

ReWaMem

Recycling von Wäschereiabwasser zur Wiederverwendung des Abwassers mittels keramischer Nanofiltration

Projektziel

Angestrebt wird die Senkung des Frischwasserbedarf in Textilwäschereien, indem Abwässer gezielt aufbereitet werden können.

Lösungsansatz des Verbundes

- Die Verfahrenskette soll mit Hilfe zu entwickelnder keramischer Membranträger und Membranen (Mehrkanal mit erhöhtem Kanalinnendurchmesser und Fläche) bzw. mit neuartigen Rotationsscheibenfiltern für die Nanofiltration (NF) aufgebaut werden.
- Es werden Behandlungsmethoden für anfallendes Konzentrat auf Basis von Advanced oxidation processes (AOP) - Verfahren eingesetzt.
- Begleitend wird ein Onlinetool weiterentwickelt, welches es Wäschereien ermöglicht, eine spezifischere Betrachtung der Prozessketten durchzuführen, um Wiederverwendungspotentiale von Abwässern identifizieren zu können.

Das Konsortium



Projektübersicht

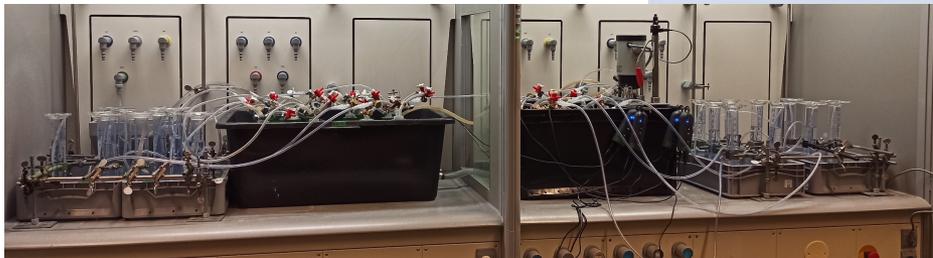


Aktueller Stand:

AP 1: Abwasser- & Recyclingwasser-Analysen & Laborversuche (HS Hof/IKTS/CHMS)



Plug-Flow-Tubular-Kavitations-Reaktor



Gärversuchsaufbau

Parameter	Einheiten	Handtuch	Matten	Konzentrat Handtuch
pH	-	11,06	7,02	9,48
Leitfähigkeit	$\mu\text{S/cm}$	4142	2129	5529
Säurekapazität 8,2	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	395	-	203
Säurekapazität 4,3	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	1227	7,4	2389
Chemischer Sauerstoffbedarf	mg/L	6609	1332	18340
NO_2^-	mg/L	1,58	0,065	2,19
NO_3^-	mg/L	7,65	0,690	8,92
Gesamt-Phosphor	mg/L	19,70	1,72	28,9
Flüchtige Fettsäuren	meq/L	34,70	7,50	109,17

- Erhöhung der Kapazität im Gärungsversuch
- Charakterisierung der möglichen Proben

Wäschereiabwasser

Matten



Handtuch

weißes



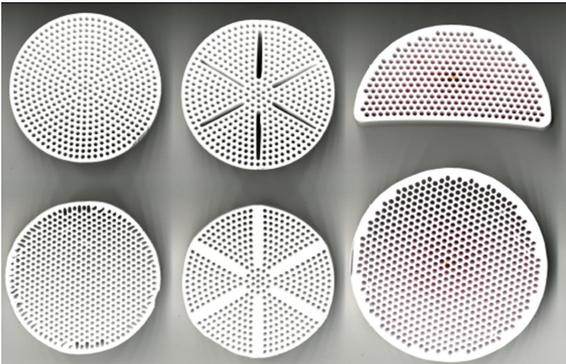
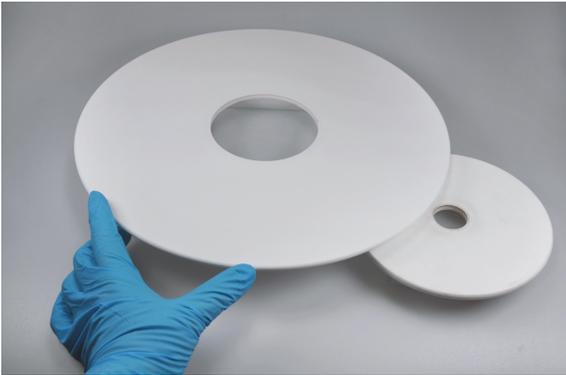
blaues



mögliche Proben (außerdem besteht die Möglichkeit, Konzentrate dieser Proben zu erhalten)

