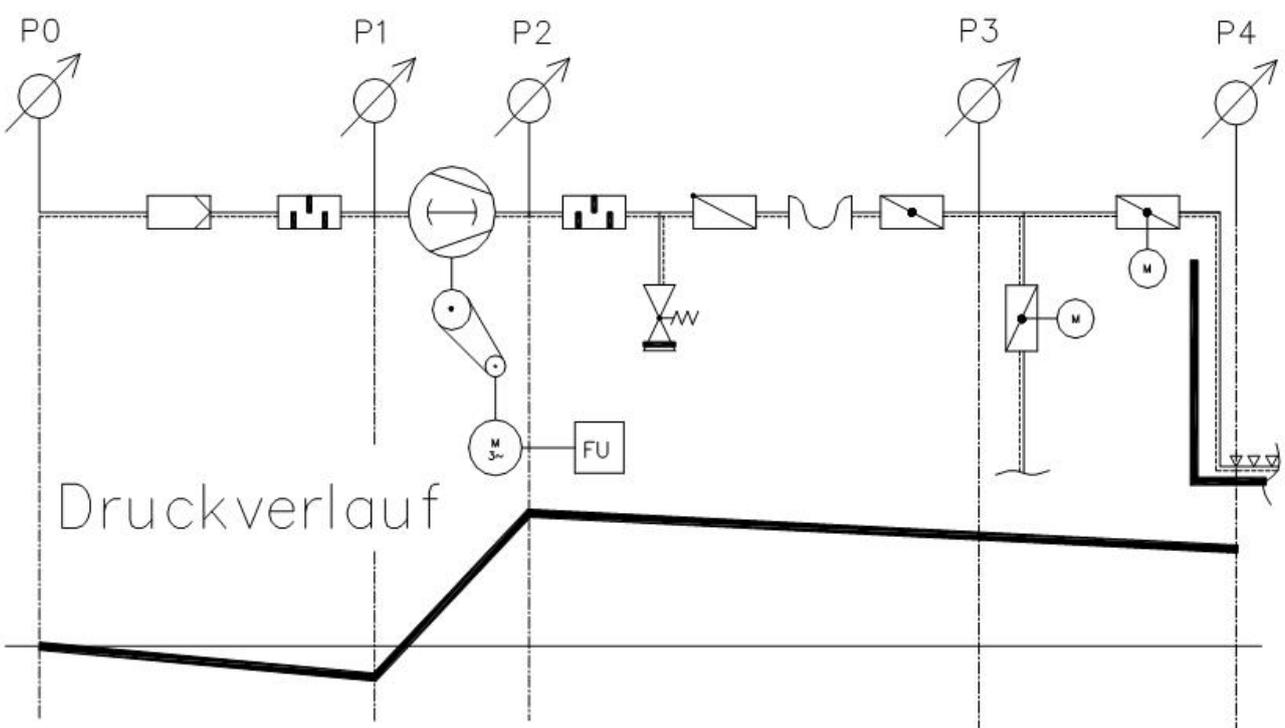
→ Definierten **Luftvolumenstrom** einstellen

→ Druckmessung mit Handmanometer

→ Möglichst **nahe am Becken** (z. B. an einer Entwässerungsleitung)

⇒ **ACHTUNG**: Leitung vor der Messung öffnen, um Wasser zu entfernen. Wenn kein Wasser und auch keine Luft austritt, ist die Leitung verlegt und kann für die Messung nicht verwendet werden.

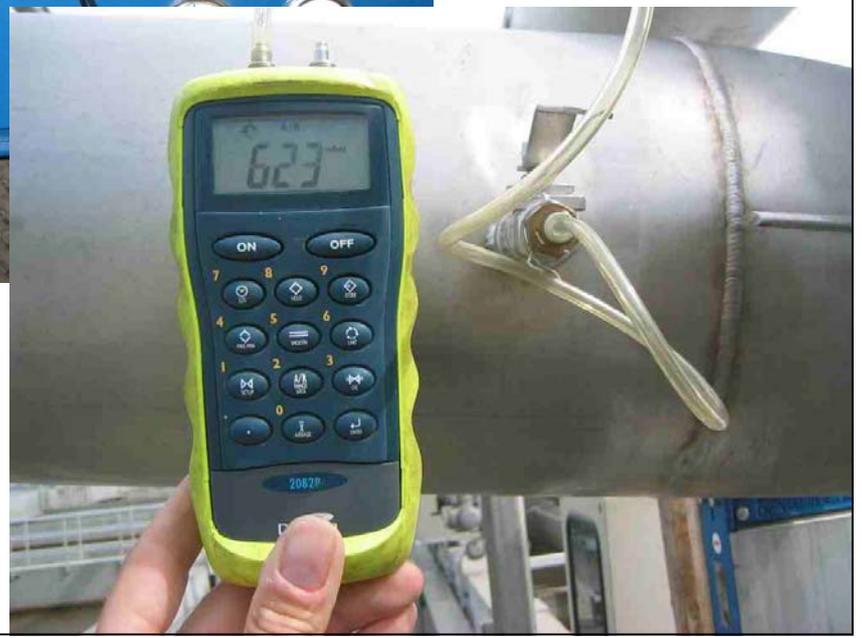
Druckverlauf im Rohrleitungssystem



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

7/53
www.aabfrey.com

Druckmessungen



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

ANFANGSDRUCKMESSUNG



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

9/53

www.aabfrey.com

BEZUGSSYSTEM FÜR DIFFERENZ- DRUCKANGABEN VON BELÜFTERELEMEN- TEN

- Tatsächlicher **Luftvolumenstrom** ist abhängig vom **Druck** und der **Temperatur**
- **Druckverlust** ist abhängig von der **Dichte** und dem **Luftvolumenstrom**
- **DAHER: Druckverlust** ist abhängig vom **Druck** und der **Temperatur!**
- Der Aufbau des **Druckprüfstandes** ist entscheidend für die **Interpretation der Messwerte.**
- Bei üblichen **Einblastiefen verringert** sich der **Luftvolumenstrom** und damit der **Druckverlust** erheblich!
- **EMPFEHLUNG: Druckverhältnisse** auch im **Neuzustand**, z.B. im Rahmen von **Sauerstoffzufuhrmessungen**, **ermitteln.**

10/53

www.aabfrey.com

BEZUGSSYSTEM FÜR DIFFERENZ- DRUCKANGABEN VON BELÜFTER- ELEMENTEN

→ Umrechnung

Annahmen: t_2 =Wassertemperatur, ζ =konst.

Auf dem Prüfstand gemessen $\Delta p_1 = 30 \text{ hPa}$

⇒ $\Delta p_2 = ?$

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \frac{T_2 \cdot p_1}{T_1 \cdot p_2} = 30 \cdot \frac{(10 + 273) \cdot 1013}{(20 + 273) \cdot 1500} = 19,6 \text{ hPa}$$

→ Unter realen Bedingungen im Belebungsbecken geringere Druckverluste – **Anstieg wird nicht erkannt!**

DRUCKMESSUNGEN 2003 - 2011

- EPDM Tellerbelüfter (\emptyset ca. 300 mm)
- 21 Anlagen; verschiedene Zeitpunkte, Beckentypen, Betriebsweisen
- Druckverlust (Membran) Neuzustand bei Beaufschlagung mit $4 \text{ m}^3/(\text{Stk.h}) = 23 \text{ hPa}$
- 50% Wert 57 hPa d.h. 2,5 fach
- 85% Wert 78 hPa d.h. 3,4 fach

URSACHEN (1) mechanisch/konstruktive Probleme

→ Rohrleitungsdimensionierung

- ⇒ zu kleine Rohrdurchmesser (hohe Strömungsgeschwindigkeit, hohe Verluste)
- ⇒ ungünstige Leitungsaufteilung (Einschnürungen, Verteilstücke, ...)
- ⇒ falsche Armaturen (Rückschlagklappen, Messgeräte, ...)

