

**24. Wasserhygienetage Bad Elster**  
**Die Wasserversorgung in der Umwelt**  
**03.-05. Februar 2016**

***Intelligente Verfahrenskombinationen zur  
Vor- und Kreislaufaufbereitung in  
Solewässern am Beispiel Bad Elster***

**Referent:**

**Prof. Dr. Klaus Hagen**

**Grünbaumerstr. 12**

**95326 Kulmbach**

**Tel. 09221-65958**

**E-Mail: [klaushagen.fww@t-online.de](mailto:klaushagen.fww@t-online.de)**

# **Gliederung**

- **Bohrung Rohsole**
- **Problemstellung**
- **Konzepterstellung Füllwasser**
- **Laborversuche zur Absicherung**
- **Voraufbereitung**
- **Ultrafiltration allgemein**
- **Kreislaufaufbereitung**
- **Spülabwasseraufbereitung**
- **Zusammenfassung**

# **Bohrung Rohsole**

- Probebohrungen begannen 2008 und wurden bis 2013 fortgesetzt**
- Probenahmetiefen: von 500 – 1.100 m**
- endgültige Bohrung beendet in 01/2016**



## **Bild Bohrung**

**Fotoquelle: Sächsische Staatsbäder GmbH + Fotograf**



## **Bild Solebrunnenhaus**

**Fotoquelle: Sächsische Staatsbäder GmbH + Fotograf**

# Problemstellung

- Leitfähigkeit  $\leq 150.000 \mu\text{S}/\text{cm}$
- Ammonium  $\leq 80 \text{ mg}/\text{l}$  (Soll lt. DIN 19643:  $0,5 \text{ mg}/\text{l}$ )
- Eisen  $\leq 30 \text{ mg}/\text{l}$  (Soll lt. DIN 19643:  $0,1 \text{ mg}/\text{l}$ )
- Mangan  $\leq 1 \text{ mg}/\text{l}$  (Soll lt. DIN 19643:  $0,05 \text{ mg}/\text{l}$ )
- Chlorid  $\leq 50.000 \text{ mg}/\text{l}$
- Sulfat  $\leq 85.000 \text{ mg}/\text{l}$
- Bromid  $\leq 150 \text{ mg}/\text{l}$
- Hydrogenkarbonat  $\leq 18.000 \text{ mg}/\text{l}$
- DOC  $\leq 5 \text{ mg}/\text{l}$
- Trübung  $\leq 50 \text{ FNU}$

# **Konzepterstellung Voraufbereitung der Rohsole zu Füllwasser**

- Oxidation**
- Sedimentation**
- Pulveraktivkohledosierung**
- Mehrschichtfilter I**
- $\text{KMnO}_4$ -Dosierung**
- Mehrschichtfilter II**

# **Laborversuche**

**Es wurden insgesamt 5 Versuchsreihen mit dem auf der letzten Folie gezeigten Verfahrenskonzept zur Absicherung durchgeführt, wo unter anderem auch am Ende der Aufbereitung**

