
Keramische Membrantechnologie – Effizienz für Wasserreinigung und Wertstoffrückgewinnung

Burkhardt Faßauer

Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme

- Membrantypen und Geometrien
- Warum keramische Membranen?
- Applikationen (Wasserreinigung, Wertstoffrückgewinnung)
- Die Zukunft: Neue Prozesse, neue Chancen, neue Anwendungen
- Zusammenfassung



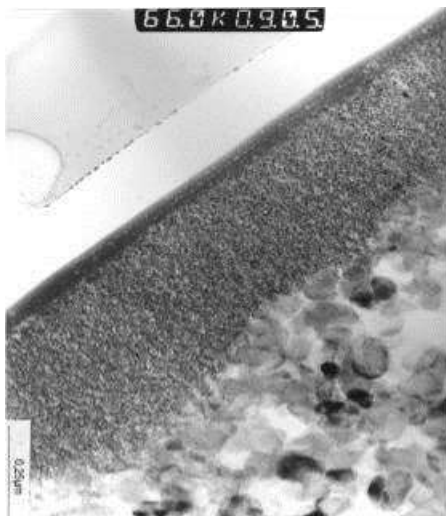
Fraunhofer IKTS

Membran-Mission

- vom Träger zur Membranherstellung und Anwendung
- Membran Entwicklung
- Membranmuster von 0,1 m² ... 1.000 m²
- Membrantests, Pilotierung, Demonstration
- Applikationszentrum Membrantechnologie



Träger



Membran



Modul



Anwendung

Keramische Membrantypen und Geometrien



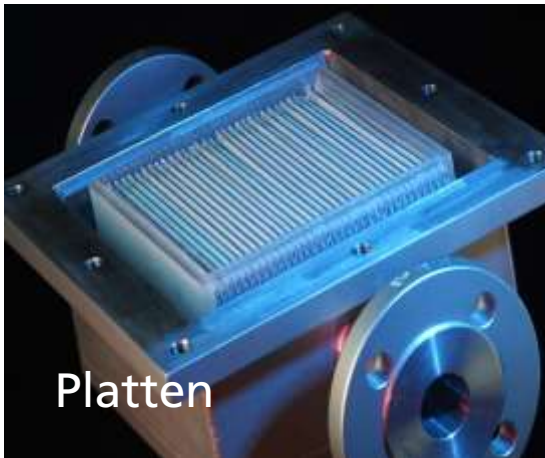
(Mehrkanal-)Rohre



Kapillarbündel



Hohlfasern/
Hohlfaserbündel



Platten



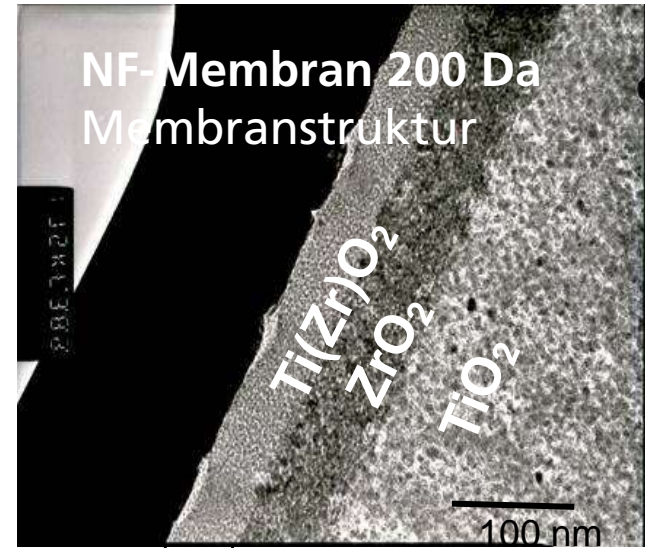
Waben

Materialien:

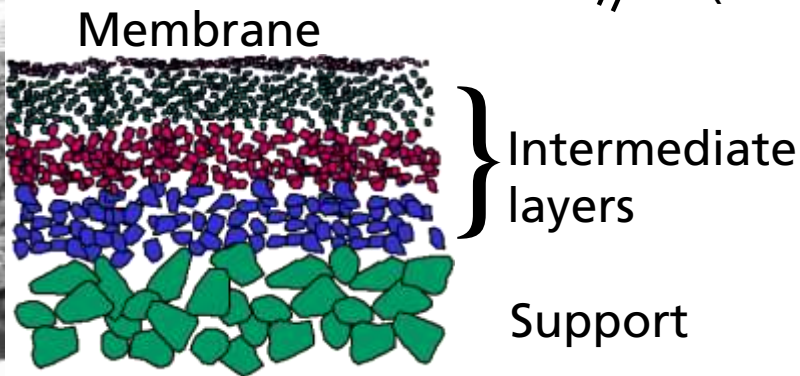
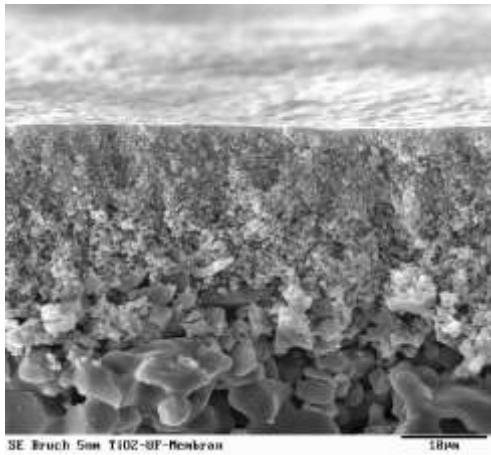
- SiC
- ZrO₂
- Al₂O₃
- TiO₂
- Mullit, Cordierit

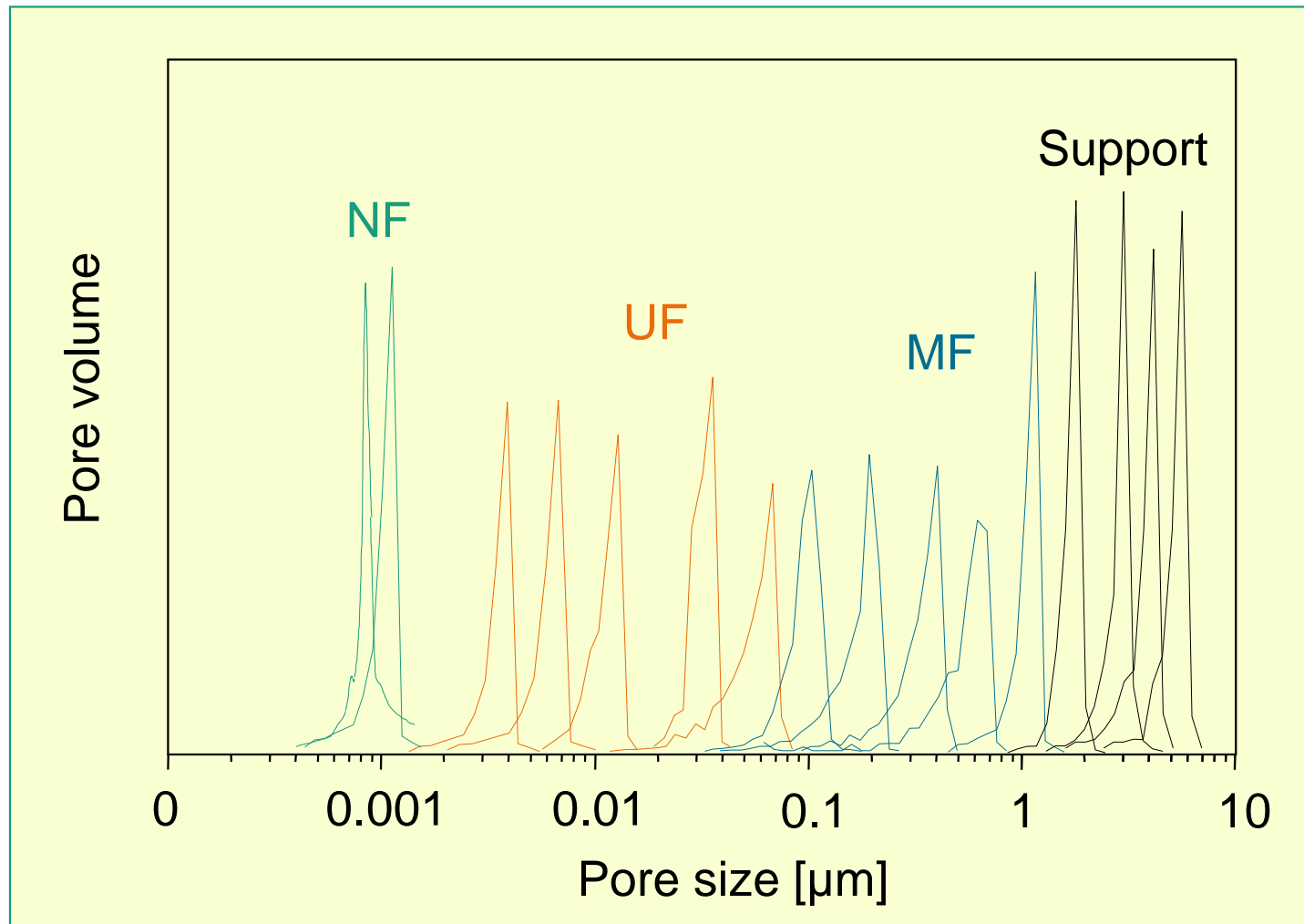
Warum keramische Membranen?

