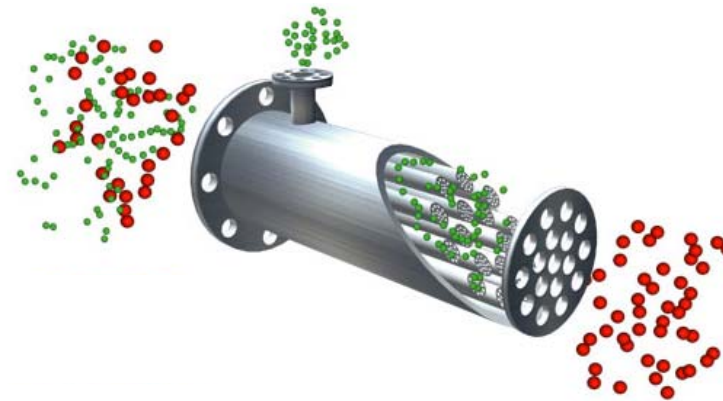


Ingolf Voigt, Fraunhofer IKTS
Volker Prehn, Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH

Dünnwandige, keramische Membranen angepasster Benetzbarkeit und hoher volumenspezifischer Membranfläche für die Nanofiltration und Membrandestillation zur nachhaltigen Aufbereitung von salzhaltigen Wässern

KerWas

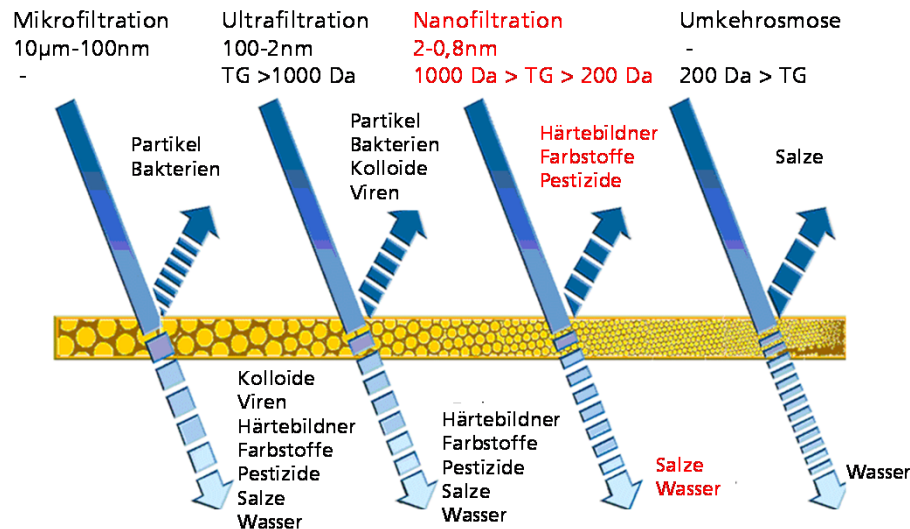
Projektlaufzeit 02/17-01/20



Grundlagen

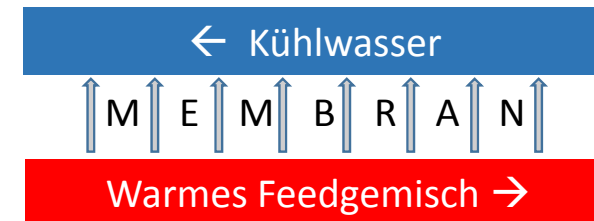
Nanofiltration

- Viskoser Strömung durch nanoporöse Membran
- Porengröße < 1 nm
- Hydrophile Membran, $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$



Membrandestillation

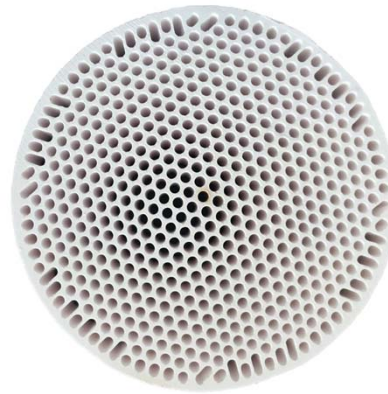
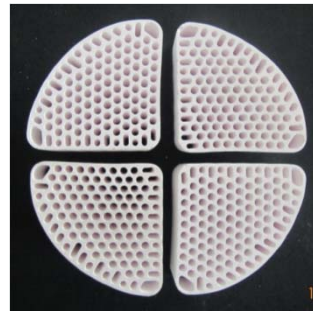
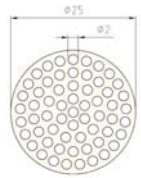
- Destillation (Verdampfung) durch eine Membran
- Porengröße $0,1\mu\text{m} - 1\mu\text{m}$
- Hydrophob, keine Wasserbenetzung
- Silanisierung, C-Beschichtung, SiC