→ Montagefehler

- ⇒ zu kleine Bohrungen bei Abgängen
- ⇒ Fremdkörper im Rohrsystem (z.B. Formiergasstoppel)

→ Wasser im Rohrsystem

Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

13/53
www.aabfrey.com

Druckverlust in der Rohrleitung durch Fremdkörper

Formiergasstoppel vergessen!
Druckverlust nur ca. 50 hPa

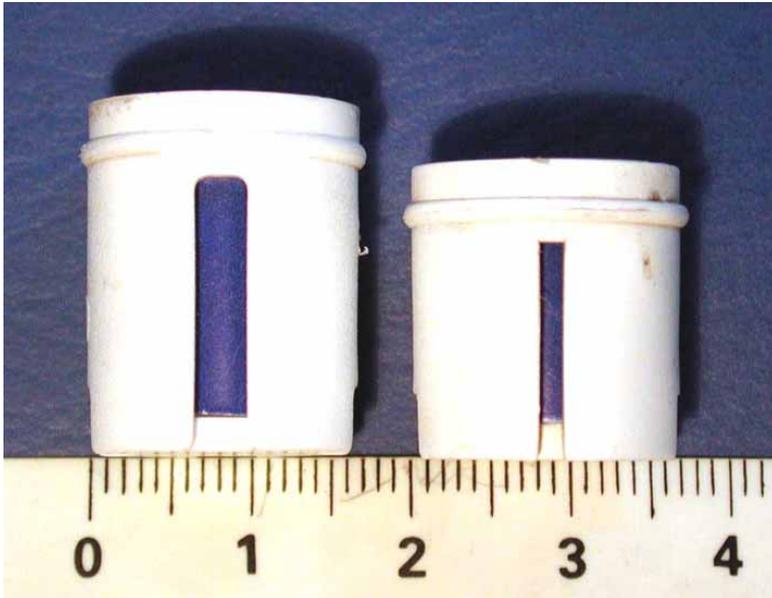


Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

14/53
www.aabfrey.com

Unterschiedliche Ausführungen von Drosseleinrichtungen

Klebstoffreste an Drosselbohrungen

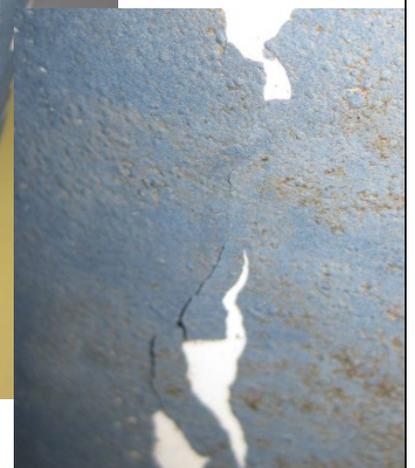


Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

15/53
www.aabfrey.com

Beläge auf Belüfterelementen

- Berliner Blau
 $\text{Fe}_7\text{N}_{18}\text{C}_{18}$
ca. 45 gew.% Fe
- Gebildet aus Eisensalzen und Cyanid unter reduzierenden Bedingungen



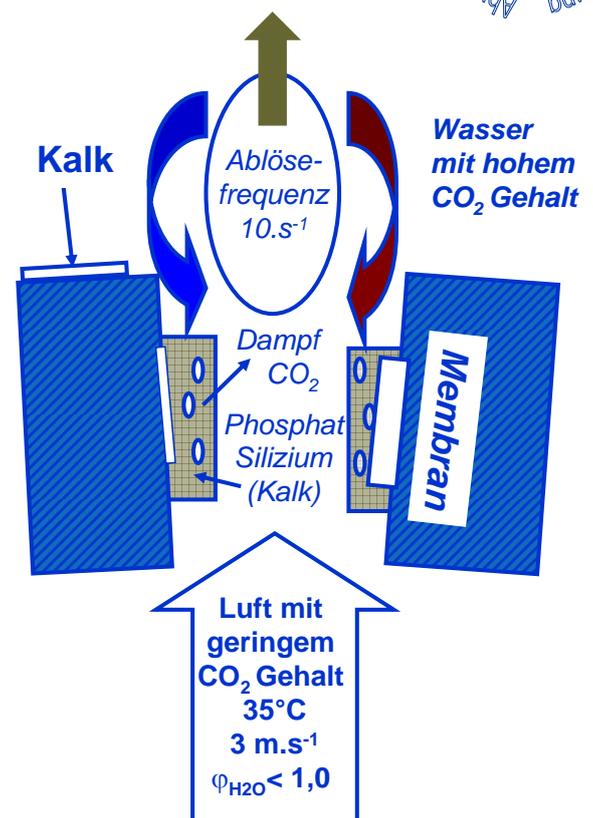
Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

URSACHEN (2) Verstopfung der Poren

- **Luftseitige Verstopfungen**
 - ⇒ Minderwertige Luftfilter, defekte Luftfilter
 - ⇒ Korrosionsprodukte aus der Luftleitung
- **Wasserseitige Verstopfungen**
 - ⇒ Ausfällungen in den Poren
 - ⇒ Biologischer Bewuchs
 - ⇒ Sedimente
- **Veränderungen des Materials (Alterung)**
 - ⇒ Herauslösen von Weichmachern
 - ⇒ Mikrobiologischer Angriff von Füllstoffen

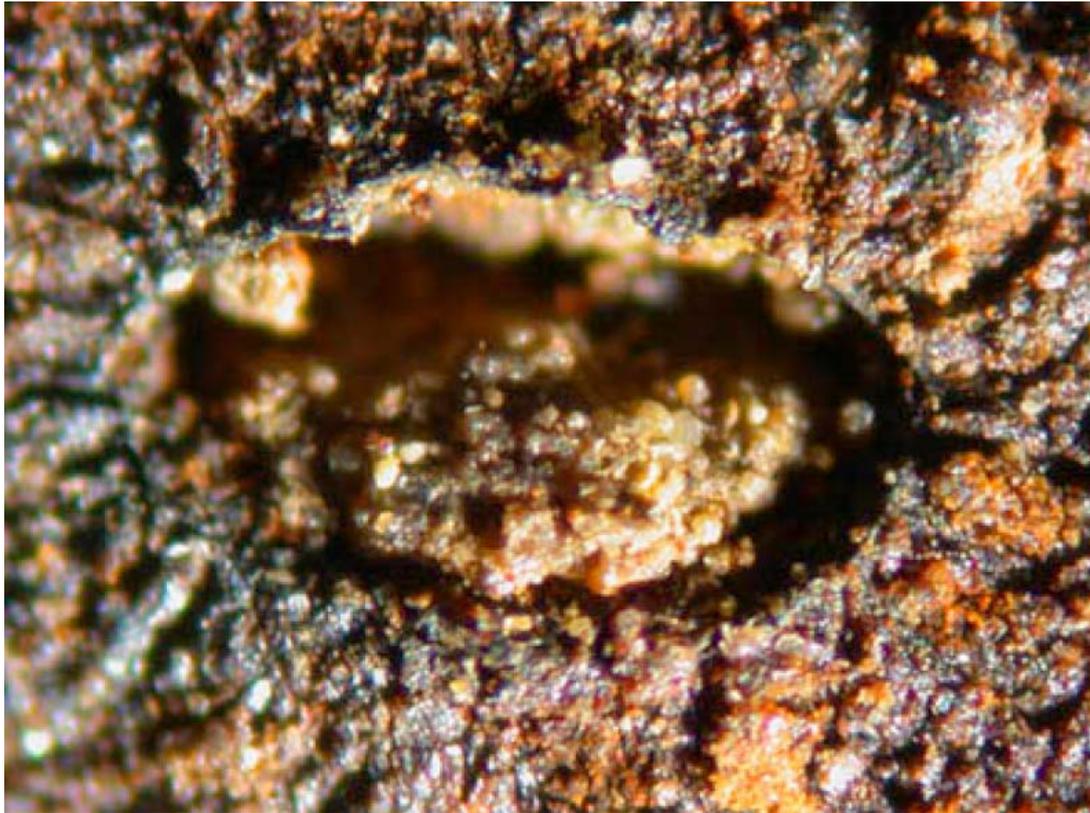
URSACHEN (3) Verstopfung der Poren Ausfällungen in den Poren

- Das Wasser dringt auch bei Luftbeaufschlagung in die Poren ein. Durch die Luft wird das **Wasser verdunstet** und gelöste Inhaltsstoffe fallen als Partikel aus. Verstärkt wird dieser Effekt noch durch den Transport von CO_2 aus dem Wasser in die austretende Luft. Dadurch wird der pH Wert und das Löslichkeitsprodukt von gelösten Abwasserinhaltsstoffen beeinflusst.
- Ein typischer und bekannter Vorgang der nach obigem Muster abläuft ist die **Ausscheidung von Kalk**.



