

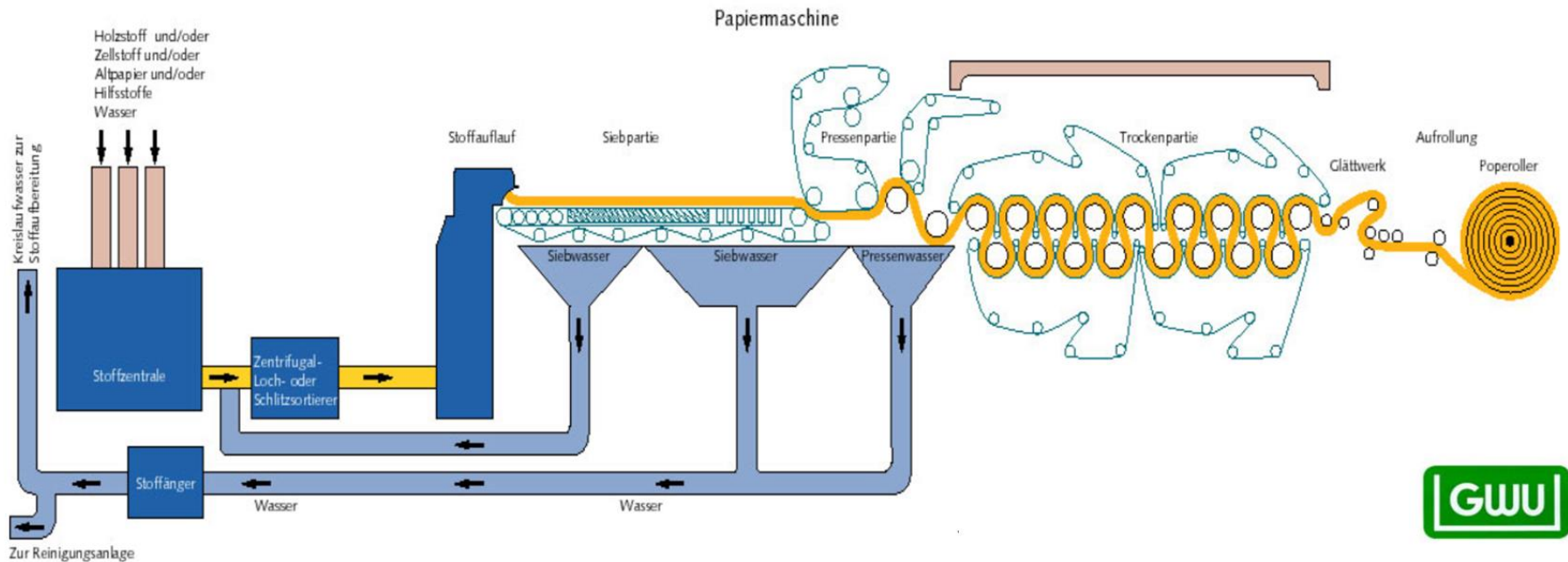
Professur für Strömungsmechanik
Institut für Strömungsmechanik
Fakultät Maschinenwesen

Reduzierung der Aktivität von Mikroorganismen mittels Kavitation

J.-A. Nöpel, F. Rüdiger

8. Workshop Kavitation, 30.11. / 01.12.2021, Kloster Drübeck

Motivation



- Prozesstemperaturen von 30 - 50 °C
- zunehmend geschlossene Wasserkreisläufe
- anaerobe Umgebungsbedingungen
- durch Altpapier bedingt hoher Eintrag organischer Nährstoffen

- hohe Beladung an Mikroorganismen
- starker Geruch, auch im Produkt nachzuweisen
- Einsatz von Biozid, ...