Aufgabenstellung:

AP2: Trägerentwicklung (Rauschert)



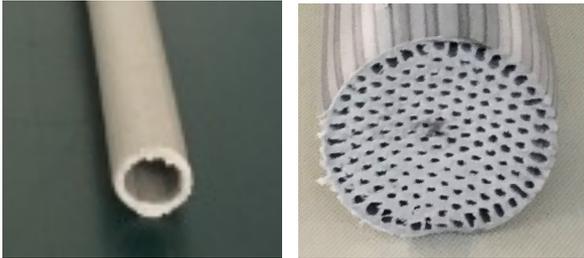
*Geometrien für Rotationsscheibenfilter
und Membranträger hoher Fläche*

Entwicklung angepasster Membranträger mit 1,2 bis 4,5m² spezifischer Membranfläche (A) sowie Rotationsscheibenfilterstrukturen

- Herstellung von neuartigen keramische Rotationsscheibenfiltern mit NF-Beschichtung zur Erprobung in Abwasserströmen
- Herstellung von neuartigen keramische Membranträgern als Mehrkanalelemente optimiert auf max. Fläche (bis zu $D = 100 \text{ mm}$ und $A = 6 \text{ m}^2$)

Aktueller Stand:

AP2: Trägerentwicklung (Rauschert)



Extrudate von 1-Kanal-, 163-Kanal-
Rohr und von Halbschale

Extrusionsversuche 1-Kanal-Rohre (D = 10 mm)

- Schneckenextruder waagrecht (A), Kolbenextruder waagrecht (L), Schneckenextruder senkrecht (S)
- L zeigt geringsten Sortierausschuss (10 - 15%)
- L hat höchsten Berstdruck (70 - 90 bar)
- Porengrößenverteilung bei allen gleichwertig

Extrusionsversuche 163-Kanal-Rohre (D = 41 mm)

- Schneckenextruder waagrecht klein (A), Schneckenextruder waagrecht groß (C), Kolbenextruder waagrecht (L)
- L zeigt geringsten Sortierausschuss (10 - 15%)
- C hat höchsten Berstdruck (30 - 40 bar)
- Porengrößenverteilung bei C geringfügig kleiner (ggf. bessere Verdichtung)

Extrusionsversuche Halbschalen (D = 100 mm, 311 Kanäle)

- Rohstoffe aus China (C), Rohstoffe aus Frankreich (N), Rohstoffe aus Russland (R)
- R zeigt geringsten Sortierausschuss (30 - 40%)
- R hat höchsten Berstdruck (40 - 60 bar)
- Porengrößenverteilung von R und N gleichwertig
- N als Alternative für R bedingt einsetzbar → weitere Versuche

Nächste Schritte:

AP2: Trägerentwicklung (Rauschert)

Extrusionsversuche 1-Kanal-Rohre (D = 10 mm)

- Charakterisierung der bis NF-beschichteten Rohre abschließen
- Festlegung neuer Standard-Fertigungstechnologie
- Entscheid über Verifizierungscharge

Extrusionsversuche 163-Kanal-Rohre (D = 41 mm)

- Charakterisierung der bis NF-beschichteten Rohre
- Festlegung neuer Standard-Fertigungstechnologie
- Entscheid über Verifizierungscharge

Extrusionsversuche Halbschalen (D = 100 mm, 311 Kanäle)

- Charakterisierung der bis NF-beschichteten Rohre
- Festlegung von neuem Standard-Rohstoff
- **Nächste Extrusionscharge mit N bereits im Durchlauf**

Aufgabenstellung:

AP3: Membran- entwicklung (IKTS)

Hauptthema:

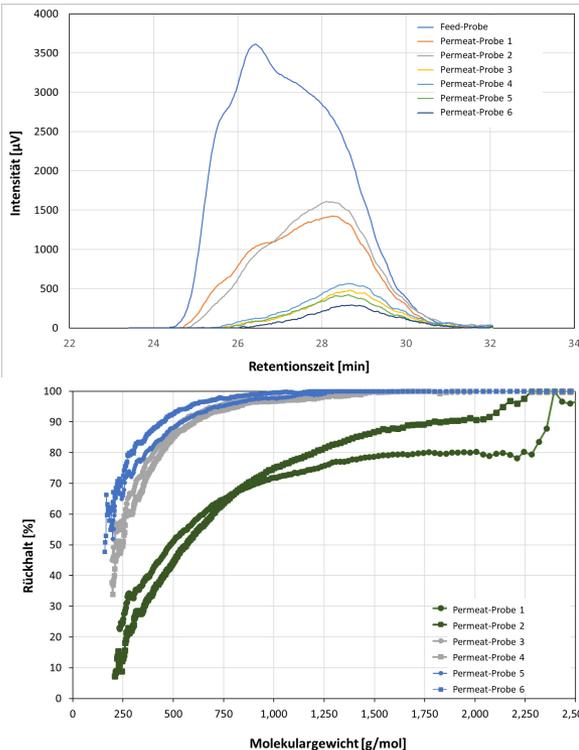
Weiterentwicklung der Membranträger und Membranschichten von keramischen Rotationsscheibenfiltern sowie von Mehrkanalrohren (MKR) großen Kanaldurchmessers mit Nanofiltrationsbeschichtung

... unterteilt sich in folgende Unterthemen:

- Optimierung der NF Beschichtung auf Trägern erhöhter Membranfläche
- Charakterisierung & Erarbeitung einer Methodik für Qualitätssicherung (QS) von MKR-NF
- Anpassung dieser Methodik für QS von MKR-NF für die Pilotfertigung
- NF-Beschichtung von Rotationsscheibenfiltern unterschiedlicher Durchmesser
- Charakterisierung der Rotationsscheibenfilter
- Erprobung der Membranen im Labormaßstab bei wäschereitypischen pH-Werten

Aktueller Stand:

AP3: Membran- entwicklung (IKTS)



Beispielhafte Gemischmessung und
GPC-Analytik (oben) zur Berechnung von
Rückhaltkurven (unten)

Optimierung der NF Beschichtung auf Trägern erhöhter Membranfläche

- Auf Rohre aus Extrusionsversuchen von Rauschert wurden NF-Membranen (Typ 0,9 nm und LC1) synthetisiert (Einkanal-, 163-Kanal-Rohre und „Halbschale“)
- Membransynthese auf „Halbschalen“ bereiten noch erhöhten Aufwand

Charakterisierung & Erarbeitung einer Methodik für QS von MKR-NF + Anpassung dieser Methodik für ... die Pilotfertigung

- Charakterisierung erfolgte auf Basis eines Modellgemisches und anschließender Größenausschluss-Chromatographie (GPC) - Analytik (neu)
- IKTS/Rauschert starten erste Ansätze zur Inbetriebnahme einer Rauschert-eigenen GPC

NF-Beschichtung von Rotationsscheibenfiltern unterschiedlicher Durchmesser

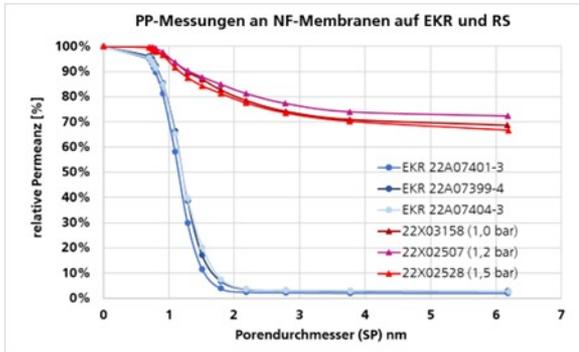
- Beschichtung in Absprache mit Rauschert (bis D=374 mm) möglich

Charakterisierung der Rotationsscheibenfilter

- Permporosimetriemessungen an RS (D=152 mm) und die Bestimmung des Einzelmolekülrückhaltes möglich (statisch)

Nächste Schritte:

AP3: Membran- entwicklung (IKTS)



Beispielhafte Permporosimetrie-
messungen von EKR ($l=250$ mm)
und RS ($D=152$ mm)

Optimierung der NF Beschichtung auf Trägern erhöhter Membranfläche

- Überprüfung der Beschichtungsaufnahmen für „Halbschalen“

Anpassung dieser Methodik für QS von MKR-NF für die Pilotfertigung

- GPC-Training mit Rauschert

NF-Beschichtung von Rotationsscheibenfiltern unterschiedlicher Durchmesser

- Beschichtung erfolgen in Absprache mit Rauschert bis $D=374$ mm
→ aktuell kein Handlungsbedarf

