

## Grauwasserrecycling unter Anwendung von Membranverfahren

**Matthias Kraume**

**René Gildemeister**

Technische Universität Berlin

Fachgebiet Verfahrenstechnik

Straße des 17. Juni 135

10623 Berlin

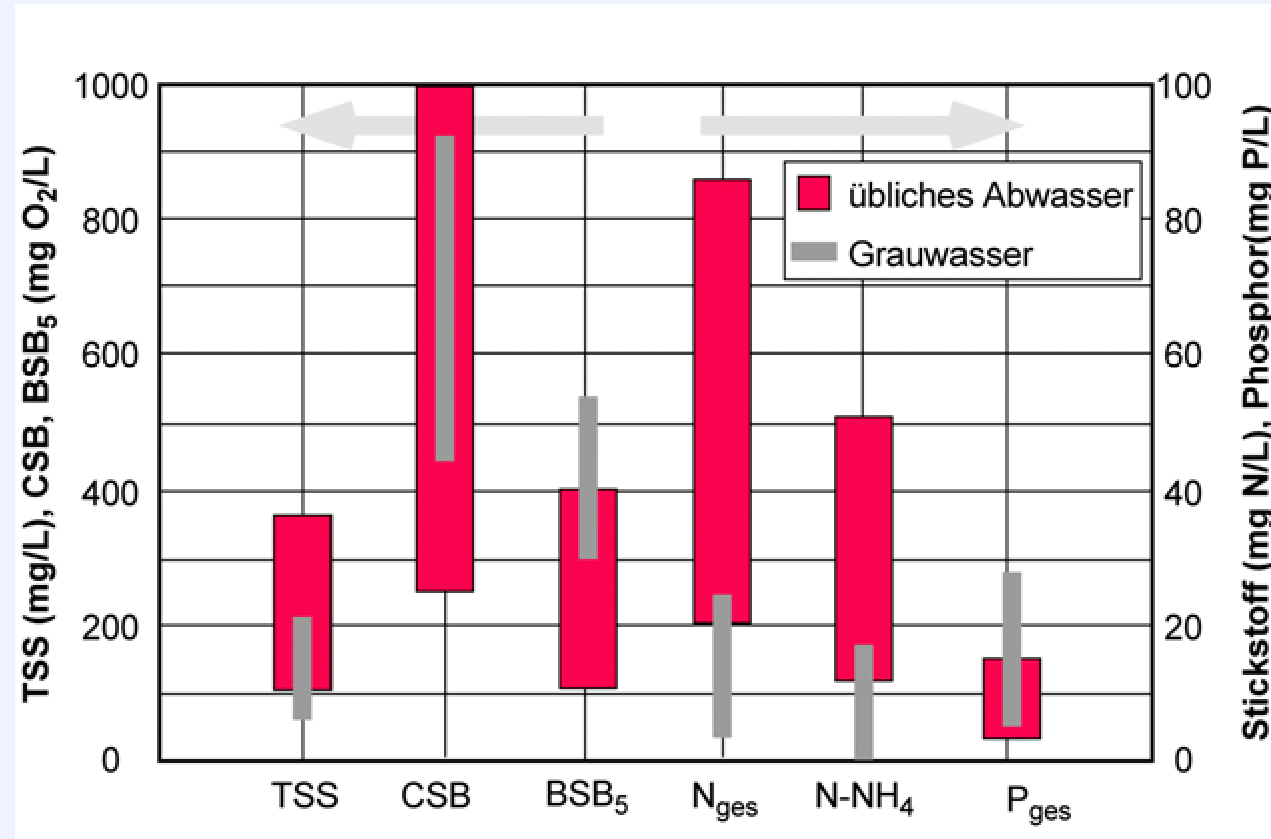
Tel. +49 30 314 23701

[matthias.kraume@tu-berlin.de](mailto:matthias.kraume@tu-berlin.de)