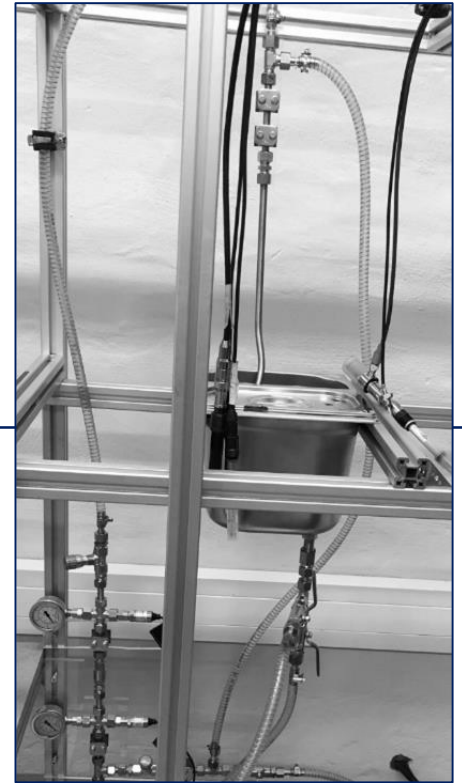
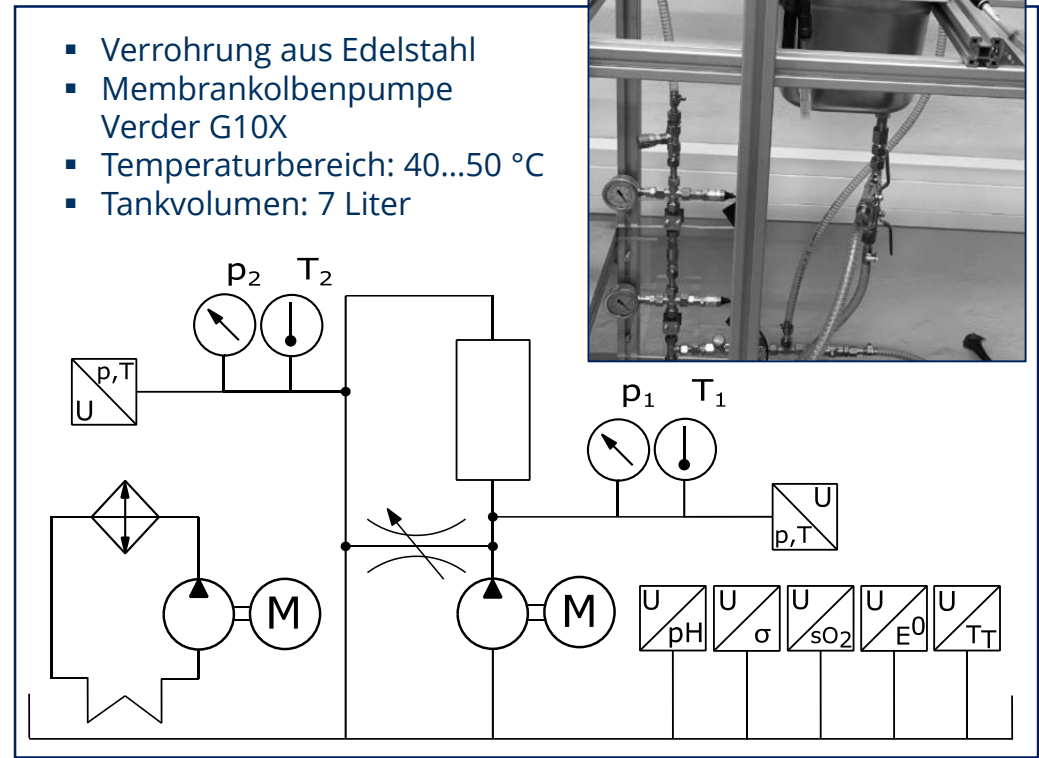
I Versuchsaufbau und Messtechnik

