

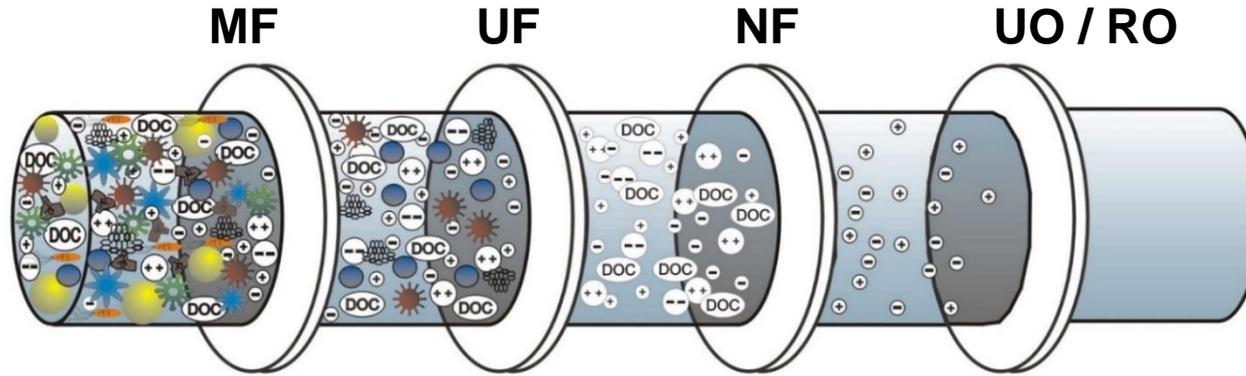
GRUNDLAGEN DER MEMBRANTECHNIK / PARTIKELNENTFERNUNG

Trinkwasserfortbildung, TZW, 09.07.2024
M. Sc. Sebastian Egner



- Übersicht Membranverfahren
- Grundlagen zur Mikrofiltration (MF) und Ultrafiltration (UF)
- Übersicht zu MF/UF-Anlagen im Betrieb
- Rückhalt von Partikeln – Beispiele
- Was ist beim Betrieb von MF/UF-Anlagen zu beachten?
- Einblick Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (UO)

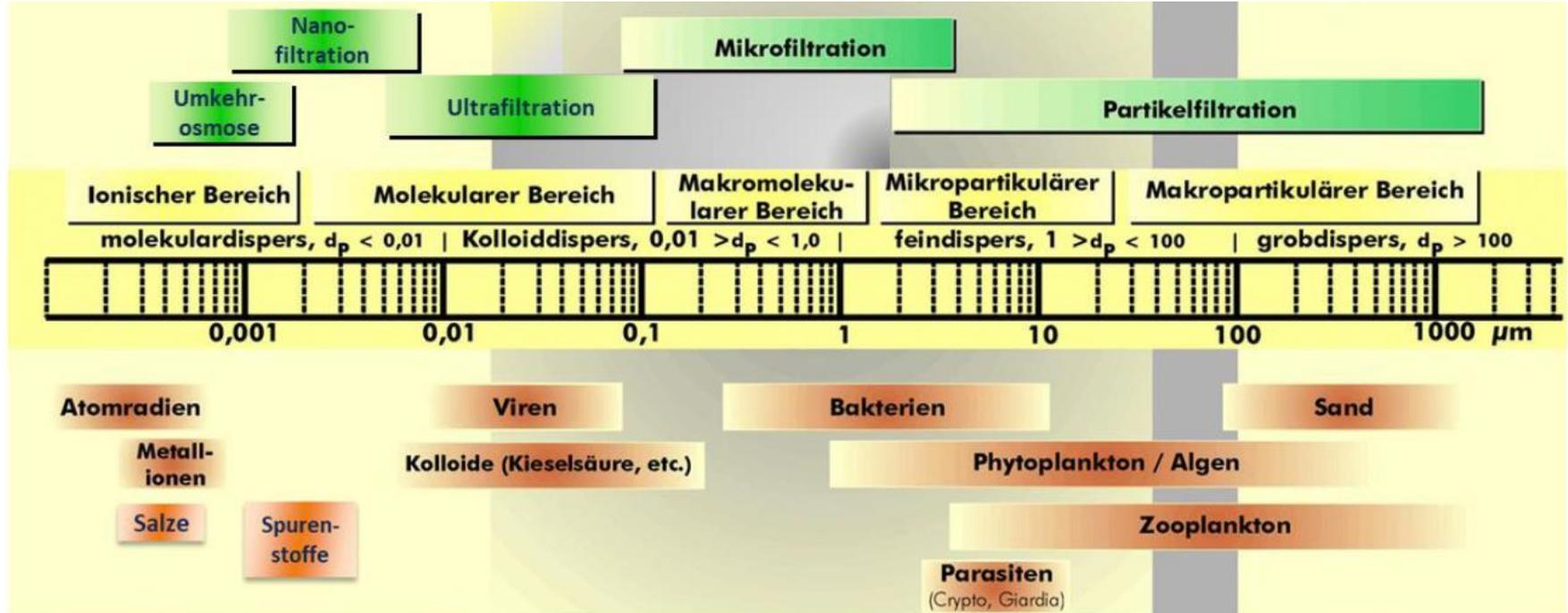
Membranverfahren



Quelle: Pia Lipp, TZW

Zurückgehalten werden durch :	Mikrofiltration > 0,1 µm	Ultrafiltration 0,1 - 0,01 µm	Nanofiltration 0,01 - 0,001 µm	Umkehrosmose < 0,001 µm
folgende Wasserinhaltsstoffe	<ul style="list-style-type: none"> Zooplankton Algen Trübungen Bakterien Suspendierte Partikel 	<ul style="list-style-type: none"> Makromoleküle Viren Kolloide 	<ul style="list-style-type: none"> organische Verbindungen vorzugsweise zweiwertige Ionen zweiwertige Ionen 	<ul style="list-style-type: none"> zusätzlich zur Nanofiltration: einwertige Ionen
erforderliche Druckdifferenz:	0,1 - 2 bar	0,1 - 5 bar	3 - 20 bar	10 - 100 bar bzw. 5-10 bar Niederdruckumkehrosmose (LPRO)

Größenbereiche von Wasserinhaltsstoffen vs. Membranverfahren



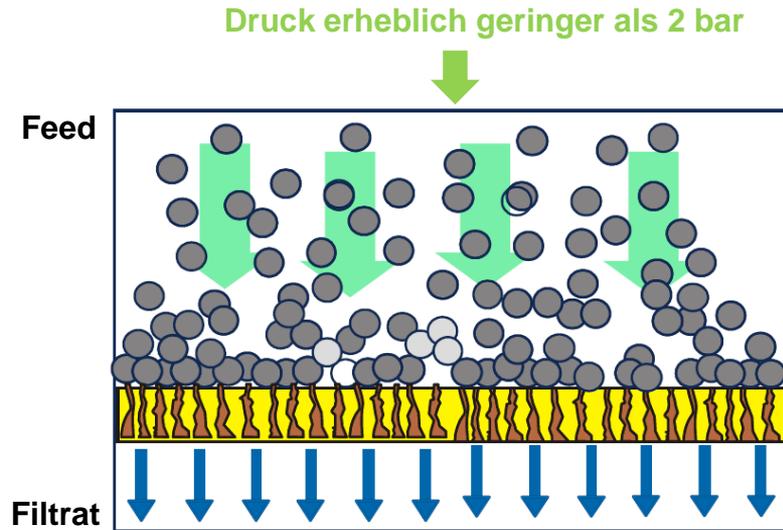
Einsatzbereiche in der Trinkwasseraufbereitung