Ziel der NF-Membranentwicklung 10m²-Membranelement mit Trenngrenze 450 Da

Herausforderungen

- Supportherstellung
- Handling
- Beschichtung
- Charakterisierung



© Rauschert 0,25 m²
© Rauschert 0,50 m²
© Rauschert 1,3 m²

© Rauschert 4,5 m²

© Rauschert 4,5 m²

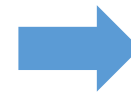
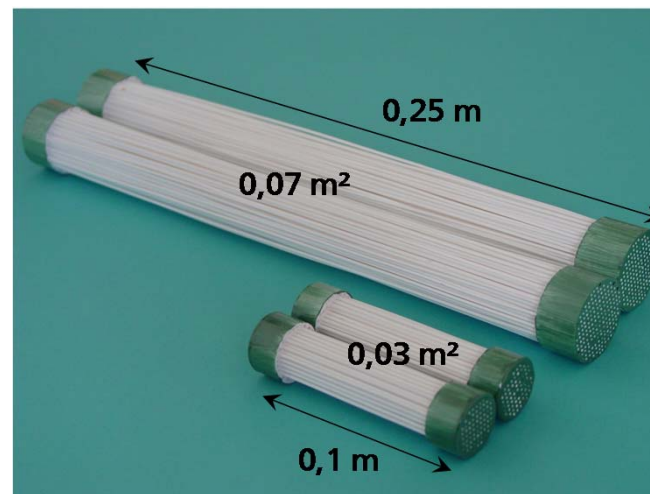
© Metawater Co. Ltd. (25 m² MF-Membran)
10 m²