- AOX**
- THM**
- gebundenes Chlor**

**bestimmt wurden;  
die Rohwässer waren jeweils unterschiedlich**

# Voraufbereitung

## Typische Ablaufwerte

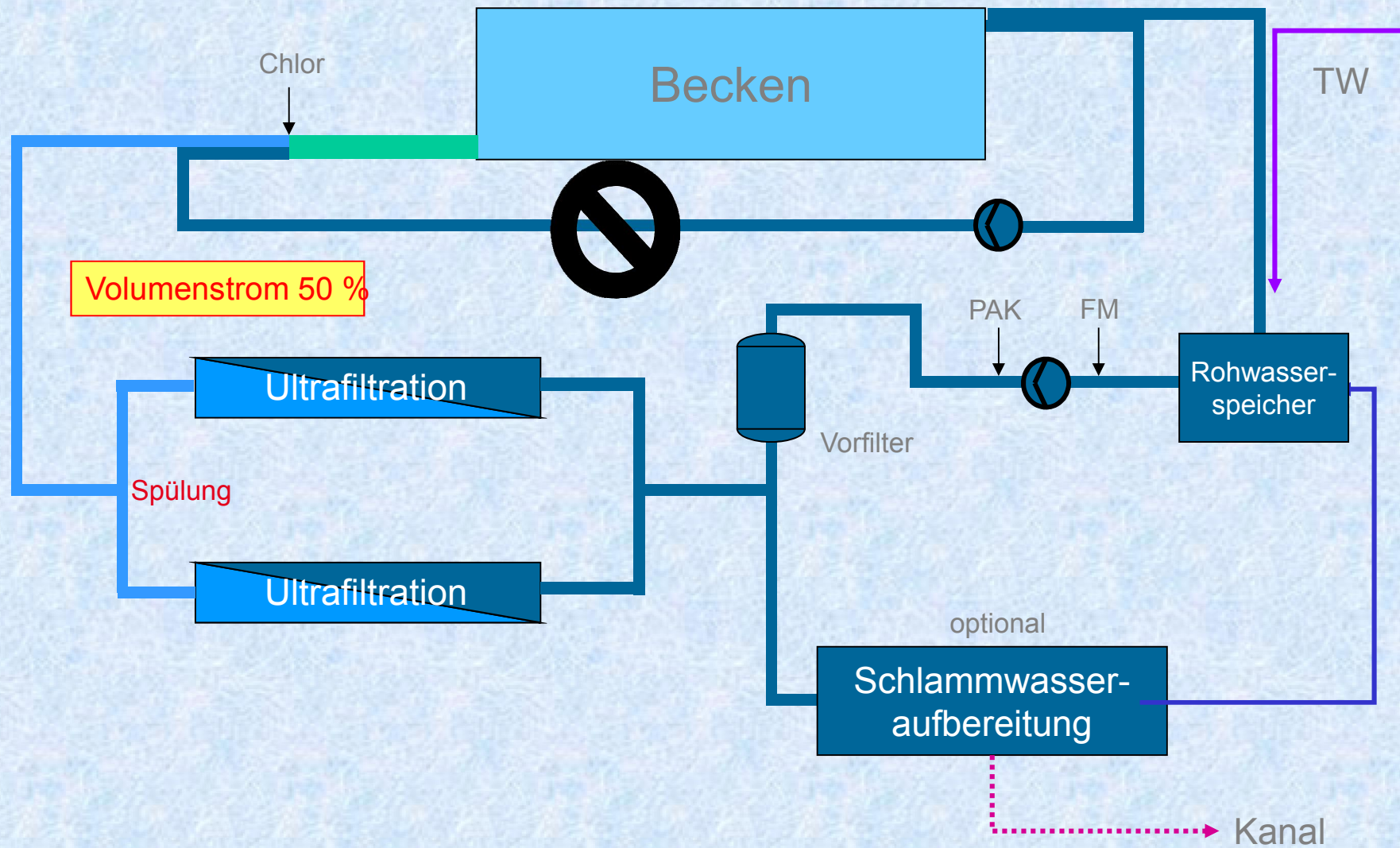
- Ammonium  $\leq 0,1$  mg/l
- Eisen  $\leq 0,02$  mg/l
- Mangan  $\leq 0,02$  mg/l
- geb. Chlor  $\leq 0,05$  mg/l
- Trübung  $\leq 0,1$  FNU