- hohe mechanische, chemische (z.B. pH 0-14 @RT) und thermische Beständigkeit (z.B. bis 350°C)
- Lange Lebensdauer
- Chemisch oder thermisch zu gut reinigen
- Geringer Membranwiderstand, hohe Permeatflüsse (400 L/m²/h/bar), hohe Rückspülflüsse



50 nm
(TEM from ERC Jülich)





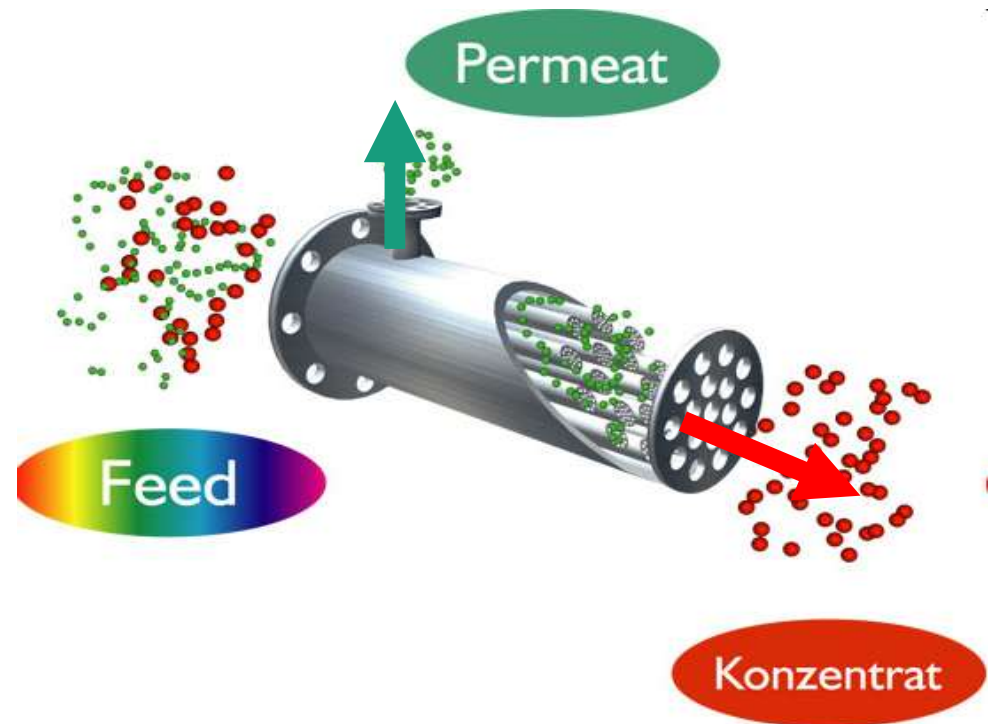
Keramische Membranen

Typische Anwendungen

- Trennung von Öl/Wasser-Gemischen (UF, NF)
- Emulsionspflege (MF)
- Abtrennung von Bakterien und Keimen bzw. Sterilfiltration (UF)
- Klarfiltration von Säften und Weinen (MF)
- Entfärbung von heißen, aggressiven Farbabwässer (NF)
- Teilentsalzung/Abtrennung mehrvalenter Ionen (NF)
- Aufkonzentrierung und Fraktionierung von Milchproteinen (UF)