Ziel der MD-Membranentwicklung

Hydrophobes Hohlfaserbündel mit 1 m²

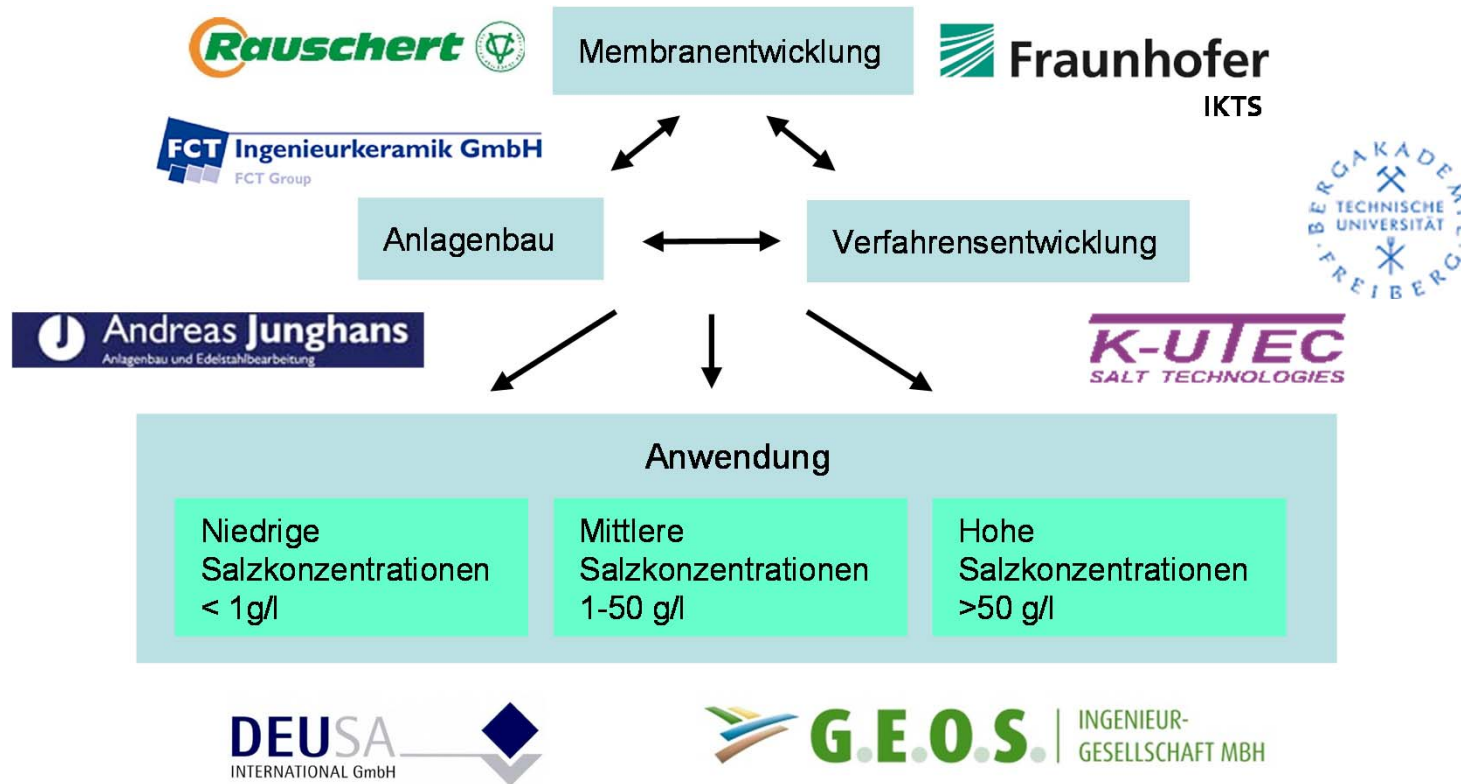
Herausforderungen

- Hydrophobe MF-Membran
- Dünne Wandstärke
- Preiswerte Herstellung
- Charakterisierung



1000 Hohlfasern, Länge: 0,5 m, Fläche: 1 m²

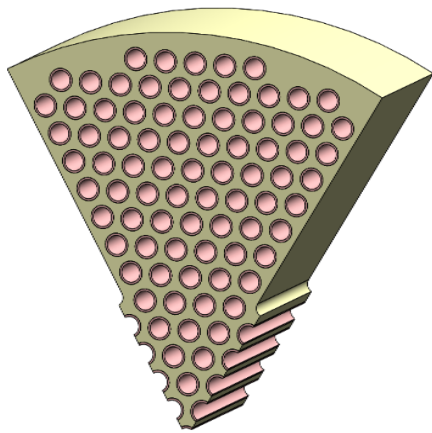
Projektpartner



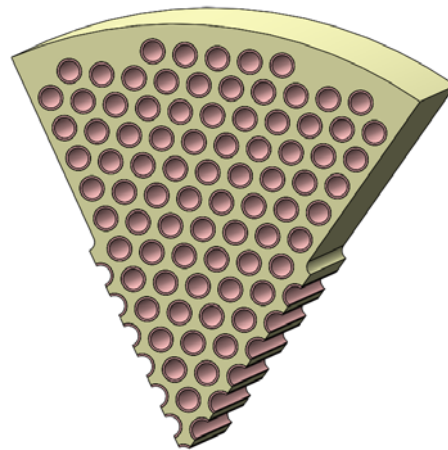
NF-Wabe Strömungsberechnungen

■ Berechnungen an Wabensegmenten mit Membranbeschichtung (Übergang UF zu NF)