**Bild Voraufbereitung  
(Kompaktheit)**



# Beckenwasseraufbereitung mit Ultrafiltration



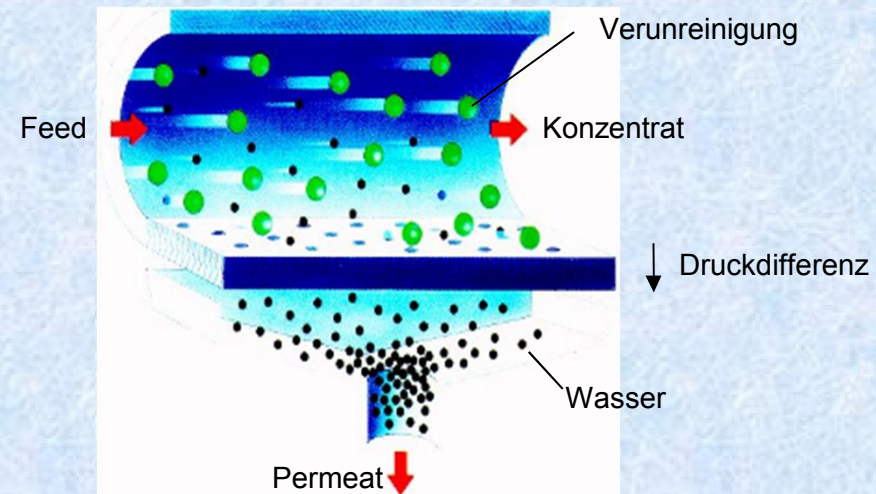
# Membranverfahren

## Wirkungsweise

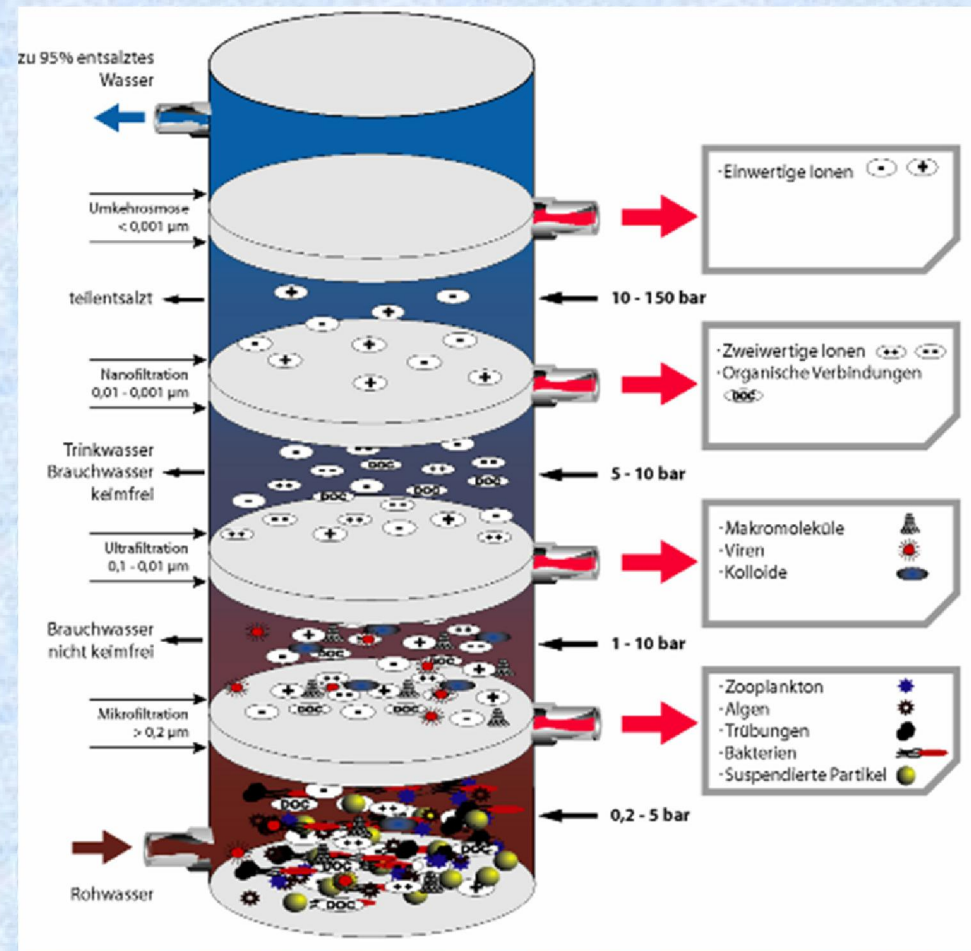
- Eine Membran stellt eine Barriere zwischen zwei flüssigen Fraktionen dar
- Die Membran ist nur für einen Teil der Inhaltsstoffe bzw. das Lösungsmittels permeabel
- Durch aufbringen einer treibenden Kraft werden Fraktionen über die Membran transportiert bis sich ein Gleichgewicht einstellt
- Im allgemeinen arbeiten die Membranverfahren mit Überströmung parallel zur Membran um abgelagerte Verunreinigungen abzutransportieren

## Triebkräfte

- Transmembranes Druckgefälle (MF, UF, NF, RO)
- Elektromagnetisches Feld (ED)