- **Mikrofiltration / Ultrafiltration:**
 - Entfernung von suspendierten kolloidalen und hochmolekularen Substanzen bzw. Partikeln, Viren, Mikroorganismen
 - Behandlung schlammhaltiger Wässer aus der Filterspülung
- **Nanofiltration / Umkehrosmose:**
 - Enthärtung, Entsalzung, Sulfat, Farbe, Huminstoffe, Nitrat
 - selten: Enteisung, Entmanganung (nur bei reduzierten Wässern)
 - untergeordnet: Entfernung von organischen Spurenstoffen

Mikrofiltration / Ultrafiltration zur Abtrennung von partikulären Wasserinhaltsstoffen

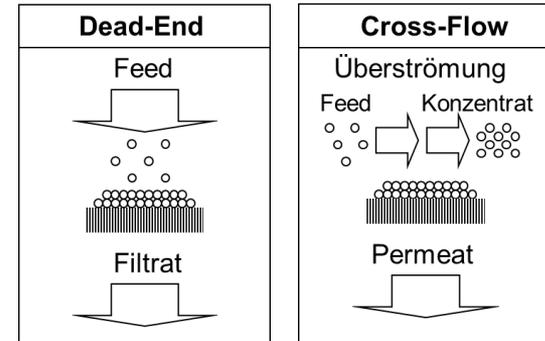
Rückhalt bei porösen Membranen MF/UF...

- überwiegend durch den Siebeffekt:
 - D.h. alle Partikel die größer als die Porenweite sind, werden mechanisch abgetrennt
 - gelöste Ionen/Stoffe passieren die Membran



Quelle: Stefan Panglisch, Universität
Duisburg-Essen, angepasst

MF/UF: Dead-end Betrieb

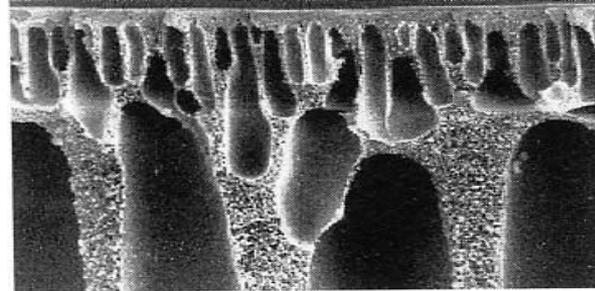


UF-Membran:

- Porengröße ca. $0,01-0,02 \mu\text{m}$
- Stofftransport konvektiv

Aufbau und Struktur von MF/UF-Membranen

- Membranmaterialien z.B.
 - Polyethersulfon (PES)
 - Polyvinylidenfluorid (PVDF)
 - weitere organische...
 - anorganisch: z.B. Keramik

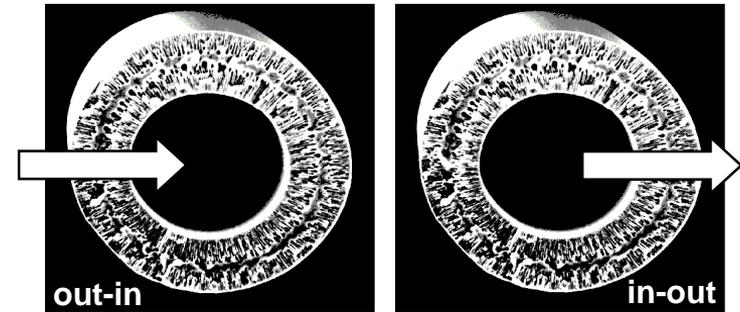
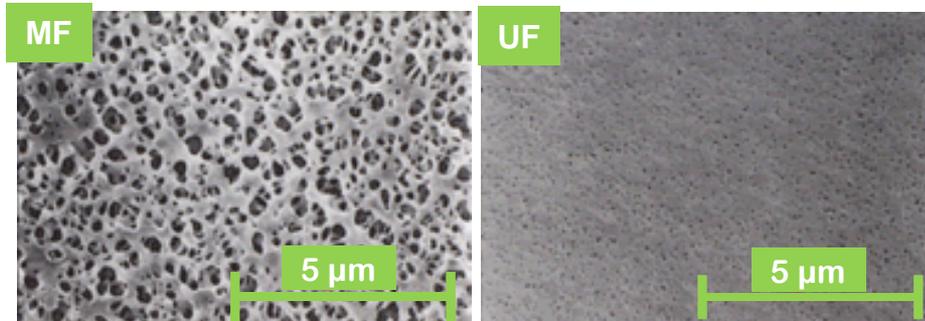


Aktive Schicht, z.B. 0,2 μm

Trägerschicht, z.B. 200 μm hochporös

Quelle: Foto aus Buch „Membranverfahren“, Melin/Rautenbach

- Membranoberfläche / Querschnitt Kapillare

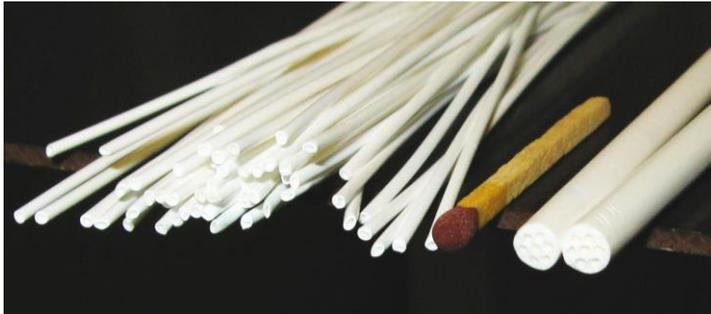


Quelle: Fotos von Daiso Chemical, Microza-Membran

Kapillarmembranen für MF/UF

- Kapillaren:

Hohlfasern	→ $d < 0,5 \text{ mm}$
Kapillarmembranen	→ $d = 0,5 \dots 5 \text{ mm}$
Rohrmembranen	→ $d > 5 \text{ mm}$



