

# ReWaMem

Recycling von Wäschereiabwasser zur Wiederverwendung des  
Abwassers mittels keramischer Nanofiltration – ReWaMem

S. Auer, T. Grassmann, C. Günther, D. Kaulbars, F. Krause, J. Kuckelkorn, C. Pflieger, V. Prehn, A. Schmid, I.  
Voigt

## Hintergrund und Struktur des Verbundprojektes

- ca. 3600 Betriebe in Wäscherei- und Textilreinigungsbranche<sup>1</sup> (Stand 2021)
- ca. 70.000 Beschäftigte<sup>1</sup>
- Gesamtumsatz nach Schätzung DTV ca. 4,3 Mrd. €<sup>1</sup>
- Gesamtsumme gewaschene Wäsche rund 1,8 Mio t/a
- spez. Gesamtwasserverbrauch 15 bis 25 l/kg Textil<sup>2</sup>
- spez. Wasserverbrauch 5,0 bis 13,7 l/kg Textil<sup>2</sup>

→ Verbräuche der Branche schwankt stark bei Strom, Wasser und Wärmebedarf aufgrund individueller Strukturen und Waschgüter (Krankenhauswäsche, Pflege- und Altenheimwäsche, Hotel- und Gastronomiewäsche, Arbeits- und Berufsbekleidung, ...)

<sup>1</sup> <https://www.dtv-deutschland.org/zahlen-und-fakten.html>

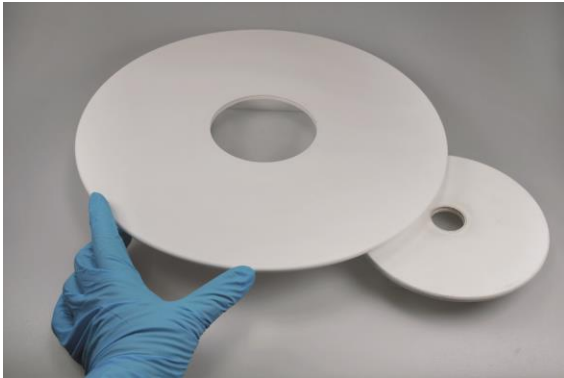
<sup>2</sup> Ganzheitliche Betrachtung von Wäschereien hinsichtlich Wäschelogistik, Maschinentechnik und Aufbereitungsverfahren zur prozessintegrierten Steigerung der Energieeffizienz von Wäschereien (2. Phase), Abschlussbericht, Deutscher Textilreinigungs-Verband, 2016; DBU (FKZ: 28612/02)



Struktur des Verbundprojektes „ReWaMem“



## Neue Keramikelemente (Nanofiltration)

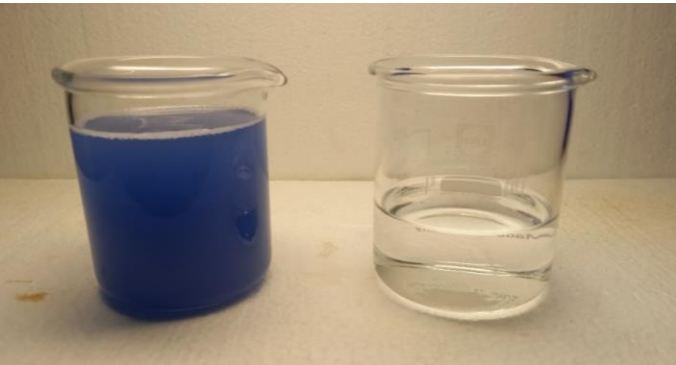


Verwendete Geometrien für RS  
und Membranträger hoher Fläche

### Entwicklung tubularer, keramischer Elemente (Träger/Support, $A_M$ : 1,2 – 6,0 m<sup>2</sup>) und Rotationsscheiben - Zusammenarbeit Rauschert/IKTS