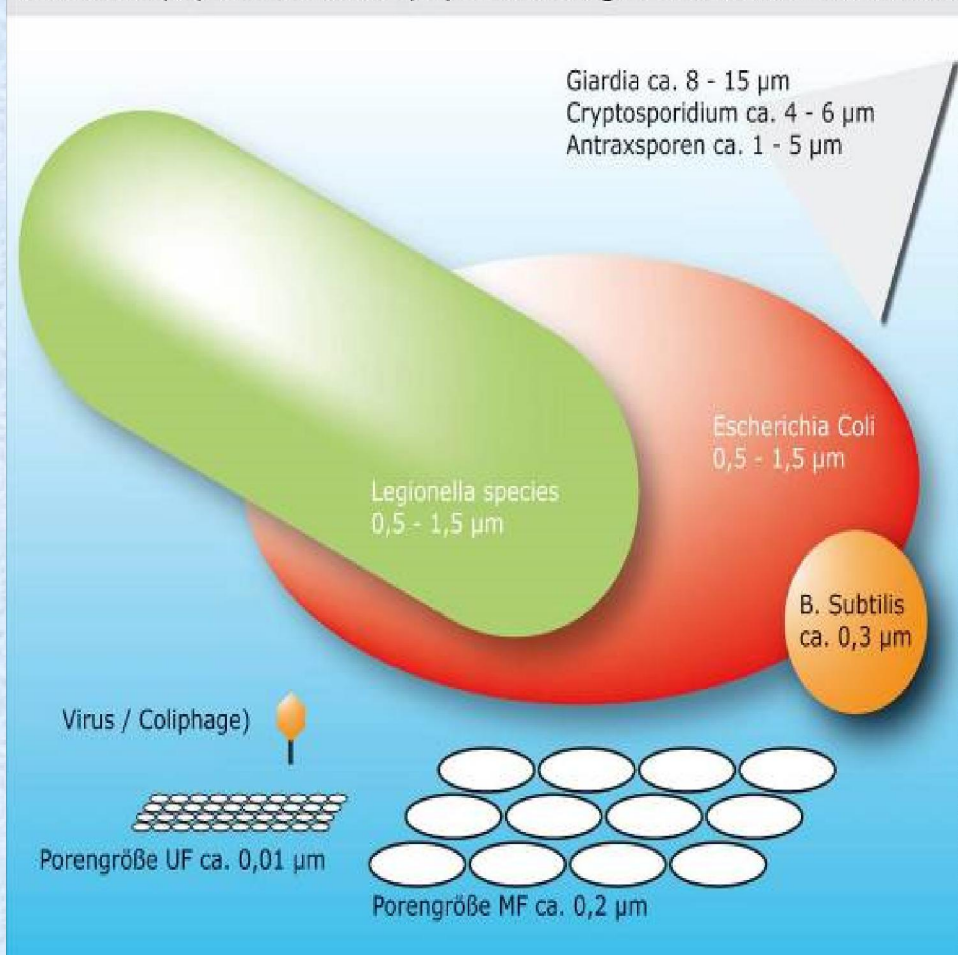


# Membranverfahren und Partikelgrößen

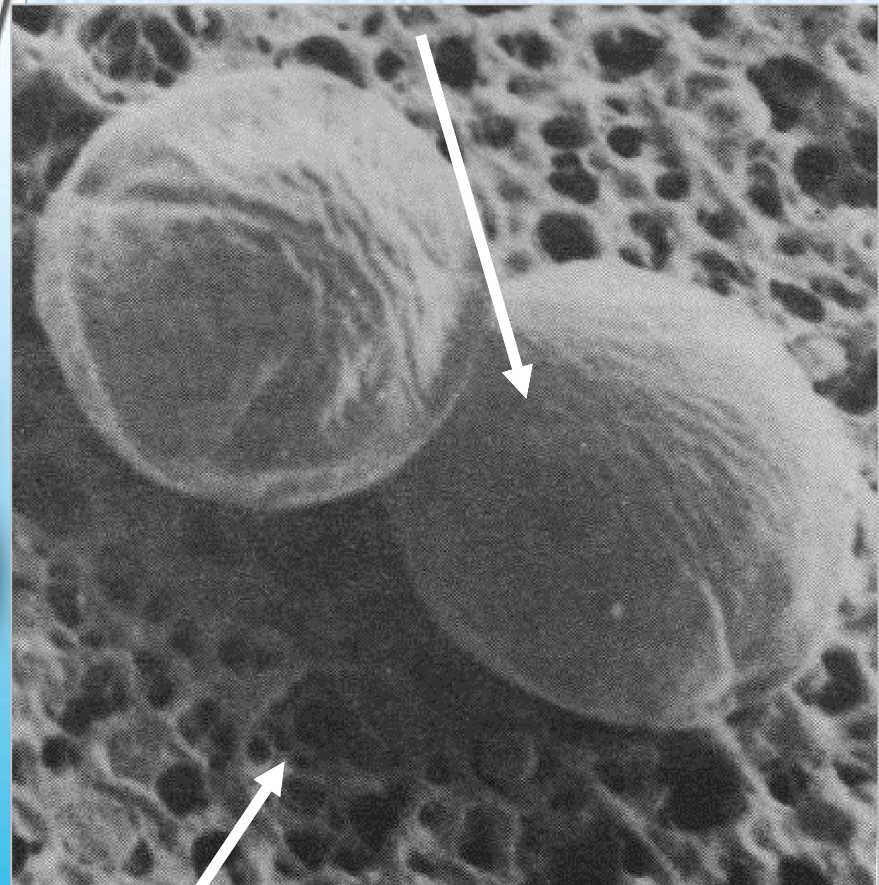


# Membranverfahren und Partikelgrößen

Ultrafiltration (UF) und Microfiltration (MF) im Größenvergleich mit bekannten Wasserkeimen

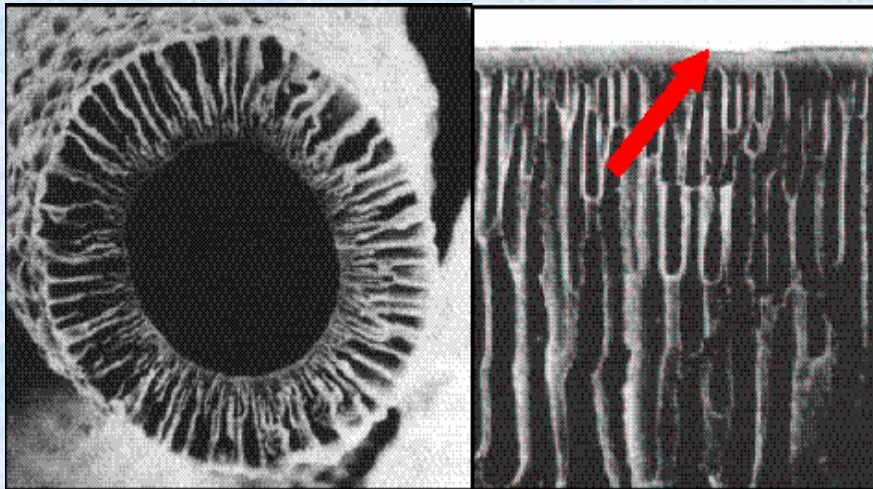