- Vorbehandlung für die Erzeugung von Milchsäure (UF, NF)
- Aufreinigung und Konzentration von Pharmawirkstoffen (NF)
- Badpflege von Säure- und Laugenbädern (UF, NF)
- Abtrennung von Biologien nach einer Reinstwasseranlage (UF)
- Aufreinigung von organischen Lösungsmitteln (NF)

Applikationen von Mikro- bis Nanofiltration

Querstromfiltration



Applikationen von Mikro- bis Nanofiltration

Mikrofiltration

- TMP: 0,5 bis 3 bar
- Abwasser
- Emulsionspflege

Ultrafiltration

- TMP: 3 bis 6 bar
- Sterilfiltration
- Proteinabtrennung

Nanofiltration

- TMP: 5 to 20 bar
- Entfärbung
- Teilentsalzung

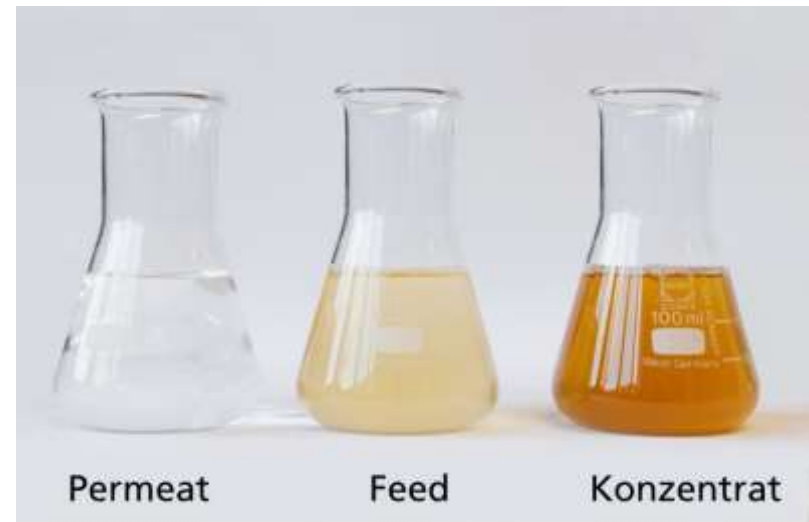
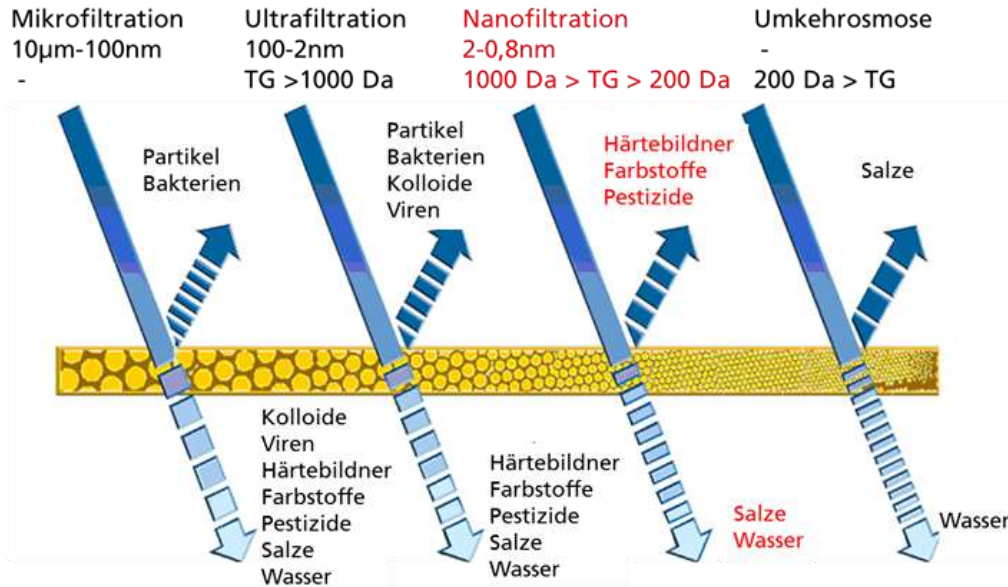