- Herstellung von neuartigen keramische Rotationsscheibenfiltern (RS) mit NF-Beschichtung zur Erprobung in Abwasserströmen
- Herstellung von neuartigen keramische Membranträgern als tubulare Mehrkanalelemente optimiert auf max. Fläche (geplant bis  $A_M = 6 \text{ m}^2$ )
  - 1 Halbschale: 311 Kanäle  $\rightarrow D_A = 100 \text{ mm}$  und  $A_M = 2,9 \text{ m}^2$
  - $\rightarrow$  2 Halbschalen (im Modul):  $A_M = 5,8 \text{ m}^2$
- Im Projekt erstmalig Halbschalen bis NF-Beschichtung (T09-Schicht)
  - $\rightarrow$  PEG-Messung: gute Rückhalte (>80%)
  - $\rightarrow$  Messung mit Realabwasser in Pilotanlage (CHMS-Matten-Abwasser):
    - gute CSB-Rückhalte (>80%),
    - gute Rückhalte für Schwermetall-Ionen (Zn, Pb, Cu: >90%)

## Rotationsscheiben Qualität/Rückhalt



- guter Rückhalt für „größere“ Scheiben (D312mm) für UF- und NF-Typen
- dynamische Gemischmessungen laufen aktuell - spezifische Einfluss von Prozessparametern (Druck, Geschwindigkeit) auf Rückhalt wird untersucht (Analyse via Größenausschlusschromatographie)

Geometrie	UF-5nm Rückhalt [%]	UF-3nm Rückhalt [%]	NF-0,9nm Rückhalt [%]	NF-LC1 Rückhalt [%]
RS-D152mm	69	54	72	41
RS-D312mm	98	90	93	60
EKR (Ref.)	99	92	96	89
Prüfmolekül	PEG 10.000	PEG 1.500	PEG 600	PEG 400

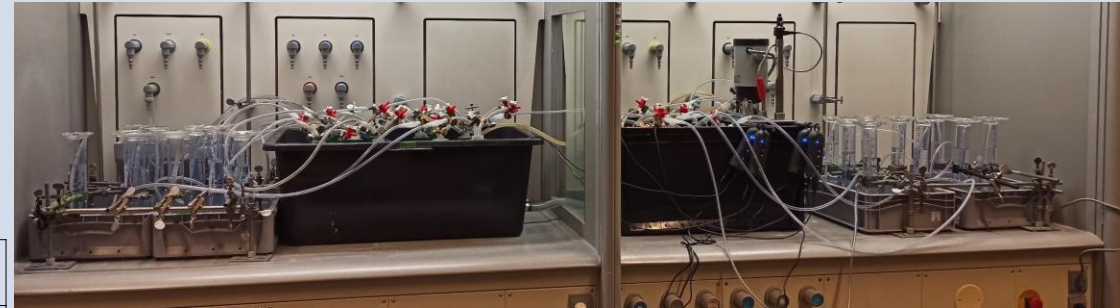
beispielhafte Anwendung: tubulare NF zur Behandlung von Handtuchabwasser (TMP 20 bar, Rückhalt<sub>CSB</sub> ~ 90 %)