URSACHEN (4)

Verstopfung der Poren - Auflichtmikroskop



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

19/53
www.aabfrey.com

URSACHEN (5)

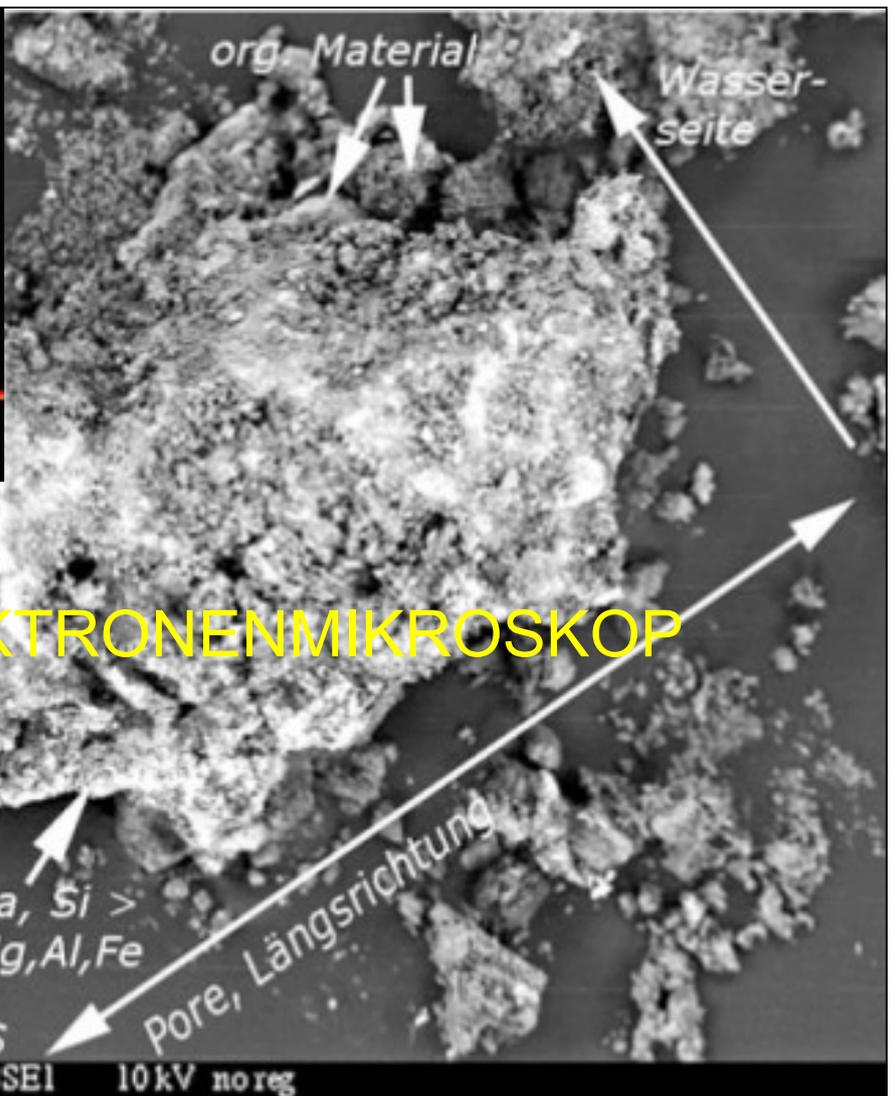
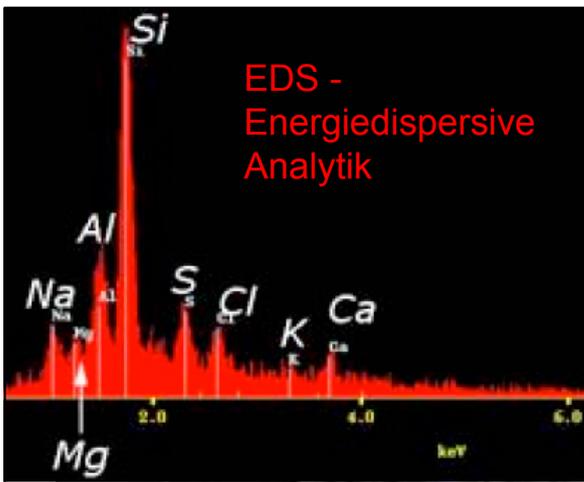
Verstopfung der Poren - Elektronenstrahlmikroskop



**MINERALISCHE
ABLAGERUNGEN**

Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

20/53
www.aabfrey.com



URSACHEN (6)

Biologischer Bewuchs / Sedimente

Absenger. technische Ausbildung und Beratung
Dr. FREY



URSACHEN (7)

Materialeigenschaften - Werkstoffprüfung

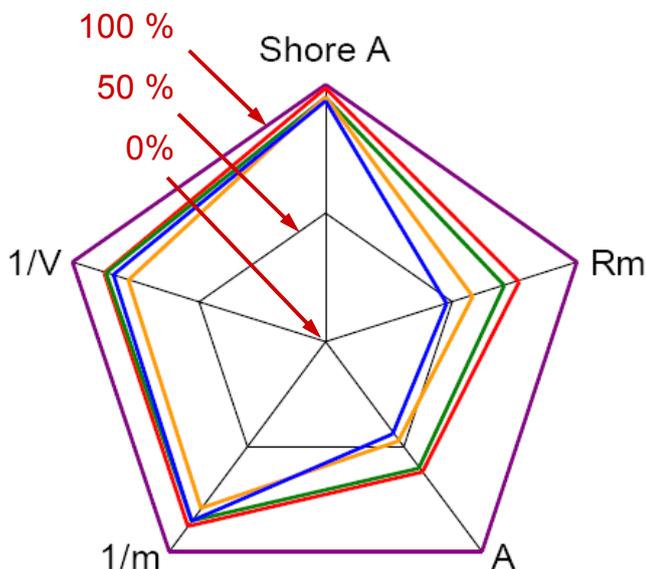
- **Volumen und Masse:** Gibt Auskunft ob Stoffe eingelagert oder abgegeben werden.
- **Härte:** Bei weichen Kunststoffen wird die Eindringhärte als Shore A (DIN 53 505; Kegelstumpf) oder besser IRHD (DIN 53519; Kugel) gemessen.
- **Zugfestigkeit:** Ist die Zugspannung (Kraft pro Fläche) bei Höchstkraft. (DIN 53 455)
- **Bruchdehnung:** Ist die %-uelle Verlängerung des Probestreifens zum Zeitpunkt des Reißens. (DIN 53 455)
- **Spannungs - Dehnungs - Diagramm:** Zeigt den Zusammenhang zwischen Kraft pro Querschnittfläche (⇒ Spannung) und Verlängerung der Probe (⇒ Dehnung).