Charakterisierung der Rotationsscheibenfilter

- Inbetriebnahme Filtrationsanlage für Rotationsscheiben (RS,
 $D=152$ mm)
- Überprüfung Methodik Permporosimetriemessungen an RS
- Anfertigung eines statischen Moduls für $RS > D=152$ mm (Zweck
der Permporosimetrie- und Rückhaltmessungen)

Erprobung der Membranen im Labormaßstab bei wäschereitypischen pH-Werten

- Untersuchung zur chemischen Stabilität von u.a. „Halbschalen“
(ggf. in Abhängigkeit der Extrusionsweise)

Aufgabenstellung:

AP4: Planung und Anpassung einer Pilotanlage

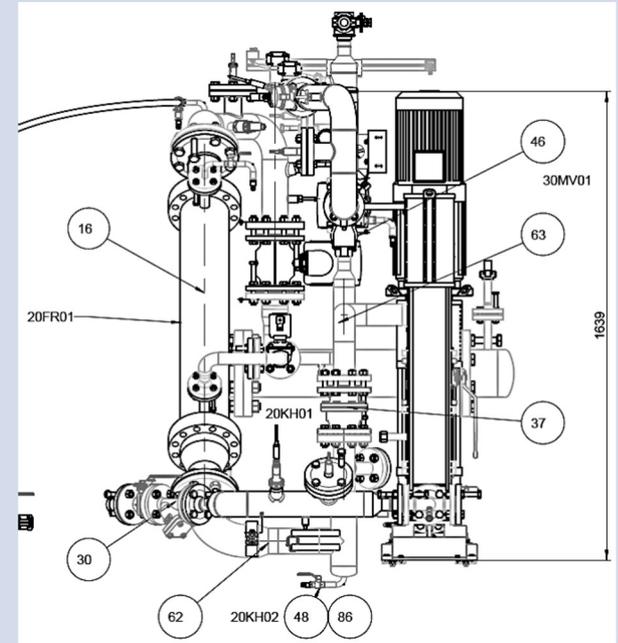


Durchgeführte Tätigkeiten des Arbeitspakets:

- Planung und Fertigung der Anlage und deren Anpassung an den Anwendungsfall
- Hinzufügen erweiterter Messtechnik (pH-Sonden, Leitfähigkeitsmessungen, usw.) sowie Adapterstücke für die Inline-Messtechnik
- Implementierung des erweiterten Steuerungs- und Regelungssystems sowie Inbetriebnahme

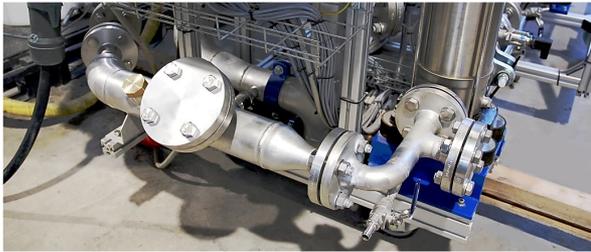
Herausforderung:

- Verzögerungen entstanden durch eine defekte Kreislaufpumpe
- Die Tätigkeiten wurden erfolgreich abgeschlossen



Aktueller Stand:

AP 4: Planung und Anpassung einer Pilotanlage



Einbau von Inline-Messungen



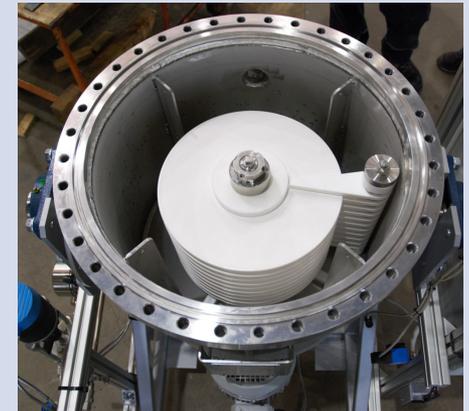
Pilotanlage mit Rotationscheibenmodul
nach abgeschlossenen Umbauarbeiten