II Behandlungsergebnisse

III Zusammenfassung

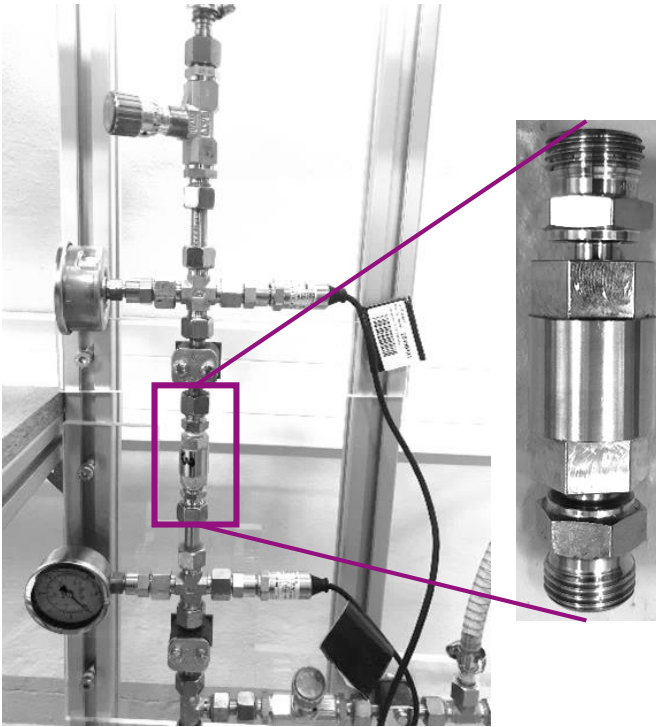
Versuchsaufbau

- Behandlung von Prozesswasser aus Papierfabrik mit Fasern und Nährstoffen sowie Mikroorganismen (Suspension)
- Messung der Prozessgrößen (im Tank):
 - pH-Wert
 - Temperatur T
 - Leitfähigkeit σ
 - Sauerstoffsättigung sO_2
 - Redoxpotenzial E^0
- Messung der Betriebsparameter (vor/hinter Kavitationserzeuger):
 - Druck p
 - Temperatur T
 - Volumenstrom \dot{V}