## Advanced Oxidation Process - AOP

### Hydrodynamischen Kavitation, energetische Nutzung

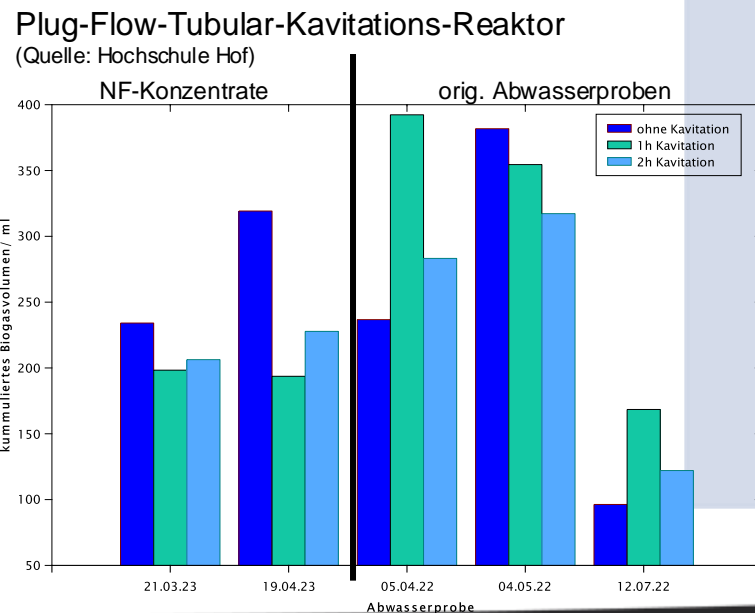


- Abwasserproben: Matten, Handtuch (weiße/ blaue) im Original und als NF-Konzentrat getestet
- Einfluss der Kavitation zunächst mittels UV Vis-Spektrum untersucht
- nach 2 Stunden kein sign. Änderung mehr feststellbar
- nach Kavitationsexperiment folgte Gärversuch
- Biogasproduktion nach ca. 20 Tagen beendet



Gärversuchsaufbau  
 (Quelle: Hochschule Hof)

Biogasvolumen in Abhängigkeit der Vorbehandlung  
 (li.) NF-Konzentrate „Handtuch“  
 (ob.) Abwasserproben vor NF

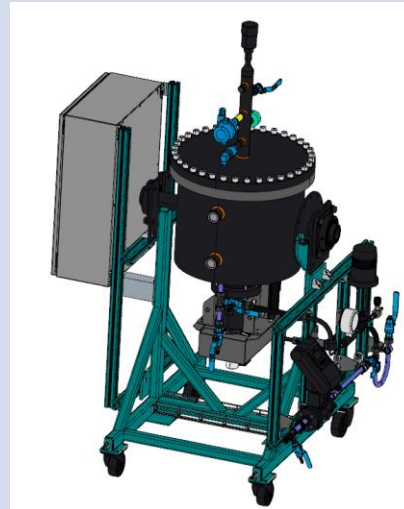


# Beschreibung der Pilotanlage

- Flexibler Einsatz verschiedener Geometrietypen
- Integrierte Rückspülung zur automatisierten Reinigung der Membran
- Optional: Anschluss und Betrieb eines Rotations-scheibenmoduls zur dynamischen Filtration
- Spezifikationen: Temperatur 30 - 95 °C, Durchsatz 0,5 - 2 m<sup>3</sup>/h, Arbeitsdruck 2 - 20 bar



Abbildung der mobilen Versuchsanlage,  
Quelle: E.S.C.H.



Darstellung des  
Rotationsscheibenfiltermoduls,  
Quelle: E.S.C.H.

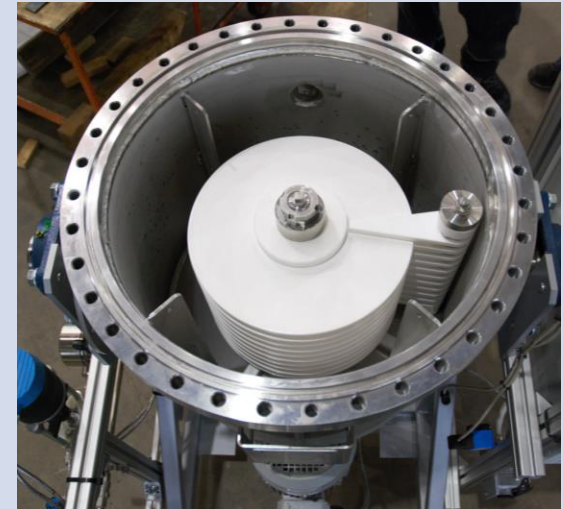


Abbildung des  
Rotationsscheibenfiltermoduls,  
Quelle: E.S.C.H.