Cryptosporidium:  
**4 - 6 µm**



Membrane Porengröße  
**ca. 0,01 µm**

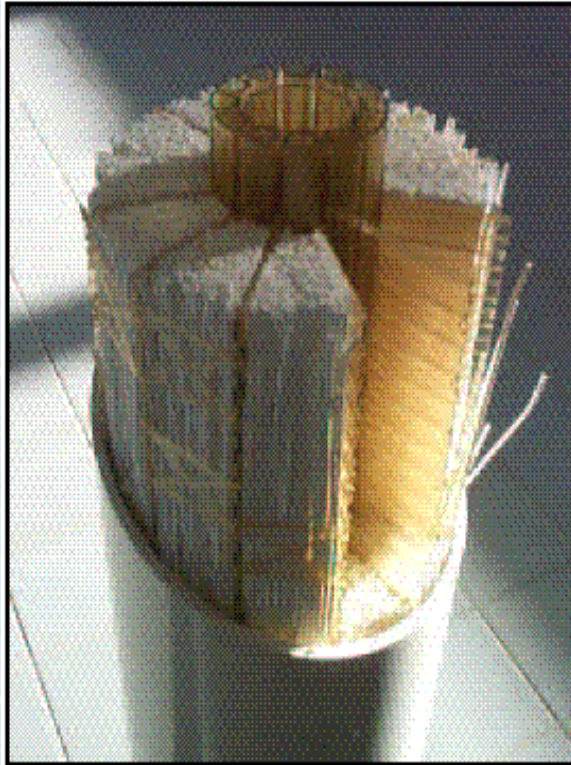
# Kapillarmembran



## Asymmetrische Composit-Membran

- Innen: aktive Filtrationsschicht aus PES (roter Pfeil)
- Außen: breite, poröse Stützschrift aus Kunststoff