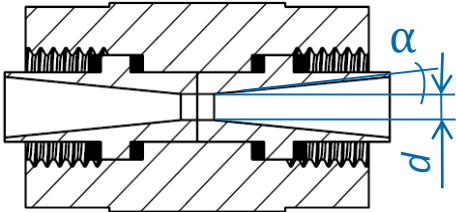


Kavitationserzeugung

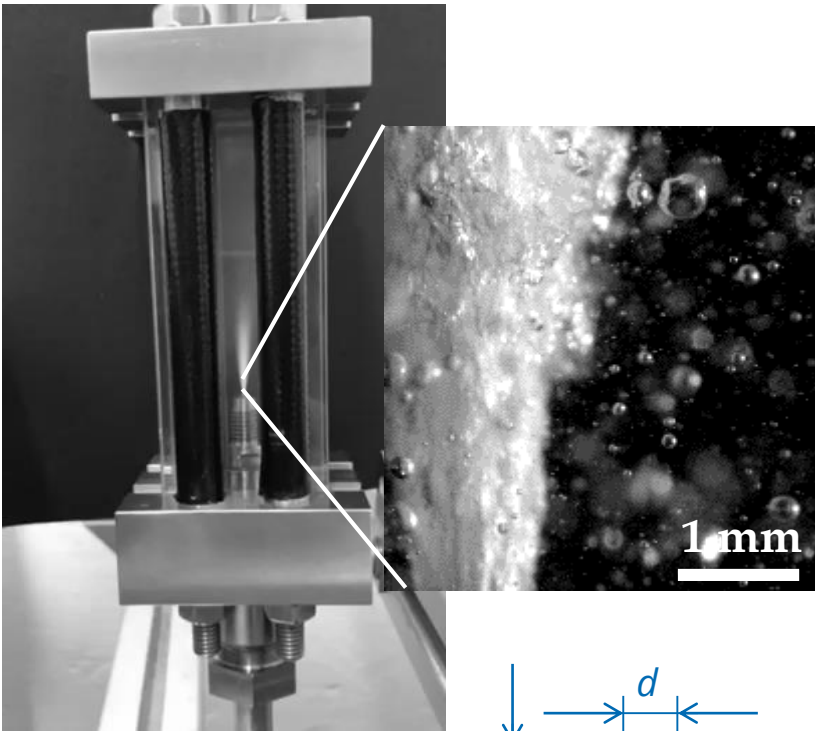
Venturidüse



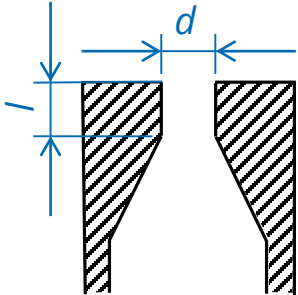
$d = 3 \text{ mm}$
 $\alpha = 10^\circ$



Einzelstrahlkavitation



$d = 0,6 \text{ mm}$
 $l = 1,5 \text{ mm}$



Messtechnik und -verfahren

Erfassung der **Prozessgrößen** (Redoxpotential E^0 , Temperatur T , pH-Wert, Sauerstoffsättigung sO_2)

- mittels Sonden im Tank
- Aufzeichnung von Momentanwerten mittels Messprogramm

Durchführung der **Dip-Slide Tests:**

- Für 10 s eintauchen in Probenwasser
- Bebrüten im Inkubator bei 36 °C
- Auswerten nach 24 h bis 72 h

Ziel: **Schnellverfahren** (in-situ), dafür

Korrelation zwischen Oxidations-Reduktions-Potenzial E^0 (ORP) und Anzahl der Mikroorganismen (MO) aus DIP-SLIDE Tests (DST) ermitteln!



Messung von T ,
pH, σ , sO_2 , E^0 im
Becherglas



Bebrütung von DST
im Inkubator



DST im Ausgangszustand ohne MO-Beladung

Messwertaufnahme

Messung der Keimanzahl

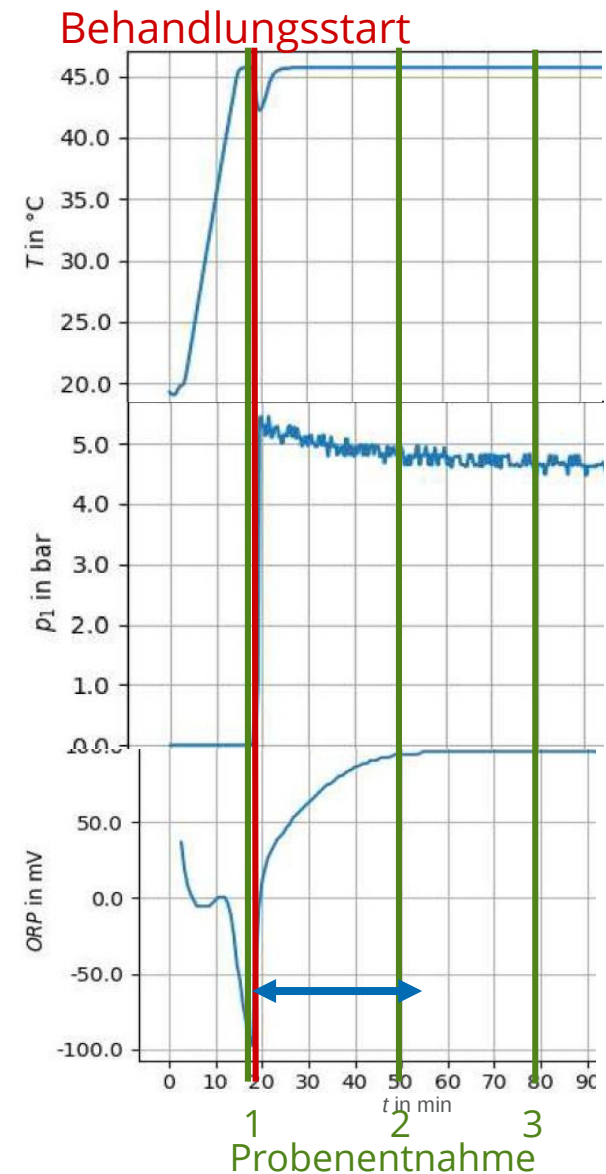
- nach dem Aufheizen ohne Behandlung (1)
- nach ca. Hälfte der Behandlungsdauer (2)
- am Ende der Behandlungsdauer (3)
→ minimal 30 Durchläufe