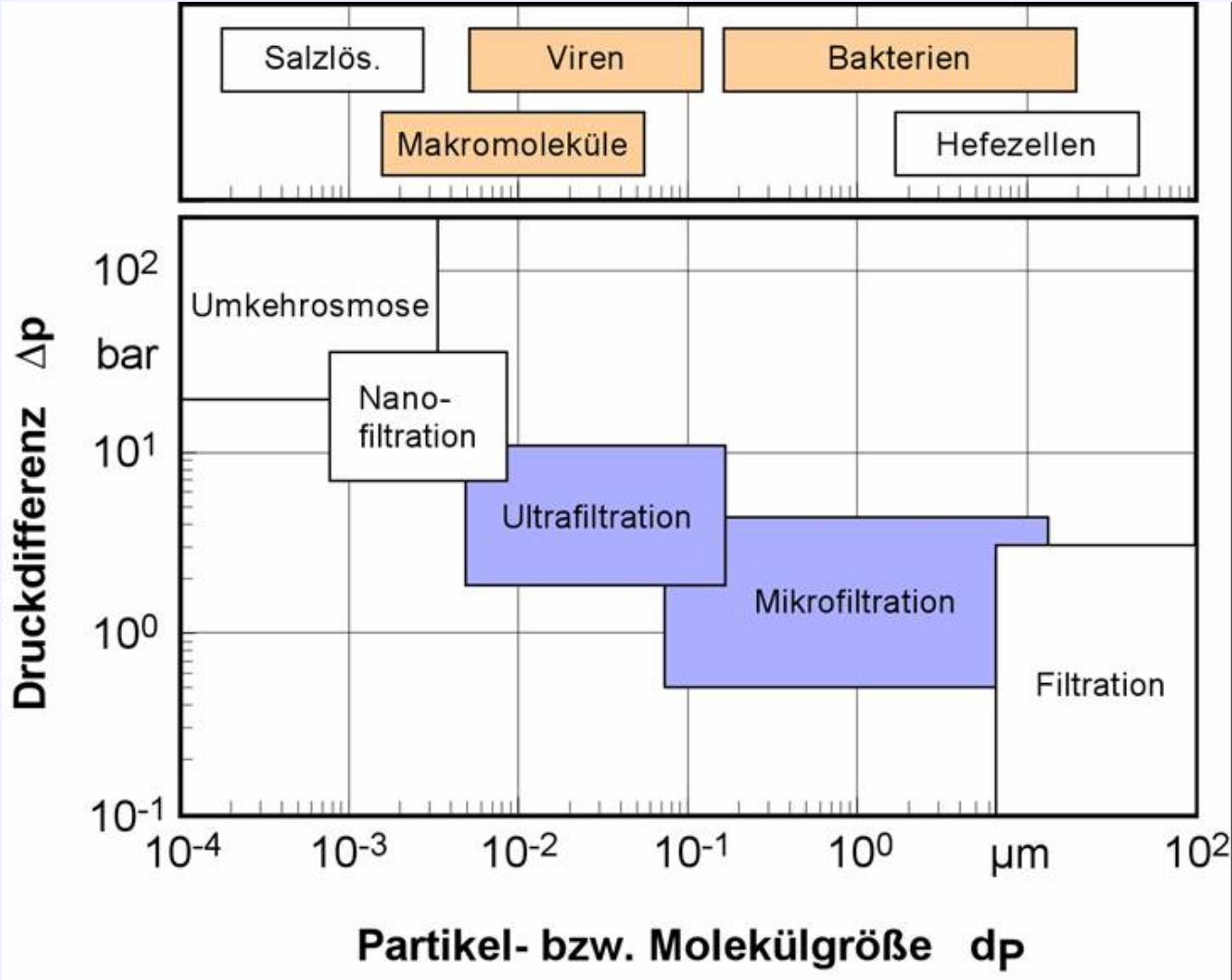
- 1. Spezifika von Grauwasser**
- 2. Membranverfahren**
- 3. Abbauleistungen und Betriebsverhalten**
- 4. Anwendungsbeispiele**
- 5. Schlussfolgerungen**