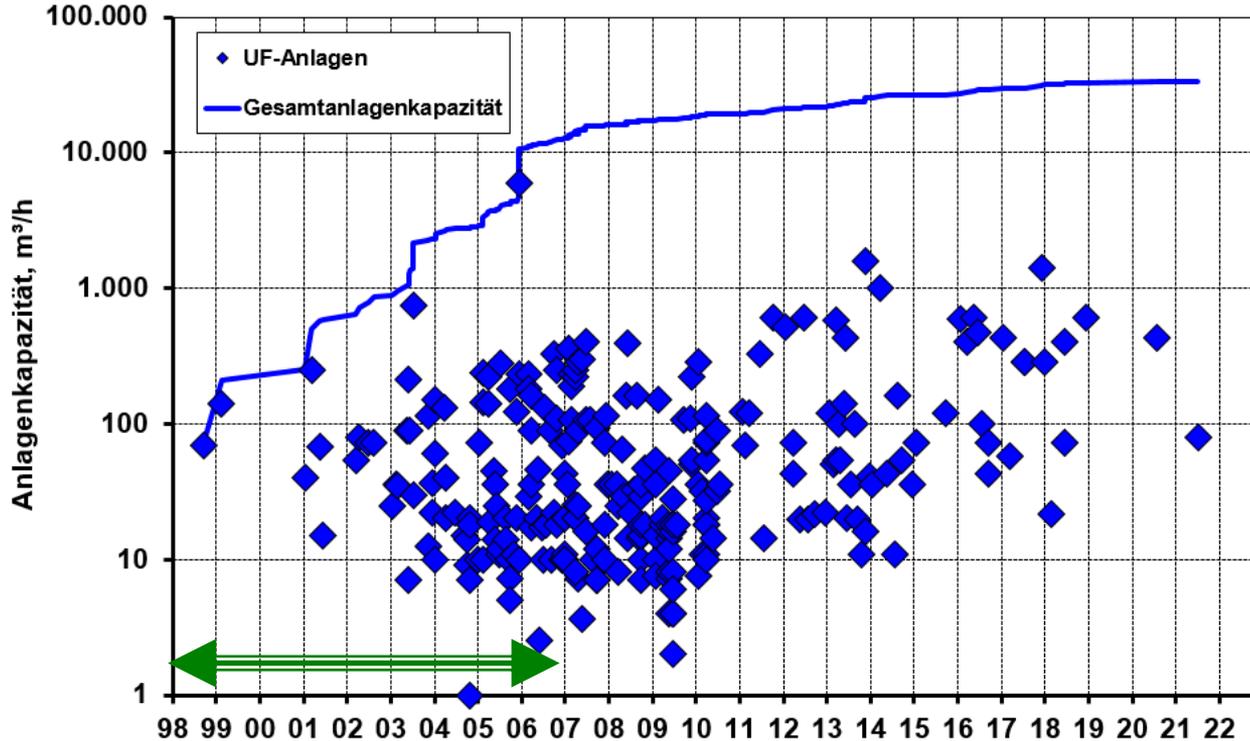
- Module: Membranfläche ca. 40-80 m²



Beispiele verschiedener Membransysteme in der öffentlichen Trinkwasserversorgung



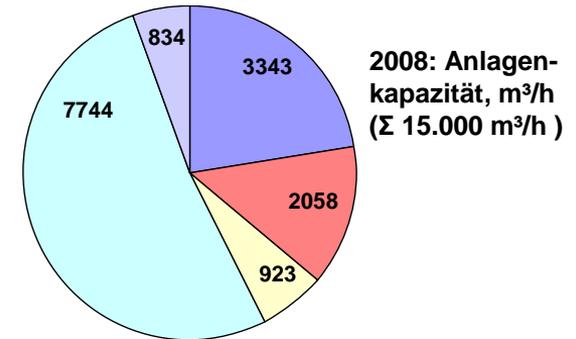
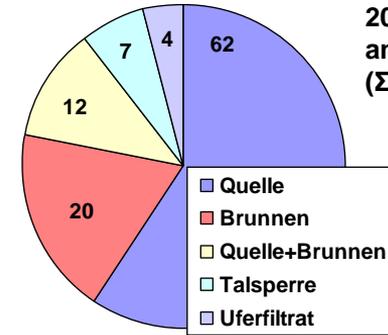
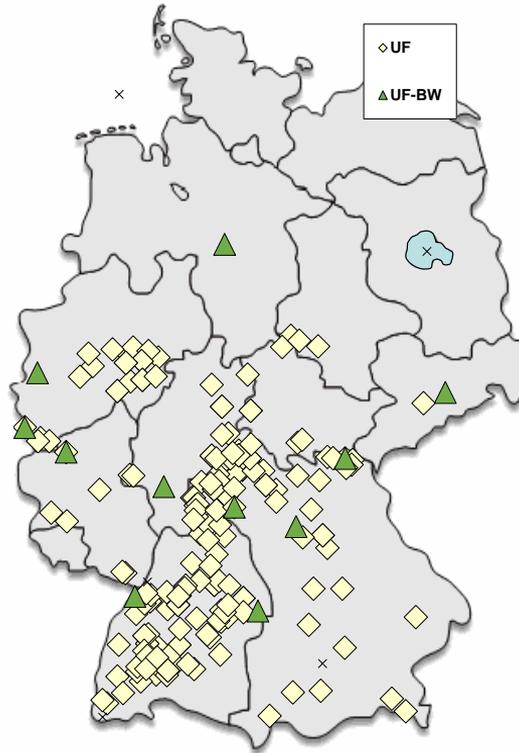
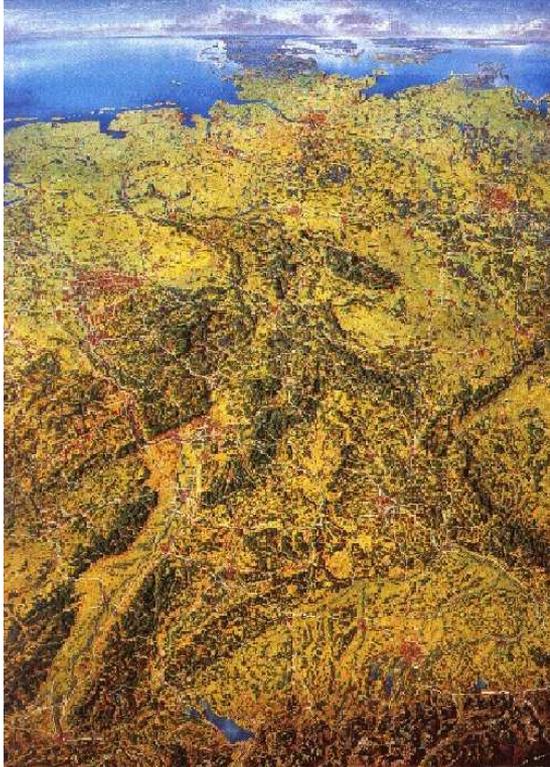
Entwicklung MF/UF-Anlageninstallationen



ca. 33.500 m³/h,
ca. 290 Anlagen

DVGW-Forschungs-
vorhaben W 04/03/05
Bestandsaufnahme MF/UF

MF/UF-Anlagen in Deutschland



Aufbereitungsziele beim Einsatz von MF/UF

- Generell weitestgehende Entfernung kolloidaler und partikulärer Wasserinhaltsstoffe z.B.:
 - Parasiten (z.B. Cryptosporidien, Giardien)
 - Plankton (Phytoplankton/Algen, Zooplankton)
 - Bakterien (z.B. E.coli, Coliforme, Fäkalstreptokokken, Enterokokken, Clostridien, Legionella)
 - Viren
 - Silikate, Tonminerale
 - Eisen-, Mangan-, Aluminiumverbindungen (z.T. über Flockung bzw. Voroxidation)