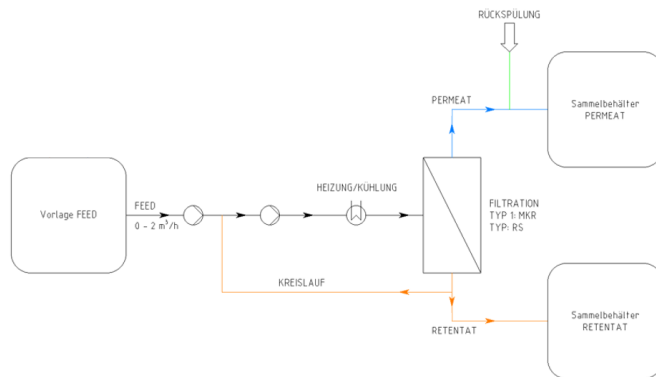
# Aufbau und Betrieb der Pilotanlage

- Zwei-Pumpen-System
- Aufkonzentration mittels variabler Retentat- und Permeatabführung
- Erfassung der Volumenströme, Leitfähigkeit und pH-Wert



(o.) Beispielbilder für Handtuchrollen und Fußmatten

(u.) Pilotanlage im Betrieb und Filtrationsproben „Mattenabwasser“ von CHMS, Quelle: E.S.C.H./ CHMS



vereinfachtes Fließbild der Pilotanlage,  
Quelle: E.S.C.H.

## Betrieb Pilotanlage - Kostenbetrachtung

	Matten- abwasser	Handtuch- abwasser (gemischt)	Handtuch- abwasser (blau)
<b>Druck</b>	10 bar	10 bar	10 bar
<b>Überströmgeschwindigkeit</b>	3 m/s	3 m/s	3 m/s
<b>Membran</b>	163K	151K	151K
<b>Gesamtdurchsatz</b>	340 l/h	527 l/h	582 l/h
<b>absoluter Permeatfluss</b>	272 l/h	422 l/h	466 l/h
<b>Energiebedarf</b> (m <sup>3</sup> Permeat)	15,21 kWh/m <sup>3</sup>	9,82 kWh/m <sup>3</sup>	8,89 kWh/m <sup>3</sup>
<b>Energiekosten</b> (0,30 €/kWh)	4,56 €/m <sup>3</sup>	2,95 €/m <sup>3</sup>	2,67 €/m <sup>3</sup>
<b>Restl. Entsorgungskosten</b> (20% Retentat, VCF = 5)	0,26 €/m <sup>3</sup>	0,40 €/m <sup>3</sup>	0,44 €/m <sup>3</sup>
<b>Gesamtkosten</b>	4,82 €/m <sup>3</sup>	3,35 €/m <sup>3</sup>	3,11 €/m <sup>3</sup>
<b>Frischwasser*</b>	2,56 €/m <sup>3</sup>	*Kosten Stadtwerke Rödental (Bundesdurchschnitt: 1,69 €)	
<b>Abwasserentsorgung*</b>	3,78 €/m <sup>3</sup>	*Kosten Stadtwerke Rödental (Bundesdurchschnitt: 2,36 €)	
<b>Einsparung</b>	1,52 €/m <sup>3</sup>	2,99 €/m <sup>3</sup>	3,23 €/m <sup>3</sup>

### Hinweis:

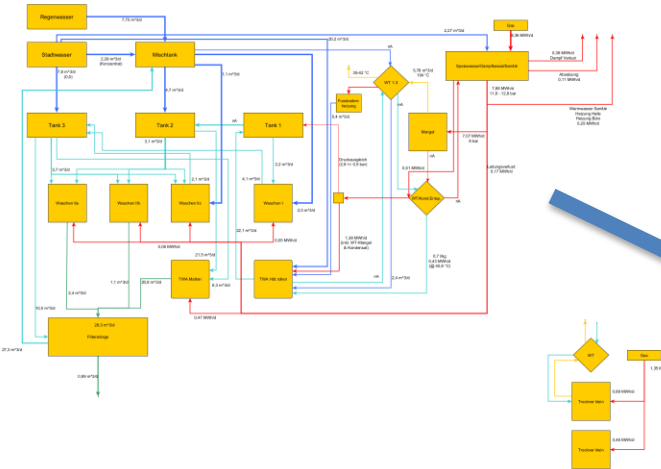
spez. Gesamtwasserverbrauch<sub>CHMS</sub> 2,2 bis  
2,4 l/kg Textil

spez. Wasser-verbrauch<sub>CHMS-Matte</sub> ca. 0,2 l/kg  
Textil → deutlich unter Bundesdurchschnitt