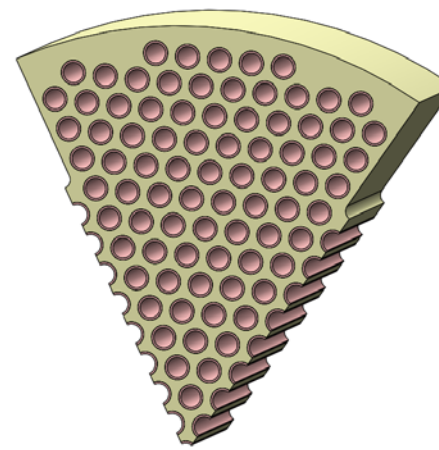
- 60° Segment
- Rechenzeiten > 48h



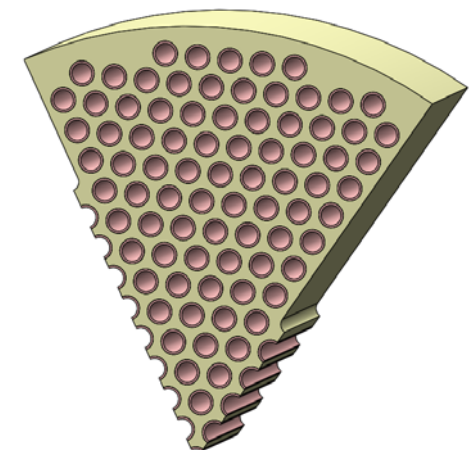
Variante Schlitz 8K



Variante Schlitz 6K



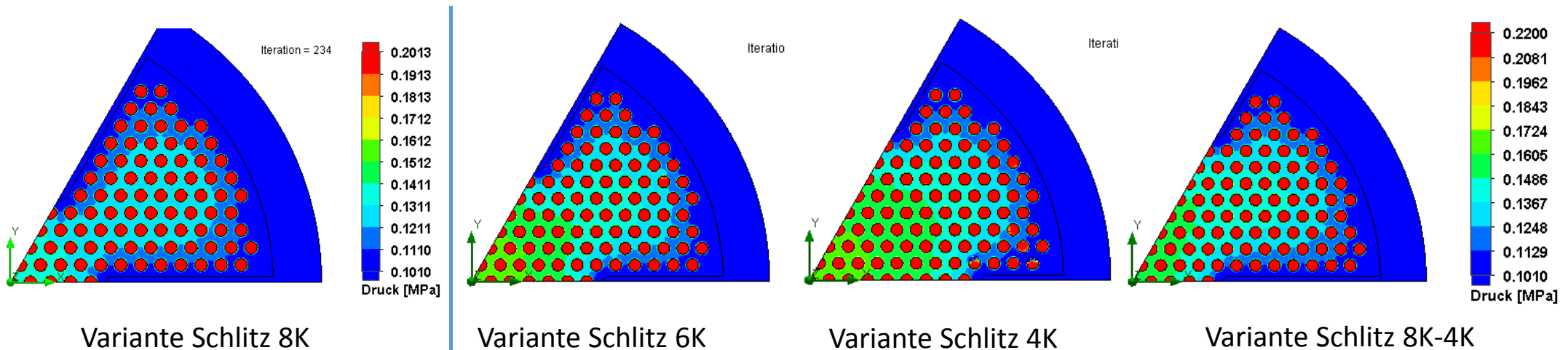
Variante Schlitz 4K



Variante Schlitz 8K-4K

NF-Wabe Strömungsberechnungen

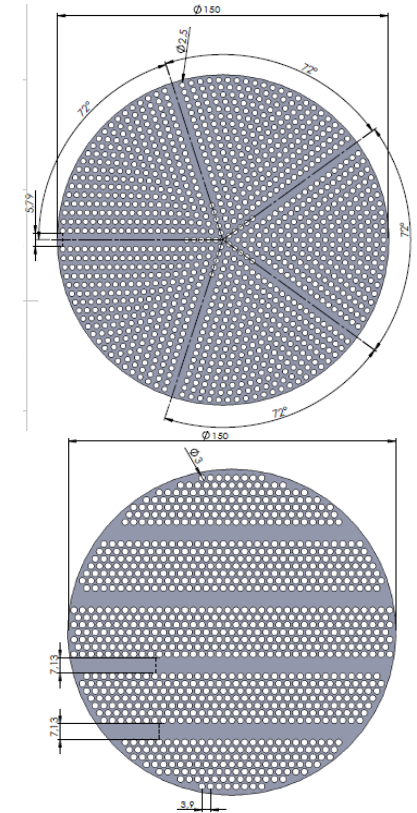
- Permeatabführung durch Permeatsammelkanäle (-schlitze) ist zwingend notwendig



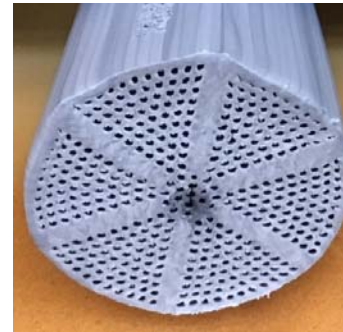
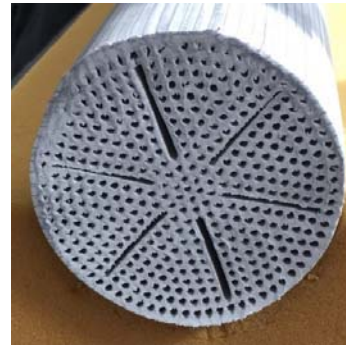
NF-Wabe

Ergebnis der Strömungsberechnungen und Designüberlegungen

1. Extrusion aller möglichen Kanäle, Pluggen ausgewählter Kanalreihen, Cofiring, Beschichtung der nicht gepluggten Kanäle, seitliches Schlitzen der gepluggten Kanalreihen
2. Extrusion nur der offenen Kanäle, offene Schlitzbereiche, Pluggen der Schlitzbereiche, Cofiring, Beschichtung der Kanäle, seitliches Schlitzen der gepluggten Schlitzbereiche
3. Extrusion nur der offenen Kanäle, Vollstege im Schlitzbereich, Beschichtung der Kanäle, Schlitzen
4. Sternförmige Kanalordnung und entsprechende sternförmige Schlitzung
5. Parallele Kanalordnung und entsprechende parallele Schlitzung