Bild: <http://www.hidro-sis.com/wp-content/uploads/2014/02/u1.jpg>

Ultrafiltration für das Recycling von Laugenbädern

- Reinigung von Mehrwegflaschen aus PET durch heiße, alkalische Waschlauge (pH=13-14, T=60°C)
- häufiger Wechsel bei Polymermembranen
- Alternative: Ultrafiltrationseinheit wurde mit keramischen Membranen bestückt
 - 2 Module, Filterfläche ≈ 3.5 m², TMP: ≈ 7 bar
 - Permeat flux ≈ 600 l/h



Nanofiltration für die Behandlung von Textilabwasser



- Membranfläche: 65 m²
- Permeatfluss: 15 m³/h
- Konzentrationsfaktor: 10-20
- Farbrückhalt 70-100 %
- CSB-Reduktion: 45-80 %
- Entsalzung: 10-80 %
- Betriebsparameter: 15 bar, 3.5 m/s



Praxisbeispiele

Reinigung organischer Lösungsmittel

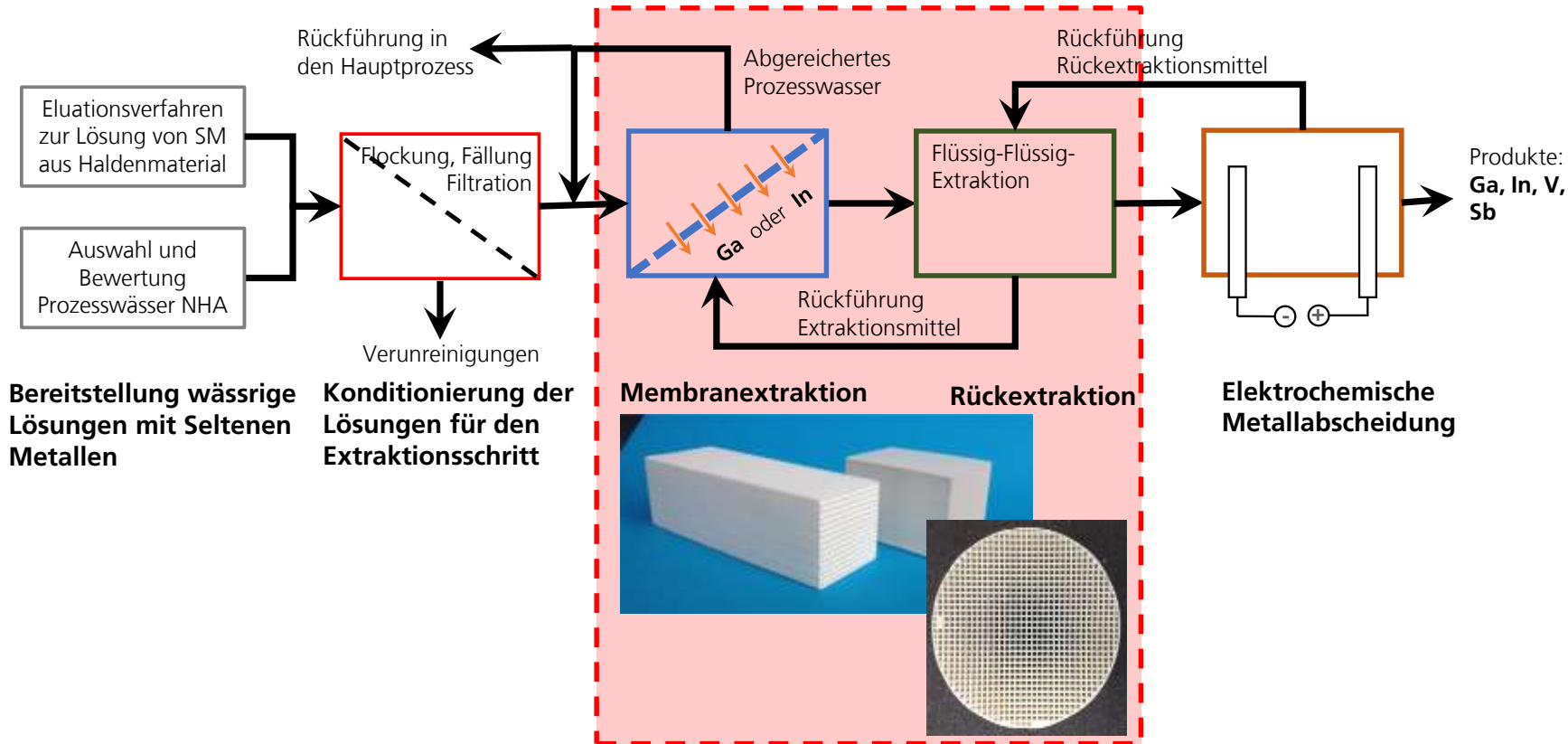


Gewinnung von Metallen

- Gewinnung wirtschaftsstrategischer metallischer Rohstoffe aus niedrigkonzentrierten Prozesswässern
- Membranextraktion

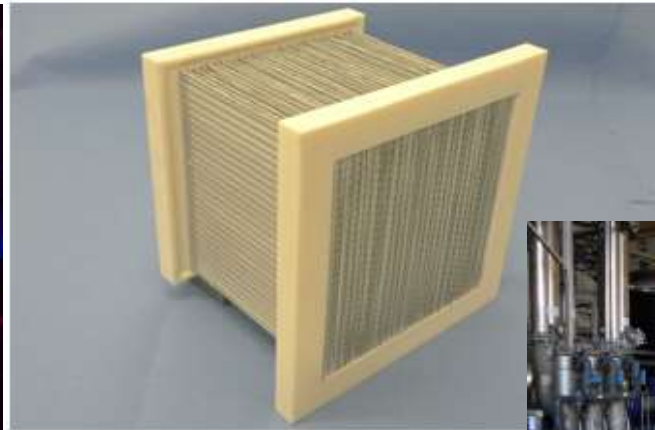


Gallium
Indium
Tellur
Quelle: www. http://jumk.de



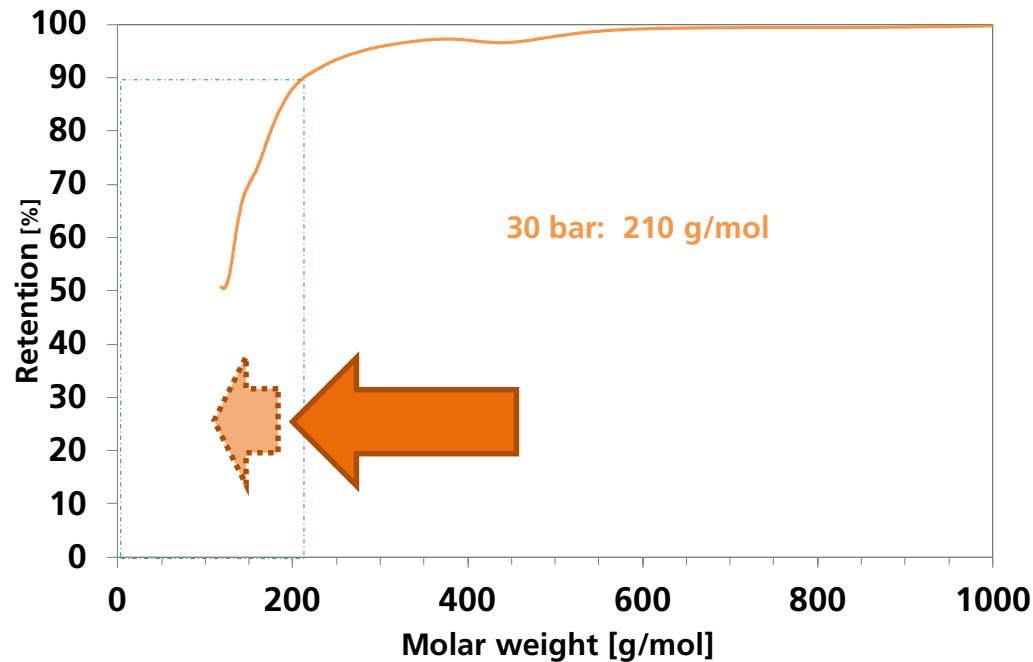
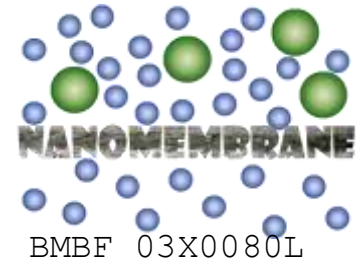
Gewinnung von Phosphordüngern