Anforderungen gemäß TrinkwV 2023 und aaRdT

- Trübung...
 - bei filtrativen Verfahren qualitative Überwachung der Aufbereitung erforderlich
 - Anlage 5, Teil I: < 1 NTU (hier: FNU)
 - Liste gemäß §20: < 0,1-0,2 FNU vor Desinfektion
 - UBA-Empfehlung: < 0,2 FNU im Filtrat Einzelfilter
 - DVGW-Wasser-Info Nr. 53: < 0,1 FNU Trübung im Gesamtfiltrat

- Mikrobiologische Anforderungen

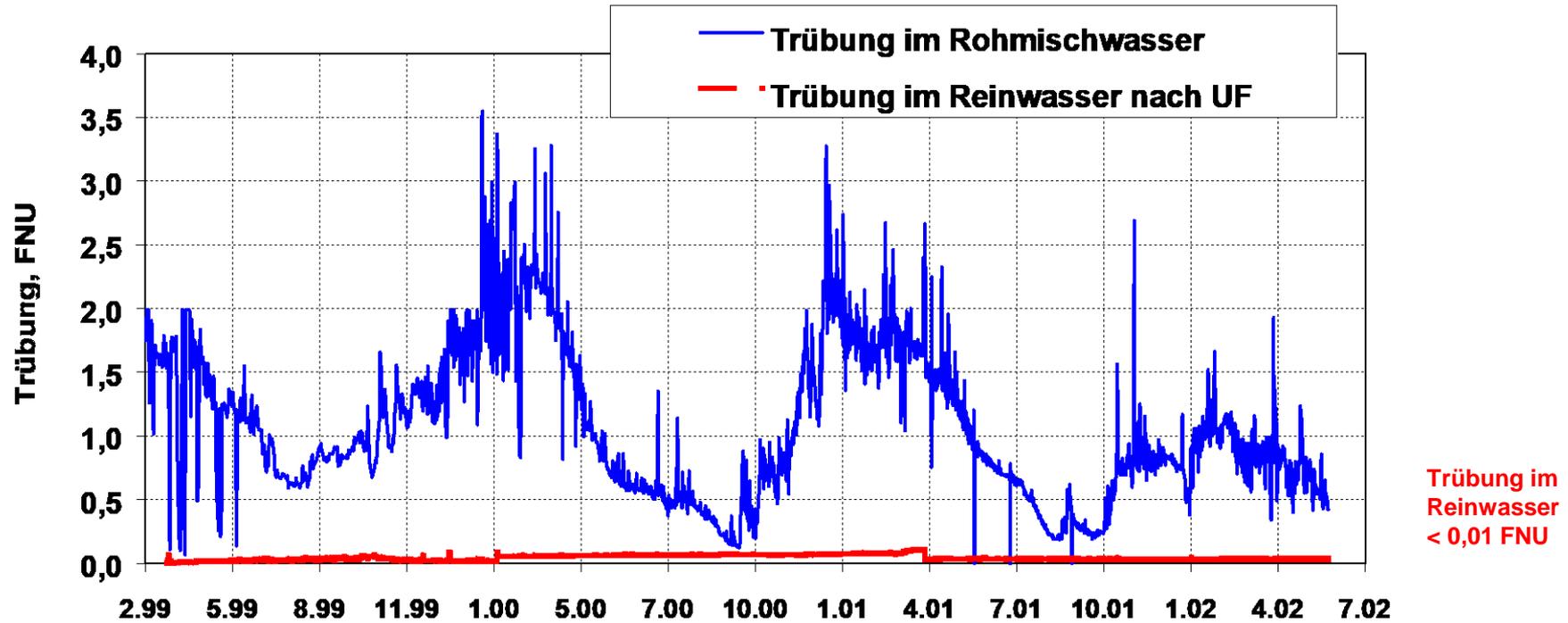
Anlage 1 - Mikrobiologische Parameter Teil I: Allgemeine Anforderungen an Trinkwasser

Parameter	Grenzwert
Escherichia coli (E. coli)	0/100 ml
	0/100 ml

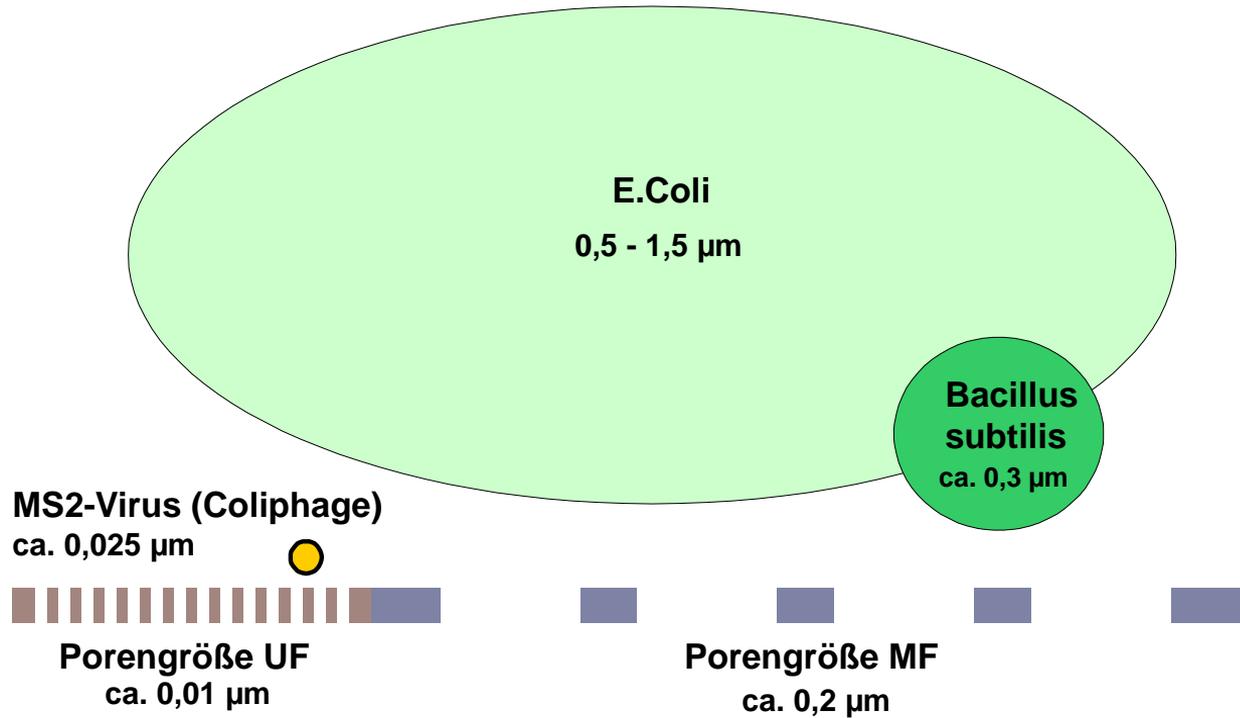
Anlage 3 - Allgemeine Indikatorparameter