Betrachtungszeitraum der Behandlung

- zwischen Minimum und Erreichen des Maximums des Oxidations-Reduktions-Potenzials (ORP)

— pH-Wert und Sauerstoffsättigung ändern sich während der Behandlung kontinuierlich

⇒ Auswirkung auf **Übertragbarkeit** von Laborversuchen auf industriellen Prozess!



I Versuchsaufbau und Messtechnik

II Behandlungsergebnisse

III Zusammenfassung

Behandlungsergebnisse

Versuchsmatrix Prozesswasserbehandlung

Versuch	Durchmesser d in mm	Differenzdruck Δp in bar	Volumenstrom V in l/min	Versuchsdauer Δt in min	Durchläufe N	Leistung P in W	Energieaufwand E in kW/m ³
Venturi ⁽¹⁾ mit Kavitation	3	5	11	60	94	92	13
Strahl ⁽²⁾ mit Kavitation	0,6	40	1,3	60	11	87	12
Umlauf ⁽¹⁾ ohne Kavitation	9	0,5	11	60	94	9,2	1,3

(1) Versuche ‚Venturi‘ und ‚Umlauf‘ mit gleichem Prozesswasser (Charge 1)

(2) Versuch ‚Strahl‘ mit Prozesswasser aus Charge 2

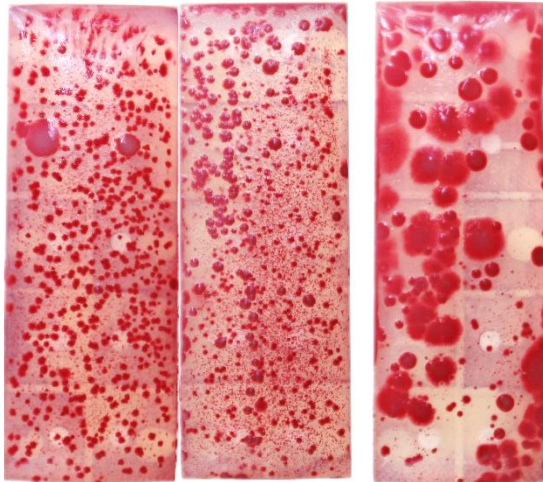
Der Zustand des Prozesswassers ist produktionsbedingt stark unterschiedlich!

Behandlungsergebnisse

Dip-Slide Test Resultate (Becherglasprobe 1:10 Verdünnung)