URSACHEN (8): Materialeigenschaften

Probenvorbereitung

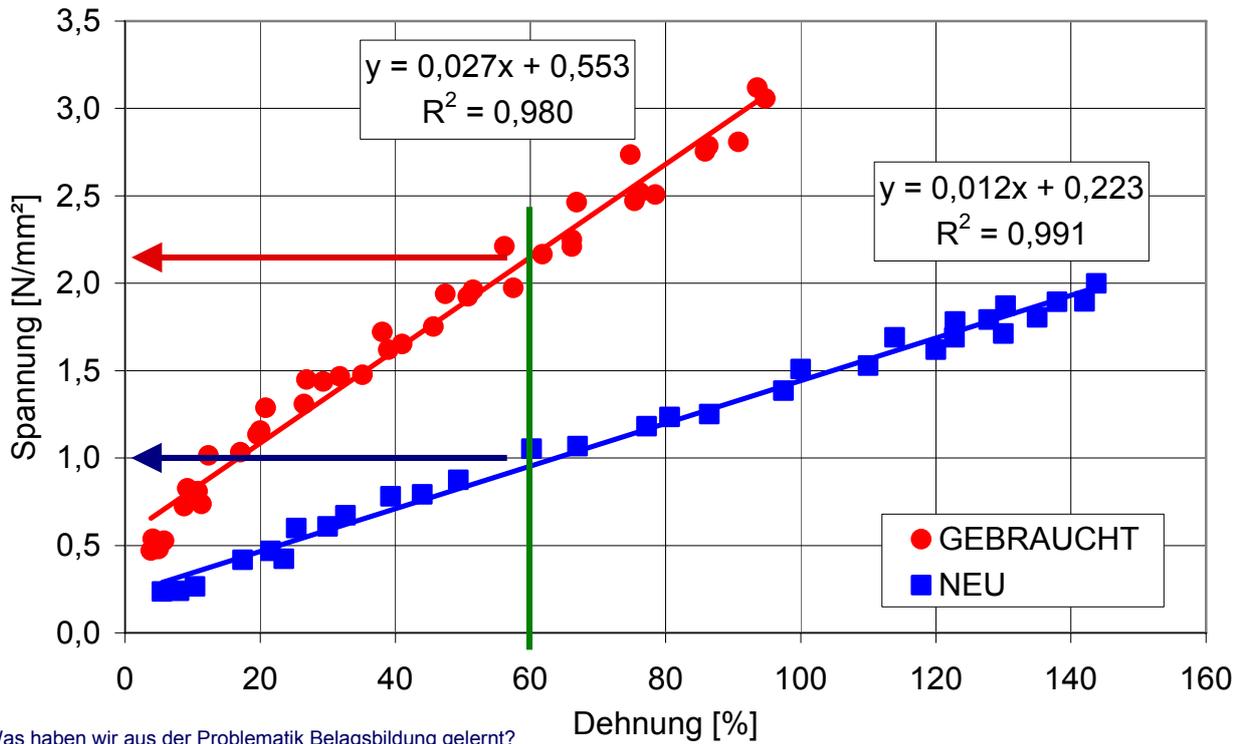


Ergebnisse

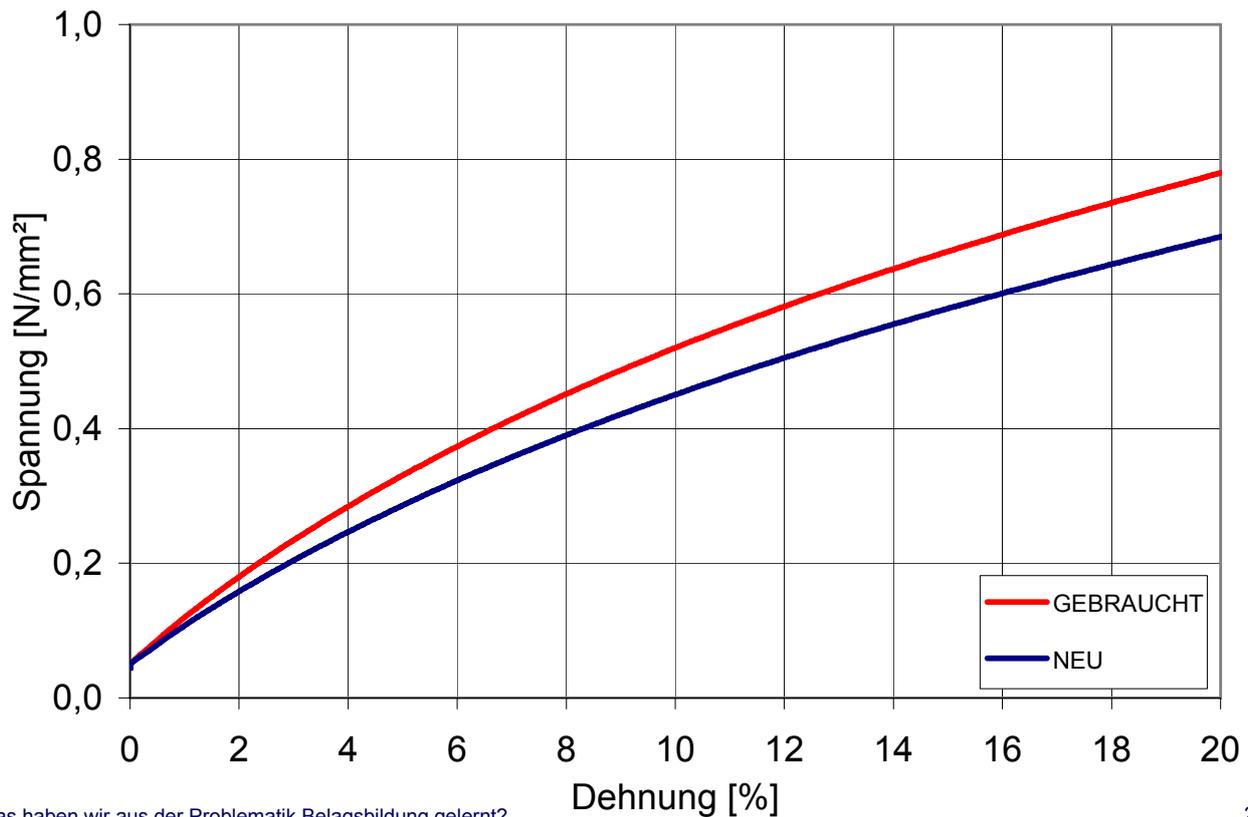


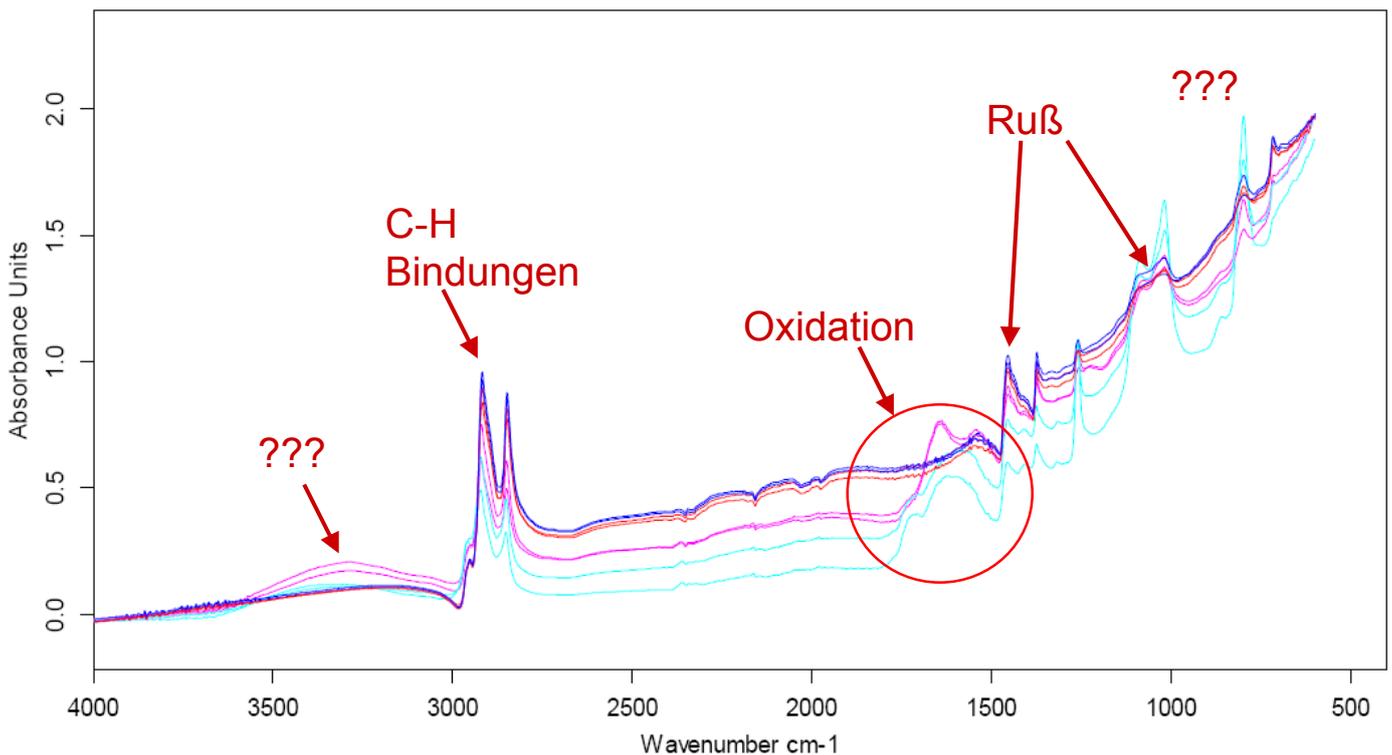
- Shore A ... Härte
- Rm Zugfestigkeit
- A Bruchdehnung
- m Masseänderung
- V Volumenänderung

Veränderung der Materialeigenschaften Spannungs – Dehnungs - Diagramm



Veränderung der Materialeigenschaften Spannungs – Dehnungs - Diagramm





Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

27/53
www.aabfrey.com

WARTUNG und REINIGUNG von BELÜFTERN

- Säuredosierung in die Luftleitung
Voraussetzung säurelösliche Ablagerungen
- Dehnen und Entspannen der Membran
Beaufschlagung mit großem Luftvolumenstrom und anschließendem Entspannen.
- Mechanische Reinigung
„Dreckfräse“ mit Luftbeaufschlagung
- Chemische Reinigung
Befüllen der Luftrohrleitungen mit Reinigungslösung und Austrag über die Membranporen.

Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

28/53
www.aabfrey.com

Löslichkeitsverhalten von Ablagerungen

→ Reaktion mit Säure

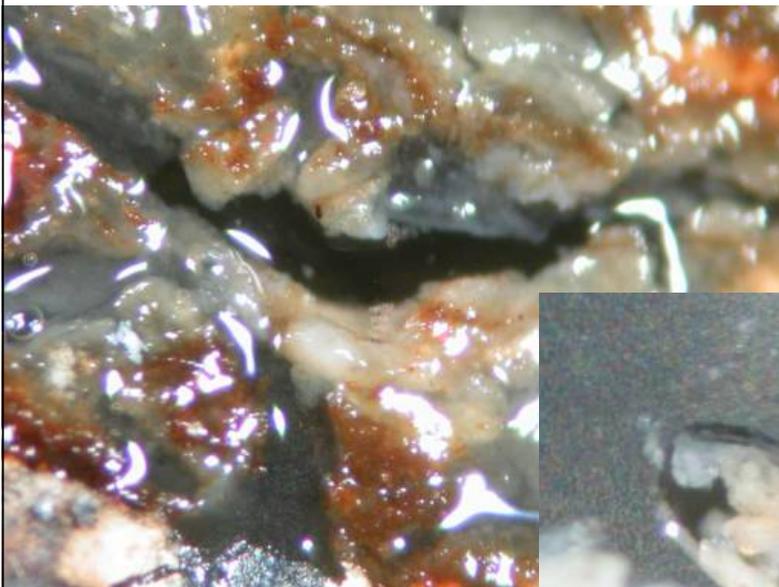


Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

29/53
www.aabfrey.com

Löslichkeitsverhalten von Ablagerungen

→ Reaktion mit Lauge



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

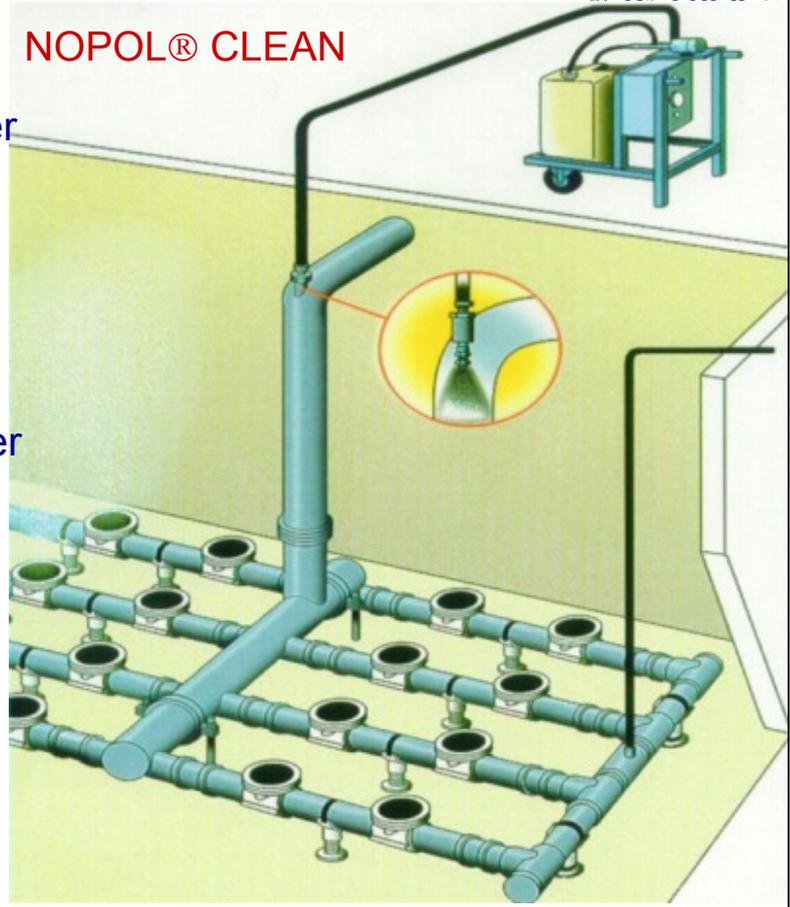
SÄUREDOSIERUNG

NOPOL® CLEAN

Ameisensäure wird bei Bedarf oder auch vorbeugend in die Fallleitungen eingedüst. Säurelösliche verstopfende Ablagerungen werden entfernt.

Ameisensäure geht sehr rasch in die Gasphase über. Sie kann daher mit einfachen Pumpen und Düsen dosiert werden.

ACHTUNG: Nicht alle Materialien sind gegen Ameisensäure beständig ⇒ Hersteller fragen!



