



# 30. Sprechertagung ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften und 20. Sprechertagung ÖWAV-Kanal-Nachbarschaften



## Zustandsbewertung von Belüftungssystemen

Wilhelm Frey

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung



# PARAMETER

## ⇒ Sauerstoffzufuhr SOTR [kg/h]

- Masse an Sauerstoff die pro Zeit, bei 101,3 kPa, 20°C und 0 mg/L Sauerstoff eingetragen wird.

## ⇒ Sauerstoffertrag SAE [kg/kWh]

- Masse an Sauerstoff die pro Kilowattstunde, bei 101,3 kPa, 20°C und 0 mg/L Sauerstoff eingetragen wird.

## ⇒ Sauerstoffausnutzung SSOTR [g/(m<sub>N</sub><sup>3</sup>·m)]

- Masse an Sauerstoff die pro Normkubikmeter Luft und Meter Einblastiefe, bei 101,3 kPa, 20°C und 0 mg/L Sauerstoff eingetragen wird.

## ⇒ Ermittlung nach EN ÖN 12255-15

Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen



# Umrechnungen - Sauerstoffausnutzung

⇒ Die Sauerstoffausnutzung kann (nach EN 12255 Teil 15) unterschiedlich angegeben werden:

- Gramm Sauerstoff pro Normkubikmeter Luft und Meter Einblastiefe  $[g/m_N^3/m]$  →  $SSOTR = \frac{SOTR}{Q_{L,St} \cdot h_D} \cdot 1000$   $[g/(m^3 \cdot m)]$
- Masseprozent Sauerstoff pro Meter Einblastiefe  $[%/m]$  →  $SSOTE = SSOTR/2,99$  oder  $SSOTE = \frac{100 \cdot SOTR}{h_D \cdot (Q_{L,St} \cdot 0,299)}$   $[%/m]$
- Masseprozent Sauerstoff auf die gesamte Einblastiefe im Becken  $[%]$  →  $SOTE = SSOTE \times h_D$

⇒ Als Normbedingungen von Luft werden eine Temperatur von 0° Celsius und ein Druck von 101,325 kPa bezeichnet. Die Luftfeuchte ist Null.

⇒ Ein Normkubikmeter (trockener) Luft hat eine Masse von 1,293 kg. Berücksichtigt man die Zusammensetzung der Luft und die unterschiedlichen Molekülmassen der Luftbestandteile (Sauerstoff, Stickstoff, Edelgase, ...), kann man ausrechnen, das in einem Normkubikmeter trockener Luft 299 g Sauerstoff enthalten sind.

⇒ **BEISPIEL:** In ein Belebungsbecken mit einer Einblastiefe von 4,3 Meter werden mit einem Luftvolumenstrom von 1900  $m_N^3/h$  eine Sauerstoffzufuhr (SOTR) von 170 kg/h erreicht.

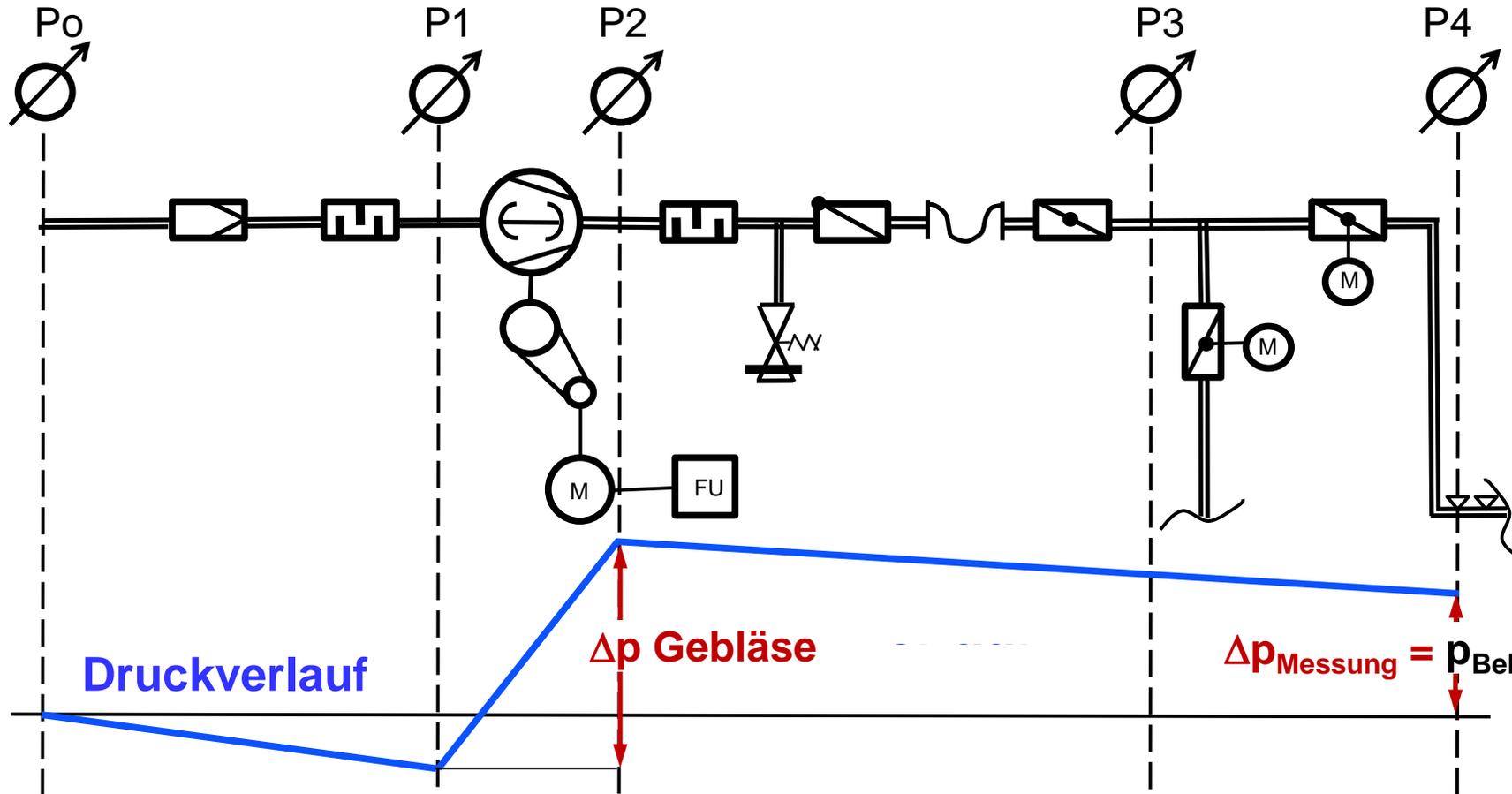
- Die Sauerstoffausnutzung beträgt:  
 $SSOTR = 170 \times 1000 / 1900 / 4,3 = 20,8 \text{ g}/m_N^3/m$   
 $SSOTE = 20,8 / 2,99 = 7,0 \text{ } \%/m$   
 $SOTE = 7,0 \times 4,3 = 29,9 \text{ } \%$

Sie wollen mehr erfahren? → Kamera draufhalten und Internet öffnen!