Venturi

$d = 3 \text{ mm}$ $\Delta p = 5 \text{ bar}$



1

2

3

Mit Kavitation

$\Delta E^0 = 40 \text{ mV}$

KBE/ml = $10^6 \rightarrow 10^4$

Strahl

$d = 0,6 \text{ mm}$ $\Delta p = 40 \text{ bar}$



1

2

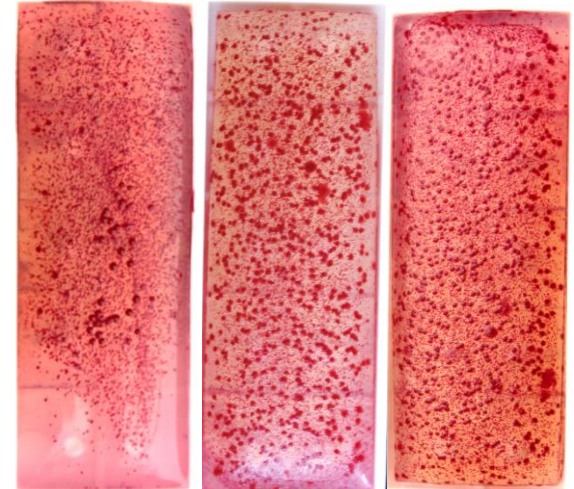
3

$\Delta E^0 = 10 \text{ mV}$

KBE/ml = $>10^7 \rightarrow 10^5$

Umlauf

$d = 9 \text{ mm}$ $\Delta p = 0,5 \text{ bar}$



1

2

3

Ohne Kavitation

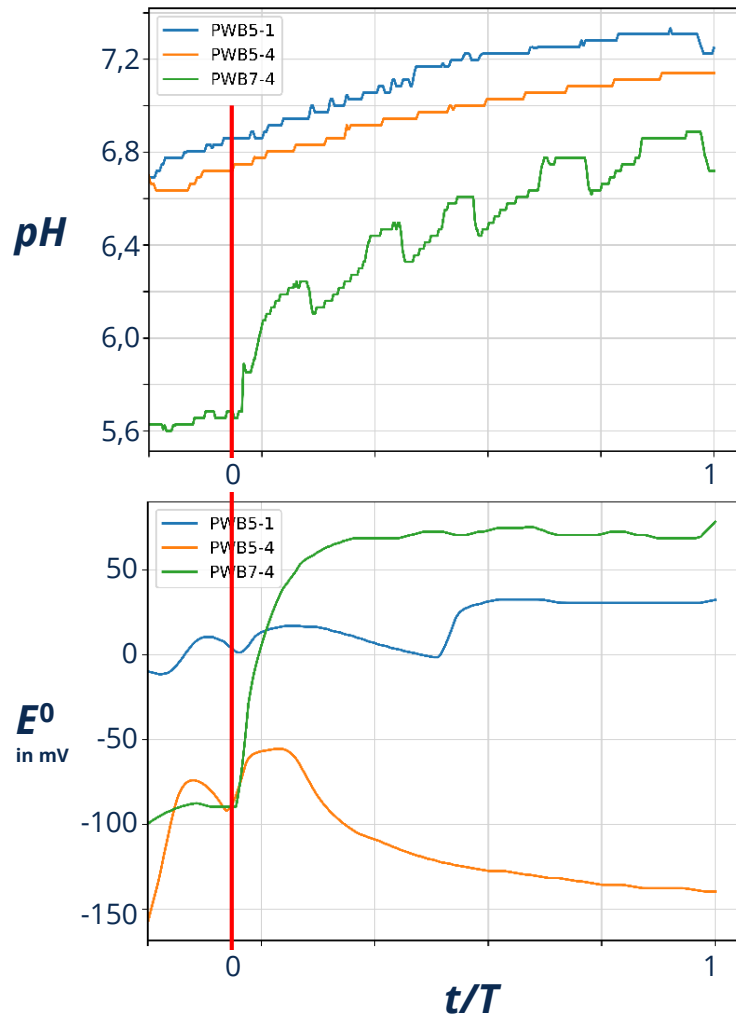
$\Delta E^0 = -7 \text{ mV}$

KBE/ml = $10^7 \rightarrow 10^7$

Behandlungszeit: 1h // Volumen: 7 Liter // Aufwärmung auf 45°C

Behandlungsergebnisse

Entwicklung Prozessgrößen im Tank während Behandlung



Venturi - PWB5-1

$d = 3 \text{ mm } \Delta p = 5 \text{ bar}$

Strahl - PWB7-4

$d = 0,6 \text{ mm } \Delta p = 40 \text{ bar}$

Umlauf - PWB5-4

$d = 9 \text{ mm } \Delta p = 0,5 \text{ bar}$

(Normierung der
Behandlungszeit t mit der
Behandlungsdauer T)