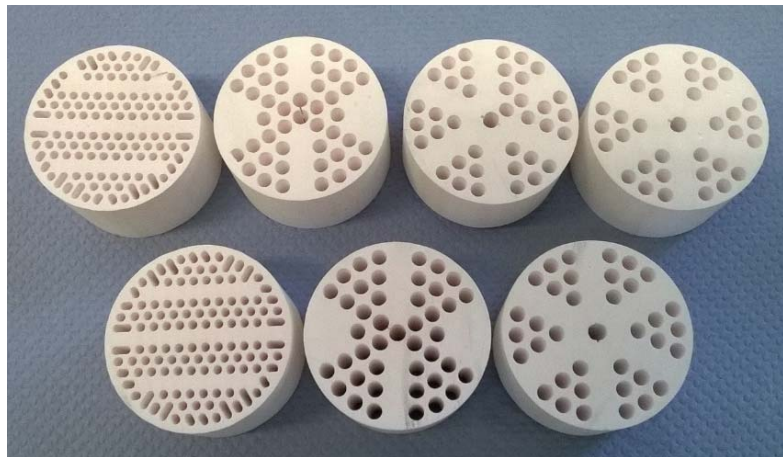
NF-Wabe Supportherstellung, Handling



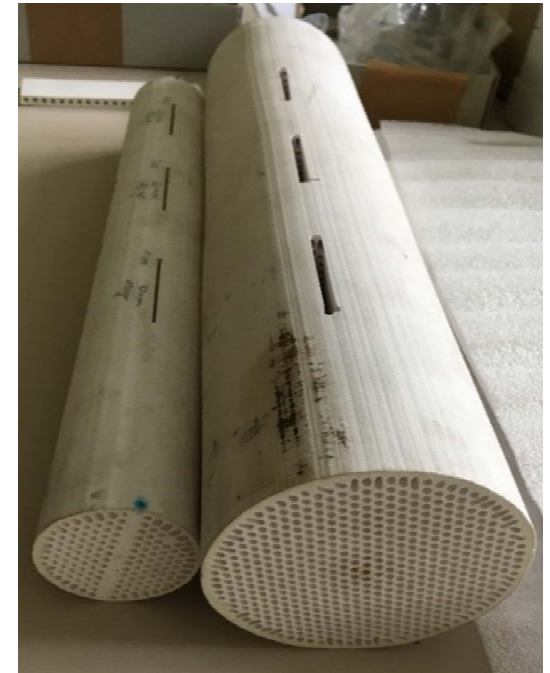
- Kostengünstige generative Herstellung von Extrusionswerkzeugen (Lasersintern)
- Erprobung der aussichtsreichen Geometrien bzgl. Extrudierbarkeit, Festigkeit, Beschichtbarkeit, Membranqualität



NF-Wabe Pluggen, Schlitzen



- Pluggen ungebrannter Supporte mit arteigenem Schlicker und anschließendem Cofiring
- Schlitzen mit Fräsen, Wasserstrahlschneiden oder Trennschleifen



NF-Wabe Beschichtung



- Prinzip der Beschichtung erfolgt analog der Rohrbeschichtung
- Vermeidung der Blasenbildung
- Optimierung der Viskosität
 - Verwendung niedrigviskoser Schlicker (Zwischenschichten)
- Optimierung der Trocknungsbedingungen
 - Berücksichtigung des Gradienten im Saugverhalten
- Optimierung der Brennbedingungen
 - Verringerung der Aufheizgeschwindigkeit