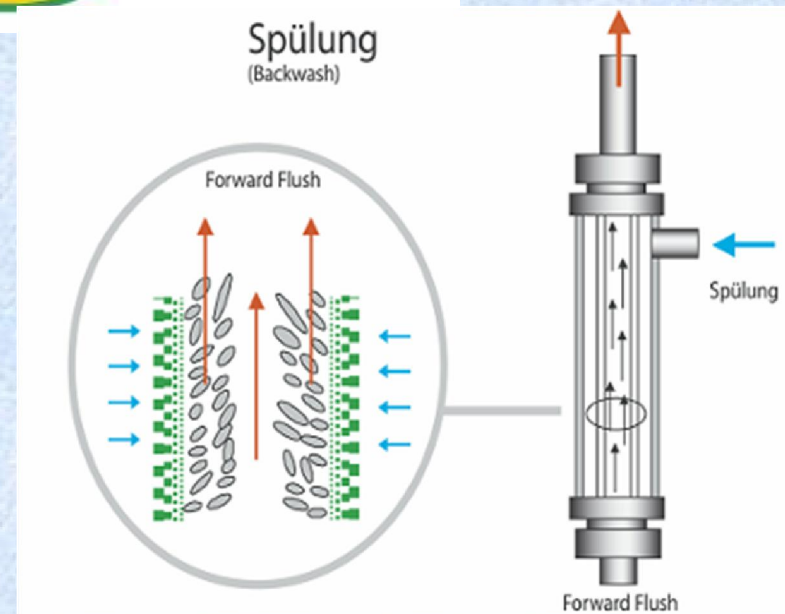
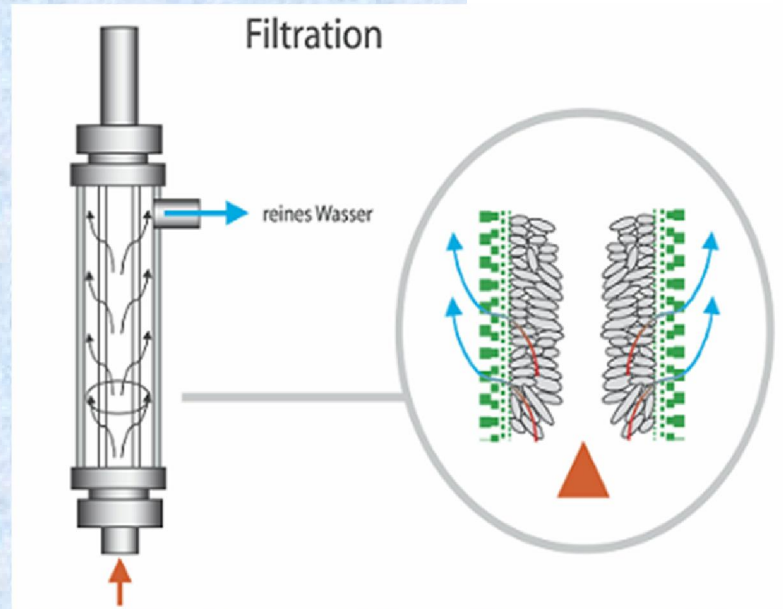
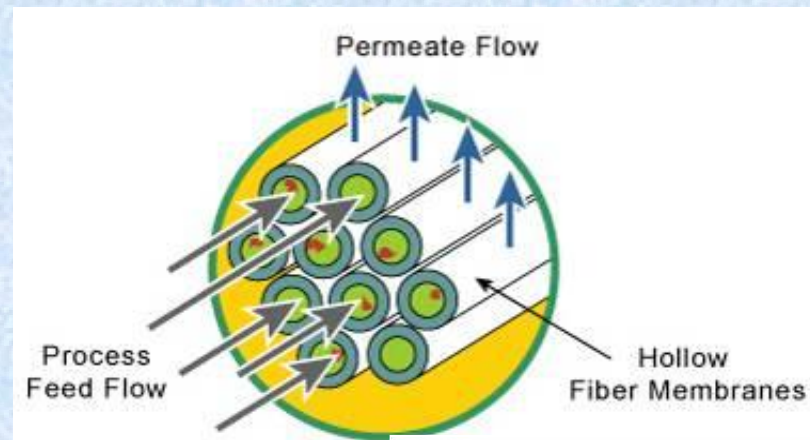
# Kapillarmembran