- pH-Wert-Steigerung über Versuchsdauer, nachhaltig über 2 Tage nur mit Kavitation
- Mit Kavitation Erhöhung des Redoxpotenzials (Indikator für Verringerung an MO), ohne Kavitation Absenkung

Behandlungsergebnisse

Änderung von ORP und pH Wert (Becherglasprobe – 1:10 Verdünnung)

Probe 1: Nach Erwärmung auf 45°C, vor Behandlungsbeginn

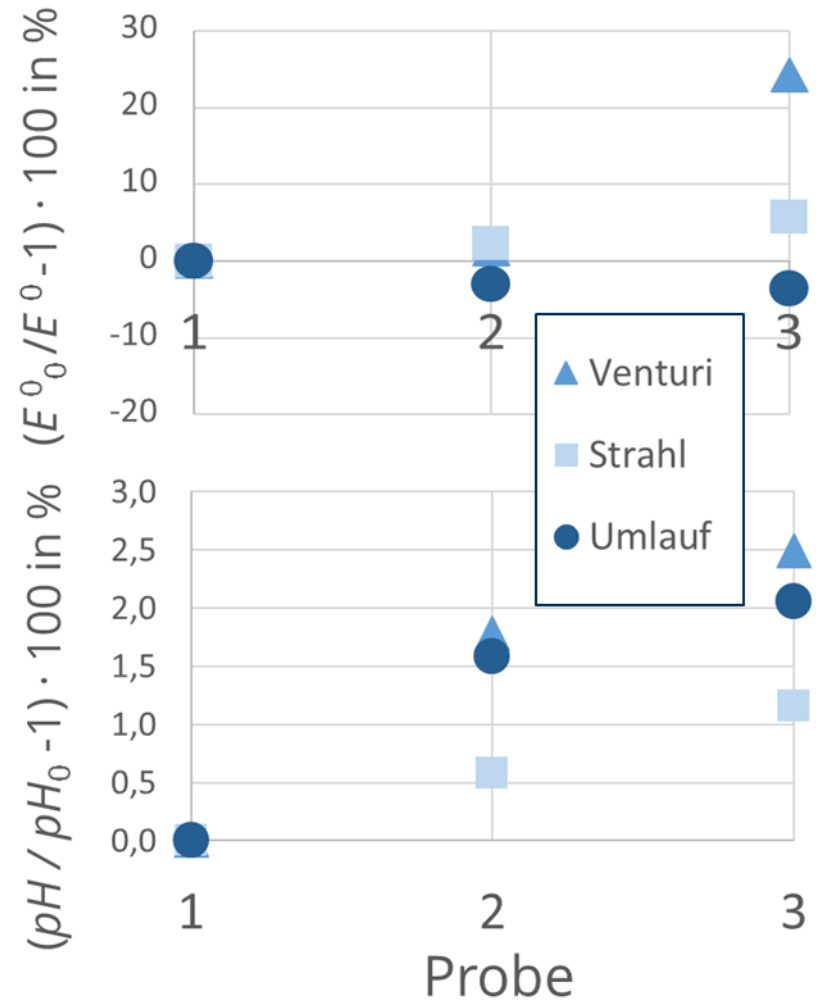
Probe 2: Nach halber Behandlungszeit

Probe 3: Am Ende der Behandlung

Verdünnung mit demineralisiertem Wasser

- $pH = 8,96$
- $\sigma = 203,02 \mu S/cm$
- $E^0 = 229,77 mV$
- $\vartheta = 21,78 ^\circ C$

Venturi und Strahl – Mit Kavitation
Umlauf – Ohne Kavitation



Behandlungsergebnisse

Veränderung der Proben durch die Behandlung mittels Kavitation

Vergleich zwischen Probe ‚unbehandelt‘ und ‚behandelt‘ **nach 2 Tagen** Standzeit im Becherglas bei Raumtemperatur