Hohlfaserbündel für Membrandestillation

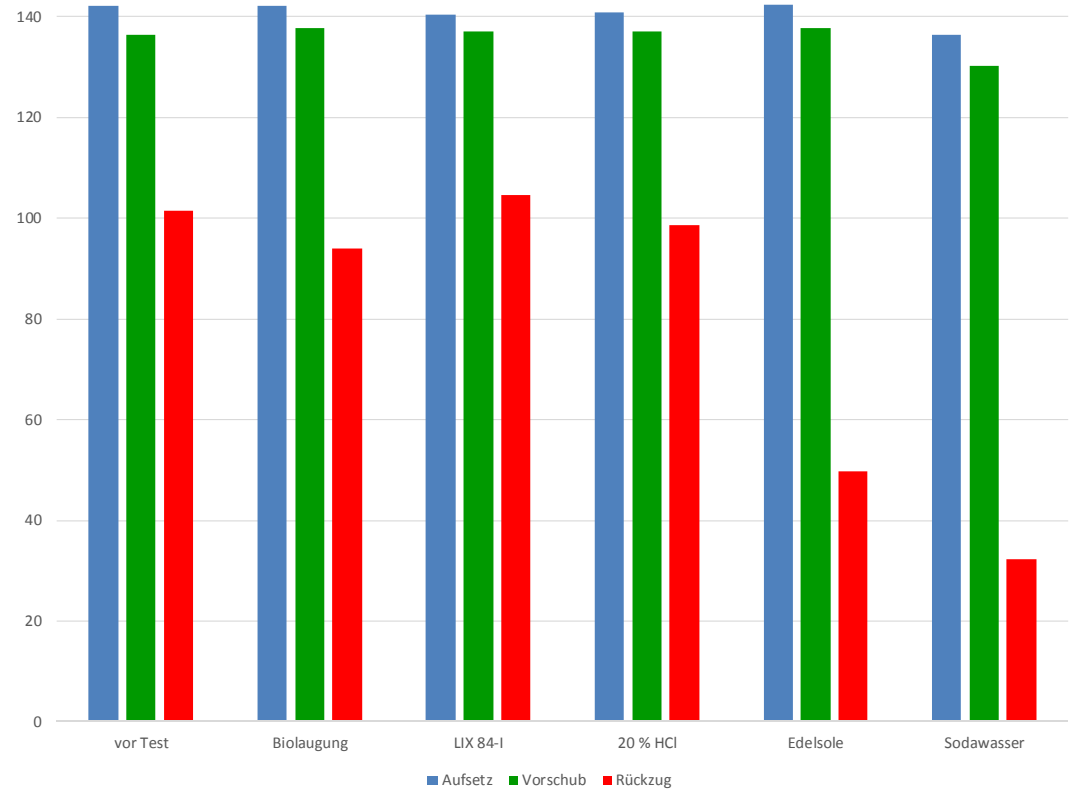
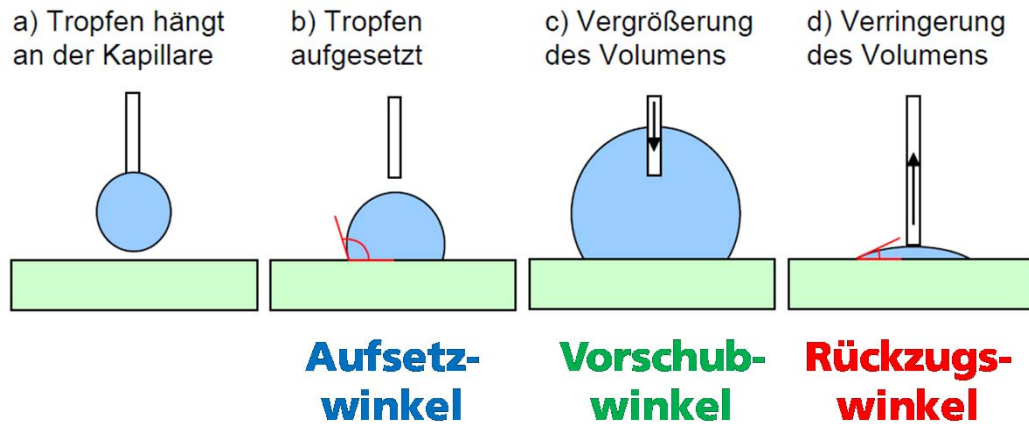


2. Statusseminar, 29.-30.05.2018, Frankfurt am Main

Folie 12/20



Hohlfaserbündel für Membrandestillation Hydrophobierung, Randwinkelmessung



Membranerprobung

Labor

(Grundlagen, Parameter)

Technikum

(Scale-up, Optimierung)

Pilot

(Scale-up, Anwendung)