- „Molecular Sorting“
- Fraktionierte Heißgasfiltration
- Abreicherung von Schwermetallen in der Asche von Mono-Klärschlammverbrennungsanlagen
- Selektive Filtration zur Aufkonzentration P-haltiger Lösungen



Neuere Entwicklungen

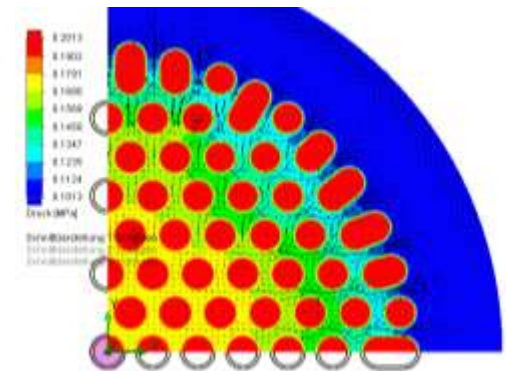
- Trend 1: kleinere Poren, geringerer Cut-off (200 Da)
- Hohe pH-Wert-Stabilität
- Gute Trennleistung in organischen Lösungsmitteln



Neuere Entwicklungen



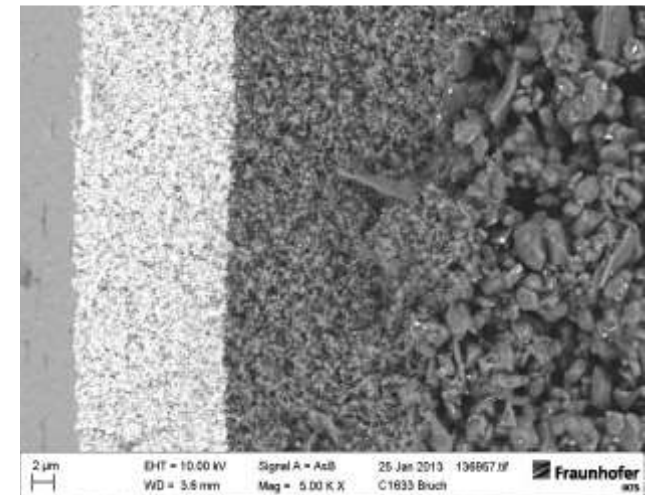
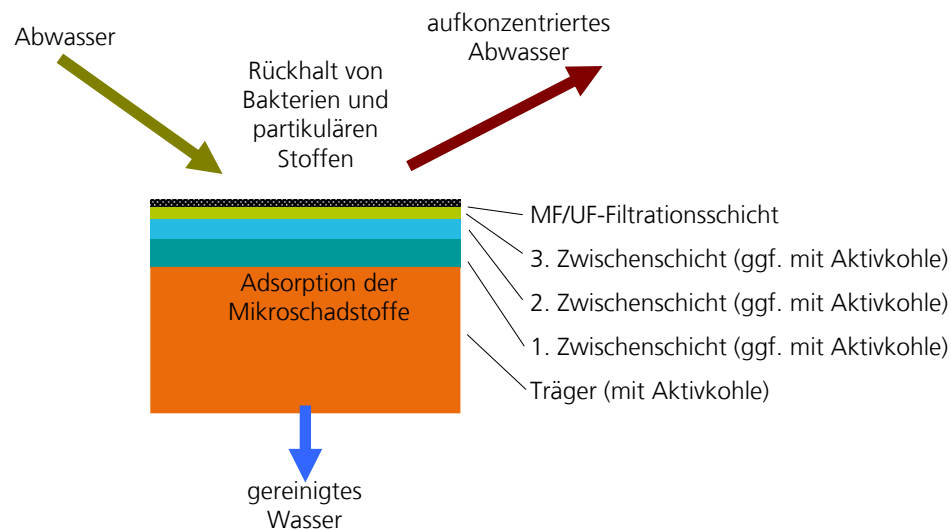
- Trend 2: Größere Filterflächen pro Volumeneinheit
- EU Project "CeraWater" www.cerawater.eu
- Verbesserung der Effizienz der Wasserreinigung durch keramische Membranen mittels:
 - Erhebliche Vergrößerung der Filterfläche von NF-Membranen
 - Verbesserung der Anti-Fouling-Eigenschaften