# Analyse Prozesskette „CHMS“

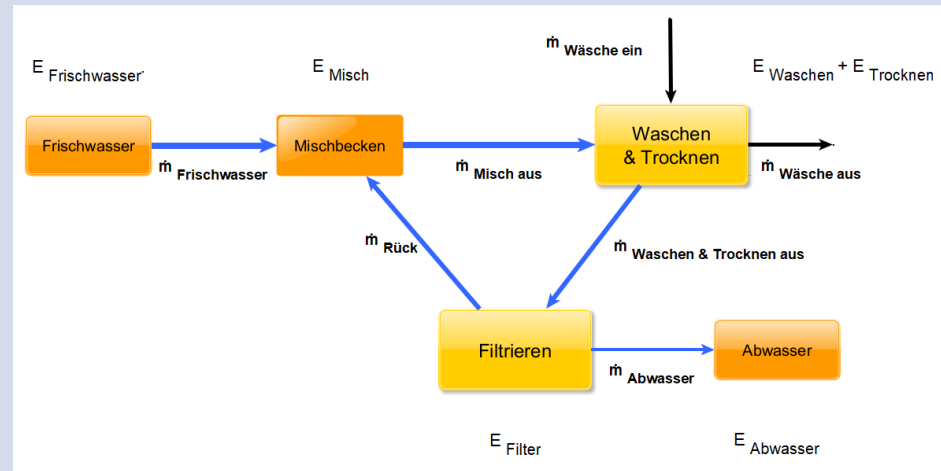
- **Ziel:** Optimierte Nutzung rezyklierten Wassers in Prozesskette hinsichtlich Frischwasser- und Wärmeeinsparungen
- **Bewertung** der einzelnen Prozessschritte auf Abwasser- und Abwärmeverwendungspotential
- **Reduktion** „Gesamtprozess CHMS“ auf für Filtration und Ressourcenwiederverwendung **relevante Teilprozesse**



Flussdiagramm Gesamtprozess

- unter Berücksichtigung von:
- Wäschemenge und -typ
  - Wassertransport (inkl. „Verschmutzungsgrad“)
  - Wärmeenergie-transport, -verbrauch

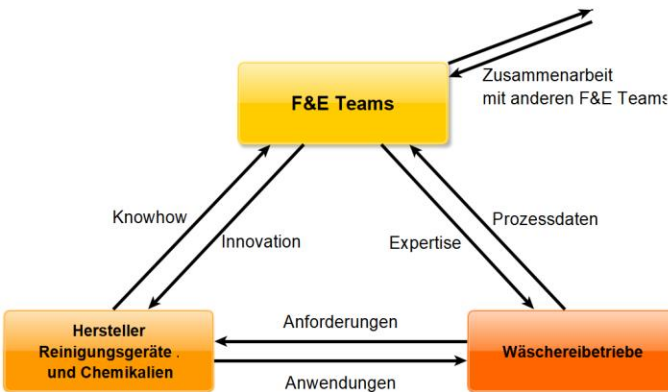
(Quelle: ZAE, CHMS)



(Quelle: ZAE)

=> Optimale Bedingungen: Bis zu **50°C** pro m<sup>3</sup> Wasser an Wärmemenge vermeidbar; entsprechend ca. **3,30€** pro m<sup>3</sup>

## Übertragbarkeit & „Prozesskette Wäscherei“



Schema der nötigen Kooperationen für (erfolgreiche) F&E Projekte im Bereich professioneller Textilreinigungsbetriebe

(Quellen: ZAE,

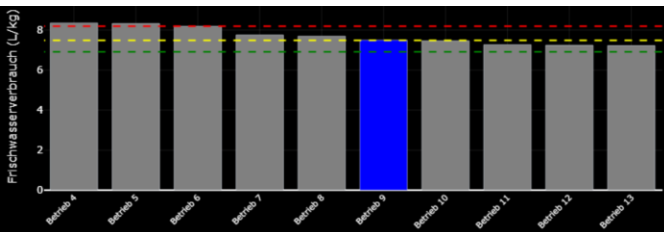
Máša V. et al., 2013, Analysis of energy efficient and environmentally friendly technologies in professional laundry service, Clean Technologies and Environmental Policy, Vol.15, No.3, pp.445-457)