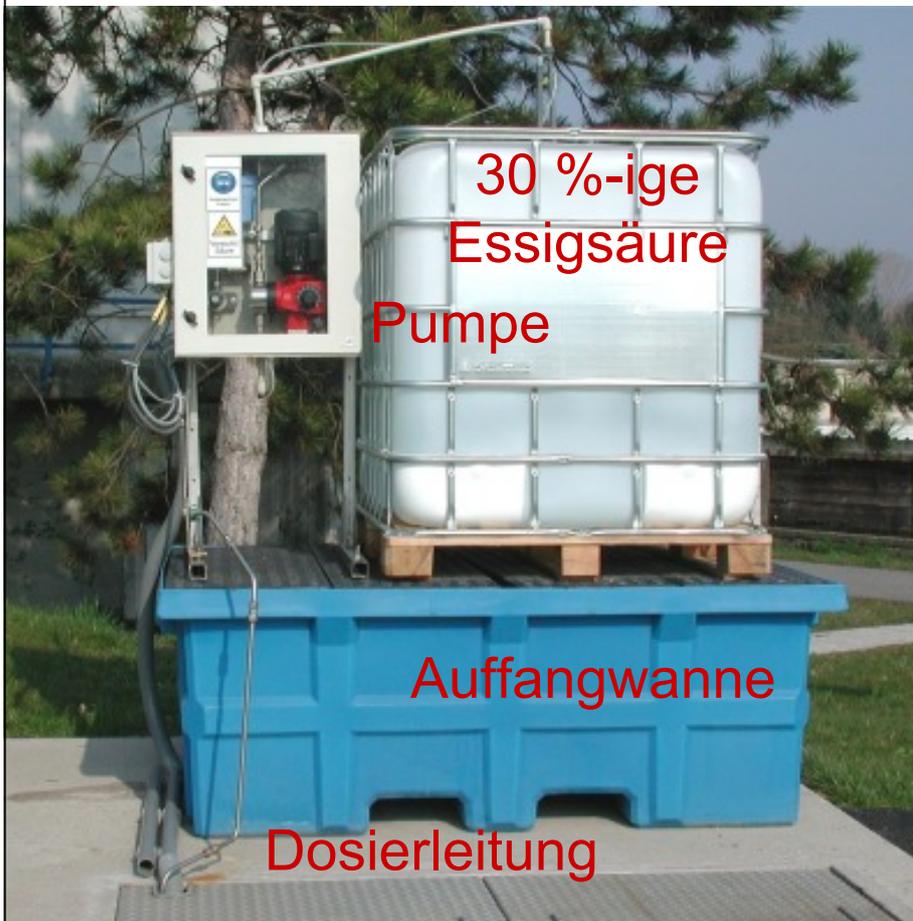
Ausführung einer Säuredosierung



Dosierpumpe



Einspeisung



30 %-ige
 Essigsäure
 Pumpe

Auffangwanne

Dosierleitung

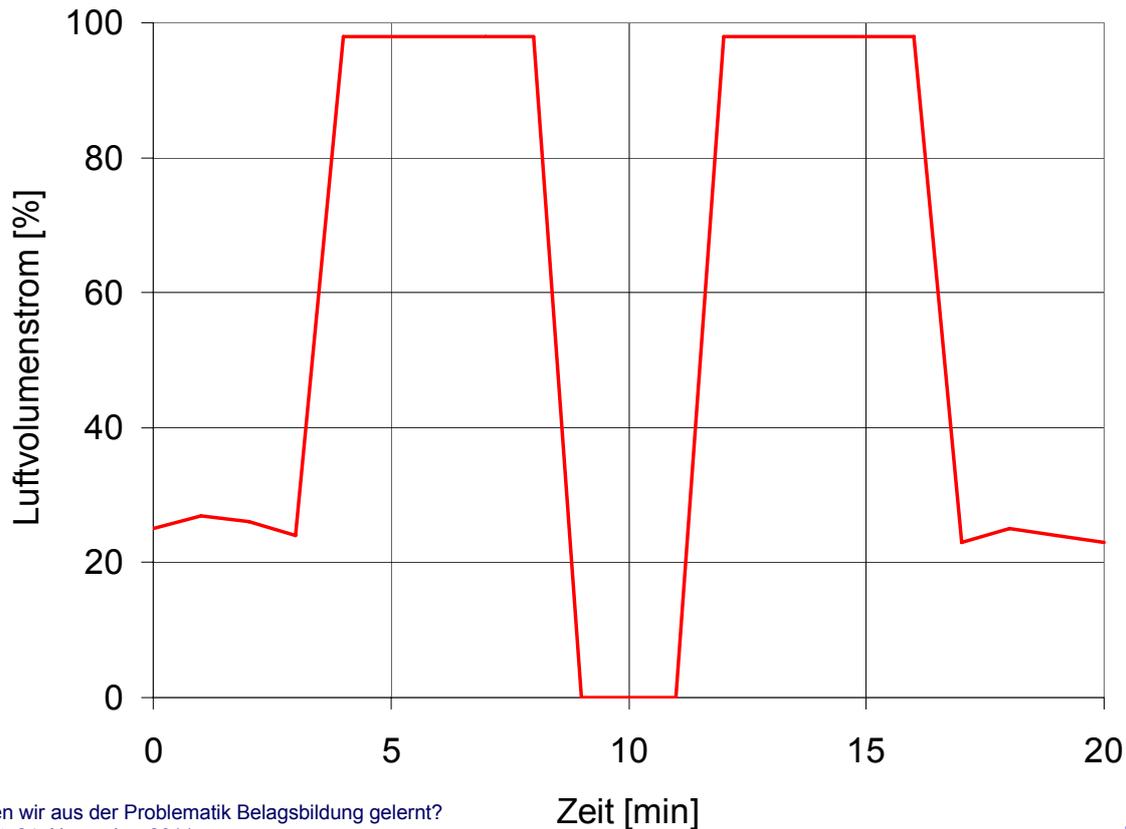
Dosiereinrichtung

- Anlage: 1.000.000 EW
- Druck konnte von 160 hPa auf 90 hPa reduziert werden.
- Verbrauch bis zu 3 m³/Monat

Dehnen und Entspannen der Membran

- Es wird **mehrmals täglich** der **Luftvolumenstrom** auf ein Becken (bzw. ein Belüfterfeld) auf das **Maximum** erhöht.
- Nun wird die Luft abgestellt (oder auf ein anderes Becken geleitet) und der **Druck** über eine (automatische) Armatur **abgeblasen**.
 - ⇒ Es ist günstig den Druck nicht ganz auf Umgebungsdruck abzusenken. Dazu wird das Ausblasrohr in das Becken hinuntergezogen.
- Zum Abschluss wird der Luftvolumenstrom **nochmals** auf ein Maximum **erhöht**, um abgelöste Ablagerungen aus den Poren herauszublasen.
- Diese Vorgangsweise sollte **automatisiert** ablaufen! Die manuelle Durchführung ist in der Regel zeitaufwändig und daher im Normalbetrieb schwer zu realisieren.

Ablauf: Dehnen – Entspannen



Mechanische Reinigung

- Der **Wasserspiegel** ist auf 10 - 20 cm über den Belüftern **abzusenken**.
- Die **Luftzufuhr** bleibt in Betrieb.
 - ⇒ **ACHTUNG**: Die Luftzufuhr ist zu reduzieren. Da sonst bei mehreren Becken nach dem Absenken des Wasserspiegels die Luft nur über dieses Becken ausströmt (Überlastung der Belüfter!)
- Die Reinigung erfolgt mit einem Hochdruckreinigungsgerät mit rotierendem Wasserstrahl (**Dreckfräse**). Dazu wird die Oberfläche mehrmals überarbeitet.
- Beim Auftreffen des Wasserstrahles auf die Membranoberfläche wird diese verformt, **Ablagerungen** werden **abgelöst** und von der durchtretenden Luft aus den Poren **ausgeblasen**.