Prozesswasser

Spülwasser

Edelsole

Kühlturmwasser

Mutterlauge

Anwendung

NF

NF &
Kristallisation

MD

MD &
Kristallisation

Ziel

Recycling,
Weiterverwendung

Sulfat-
abtrennung

Aufkonzentrierung

Kalium-
abtrennung

Mittlerer
Salzgehalt

60 g/l MgCl₂,
40 g/l KCl

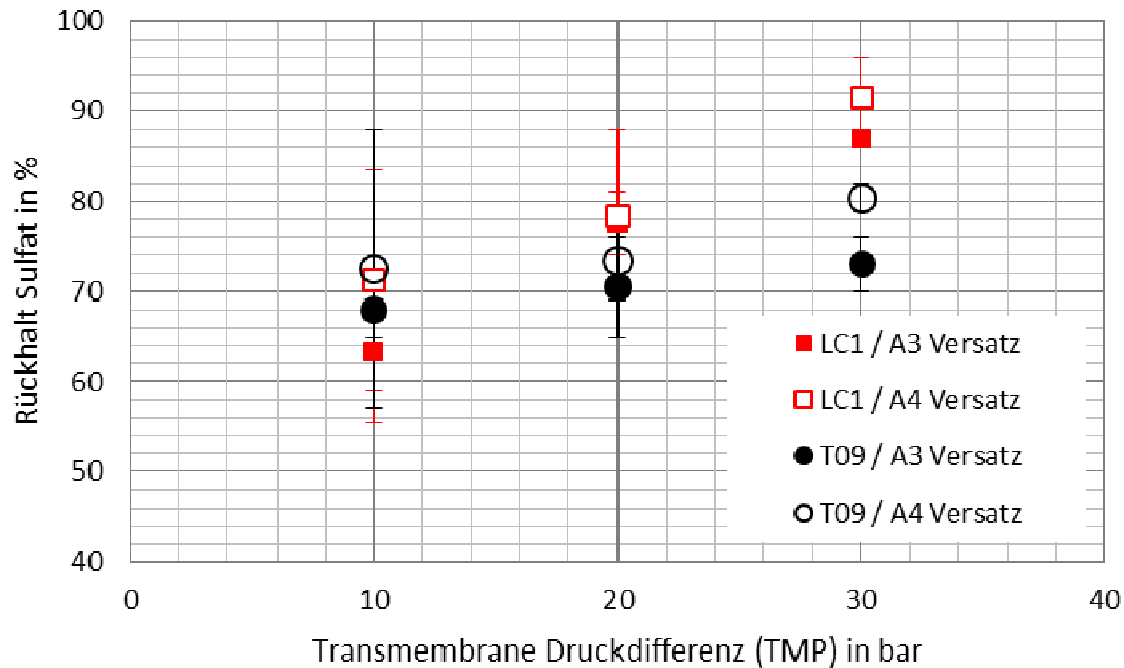
450 g/l MgCl₂,
30 g/l MgSO₄

150 g/l MgCl₂

400 g/l MgCl₂,
20 g/l KCl

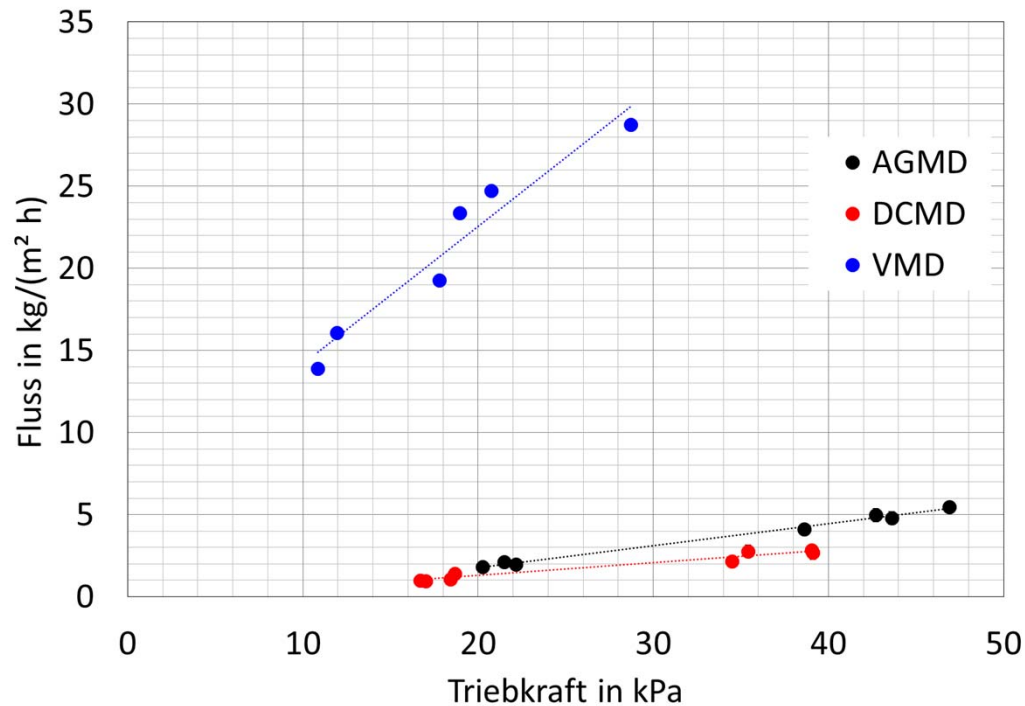
Membranerprobung (Labormaßstab) Nanofiltration