Planung und Fertigung der Anlage und Anpassung an den Anwendungsfall

- Hinzufügen erweiterter Messtechnik (pH-Sonden, Leitfähigkeitsmessungen, usw.) sowie Adapterstücke für die Inline-Messtechnik
- Implementierung des erweiterten Steuerungs- und Regelungssystems sowie Inbetriebnahme

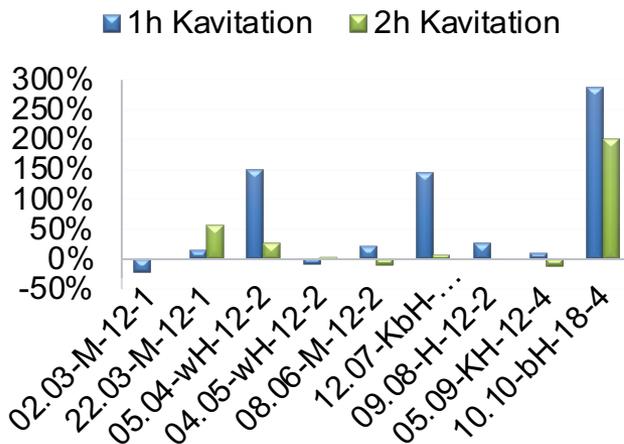
Erweiterung der Pilotanlage für die Verwendung von Rotationscheibenfiltern

- Planung und Fertigung eines Rotationscheibenmoduls zur gleichzeitigen Aufnahme von 10 Rotationscheiben bis zu \varnothing 374mm mit erhöhter Membranfläche von $1,5\text{m}^2$ und Einsatz bis 30 bar(Ü)
- Geplant sind nun Langzeittests und Optimierung der Prozessparameter



Aktueller Stand:

AP5: Prozesserprobung: Versuchsdurchführung und - auswertung (E.S.C.H., RKV, IKTS, ZAE, HH)



Veränderung der Biogasmenge [bei
Kavitation/blankem Abwasser],
M für Mattenabwasser
H für Handtuch (wH weißes; bH blaues)
K für Konzentrat

- **Vor der Gärung wird eine Kavitation durchgeführt.**
- Die Düsen 12 und 18 wurden bei niedrigem, mittlerem und hohem Druck eingesetzt, wobei bei hohem Druck eine Superkavitation möglich ist.
- Die Absorption im UV Vis-Spektrum wurde gemessen, um zu analysieren, wie diese durch Kavitation beeinflusst wird. Nach 2 Stunden kein große Einfluss mehr festzustellen (gemessen bis zu 4 Stunden).
- **Die Versuche wurden mit unbehandeltem Abwasser (im Membran Verfahren „Feed“) durchgeführt**, wobei folgende Proben verwendet wurden: 4 Matten, 2 weiße Handtücher und 2 blaue Handtücher.
- **Die Tests wurden mit zwei Konzentraten durchgeführt, einem aus einem weißen und einem aus einem blauen Handtuch.**

Herausforderung:

Anhand eines Pumpenschadens in der Anlage konnte zeitweise kein Konzentrat mehr angeliefert werden.

- Ca. 20 Tagen bis Vergärung zum Erliegen kommt
- Anschließend Versuche mit 2 weiteren Düsen
- Auswertung der Versuchsmatrix und Up-Scale der optimalen Düsen-/Versuchsparameter

Nächste Schritte:

AP5: Durchführung von Filtrationsversuchen

Übersicht über die in der Pilotanlage verwendeten Membrantypen

Mehrkanalrohrmembran		Rotationsscheiben	
4x163KR, 1200 mm	4x151KR, 1200mm	10 Scheiben RS01 Da=152 mm	10 Scheiben RS05 Da=312 mm
0,9 nm	0,9 nm	0,9 nm	0,9 nm
LC1	LC1	LC1	LC1