- **Ziel: Übertragbarkeit** der Ergebnisse aus Prozessanalysen zwischen Wäschereibetrieben, z. B. beim Einsatz **neuer Technologien**
- **1. Herausforderung:** Wäschereibetriebe sehr heterogen; phys. Zusammenhänge multidimensional und nichtlinear
- **2. Herausforderung:** Prozessüberwachung (Wasser- und Energiezähler, Sensorik) in ausreichender Granularität in der Branche noch kaum verbreitet
  - Nur Datensätze aus wenigen Betrieben vorhanden
  - Prozessanalyse teuer, da Hardwareanschaffungen für Sensoren und Messgeräte notwendig
- Vergleich über **vereinfachte, generalisierte** Modelle (mit Einbußen bei Aussagekraft) möglich
- Verbesserung der **Datenlage** notwendig für einen ressourcenschonenderen Betrieb in der Branche

# Webtool „Ökobench“



Screenshot: Zeitreihe Chemikalienbedarf  
(anonymisierte Daten)



Screenshot: Vergleich Wasserbedarf  
(anonymisierte Daten)

- **Ziel:** Aufwertung des „Ökobench-Tool“ der „Brancheninitiative Energie“ des Deutschen Textilreinigungsverbands e. V. (DTV)
- **Anlegen** von **Datensätzen** über verschiedene Zeiträume für den (auf die Wäschemenge normierten) **Ressourcenbedarf** eines Reinigungsbetriebs von
  - Frischwasser
  - Reinigungsmitteln/Chemikalien
  - Heizenergie (optional: als Verbrauch Energieträger)
- **Anonymisierter Vergleich** mit Daten anderer Betriebe, **filterbar** nach Art von Betrieb und Wäsche, Einsatz bestimmter Technologien und Arbeitsweisen, Zugehörigkeit zu Branchenverbänden
- **Analyse** der eigenen Betriebsdaten, inkl. **Verbesserungsvorschlägen** wie dem Einsatz neuer Technologien
- **Export** von Daten und Auswertungen als CSV-Dateien und Grafiken

<http://www.brancheninitiative-energie.de/>  
[https://github.com/zae-bayern/ReWaMem\\_WebApp](https://github.com/zae-bayern/ReWaMem_WebApp)

## Zusammenfassung

- ✓ **neuartige, robuste Supporte** (tubulare bis  $A_M = 6 \text{ m}^2$ , RS bis  $A_M = 0,21 \text{ m}^2 @ D_A = 374 \text{ mm}$ ) **entstanden**
- ✓ **neue NF-Prototypen**  
(bis  $A_M = 2,9 \text{ m}^2$  - Halbschalenelement)
- ✓ CSB-Rückhalte > **90%**
- ✓ Rückhalte für Schwermetall-Ionen (Zn, Pb, Cu) > **90%**
- ✓ Stakeholder-Workshop (05.10.23 bei CHMS) – **Impulse für weiterführende Arbeiten**
- ✓ **Anlagenprototyp** für Feldversuche **verfügbar**
  - Textilreinigungsbranche **sehr heterogen** aufgestellt
  - Reinigungsmittel bzw. -mischungen stellen „**Black Box**“ dar („Nachschärfen“ nicht ohne Mitarbeit der Hersteller möglich)
  - Betriebsanlagen **exakt** auf Bedarf abzustimmen (Leistung/ Ausstattung)

# Danksagung

Die Autor\*innen danken:

- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, ReWaMem, FKZ: 02WV1568A-G) für die finanzielle Unterstützung der Verbundvorhaben,
- allen Projektpartner\*innen,
- Kolleg\*innen,
- ... den Zuhörer\*innen.

**Posterausstellung im Foyer!**



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**