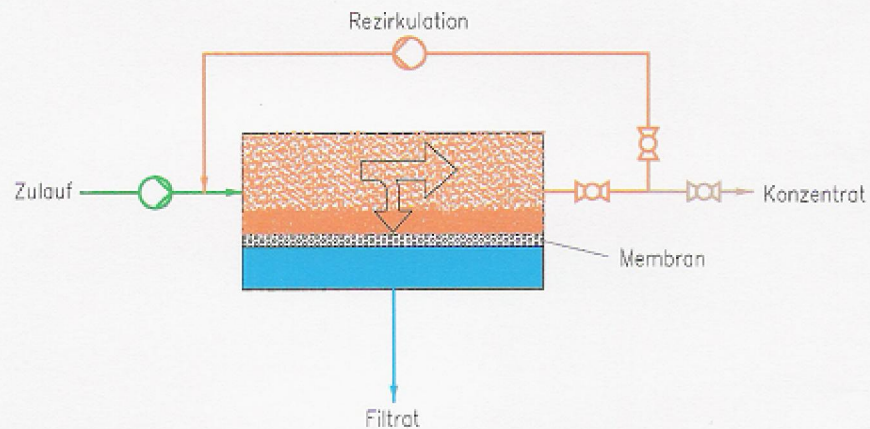
## **Membran-Modul**

ca. 10.000 Kapillarmembranen  
werden in einem Membranmodul  
zusammengefasst und an den  
Enden in einen Harzblock  
eingegossen

# Betriebsweise Filtration und Spülung

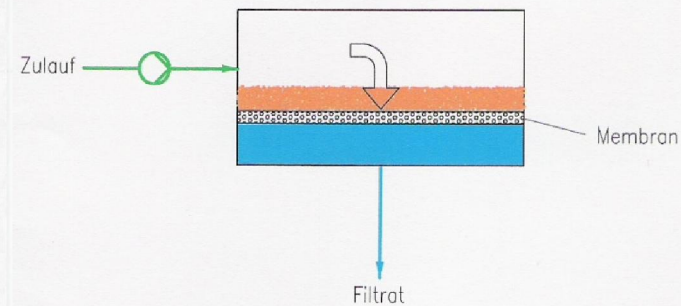


## Crossflow



- ✓ Ein Teilstrom wird rezirkuliert
- ✓ Hoher Energieverbrauch und apparativer Aufwand durch zusätzliche Rezirkulationspumpe

## Dead-End



- ✓ Das gesamte Zulaufwasser wird durch die Membrane gepresst
- ✓ Geringer Energieverbrauch

## Konventionelle Filtertechnik

- ✓ Min. Raumhöhe 4,0 m
- ✓ Großer Platzbedarf
- ✓ Technikraum erforderlich
- ✓ Große Einbringöffnung erforderlich
- ✓ Kein garantierter Keimrückhalt

## Ultrafiltration

- ✓ Raumhöhe ca. 2,0 m
- ✓ Geringerer Platzbedarf (bis zu 50 % weniger)
- ✓ Aufstellung im Beckenumgang möglich
- ✓ Türbreite 80 cm ausreichend
- ✓ Absolut keimfreies Wasser

## Konventionelle Filtertechnik

- ✓ Filterverkeimungen möglich
- ✓ Spülung außerhalb der Badezeit
- ✓ Spülwasserbevorratung (ca.  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ )
- ✓ Großer Aufbereitungsvolumenstrom
- ✓ Große Kanalleitung oder Speicher
- ✓ Ca. 150 Partikel/ml

## Ultrafiltration

- ✓ Filterverkeimung unmöglich
- ✓ Spülung während des Betriebes
- ✓ Kein Vorrat, Spülung aus laufendem Filtrat (kleiner  $1 \text{ m}^3$ )
- ✓ Nur 50 % des DIN-Volumenstroms
- ✓ Kleine Kanalleitung < DN 125
- ✓ Ca. 1 Partikel/ml im Filtrat
- ✓ Problemloser Ersatz von Altanlagen

# Kreislaufaufbereitung

- generell: Einsatz der Ultrafiltration
- Hohlfasermodule ID 0,9 mm, In-Out-Betrieb
- Dead-End Betrieb
- Flux (abh. vom Beckentyp) 100 – 120 l /m<sup>2</sup>xh
- Spülflux: 300 l/m<sup>2</sup>xh
- chem. Reinigung mit Säure, Lauge, Chlorbleichlauge in Abhängigkeit von der Notwendigkeit (üblicherweise 1x/Woche)
- übliche Filtrationszeit (abh. von Beckenbelastung) 1-3 h
- Dosierung von FeCl<sub>3</sub> als Flockungsmittel vor UF
- Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) vor UF
- erfolgreicher Betrieb seit Sept. 2015