# DRUCKVERLUST

## Druckverlauf im Rohrleitungssystem



- ⇒ Druckverlust auf der Saugseite  
 $\Delta p_{\text{saug}} = p_1 - p_0$
- ⇒ Druckerhöhung Gebläse  
 $\Delta p_{\text{Gebläse}} = p_2 - p_1$
- ⇒ Druckverlust Lufttransportleitung  
 $\Delta p_{\text{Leitung, 2,3}} = p_2 - p_3$   
oder  
 $\Delta p_{\text{Leitung, 2,4}} = p_2 - p_4$
- ⇒ Druckverlust Belüfter  
 $\Delta p_{\text{Belüfter}} = p_4 - p_{\text{Tiefe}} - p_{\text{Rohr}}$

Druckverlauf

$\Delta p$  Gebläse

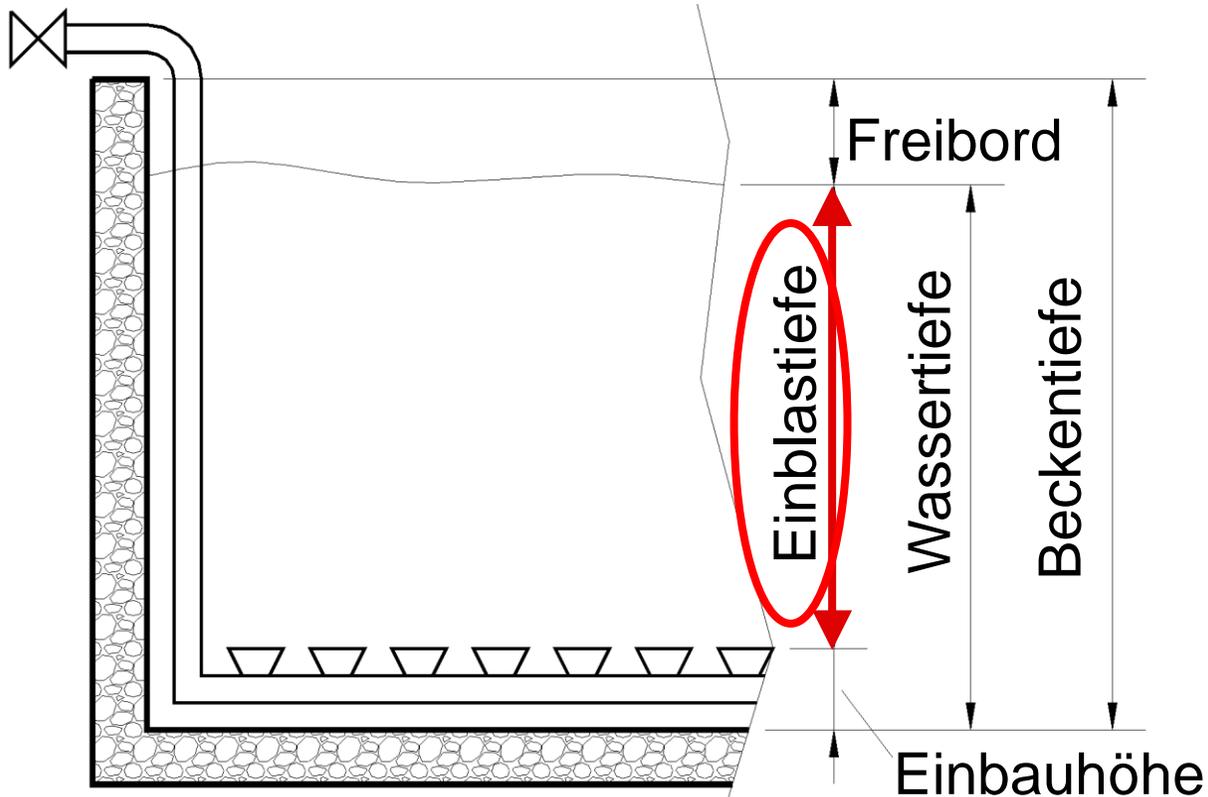
$\Delta p_{\text{Messung}} = p_{\text{Belüfter}} + p_{\text{Tiefe}} + p_{\text{Rohr}}$

# Druckmessung: Geräte und Messstelle



# DRUCKVERLUST

## Bezeichnungen Beckenschnitt, Beispiel



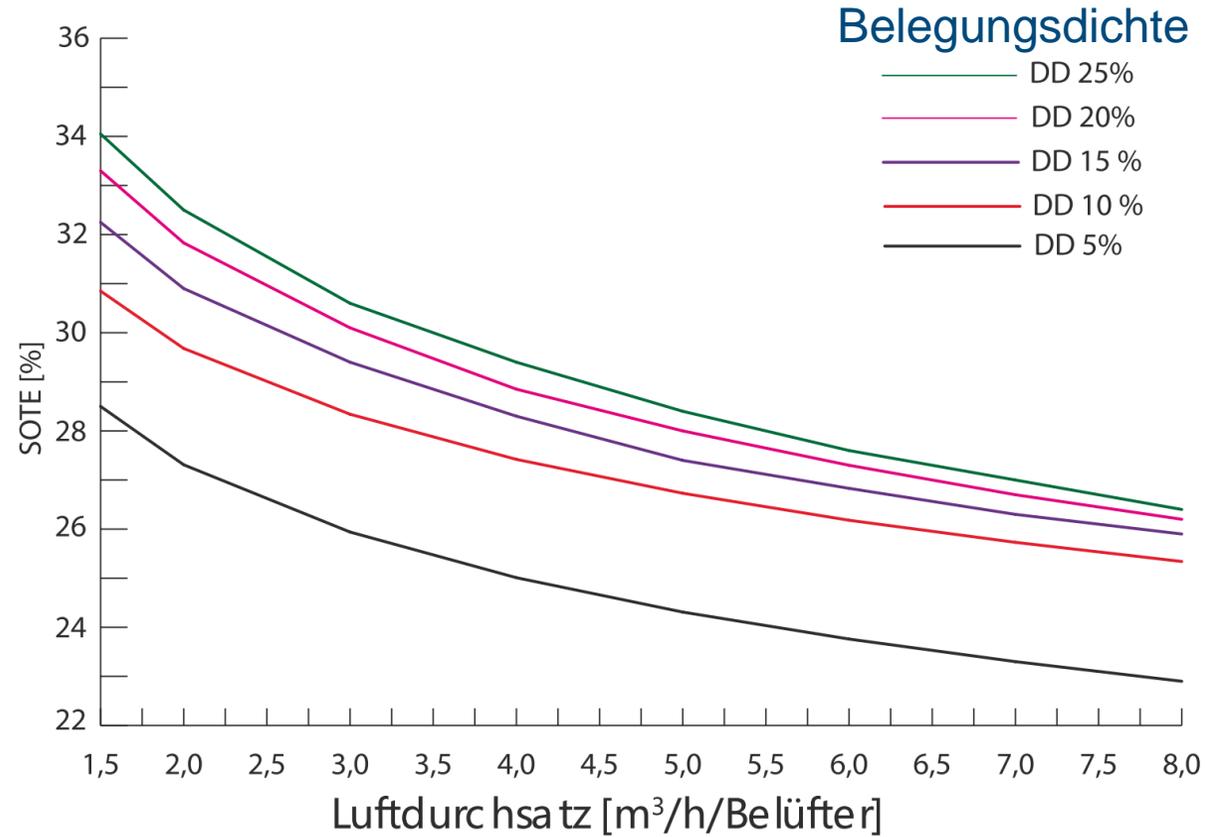
- ⇒ Beckentiefe: 6,5 m; Freibord = 84 cm
- ⇒ Einbauhöhe ca. 0,24 m über dem Boden
- ⇒ Einblastiefe  $h_D = 6,5\text{m} - 0,84\text{m} - 0,24\text{m} = 5,42\text{m}$
- ⇒ Druckmessung:  $p_{\text{Messung}} = 654 \text{ hPa}$
- ⇒ Wasserdruck aus Einblastiefe:  
 $p_{\text{Einblastiefe}} = 5,42\text{m} \times 98,1\text{hPa/mWS} = 532 \text{ hPa}$
- ⇒ Druckverlust Tellerbelüfter (neu) **ca. 35 hPa**
- ⇒ Druckverlust Rohrleitung ca. 3 hPa
- ⇒ Druckverlust des Belüfterelementes:  
 $p_{\text{Belüfter}} = p_4 - p_{\text{Einblastiefe}} - p_{\text{Rohrleitung}}$   
 $p_{\text{Belüfter}} = 654 - 532 - 3 = \mathbf{119 \text{ hPa}}$