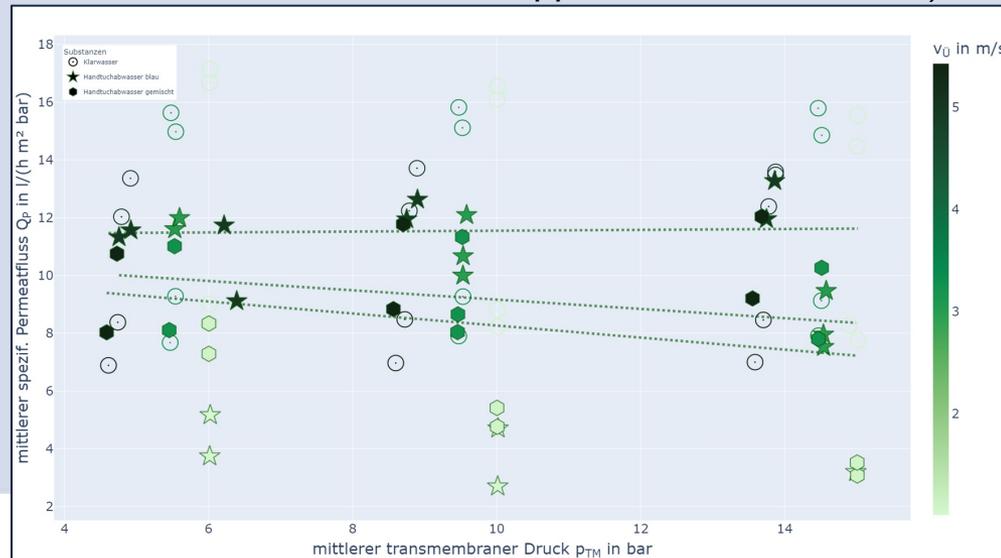


Durchgeführte Tätigkeiten des Arbeitspakets:

- Filtrationsversuche mit Mehrkanalrohren und Rotationsscheiben unter Variation der Versuchsparameter
- Auswertung der Versuche und daraus resultierende Anpassungen des Prozesses

Geplante Tätigkeiten:

- Langzeittests mit realen Input- und Outputströmen der Wäscherei CHMS (reine Waschmittel/Wassergemische und verschmutzte Matten-, Handtuch, Wischmopp- und Mischabwässer)



Nächste Schritte:

AP5: Prozesserprobung: Versuchsdurchführung und -auswertung (ZAE)

Analytische Betreuung und Auswertung der Versuche mit Mehrkanalrohren

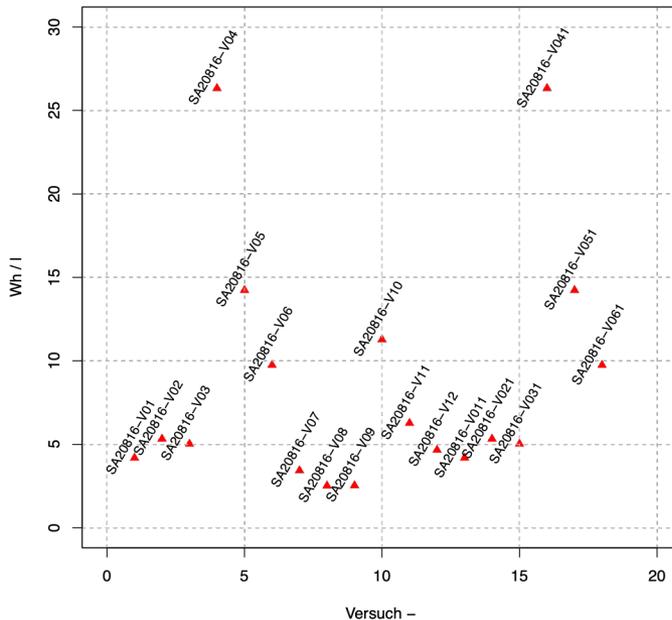
Die Auswertung des ersten Messdatensatzes ist erfolgt, weitere Messungen sind geplant.

Analytische Betreuung und Auswertung der Versuche mit Rotationsscheibenfiltern

Die Auswertung des ersten Messdatensatzes ist erfolgt. Auf Basis dieser Messungen wurde von E.S.C.H. entschieden den Teststand für die Rotationsscheibenfilter umzubauen um größere Rotationsscheiben aufnehmen zu können. Weitere Messungen sind geplant.

Analytische Betreuung und Auswertung der Versuche bei CHMS

Geplant ist der Aufbau der Versuchsanlage bei CHMS. Im Anschluss erfolgt die Auswertung der Messdaten.