Parameter	Einheit, als	Grenzwert / Anforderung
Clostridium perfringens (einschließlich Sporen)	Anzahl / 100 ml	0
Coliforme Bakterien	Anzahl / 100 ml	0
Koloniezahl bei 22 °C		ohne anormale Veränderung
Koloniezahl bei 36 °C		ohne anormale Veränderung

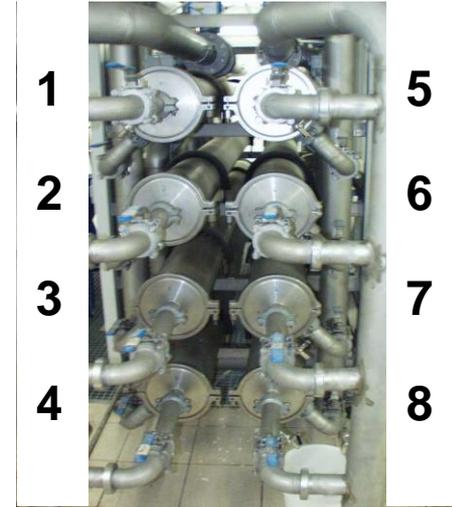
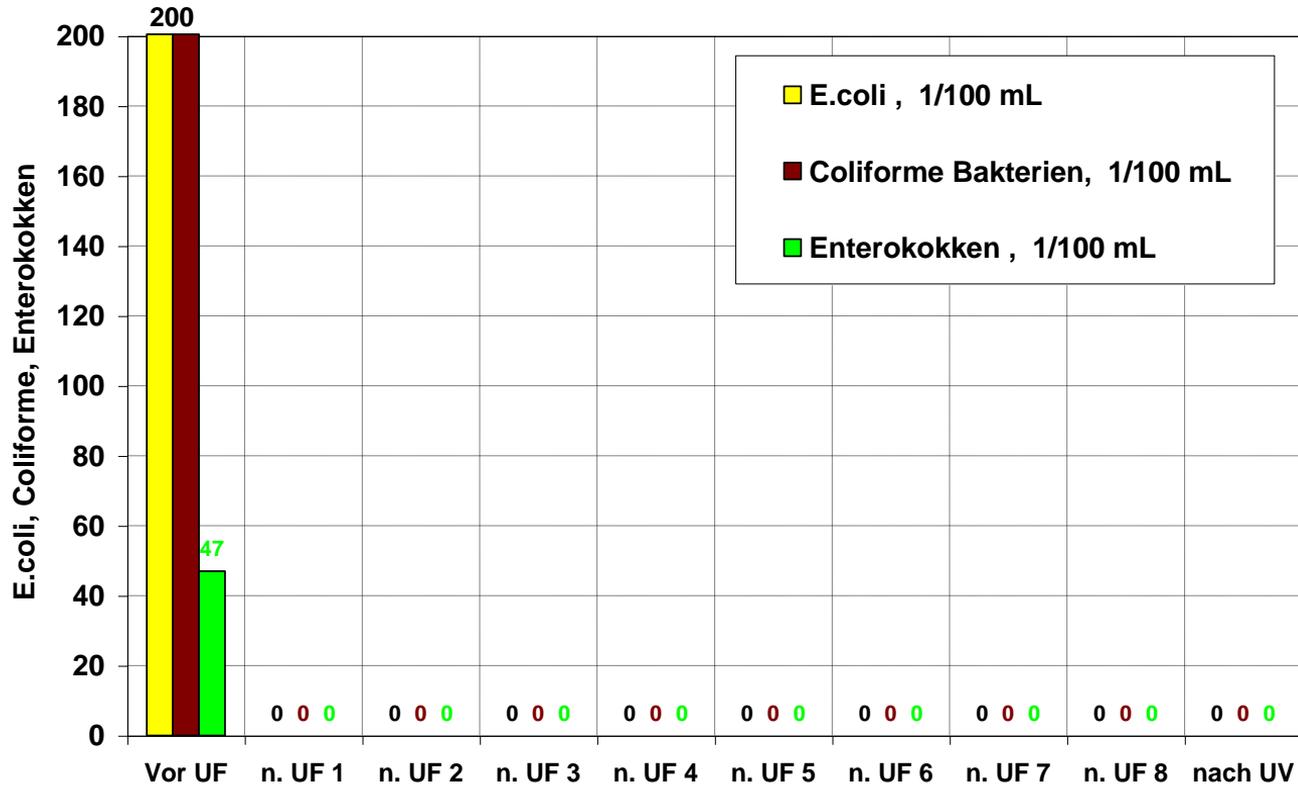
Rückhalt von Trübstoffen durch UF



Größenvergleich Mikroorganismen / Membranporen



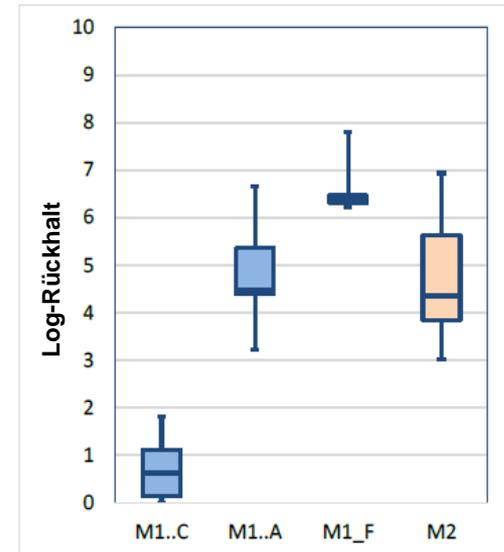
Rückhalt von Mikroorganismen durch UF



Rückhalt von Viren durch UF

- UF-Membranen müssen nach den aaRdT in der Lage sein, Partikel im Größenbereich von 0,02-0,03 μm um mindestens 99,99 % (4 Logstufen) zurückzuhalten.
- Nachweis Rückhaltevermögen durch standardisiertes Testverfahren
 - MS2-Phagen (Größe ca. 0,025 μm)
 - Untersuchung von 3 großtechnischen Modulen
 - Mindestrückhalt: 4 Logstufen in allen 3 getesteten Modulen
- Grafik: Beispielergebnisse aus DVGW-Projekt zur Erarbeitung eines Testverfahrens

Rückhalt in großtechnischen UF-Modulen / F&E



UF mit oder ohne Abschlussdesinfektion?

Information des DVGW-Technischen Komitee „Wasseraufbereitungsverfahren“:

- Bei der Aufbereitung mikrobiell belasteter Wässer:
- Empfehlung nach einstufiger Partikelabtrennung mittels UF nicht auf eine abschließende Desinfektion zu verzichten.
- Online-Überwachung des Rückhalts von Partikeln im Größenbereich von Viren ist nicht möglich.
- Zusätzliche Filtrationsstufen oder Rohwasser weitgehend entsprechend der Anforderungen der TrinkwV
→ Erfordernis einer Desinfektion im Einzelfall zu prüfen.