# Datenblatt Belüfter

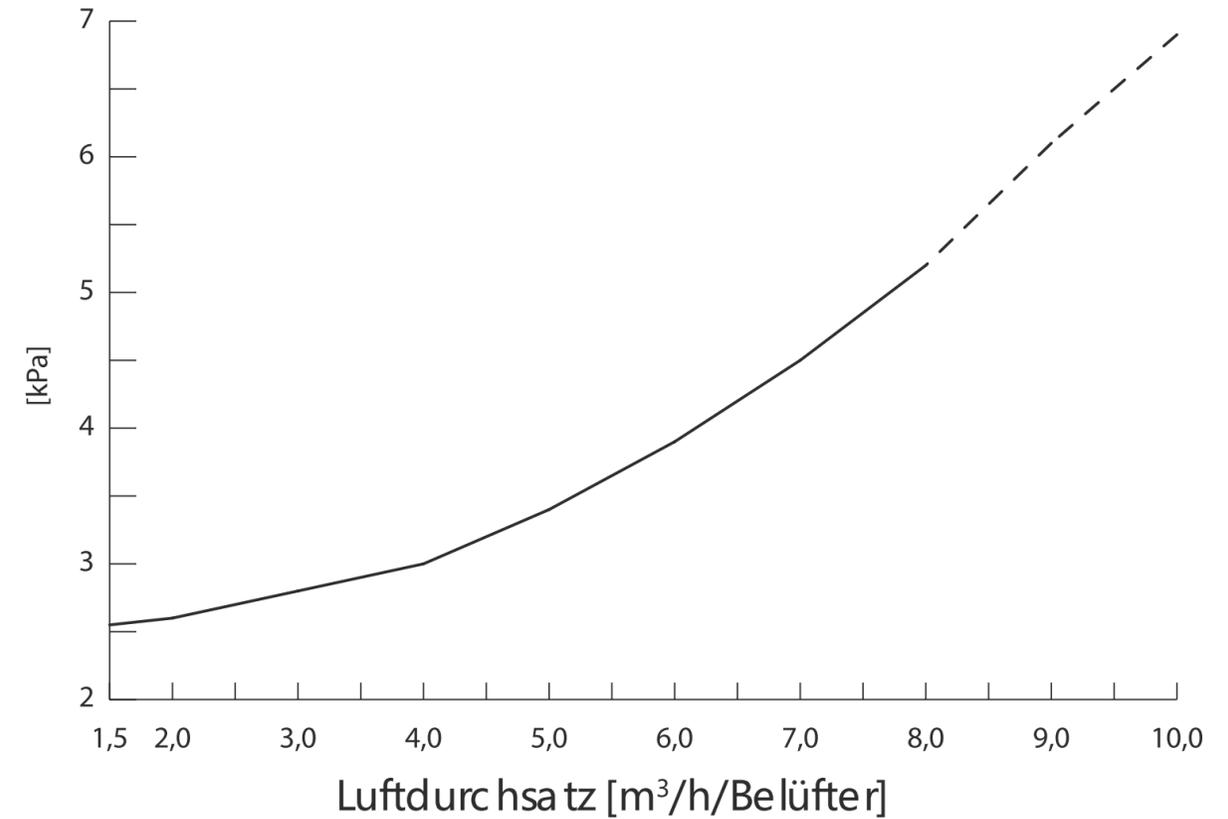
## „Prospektwerte“



Sauerstoffausnutzung bei Standardbedingungen, SOTE



Druckverlust



Reinwasser, Standardbedingungen (+ 20 °C, 101,3 kPa), Feststoffe 1000 mg/l, Wassertiefe 4 m, Belegungsdichte DD = Gesamtoberfläche Belüfter / Gesamtbeckenbodenfläche