MECHANISCHE REINIGUNG von PLATTENBELÜFTERN aus PU

GEREINIGT

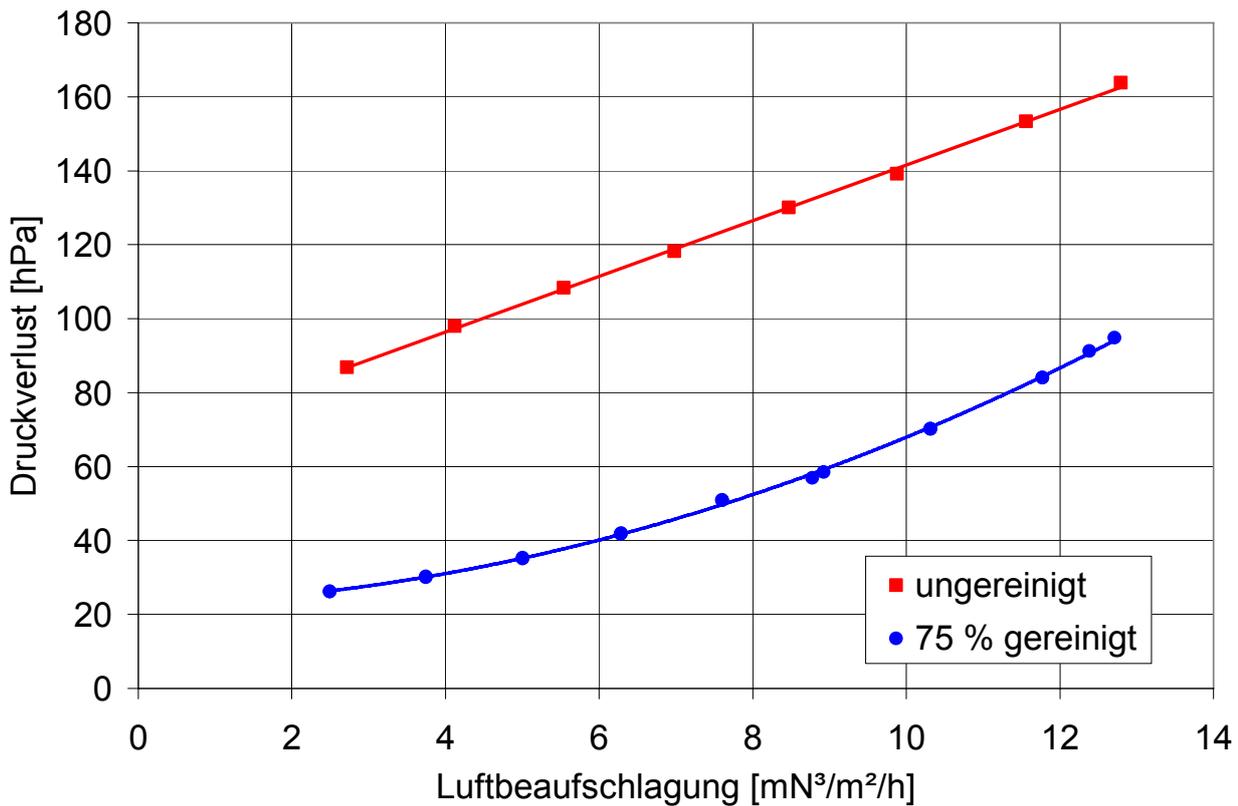
UNGEREINIGT

BESCHÄDIGUNG



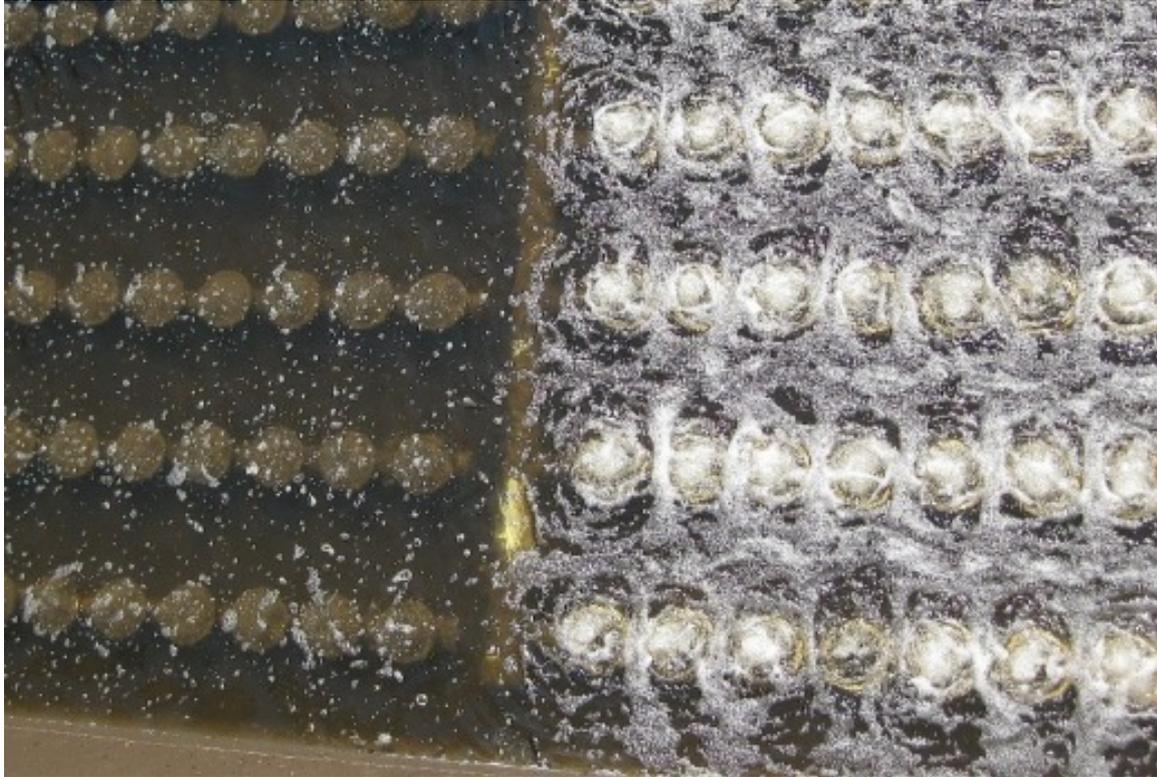
Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

Reinigungserfolg Plattenbelüfter aus PU



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

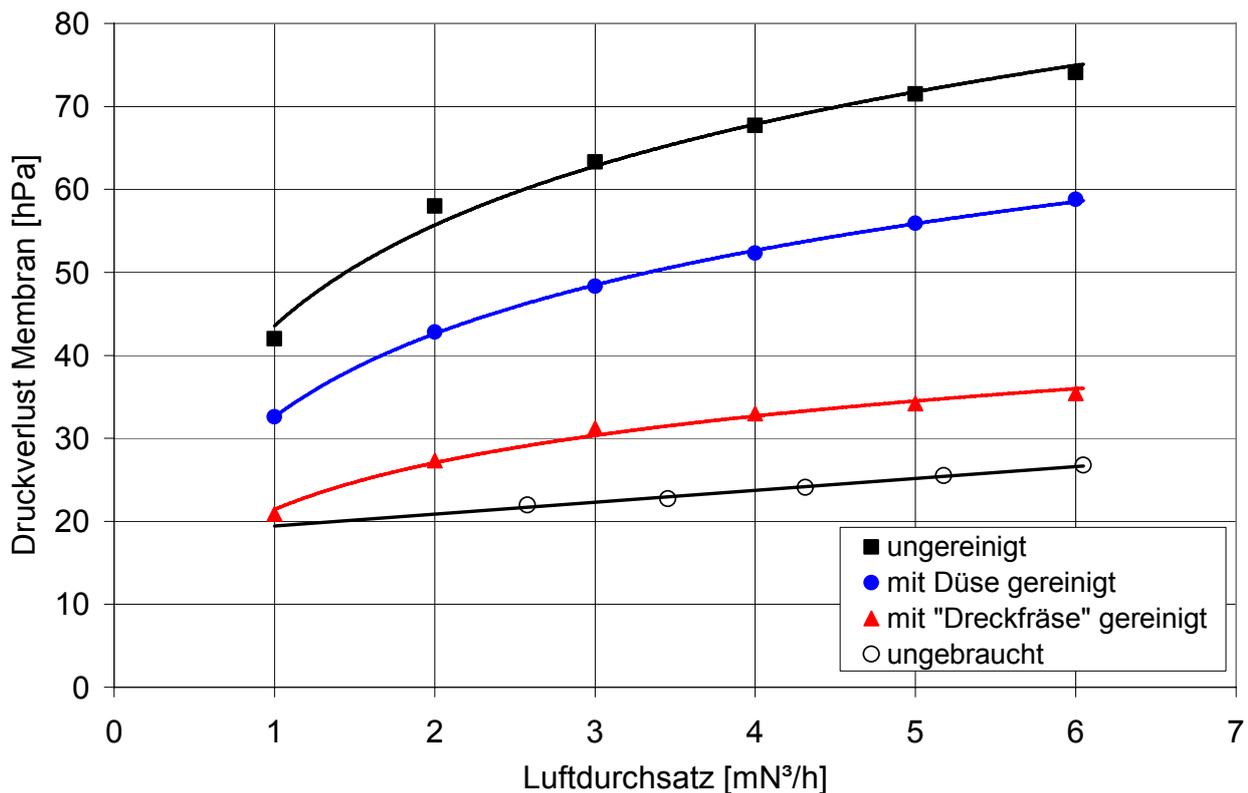
Reinigung von Tellerbelüftern



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
 Darmstadt, 24. November 2011

39/53
www.aabfrey.com

Mechanische Reinigung Tellerbelüfter EPDM



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
 Darmstadt, 24. November 2011

40/53
www.aabfrey.com

CHEMISCHE REINIGUNG

→ FLUTEN DER ROHRE UND BELÜFTER-ELEMENTE MIT REINIGUNGSLÖSUNG

- ⇒ Reinigungslösungen können auf unterschiedliche Verbindungen (säurelöslich und alkalisch löslich) abgestimmt werden.
- ⇒ Ablösung und Auflösung der Verstopfungen.
- ⇒ Im entleerten Becken und im gefüllten Becken möglich.
- ⇒ Geringe Beeinträchtigung des Betriebes.
- ⇒ Nur empfehlenswert, wenn sich Beläge nicht rasch neu bilden, oder als Notmaßnahme um Betrieb aufrecht zu erhalten.