Artikel "Hygienische Sicherheit von Ultrafiltrations- und Mikrofiltrationsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung" in energie | wasser-praxis 6/2006 S.34-35

Vorteil ↔ Nachteil

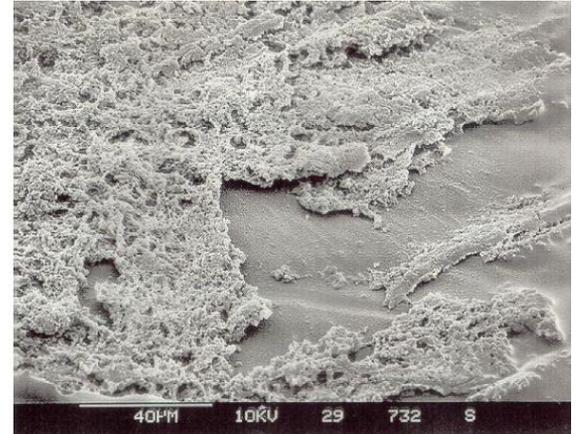
- **Vorteil:**

- Praktisch vollständige Partikelabtrennung
- Sichere Entfernung von Mikroorganismen sowie Beherrschung von Trübungsspitzen
 - ⇒ hohe Filtratqualität unabhängig von Schwankungen in der Rohwasserbeschaffenheit

- **Nachteil:**

- auf den Membranen bilden sich Ablagerungen, die zu einer Abnahme der Membrandurchlässigkeit führen
 - ⇒ regelmäßige Spülung und Reinigung erforderlich

**Fouling bzw.
Deckschichtbildung**



Spülung und Reinigung von Membranen

- **Spülung ohne Chemikaliengabe**
 - mit Filtrat entgegen der Filtrationsrichtung
 - mit Filtrat und feedseitig mit Luftblasen/Wasser-Gemischen
- **Spülung mit Chemikaliengabe (CEB)**
 - mit Filtrat entgegen der Filtrationsrichtung unter Zugabe von Spülchemikalien (Lauge/Säure/(Chlor)) und Einhaltung einer Einwirkzeit
- **Chemische Reinigung (CIP oder COP)**
 - Behandlung von Membranen mit Chemikalien (Lauge/Säure/Chlor/...), die erforderlich wird, wenn durch regelmäßige Spülung der gewünschte Filtratfluss nicht mehr erreicht wird.

CEB = chemically enhanced backwash

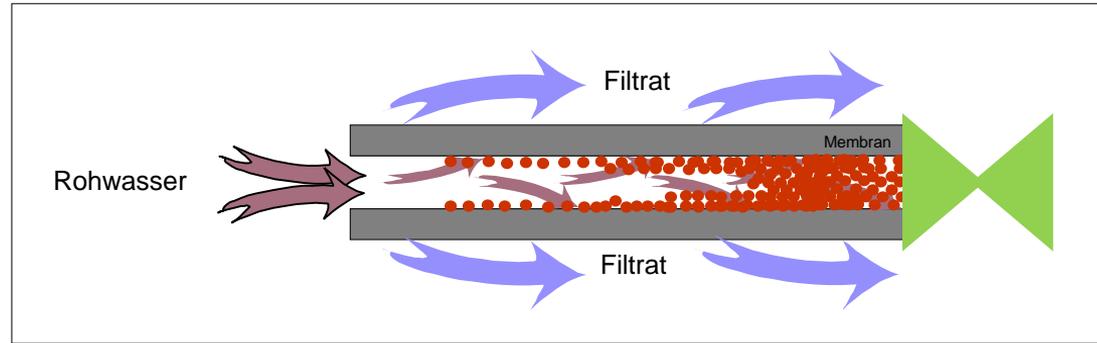
CIP = cleaning in place

COP = cleaning out of place

Anströmung einer Membran bei der...

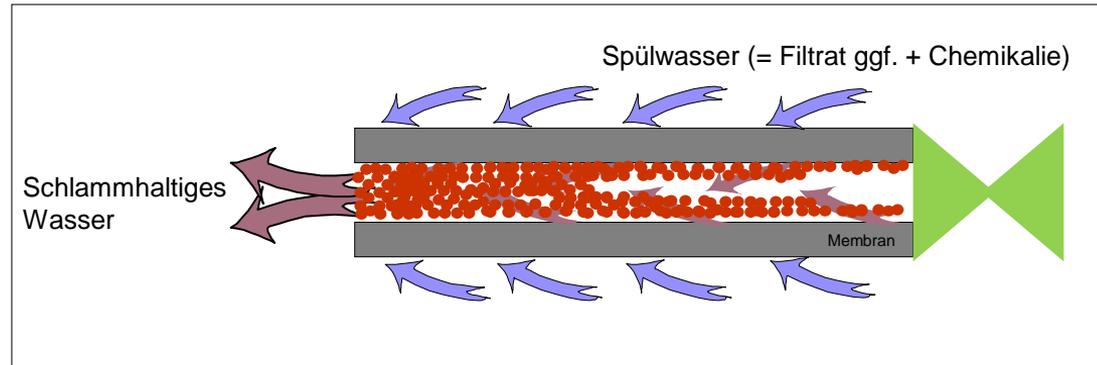
- **Filtration**

(im Dead-end Betrieb,
in-out)