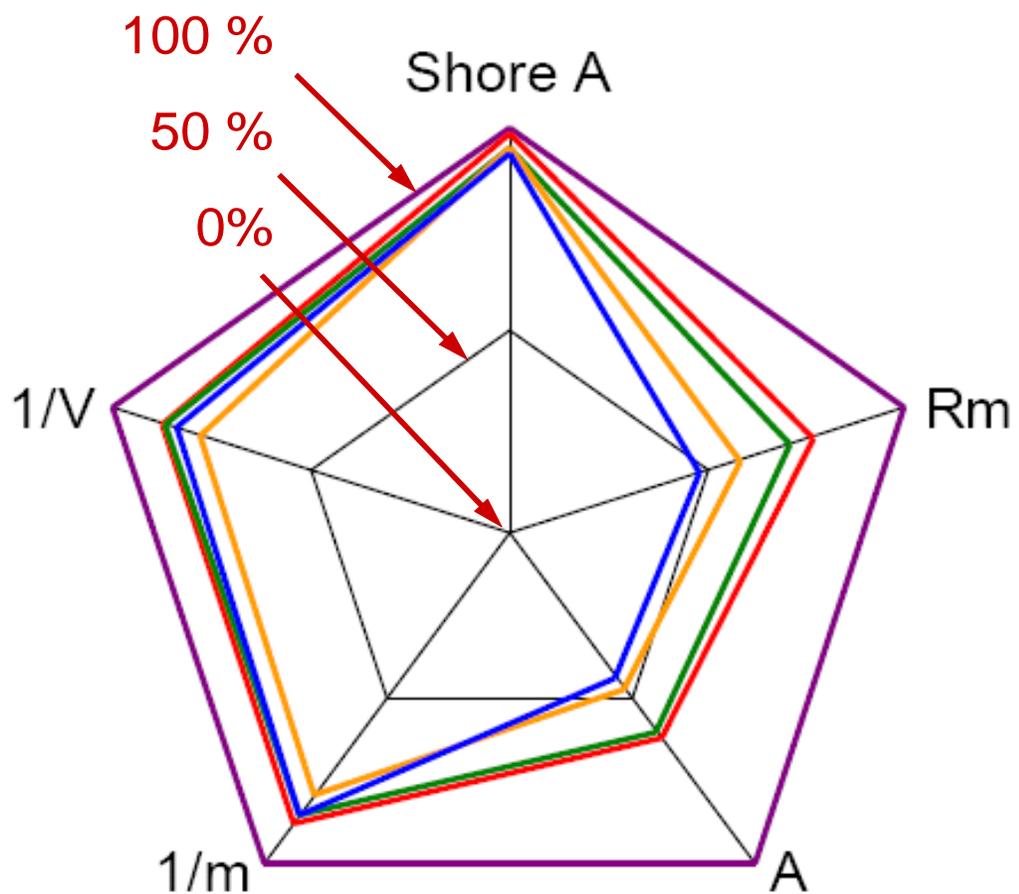
# Materialveränderungen

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

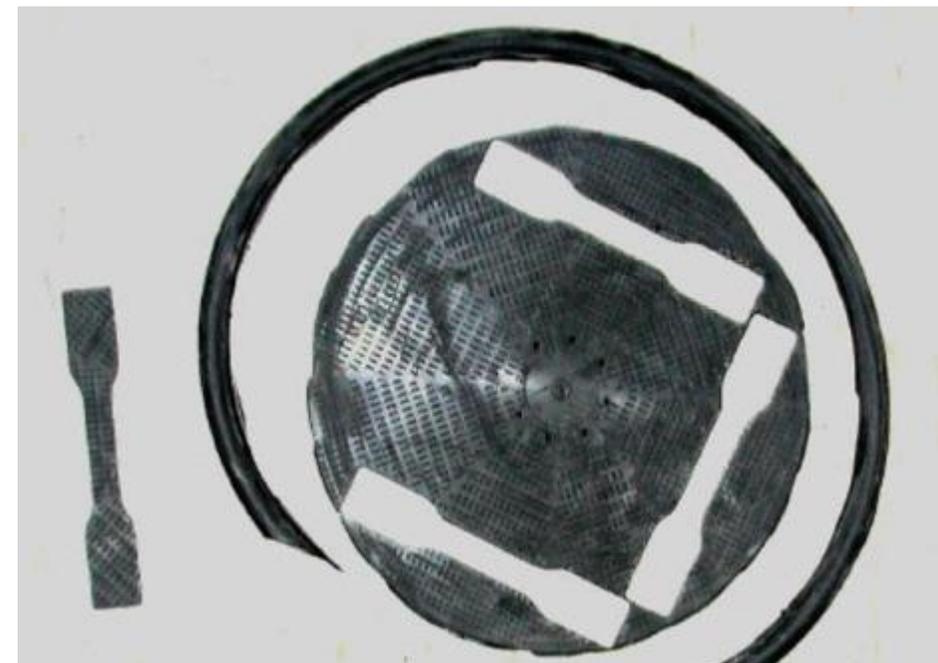


# MATERIALPRÜFUNG

## Ergebnisse



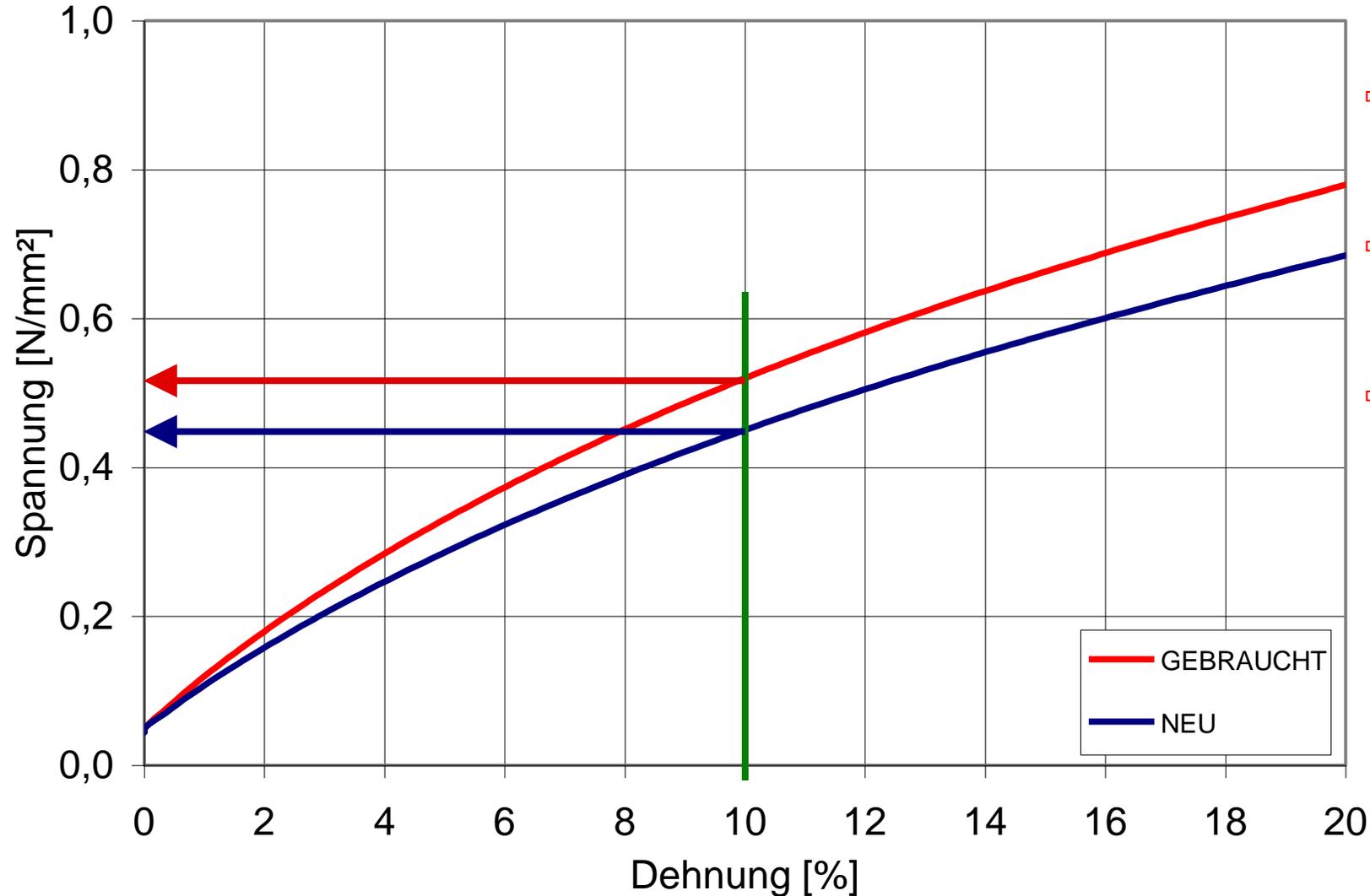
## Probenvorbereitung



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

# Veränderung der Materialeigenschaften

## Spannungs – Dehnungs - Diagramm



- ⇒ Für die selbe **Dehnung** ist bei der gebrauchten Membran eine um ca. 10 % größere Spannung erforderlich.
- ⇒ Eine größere **Spannung** bedeutet eine größere Kraft um die Membran zu dehnen.
- ⇒ Eine größere Kraft bedeutet einen höheren **Druckverlust** der Membran .