# Beschreibung der Einzelbecken

## 1. Salzsee

- Salzgehalt: 15 – 18 %
- Volumen: 102 m<sup>3</sup>
- Fläche: 127 m<sup>2</sup>
- Umwälzvolumenstrom 44 m<sup>3</sup>/h
- Beckenwerte
  - Redox 750 – 800 mV
  - pH ca. 7,5
  - freies Chlor 0,45 mg/l
  - geb. Chlor  $\leq$  0,2 mg/l
  - Trübung 0,1 – 0,2 FNU



## **Bild Salzsee**

**Fotoquelle: Sächsische Staatsbäder GmbH + Fotograf**

# Beschreibung der Einzelbecken

## 2. Floating Pool

- Salzgehalt: 10 ‰
- Volumen: 75 m<sup>3</sup>
- Fläche: 68 m<sup>2</sup>
- Umwälzvolumenstrom: 32 m<sup>3</sup>/h
- Beckenwerte
  - Redox 800 mV
  - pH ca. 7,5
  - freies Chlor 0,45 mg/l
  - geb. Chlor  $\leq$  0,2 mg/l
  - Trübung 0,1 – 0,2 FNU



## **Bild Floating Pool**

**Bildquelle: Sächsische Staatsbäder GmbH + Fotograf**

# Beschreibung der Einzelbecken

## 3. Wohlfühlbecken

- Salzgehalt: 6 ‰
- Volumen: 230 m<sup>3</sup>
- Fläche: 170 m<sup>2</sup>
- Umwälzvolumenstrom: 72 m<sup>3</sup>/h
- Beckenwerte
  - Redox 800 mV
  - pH ca. 7,5
  - freies Chlor 0,45 mg/l
  - geb. Chlor  $\leq$  0,2 mg/l
  - Trübung 0,1 – 0,2 FNU



**Bild Wohlfühlbecken**

**Bildquelle: Sächsische Staatsbäder GmbH + Fotograf**



## **Bild Außenansicht**

**Bildquelle: Sächsische Staatsbäder GmbH + Fotograf**

## **Mikrobiologie**

**Generell waren die mikrobiologischen Parameter**

- im Ablauf UF**
- in allen Becken**

**zu jeder Zeit in Ordnung**

## **Transmembrane Drücke**

**Diese liegen ca. bei 0,2 – 0,3 bar**

## **Permeabilität**

**ca. 300 l/m<sup>2</sup> x h x bar**

## **Spülabwasseraufbereitung**

**Zur Einsparung von Frischsole (es stehen pro Tag nach jeweiliger Verdünnung ca. 10 m<sup>3</sup> zur Verfügung bei durchschnittlich 300 – 400 Besuchern/d) werden die Spülabwässer der 1. UF-Stufe in einer 2. UF-Stufe aufbereitet und zur Spülung der 1. UF-Stufe verwendet;**

**Modultyp:**

**Hohlfasermodul, ID 1,5 mm, In-Out-Betrieb,  
Dead-End-Betrieb**



**Bild: UF Kreisläufe**

## **Zusammenfassung**

**Die Rohsole in Bad Elster enthält als Problemstoffe vor allem Ammonium, Eisen sowie Bromid.**

**Deshalb wurde eine mehrstufige Voraufbereitung mit den Hauptschritten**

- Oxidation**
  - Sedimentation**
  - 2-stufige Mehrschichtfiltration**
- gewählt.**

**Die Kreislaufaufbereitung für die verschiedenen Becken wird ausschließlich mit Ultrafiltration durchgeführt. Es handelt sich um Hohlfasermodule (In-Out-Betrieb) mit einem Innendurchmesser von 0,9 mm, die im Dead-End-Modus betrieben werden und einwandfreie Werte in mikrobiologischer und chemisch-physikalischer Hinsicht erzielen.**

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**

Referent:  
Prof. Dr. Klaus Hagen  
Grünbaumerstr. 12  
95326 Kulmbach  
Tel. 09221 - 65958  
E-Mail: [klaushagen.fww@t-online.de](mailto:klaushagen.fww@t-online.de)