*Spezifischer Energieverbrauch
verschiedener Versuche pro
Liter Permeat der Mehrkanalrohre
im Versuchstand*

Aufgabenstellung:

AP6: Betriebswirtschaftliche Bewertung (alle)

Hauptthema:

Technologiekette wird bewertet und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, Einstufung des Potential der entwickelten Membranelemente, der Anlagentechnik bzw. des Verfahrens erfolgt

... unterteilt sich in folgende Unterthemen:

- Ausgangslage & Definition der Zielvorgaben
- Analyse Teil Membranfiltration
- Energetische Analyse Membrangeometrien
- Betriebswirtschaftliche Analyse und Gesamtbewertung

Aktueller Stand:

AP6: Betriebswirtschaftliche Bewertung (alle)

Ausgangslage & Definition der Zielvorgaben

- Aktueller Arbeitsablauf bei CHMS erfasst und in einem Fließbild darstellbar
- Chemikalieneinsatz und –zusammensetzung wird maßgeblich von Lieferanten vorgegeben
- Kontakt zum Chemikalienlieferanten erfolgt

Betriebswirtschaftliche Analyse und Gesamtbewertung

Es zeichnen sich erste Punkte ab:

- Permeat der z.B. Mattenabwässer kann mindestens erneut fürs Vorspülen der Matten verwendet werden
- Retentat kann weiterbehandelt werden (siehe Hochschule Hof) bzw. nach Fällung und Flockung ebenfalls zum Vorspülen der Matten Verwendung finden

Nächste Schritte:

AP6: Betriebswirtschaftliche Bewertung (alle)

Analyse Teil Membranfiltration

- Daten zum Druckverlust der neuen Elemente und zum (zunächst) erreichbaren Klarwasserfluss der Geometrie sind noch ausstehend und bilden u.a. die Grundlage zur energetischen Bewertung

Energetische Analyse Membrangeometrien

- Spezifische Permeatleistung (z.B. $L/(m^2hbar)$) der MKR im Vergleich zu dem „Halbschalen“ sind zu bestimmen

Betriebswirtschaftliche Analyse und Gesamtbewertung

- Weitere Wiedernutzungspfade für Permeat/Retentat/ nachbehandeltes Retentat bei CHMS ausfindig machen, Übertragung auf „anders“ organisierte Wäschereien kann ggf. nicht ohne weitere Kenntnisse erfolgen

Aufgabenstellung:

AP7: Benchmarking Ressourcen- und Energiebedarf (ZAE)

Definition Einflussparameter

Im ersten Schritt werden alle **Prozessparameter** in der betrachteten Wäscherei **erfasst** und nach deren Bedeutung für den Gesamtprozess **bewertet**. Zusätzlich wird deren Einfluss z. B. auf den Frischwasserbedarf sowie auf den Wärmebedarf und die Wärmeverluste betrachtet. Weiterhin werden die Einflüsse der verschiedenen Filtertechniken betrachtet.

Ermittlung Benchmarkingwerte / Optimierungspotentiale

Zuerst wird ein **idealer Betrieb** der betrachteten Wäscherei in Bezug auf **Frischwasserverbrauch** und benötigter **thermischer Energie** definiert. Anhand der erfassten Messdaten können Abweichungen davon und Hilfsstrombedarfe ermittelt werden.

Webbasierte Umsetzung

Der methodische Ansatz wird zunächst in Form eines Software Modells umgesetzt und getestet. In einem zweiten Schritt soll dann, auch um eine möglichst hohe Reichweite für die Verbreitung der Ergebnisse zu erreichen, das **bestehende Web-Tool des Deutschen Textilreinigungs-Verbandes als Grundlage genutzt** und auf Basis des Software Modells **erweitert werden**.

Aktueller Stand:

AP7: Benchmarking Ressourcen- und Energiebedarf (ZAE)

Definition Einflussparameter

- Hohe Diversität an Waschgüter - jeweils deutlich unterschiedlich zu behandeln (Waschmitteleinsatz); zusätzlicher Einfluss des Jahrgangs auf Verschmutzungsgrad sowie Abhängigkeit von Herkunft (z.B. Industriebranche)
- Recherchen zu anderen Projekten (u. a. DBU AZ-28612 01 und AZ-28612 02) zeigen: Übertragung der Ergebnisse auf andere Wäschereien ist nur bedingt gegeben

Herausforderung:

- Wäschereien sind sehr individuell, hoher messtechnischer Aufwand erforderlich → ggf. nur geclustert zu betrachten

Vorgehensweise:

- Bestimmung der Prozessparameter** durch Analyse des Waschprozesses auf Basis von Literaturdaten der Vorgängerprojekte
- Vereinfachte **theoretische Betrachtung** wird weiterverfolgt
- Beschreibung** des Waschvorgangs auf Basis von **Energie- und Wasserbilanzen**

Ermittlung Benchmarkingwerte / Optimierungspotentiale

- Berechnung eines idealisierten Waschvorgang auf Basis eines Gleichungsmodelles

Nächste Schritte:

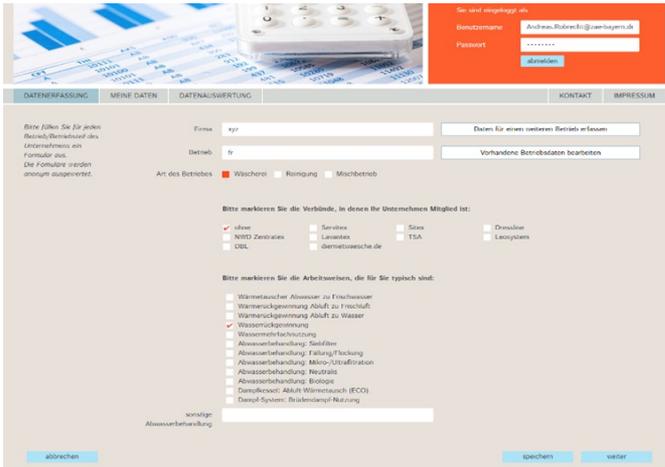
AP7: Benchmarking Ressourcen- und Energiebedarf (ZAE)

Ermittlung Benchmarkingwerte / Optimierungspotentiale

- Einbindung der neuen Abwasser-Rückgewinnungstechnik in das Modell
- Darstellung des Optimierungspotentials durch die Abwasser-Rückgewinnungstechnik

Webbasierte Umsetzung

- Umsetzung des Gleichungsmodelles in ein vereinfachtes Software-Modell
- Entwicklung eines Web-Tools und Veröffentlichung



The screenshot shows a web-based data entry form. At the top, there is a navigation bar with tabs: DATENERFASSUNG, MEINE DATEN, DATENAUSWERTUNG, KONTAKT, and IMPRESSUM. Below the navigation bar, there is a form with several sections:

- Top Section:** A header with a calculator icon and a login area with fields for 'Benutzername' (containing 'Andreas.Bühner@zae-bayern.de') and 'Passwort' (with a masked input), and a 'Anmelden' button.
- Main Form:** A section titled 'Bitte füllen Sie für jeden Betriebs-/Betriebszustand des Unternehmens ein Formular aus. Die Formulare werden anonym ausgewertet.' It contains fields for 'Firma' (with 'kgp' entered), 'Datum für einen weiteren Betriebs-/Zustand', 'Betrieb' (with 'fr' entered), and 'Vorhandene Betriebsdaten bearbeiten'. Below these are radio buttons for 'Art des Betriebes': 'Wäscherei', 'Reinigung', and 'Mischbetrieb'.
- Membership Section:** A section titled 'Bitte markieren Sie die Verbände, in denen Ihr Unternehmen Mitglied ist:' with checkboxes for 'ifaw', 'NWD Zentralrat', 'DEL', 'Service', 'Luvax', 'TSA', 'Germetsutsche.de', 'Saxa', 'Dewolux', and 'Laysystem'.
- Technology Section:** A section titled 'Bitte markieren Sie die Arbeitweisen, die für Sie typisch sind:' with checkboxes for 'Wärmetauscher Abwasser zu Frischwasser', 'Wärmespeicherung Abfall zu Frischluft', 'Wärmespeicherung Abfall zu Wasser', 'Wasserrückgewinnung', 'Wasserrückgewinnung', 'Abwasserbehandlung: Sedimente', 'Abwasserbehandlung: Fällung/Flockung', 'Abwasserbehandlung: Mikro-Ultrafiltration', 'Abwasserbehandlung: Neutralisation', 'Abwasserbehandlung: Biologie', 'Dampfdruck: Abfall-Wärmetausch (ECO)', and 'Dampf-System: Rücklaufenergie-Nutzung'. There is also a 'sonstige' field for 'Abwasserbehandlung'.
- Bottom:** Three buttons: 'abbrechen', 'speichern', and 'weiter'.



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**