# Makroskopische Bemusterung



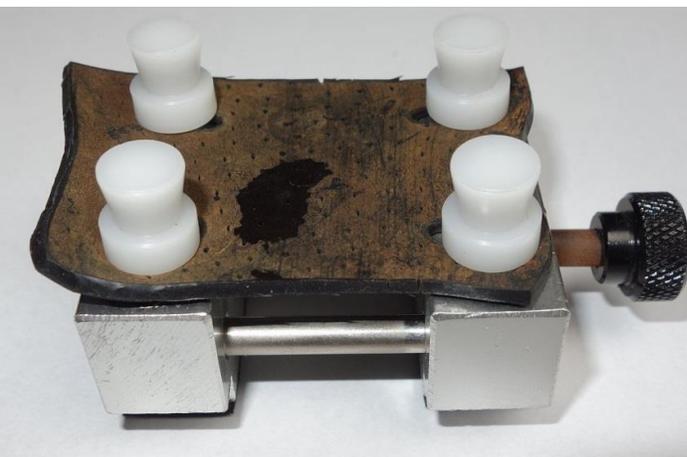
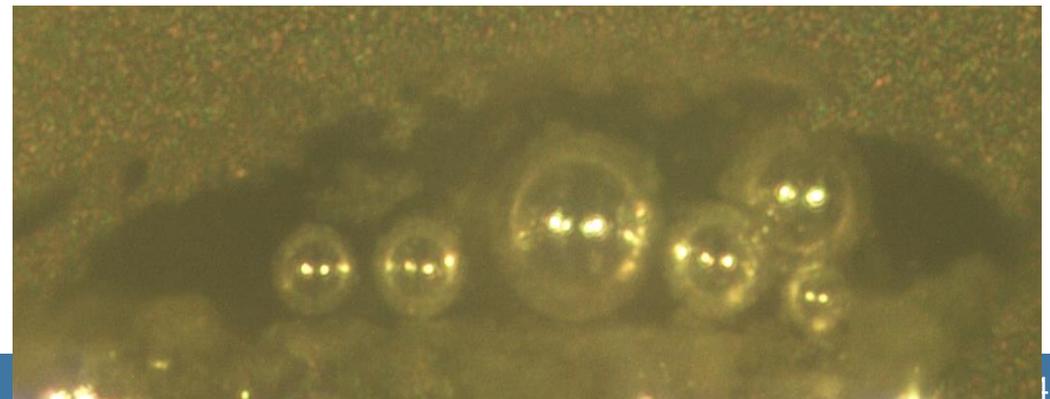
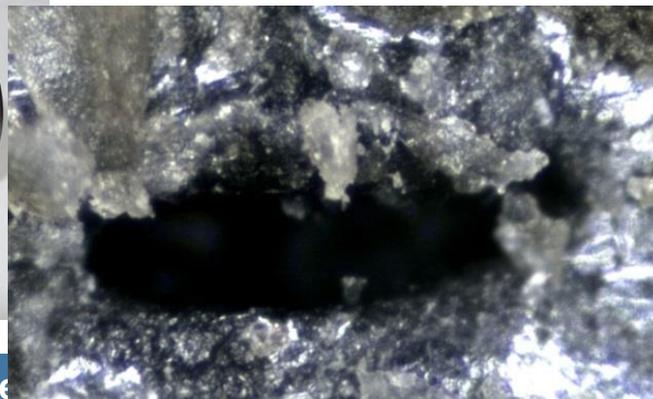
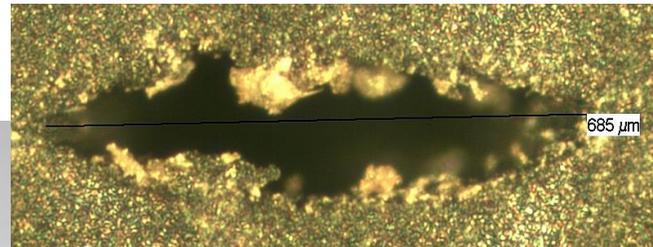
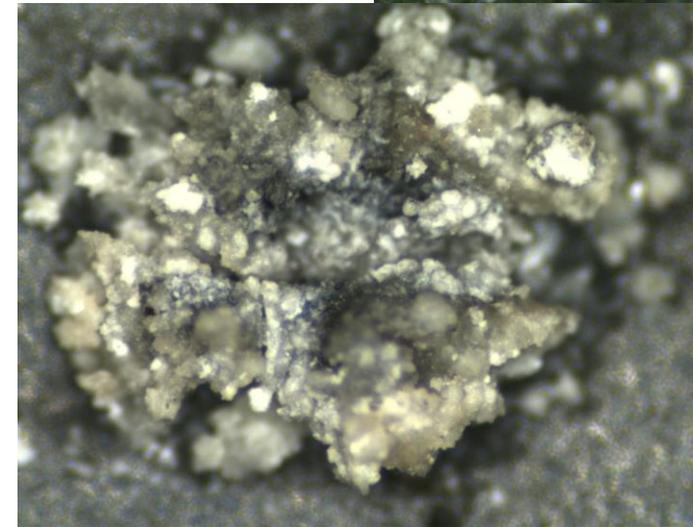
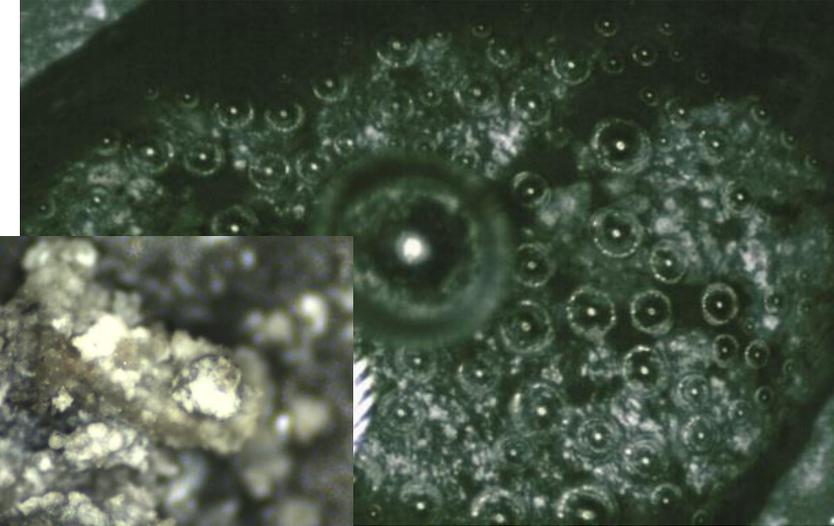
- ⇒ Quellen und Schrumpfen des Materials
- ⇒ Risse im Material
- ⇒ Formveränderungen





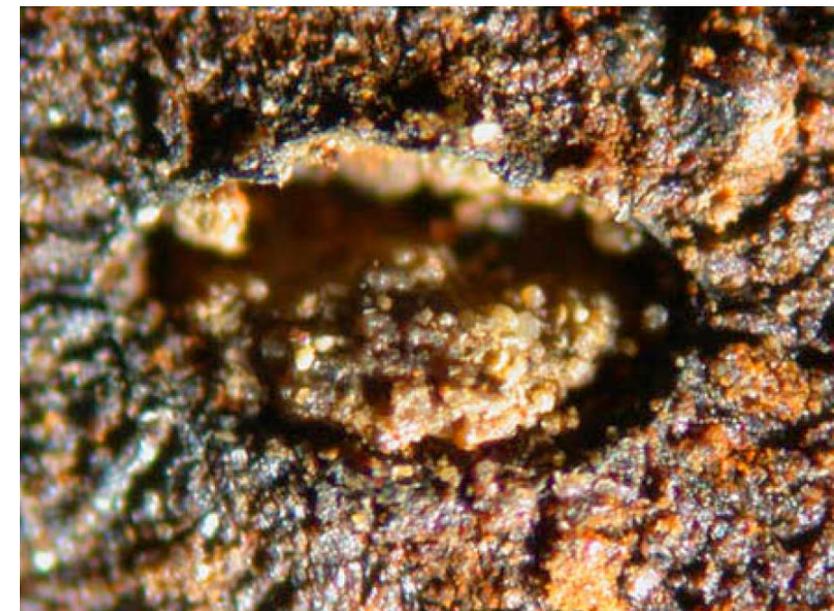
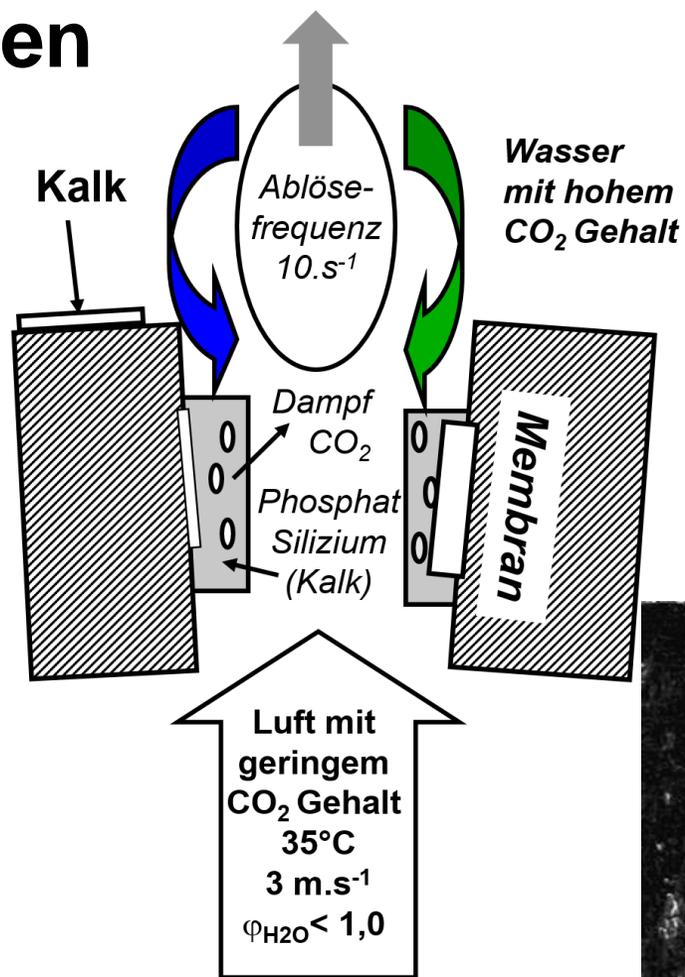
# Mikroskopische Bemusterung

- ⇒ Membran auf Halterung leicht vorgespannt, um die Poren besser zu erkennen
- ⇒ Grad der Verstopfung
- ⇒ Ort der Verstopfung (Luftseite – Wasserseite)
- ⇒ Löslichkeitsverhalten in Kontakt mit Säure
  - Blasenbildung durch Kalk in den Ablagerungen
  - Informationsgewinn für Wartungsmaßnahmen



# 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<sub>2</sub>** 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**.