Randbedingungen: pH4 1g/l MgSO₄, 3,5 m/s



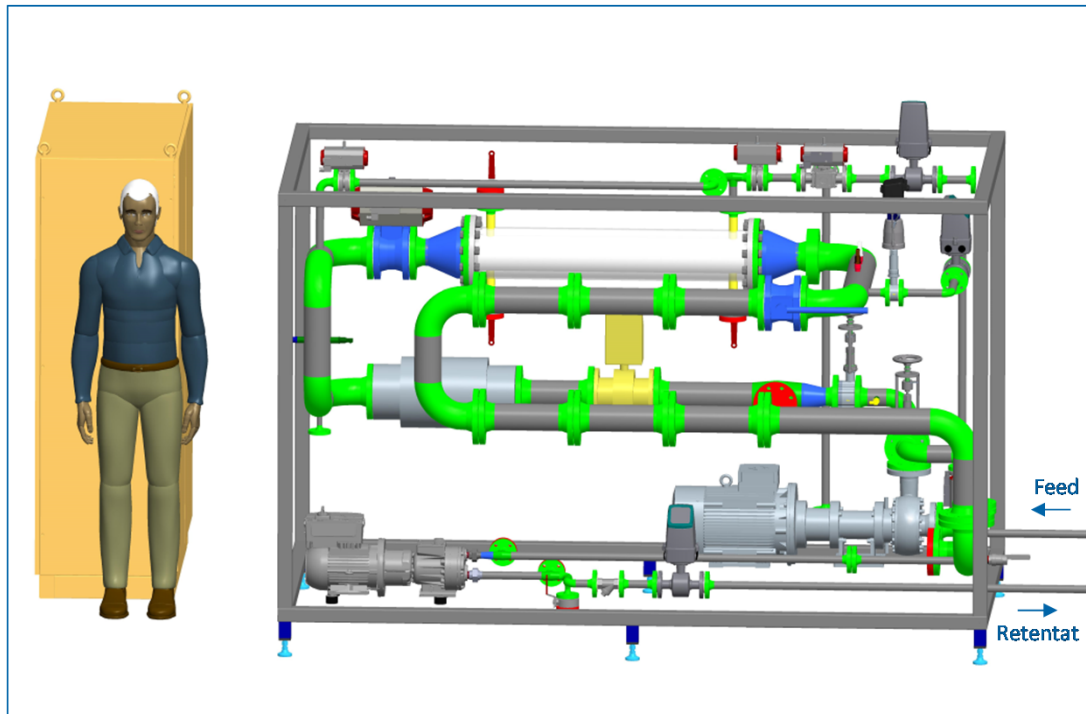
- Langes Einlaufverhalten (24 h) der Membranen
- Sulfat-Rückhalt >70 % (30 bar TMP, pH 4)
- Abnehmender Permeatfluss mit steigendem Sulfat-Rückhalt
- Der Sulfat-Rückhalt steigt mit zunehmendem Salzgehalt (bis 20 g/l MgSO₄), gleichzeitig sinkt der Fluss
- Bei hohen Drücken und bei pH4/7 besitzt LC1 (200 Da) Membran höhere Sulfat-Rückhalte als T09 (450 Da) Membran

Membranerprobung (Labormaßstab) Membrandestillation Air Gap MD (AGMD), Direct Contact MD (DCMD), Vakuum MD (VMD)



- NaCl-Lösung (250 g/l)
- Porengröße: 100 nm
- Kurzes Einlaufverhalten (0,5 h) der Membranen
- Permeatfluss in keramischen Membranen im Vergleich zu Polymermembranen aufgrund geringerer Porosität kleiner
- Mit steigendem Salzgehalt nimmt der Wasserdampfpartialdruck ab und der Permeatfluss sinkt
- Die VMD hat höheren Fluss im Vergleich zu DCMD und AGMD, sie minimiert den Widerstand auf der Permeatseite

Membranerprobung Planung Pilotanlage zum Einsatz beim Partner DEUSA



- Planung der Anlage bis 10/18
- Bau der Anlage bis 03/19
- Erprobung der Anlage bei DEUSA
- F&E- Nachnutzungskonzept

Zusammenfassung

- Projekt am 1. Februar 2017 gestartet
- Zusammenarbeit funktioniert sehr gut
 - Verbundprojekttreffen vierteljährlich (17.02.17, 02.05.17, 30.08.17, 29.11.17, 22.03.18, 23.08.18)
 - Regelmäßige Treffen auf Arbeitsebene in 2 Gruppen: 1) Membranentwicklung, 2) Anwendung
- Fortschritt gemäß Arbeitsplan
 - Erweiterung der Extrusionsversuche durch generative Fertigung von Werkzeugen
 - Entscheidung zum 10 m²-Design 10/18
- Publikationen
 - Vortrag auf der ICOM 29.07.-04.08.2017, San Francisco
 - Organisation der ICIM 2018 in Dresden

15th International Conference on Inorganic Membranes (ICIM)

June 18-22, 2018, Germany, Dresden, Westin Bellevue
Hosted by Fraunhofer IKTS, co-organized by FZ Jülich

Topics:

- Membrane science
(materials, preparation, characterization, modeling, etc.)
- Membrane technology
(modules, plants, application, membrane reactors, etc.)
- Functional layers for batteries and fuel cells
(Li-ion battery, Na-ion battery, SOFC, MCFC, etc.)

Events:

- Workshop
- PhD-speech contest
- Poster party and awards for the 3 best posters
- Boat trip
- Conference dinner



www.icim2018.com

2. Statusseminar, 29.-30.05.2018, Frankfurt am Main

Folie 19/20



Danksagung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

2. Statusseminar, 29.-30.05.2018, Frankfurt am Main

Folie 20/20