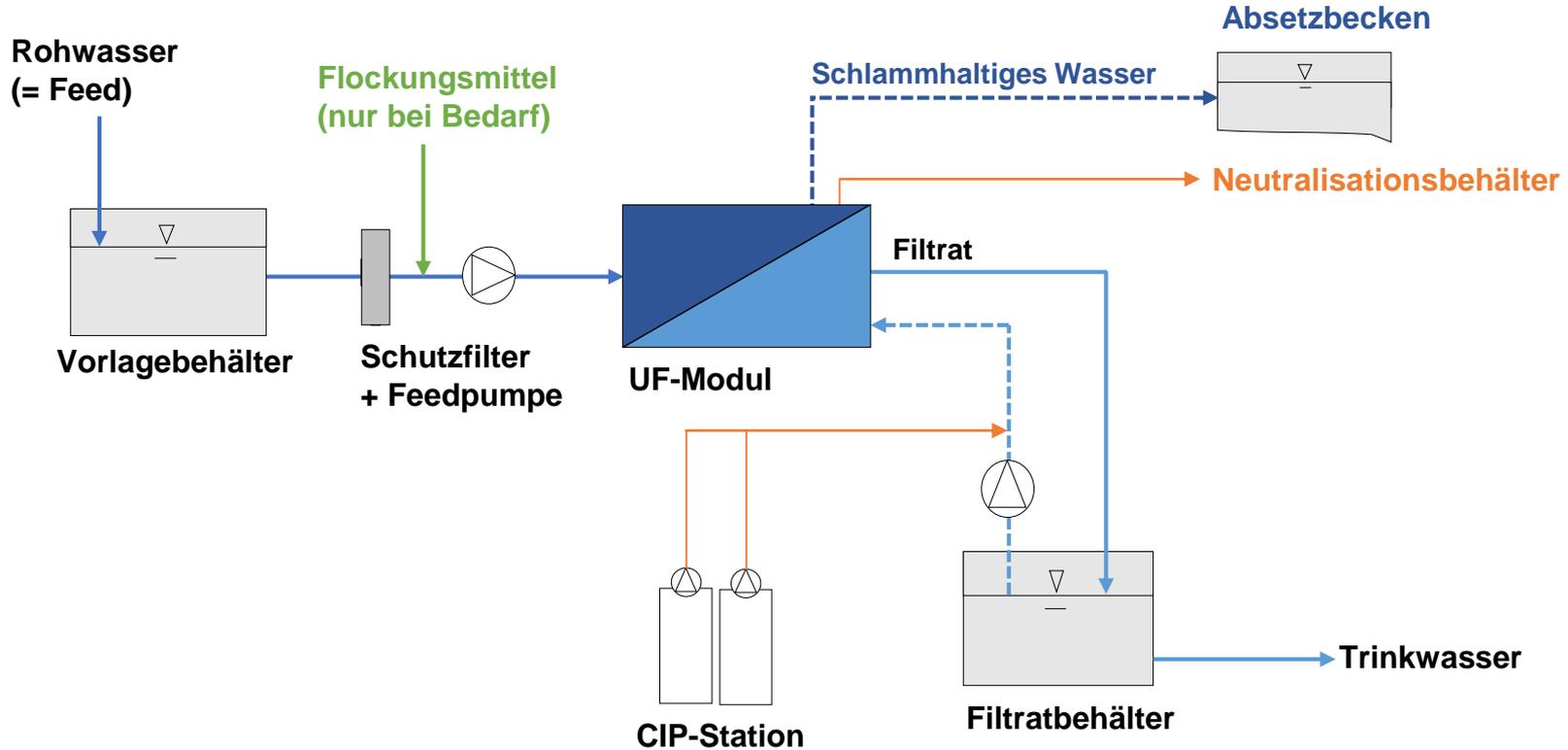


- **Spülung**

(mit Filtrat entgegen
der Filtrationsrichtung)



Anordnung einer Membrananlage – Beispiel



COP-Anlagen

- Einsatzbereich – kleine, dezentrale Anlagen (z.B. 0,1 bis 10 m³/h)
- Aufgabe - Entfernung von partikulären Inhaltsstoffen
 - Partikel, Trübung, Mikroorganismen
- Vergleich zu Großanlagen
 - geringere Membranfläche (z.B. < 10 m² und 50 - 200 m²)
 - geringerer Ausstattungs- und Automatisierungsgrad
 - chemikalienfreier Betrieb
- Chemische Reinigung und Integritätsprüfung
 - Wartungsvertrag durch Membranhersteller oder zertifizierte lokale Installationsunternehmen
 - COP: Cleaning out of place
- Relativ niedrige Investitionskosten



6,2 m²

100 m²

Regelwerk zu Membranen in der TWA

- DVGW W 213 – Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung Teil 5: Membranfiltration (2019)
 - Begriffe
 - Aufbau und Anforderungen an Membranen, Module, etc.
 - Hinweise zu Planung und Bau und Betrieb von Membranfiltrationsanlagen
 - Integrität (Intaktheit) von Membrananlagen
 - Instandhaltung
 - Phagen-Rückhaltetest
- Leitfaden zur Spülung und Reinigung von Membranen
DVGW Wasserinformation Nr. 70 (2008)
- Leitfaden zur Überwachung der Integrität von Membrananlagen
DVGW Wasserinformation Nr. 71 (2009)



Begriffe

- Rohwasser = **Feed**
- **Filtrat** bei MF/UF, (Permeat bei UO/NF)
- Flächenbelastung / **Flux** = Filtratmenge / Membranfläche (L/m²/h)
- Transmembrandruck (**TMP**) = mittlerer Feeddruck - Filtratdruck
- **Permeabilität** (L/m²/h/bar) bei 20°C = Flux / TMP
- **Fouling** (Verblockung) = Verminderung der Durchlässigkeit
- **Ausbeute** = Filtratmenge bezogen auf Rohwassermenge

Nanofiltration / Umkehrosmose zur Entfernung von gelösten Wasserinhaltsstoffen

Nanofiltration und Umkehrosmose

- Derzeit ca. 90 Anlagen in Betrieb in D...



- ... zur Entfernung gelöster Wasserinhaltsstoffe
 - Enthärtung
 - Entsalzung (z. B. Nitrat, Sulfat, Chlorid)
 - Sicherheitsstufe gegenüber Spurenstoffe
 - Kombinierte Verfahrensziele

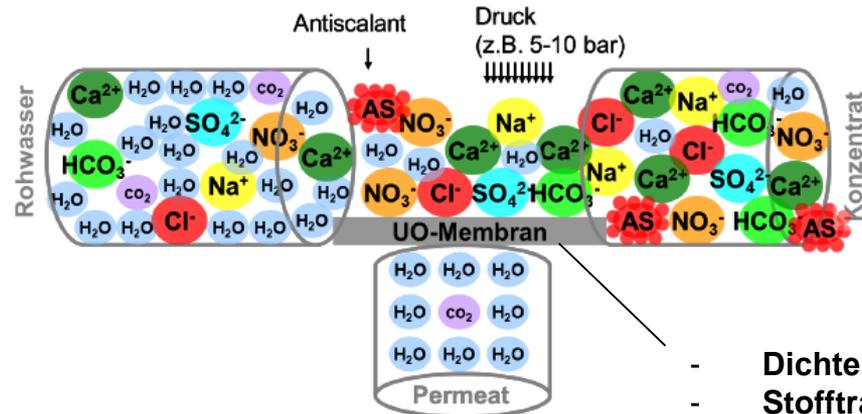
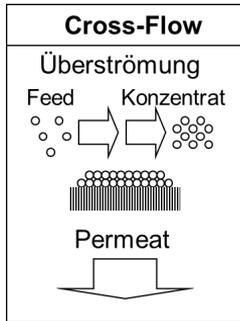


DVGW W 236 in Entwurfsform (derzeit in Überarbeitung)

Verfahrensprinzip UO/NF

- Membran im wesentlichen nur durchlässig für Wassermoleküle und Gase
- Es entsteht: ein entsalztes bzw. enthärtetes Permeat → TW-Produktion
ein Konzentrat / Retentat das alle zurückgehaltenen Wasserinhaltsstoffe enthält
→ Entsorgung