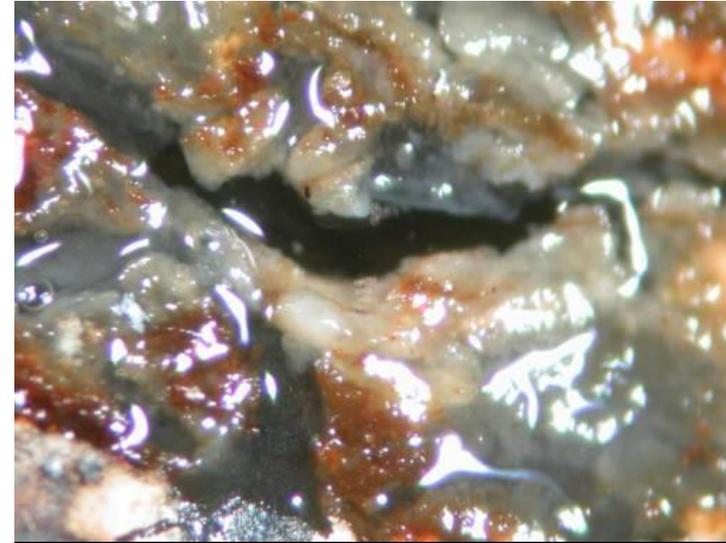


# Löslichkeitsverhalten von Ablagerungen

## ⇒ Reaktion mit Säure

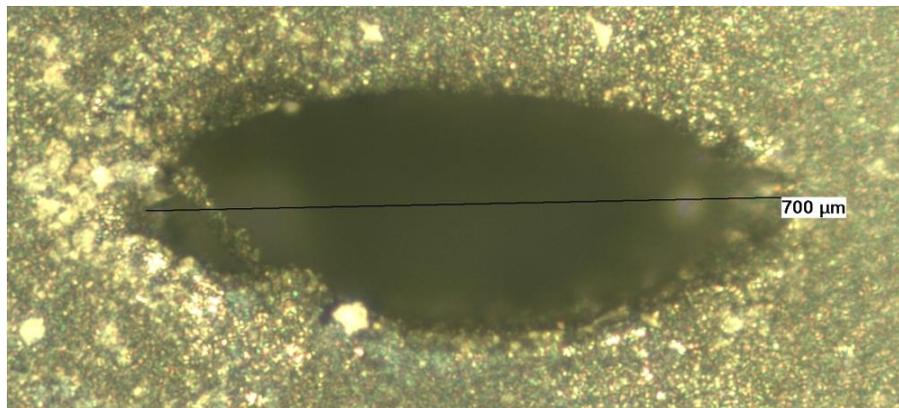


## ⇒ Reaktion mit Lauge

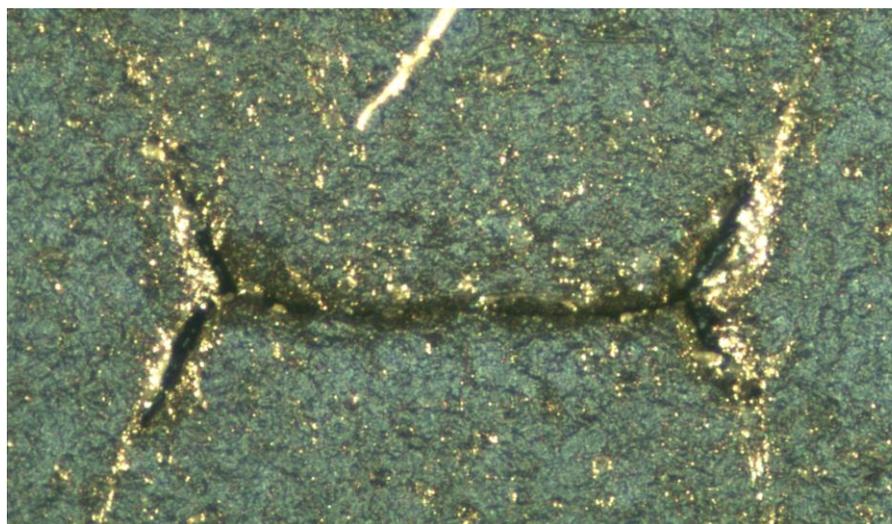




# Veränderungen der Poren



- ⇒ Im Neuzustand
  - Schlitzte oder Löcher
- ⇒ Nach Gebrauch
  - Dehnung, Risse
- ⇒ Größere Poren bedeuten kleineren Druckverlust aber auch größere Blasen und damit eine kleinere Sauerstoffausnutzung
- ⇒ **Wirtschaftlichkeit?**



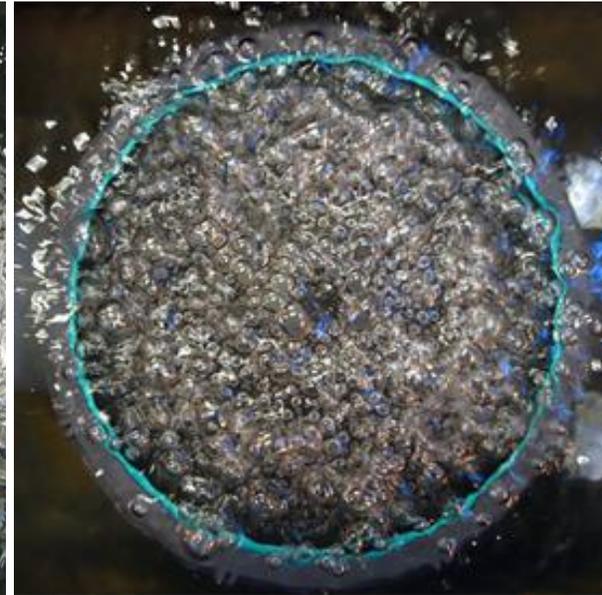
# Druckverlust - Abgasungsverhalten



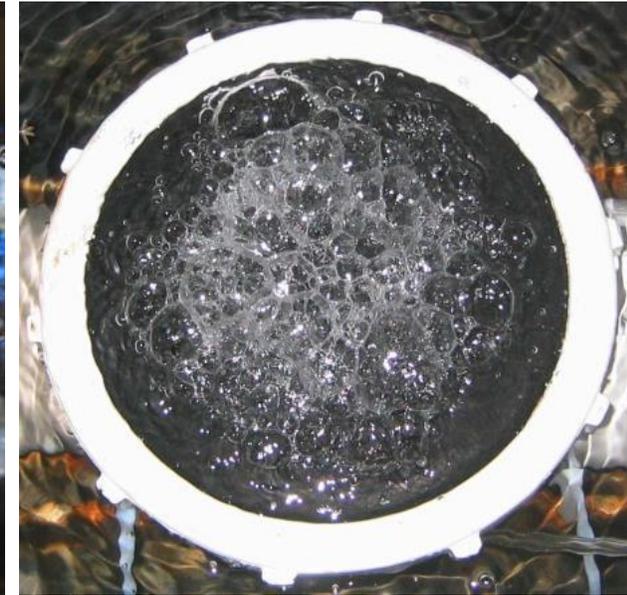
Neuzustand –  
gutes Blasenbild



Gebraucht ungereinigt –  
gutes Blasenbild



Gebraucht ungereinigt –  
schlechtes Blasenbild



Gebraucht gereinigt –  
schlechtes Blasenbild

## WIRTSCHAFTLICHKEIT?





# Veränderung der Wirtschaftlichkeit (1)

⇒ **Für den Betrieb ist die Wirtschaftlichkeit des Belüftungssystems wichtig.**

- **Druckverlust** des Belüfters
- **Sauerstoffausnutzung**

⇒ **Beide Größen werden durch Materialveränderungen, Beschädigungen und Ablagerungen beeinflusst.**

- Veränderung des Abgasungsverhaltens (Blasengrößenspektrum, Blasenablösung, Blasenablösefrequenz, ...)