VORBEUGENDE MASSNAHMEN

- Betriebliche Parameter (Forschung)
- Säuredosierung
- Dehnungsprogramm
- Befeuchtung der Luft

BEFEUCHTUNG DER LUFT

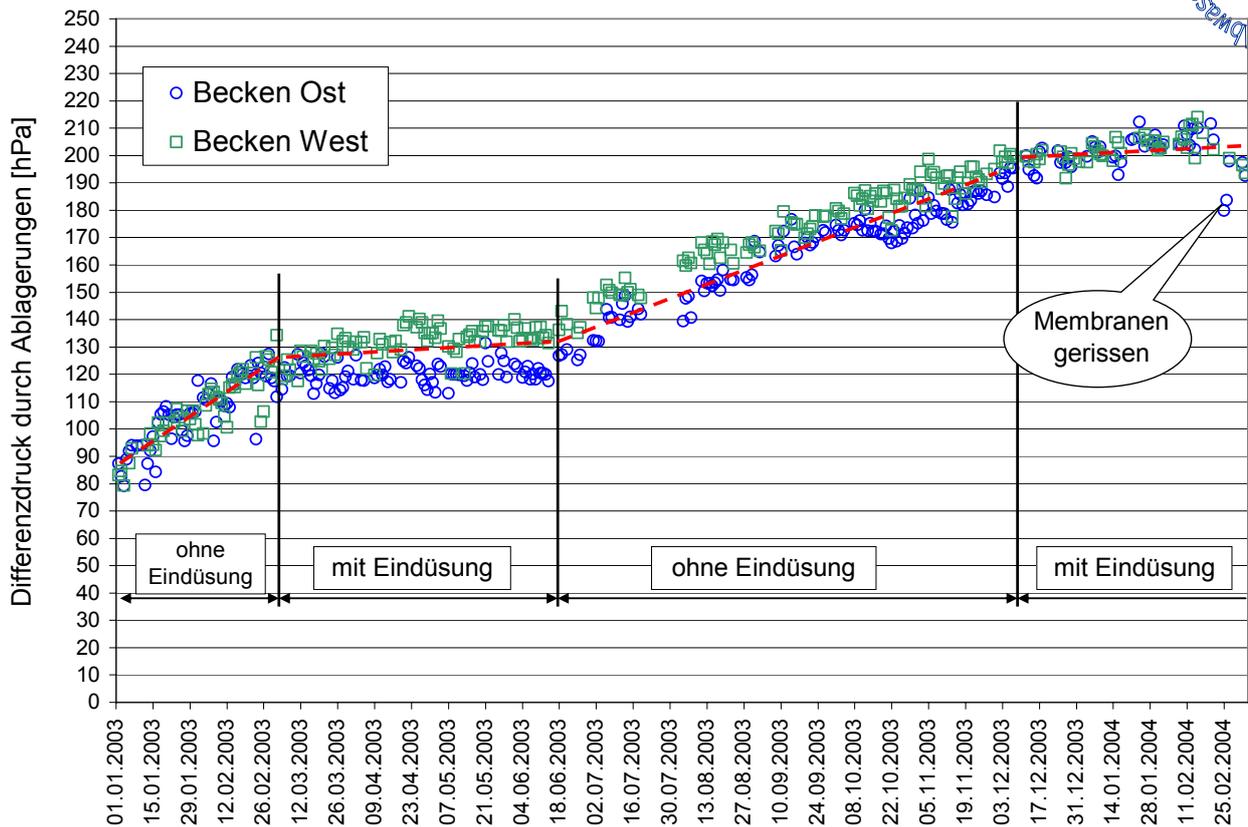
- ➔ Beobachtungen haben gezeigt, dass auf Anlagen mit viel Kondensat in den Rohrleitungen wesentlich seltener Probleme mit steigendem Druck auftreten.
- ➔ **Wirkung der Luftfeuchte**
 - ⇒ Verhindern von statischen Aufladungen
 - ⇒ Verhindern der Austrocknung von Poren
 - ⇒ Geringere Ausnutzung Löslichkeitsprodukt

EINDÜSUNG VON AUFBEREITETEM WASSER



HOCHDRUCKPUMPE

Ergebnisse Befeuchtung



Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

45/53
www.aabfrey.com

Veränderung der Wirtschaftlichkeit

- Für den Betrieb ist die **Wirtschaftlichkeit** des Belüftungssystems wichtig.
 - ⇒ **Energieaufwand** (u.a. Druckverlust des Belüfters)
 - ⇒ **Sauerstoffausnutzung**
- Beide Größen werden durch **Materialveränderungen** und **Ablagerungen** beeinflusst.
 - ⇒ Veränderung des **Abgasungsverhaltens** (Blasengrößenspektrum, Blasenablösung, Blasenablösefrequenz, ...)
- Beurteilung nur mit Druckmessungen nicht ausreichend.
Zusammenfassende Betrachtung notwendig!

Was haben wir aus der Problematik Belagsbildung gelernt?
Darmstadt, 24. November 2011

46/53
www.aabfrey.com

Veränderung der Wirtschaftlichkeit ENERGIEVERBRAUCH

- Die Belüftungsenergie ist, bei gleichem Luftvolumenstrom und Zustandsgrößen der Luft, näherungsweise direkt **proportional der Drucksteigerung** im Gebläse.
- BEISPIEL:
 Differenzdruck-Belüfter-neu = 34 hPa
 Differenzdruck-Belüfter-gebraucht = 93 hPa
 Druckerhöhung (Einblastiefe plus Saugverluste) = 550 hPa

$$\text{Energieverbrauch} \cong \frac{550 + 93}{550 + 34} = 1,10$$

- Der Energiebedarf ist ca. 10% größer als mit neuen Belüftern.

Veränderung der Wirtschaftlichkeit SAUERSTOFFAUSNUTZUNG (1)

- Aussagekräftige Werte sind durch Reinwassermessungen mit gebrauchten Belüftern zu ermitteln.
 - ⇒ Auf Anlagen aufwändig und teuer!
 - ⇒ Abhilfe: Messungen in kleinerem Maßstab (Veränderung abschätzbar)
- Untersuchungen von Krampe 2008 (zwei Großanlagen, unterschiedliche ungereinigte Belüfter) zeigen eine **Abminderung der Sauerstoffausnutzung bis 28%**

Veränderung der Wirtschaftlichkeit SAUERSTOFFAUSNUTZUNG (2)

- Eigene Messungen an mehreren Anlagen (Beckenvolumen 12.000m³ bis 6m³) zeigen Abminderungen der **Sauerstoffausnutzung** von bis zu **-15 %** (mit ungereinigten Belüftern)
- Es wurden auch vergleichende Messungen an **ungereinigten** und **gereinigten** Belüftern durchgeführt.
 - ⇒ Wenn die Belüfter offensichtlich **gedehnt** waren, war die **Sauerstoffausnutzung niedriger** als mit ungereinigten Belüftern. Außerdem wurden an den gereinigten Belüftern teilweise niedrigere Druckverluste als an **neuen** Belüftern gemessen.

Abgasungsverhalten – Druckverlust Tellerbelüfter Ø ca. 180 mm, EPDM, 8 Jahre, 5m³/h



ungereinigt

$$\Delta p_{\text{Membran}} = 2,2 \cdot \Delta p_{\text{neu}}$$



gereinigt

$$\Delta p_{\text{Membran}} = 0,8 \cdot \Delta p_{\text{neu}}$$

Veränderung der Wirtschaftlichkeit

ZUSAMMENFASSUNG

- Wenn Belüfter offensichtlich **bleibend verändert** sind (gedehnt, versprödet, etc.), ist, auch nach einer Reinigung der Belüfter, mit einer **Verschlechterung** der Wirtschaftlichkeit zu rechnen.
- Wenn **keine Veränderung** des Material erkennbar ist, und der Druckverlust nicht erhöht ist, können auch nach einigen Betriebsjahren **hohe Sauerstoffertragswerte** erreicht werden.
 - ⇒ Messungen in einem Umlaufbecken mit ca. 12.000m³ in Reinwasser an neuen, ungereinigten und gereinigten Belüftern aus PU im zeitlichen Abstand von 7 Jahren.
 - Sauerstoffertrag (neu) = 100 %
 - Sauerstoffertrag (**ungereinigt** nach 7 Jahren) = 74 %
 - Sauerstoffertrag (**gereinigt** nach 7 Jahren) = 97 %

ZUSAMMENFASSUNG:

Was haben wir gelernt?

- Frühzeitiges **Erkennen** ist wichtig (spezifische Werte, Materialeigenschaften, Druckmessungen)
 - ⇒ Auch **Neuzustand** erfassen, um Veränderungen erkennen und bewerten zu können.
 - ⇒ Die Tendenz, dass der **Druck steigt**, ist (fast) immer vorhanden.
- **Ursachen** feststellen
- **Vorbeugende** Maßnahmen setzen
- **Wirtschaftlichkeit** beurteilen

Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!