Status	Größen	Venturi	Strahl	Umlauf
Änderung pH	ΔpH	1,4	0,8	0,3
Änderung ORP	ΔE^0 in mV	-25	-42	-136
Reduzierung MO	$\text{KBE}_B/\text{KBE}_U$ in %	99 %	99 %	0 %

I Versuchsaufbau und Messtechnik

II Behandlungsergebnisse

III Zusammenfassung

Zusammenfassung –

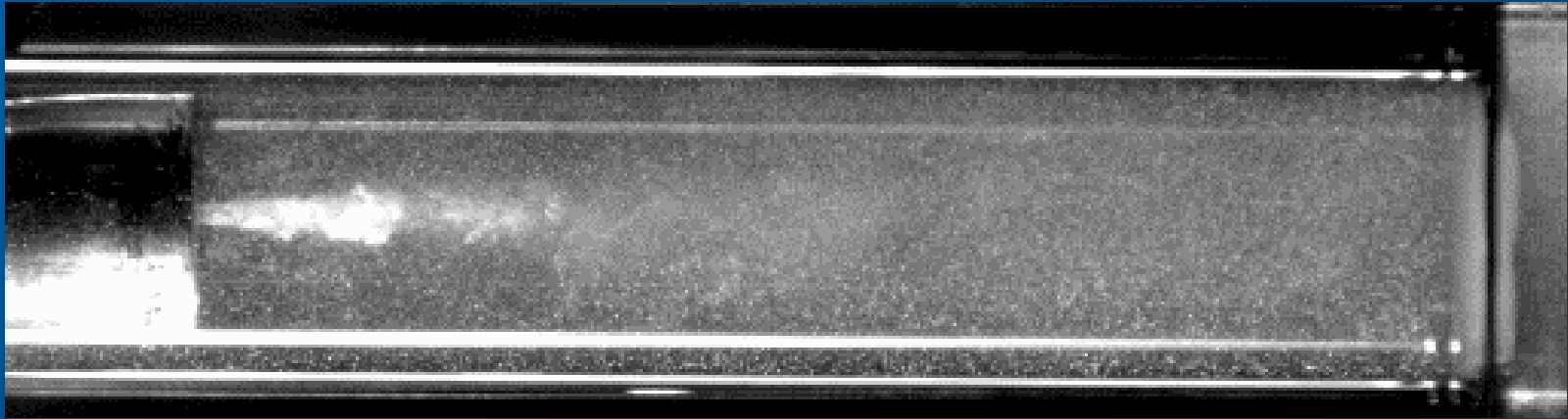
Ergebnisse, Fazit und Folgen

Versuchsergebnis:

- Mit Kavitation **Reduzierung der Keimbelastung** um zwei Zehnerpotenzen erreicht; ohne Kavitation Konstante MO-Beladung des PW
- nach Behandlung deutlich **weniger Schleim und Geruch**, Inhaltsstoffe sind zerkleinert
- **Korrelation** zwischen **ORP-Wert und KBE/ml** (ORP-Wert empfindlicher als DST)
- **pH-Wert steigt** mit Behandlung an (→ Verhinderung von Kalkausfällung)

Fazit und Folgearbeiten:

- Notwendigkeit der **Steigerung der Effizienz** des Verfahrens (Prozessführung, Verfahrenskombination, ...)
- **Kenntnis der lokalen Prozessbedingungen** essenziell für optimale Prozessführung
- **Potenzial zum Hochskalieren** für Behandlung industrieller Prozesswässer (Nutzung von Erkenntnissen aus Vorgängerarbeiten mit Strahlkavitation)
- Verwendung von **Modellwasser** für Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit



Kontakt:

frank.ruediger@tu-dresden.de

julius-alexander.noepel@tu-dresden.de