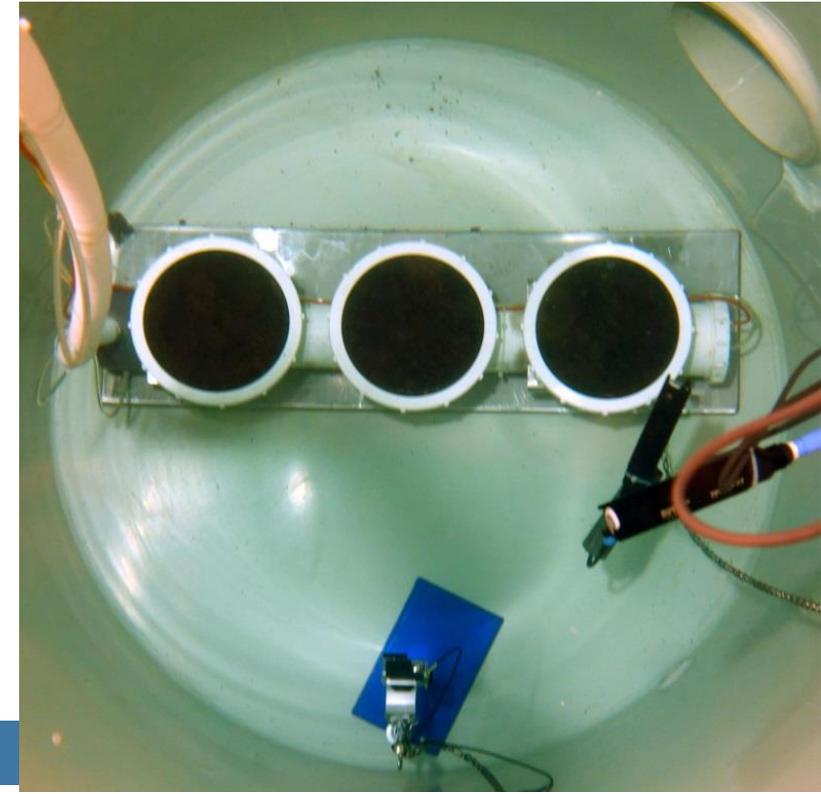
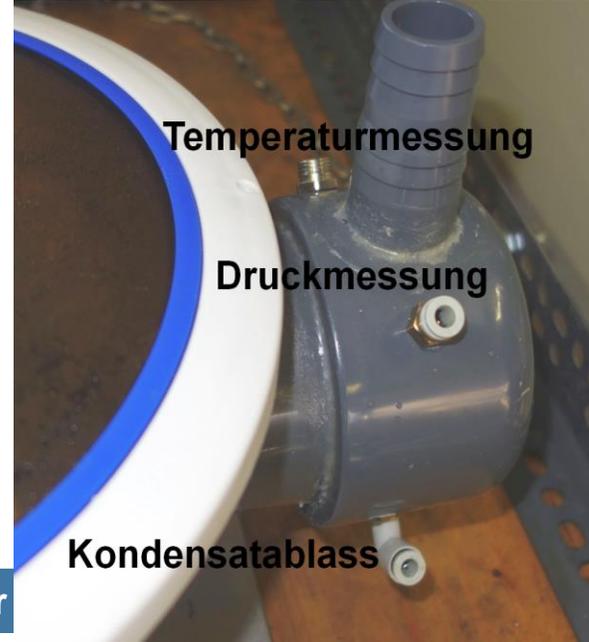
⇒ **Beurteilung nur mit Druckmessungen ist nicht ausreichend. Zusammenfassende Betrachtung Druckverlust und Sauerstoffausnutzung erforderlich!**



## Veränderung der Wirtschaftlichkeit (2)

- ⇒ **Wiederholungsmessungen** zur Ermittlung der Sauerstoffausnutzung an gebrauchten Belüftern in Reinwasser in der Großanlage sind **teuer** und werden sehr selten durchgeführt
- ⇒ **Vergleichsmessungen in halbtechnischen Anlagen** als Alternative
  - Keine Absolutwerte aber Veränderungen können erkannt werden.
    - Messung des **Druckverlustes** in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung
    - Messung der **Sauerstoffausnutzung** in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung
    - Messungen im Neuzustand (Referenzwerte) und an gebrauchten Belüftern
- ⇒ Berechnung der **Veränderung des Energieverbrauches** aus dem Vergleich der Referenzwerte mit den Messwerten der gebrauchten Membranen.

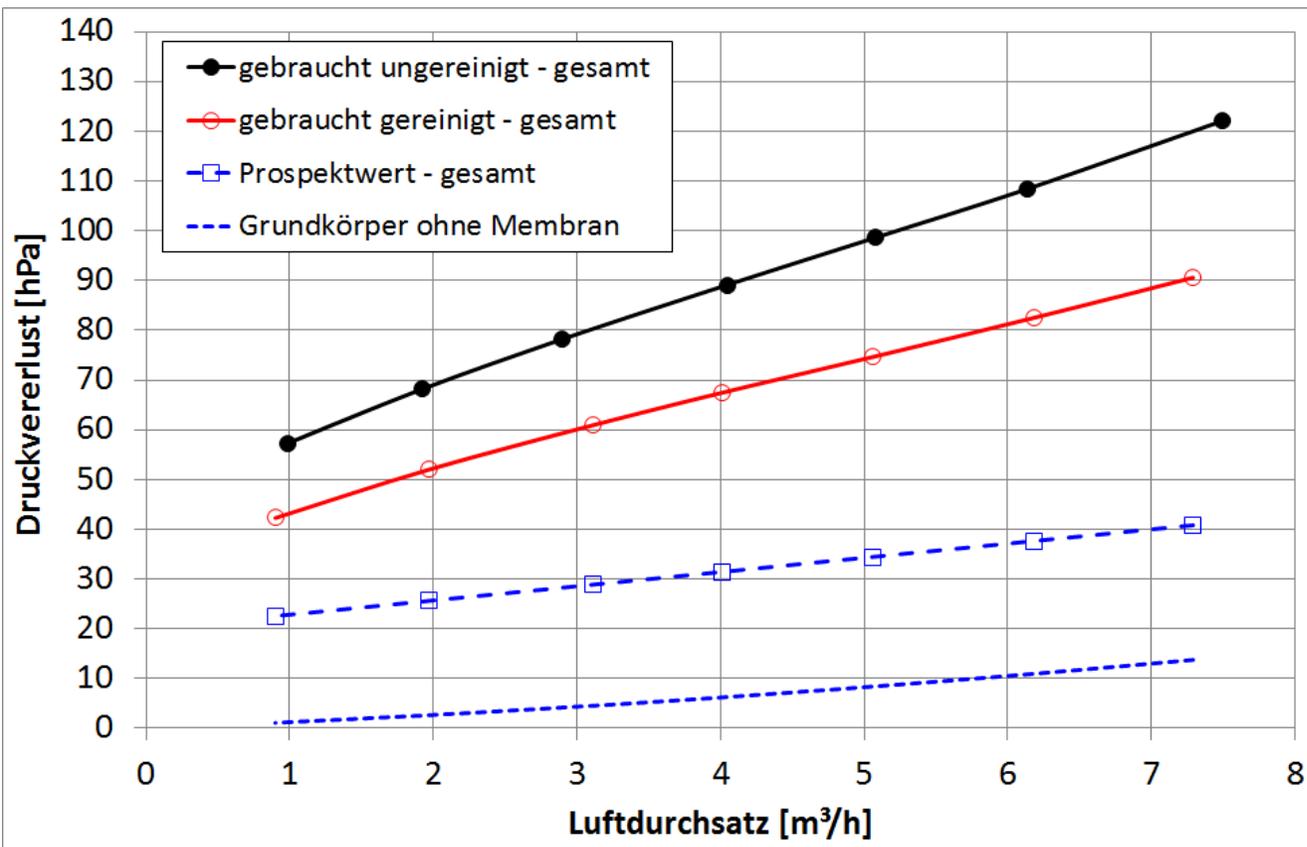
# Versuchsanlage





# BEISPIEL – Veränderung der Wirtschaftlichkeit - DRUCK

## Ergebnis der Druckmessung



Die Belüftungsenergie ist, bei gleichem Luftvolumenstrom und Zustandsgrößen der Luft, näherungsweise direkt **proportional der Drucksteigerung** im Gebläse.