- NF Beschichtung, 163 Kanalrohr, $\varnothing 41\text{mm}$
- Permeanz 29,5 l/m² h bar
- Comparable to existing membranes

Neuere Entwicklungen

- Trend 3: Funktionalisierungen / Hybride Systeme
- „Anorganischer Membranadsorber“
- integrative Verfahrenskombination aus Aktivkohleadsorption und Membranfiltration (MF/UF) in einem Bauteil
- Entfernung von Mikroschadstoffen aus belasteten Abwässern dezentraler Anlagen bei simultaner Desinfektion



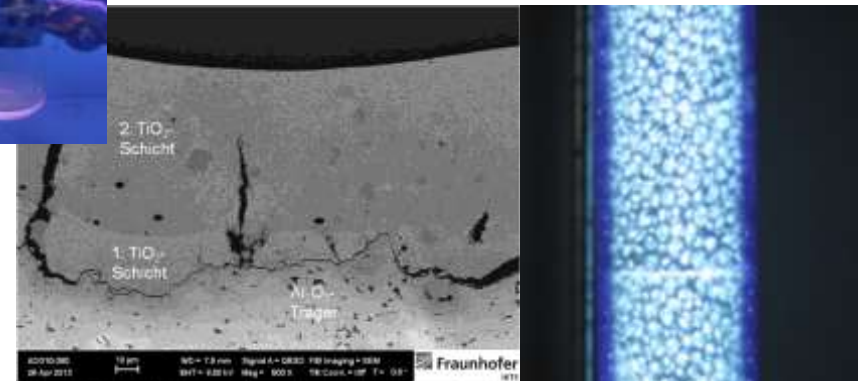
Neuere Entwicklungen

- Trend 3: Funktionalisierungen / Hybride Systeme
- Weitergehender Abbau von anthropogenen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser unter Nutzung "Hybrider keramischer Membranen"
- Filtration und photokatalytische induzierte Oxidation in einem Bauteil



Glasgebundene Mehr-Kanal-Elemente (MKE) auf SiC-Basis für die getauchte Anwendung

TiO₂-beschichtete zelluläre Keramiken auf Basis von Al₂O₃



Zusammenfassung

- Keramische Membranen können sinnvoll unter harten Bedingungen für verschiedene Zwecke eingesetzt werden, z.B.:
 - Reduzierung des Abwasseranfalls
 - Reinigung von Wässern, Stofftrennung
 - Rohstoffrückgewinnung
 - Energieeinsparung
- Die Entwicklung schreitet fort:
 - Senkung des cut-off (250 Da)
 - Größere Filtrationsfläche im Volumen
 - Hybride Systeme (Material- für Prozesskombinationen)