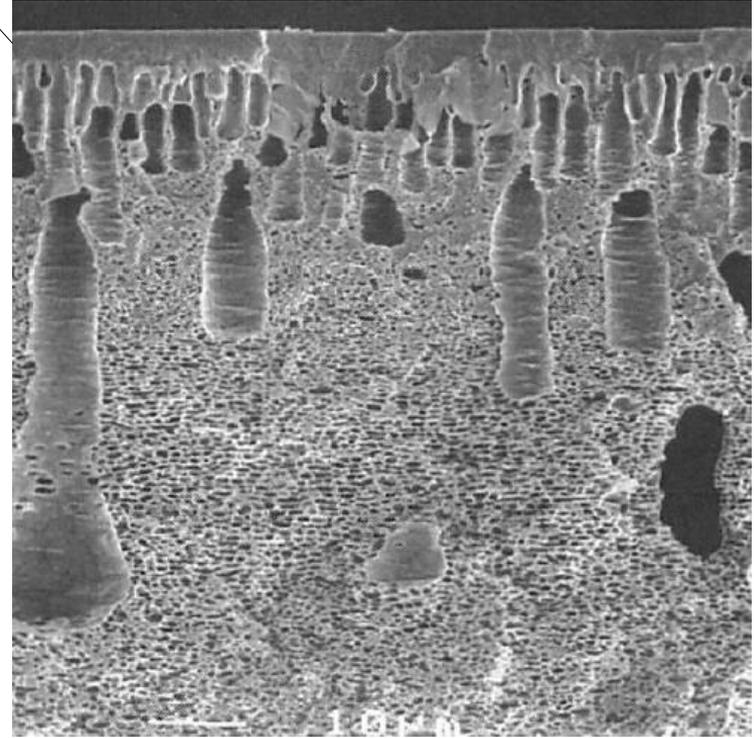
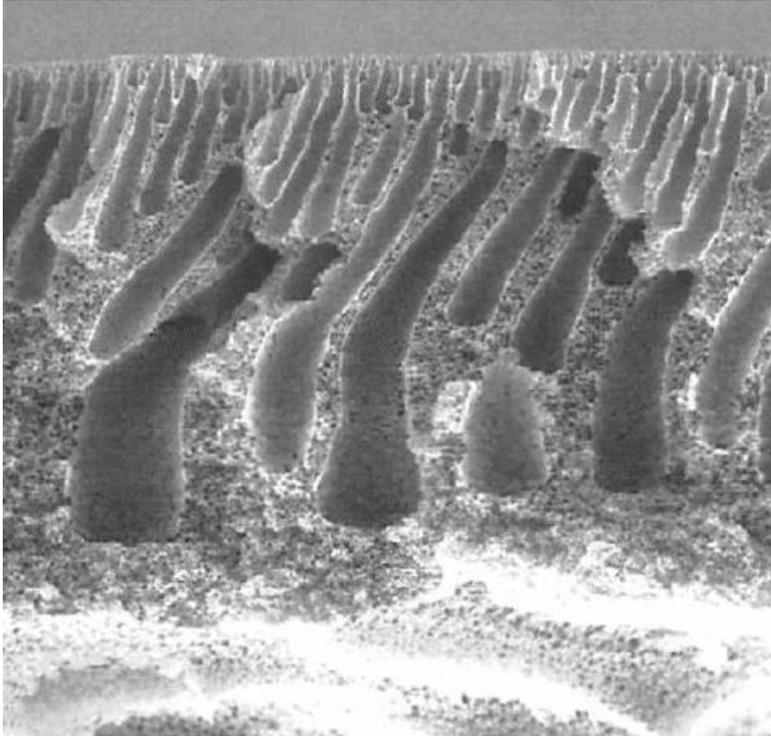
Cross-flow Betrieb



- Dichte Membran, „keine Poren“
- Stofftransport diffusiv

Vergleich UF- und NF-Membranen

Aktive Schicht (z.B. Polyamid, Polypiperazin)

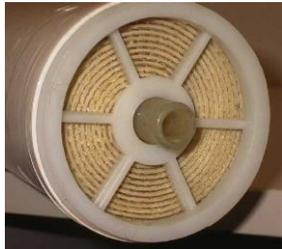


Flachmembranen für NF/UF

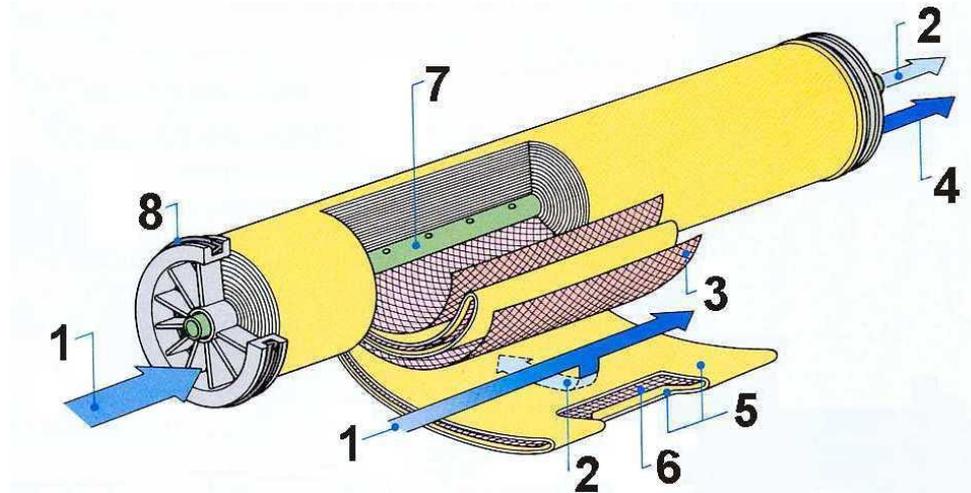
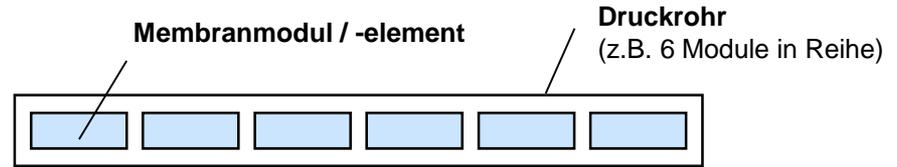
- Wickelmodule: z.B. 8 Zoll ca. 40 m²



Quelle: toray.eu



Ø : 2,5“ ; 4“ ; 8“



- 1 Feed
- 2 Permeat
- 3 Feedspacer
- 4 Konzentrat
- 5 Membran
- 6 Permeatespacer
- 7 Permeatesammelrohr
- 8 Abdichtung zum Druckrohr

Beispiel zweistufige UO-Anlage im Wasserwerk



Antiscalant

Feed
„hart“

UO-Stufe 1

UO-Stufe 2

Konzentrat, ca. 20 %

Permeat

Bypass

Trinkwasser
„weich“

Mechanische
Entsäuerung

Konzentrat

- Wasserinhaltsstoffe aufkonzentriert um ca. den Faktor 5
- Direkt- oder Indirekteinleitung
- Stark calcitabscheidend



Antiscalant

- Inhibiert Ausfällung schwerlöslicher Salze (= Scaling)
- Störungsfreier Betrieb; Rohwasser- und Energieersparnis
- Phosphonate und Polyacrylsäuren (§11-Liste)



M. Sc. Sebastian Egner

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser

Karlsruher Straße 84

76139 Karlsruhe

sebastian.egner@tzw.de