**BEISPIEL:** (z.B. für 4 m³/h)

Differenzdruck-Belüfter-neu = 32 hPa

Differenzdruck-Belüfter-gebraucht = 90 hPa

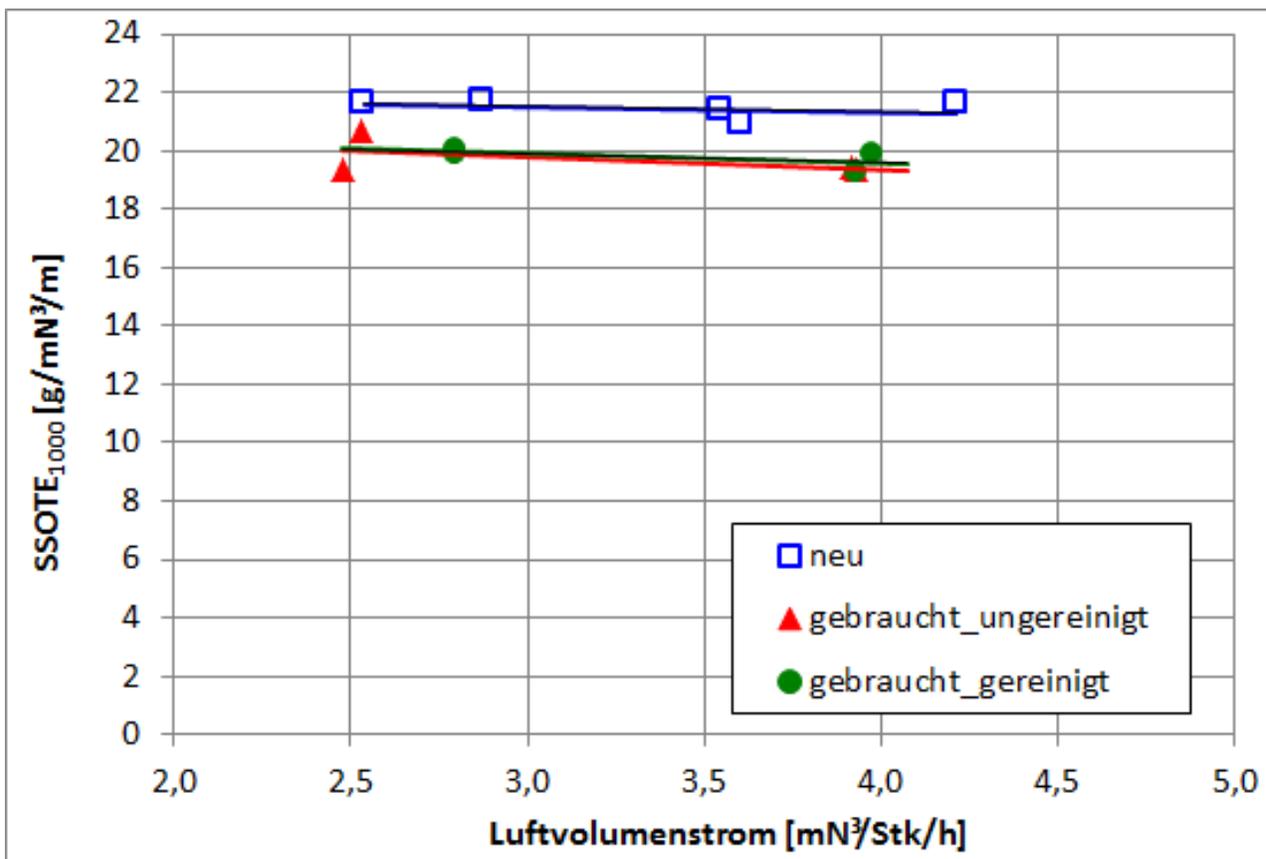
Wasserdruck (Annahme) = 450 hPa

$$\frac{\text{Leistung}_{\text{Druck-gebraucht}}}{\text{Leistung}_{\text{Druck-neu}}} = \text{Faktor}_{\text{Druck}} \cong \frac{450 + 90}{450 + 32} = 1,12$$

Der Energiebedarf ist **ca. 12% größer** als mit neuen Belüftern.

# BEISPIEL – Veränderung der Wirtschaftlichkeit - SSOTE

## Ergebnis der Sauerstoffzufuhrmessung



Für die gleiche Sauerstoffzufuhr ist mit gebrauchten Belüftern ein größerer Luftmassenstrom erforderlich, dadurch wird mehr Energie für das Gebläse benötigt.

BEISPIEL: (Annahme: Luftbeaufschlagung = 4 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/Stk/h)

Sauerstoffausnutzung-Belüfter-neu = 21,3 g/m<sub>N</sub><sup>3</sup>/m

Sauerstoffausnutzung-Belüfter-gebr. = 19,6 g/m<sub>N</sub><sup>3</sup>/m

Näherungsweise gilt:

$$\frac{\text{Leistung}_{\text{SSOTE-neu}}}{\text{Leistung}_{\text{SSOTE-gebraucht}}} = \text{Faktor}_{\text{SSOTE}} \cong \frac{21,3}{19,6} = 1,09$$

Für die gleiche Sauerstoffzufuhr wird ca. 9% mehr Luft und damit **ca. 9% mehr** Energie als mit neuen Belüftern benötigt.



# Veränderung der Wirtschaftlichkeit

## GESAMTBETRACHTUNG

- ⇒ **Druckverlust der Belüfter** → **Steigt** in der Regel während der Gebrauchsdauer, damit steigt der Energieverbrauch und die Wirtschaftlichkeit sinkt.
- ⇒ **Sauerstoffausnutzung** → **Sinkt** in der Regel während der Gebrauchsdauer, damit steigt der Energieverbrauch und die Wirtschaftlichkeit sinkt.
- ⇒ Die **Sauerstoffausnutzung und der Druckverlust** sind eine Funktion des Luftvolumenstromes, daher ist für eine **exakte Ermittlung** eine **iterative Berechnung** notwendig.
- ⇒ **Näherungsweise** kann, aus der Erhöhung des Druckverlustes und der Verringerung der Sauerstoffausnutzung, die Veränderungen wie folgt berechnet werden:

$$\text{Leistung}_{\text{gebraucht}} = \text{Leistung}_{\text{neu}} \times \text{Faktor}_{\text{Druck}} \times \text{Faktor}_{\text{SSOTE}} = \text{Leistung}_{\text{neu}} \times 1,12 \times 1,09 = \text{Leistung}_{\text{neu}} \times 1,22$$

Der Leistungsbedarf der Belüftungseinrichtung hat sich um **ca. 22% erhöht**.



DANKE FÜR IHRE  
AUFMERKSAMKEIT!

FRAGEN?



Verfasser:  
Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey  
e-mail: [aab.frey@kabsi.at](mailto:aab.frey@kabsi.at)  
internet: [www.aabfrey.com](http://www.aabfrey.com)