# Wesentliche Aspekte für eine biologische Behandlung

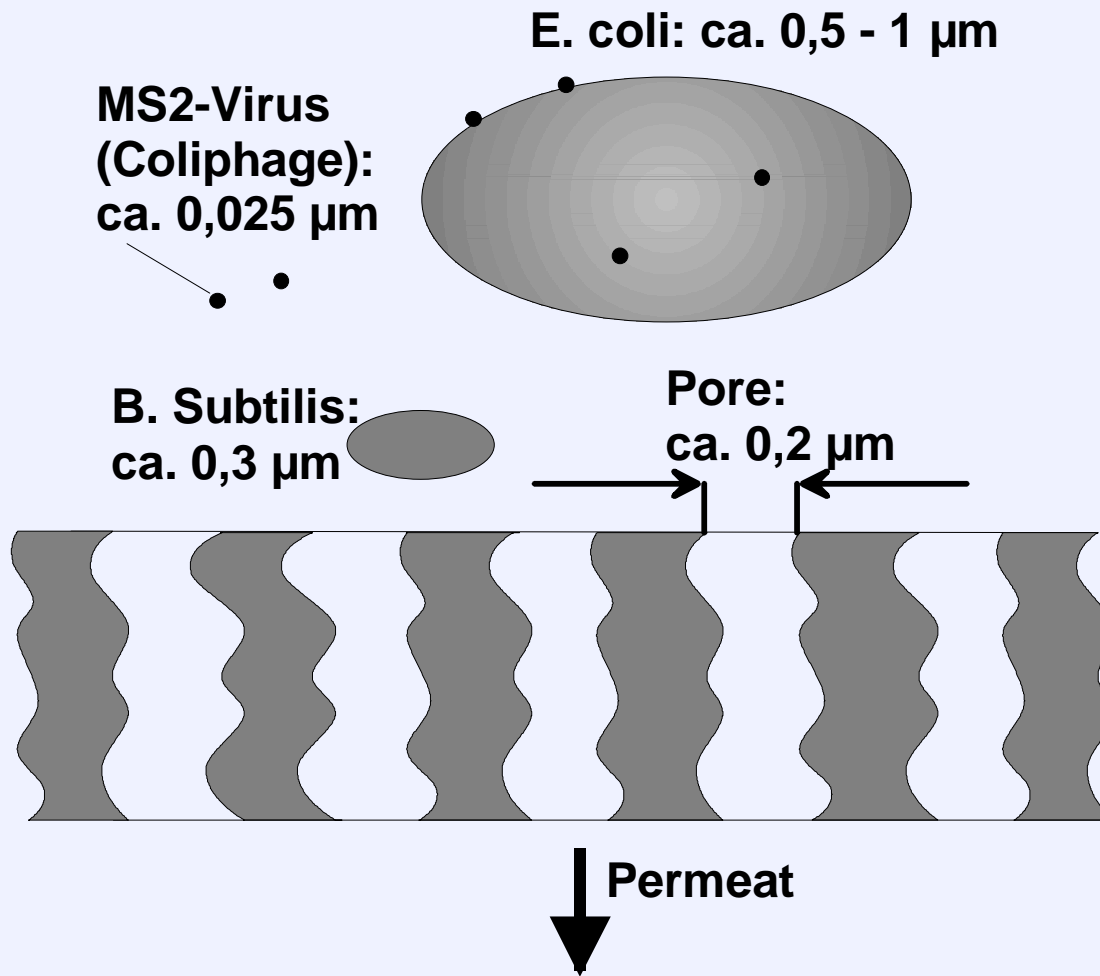
- CSB:BSB<sub>5</sub> hoch (bis zu 4:1)
- geringer N-Anteil
- geringer Feststoffanteil
- hohe bakteriologische Belastung
- starke Belastungsschwankungen
- toxische Stoßbelastungen



# Zuordnung der Membranverfahren



# Membranauswahl



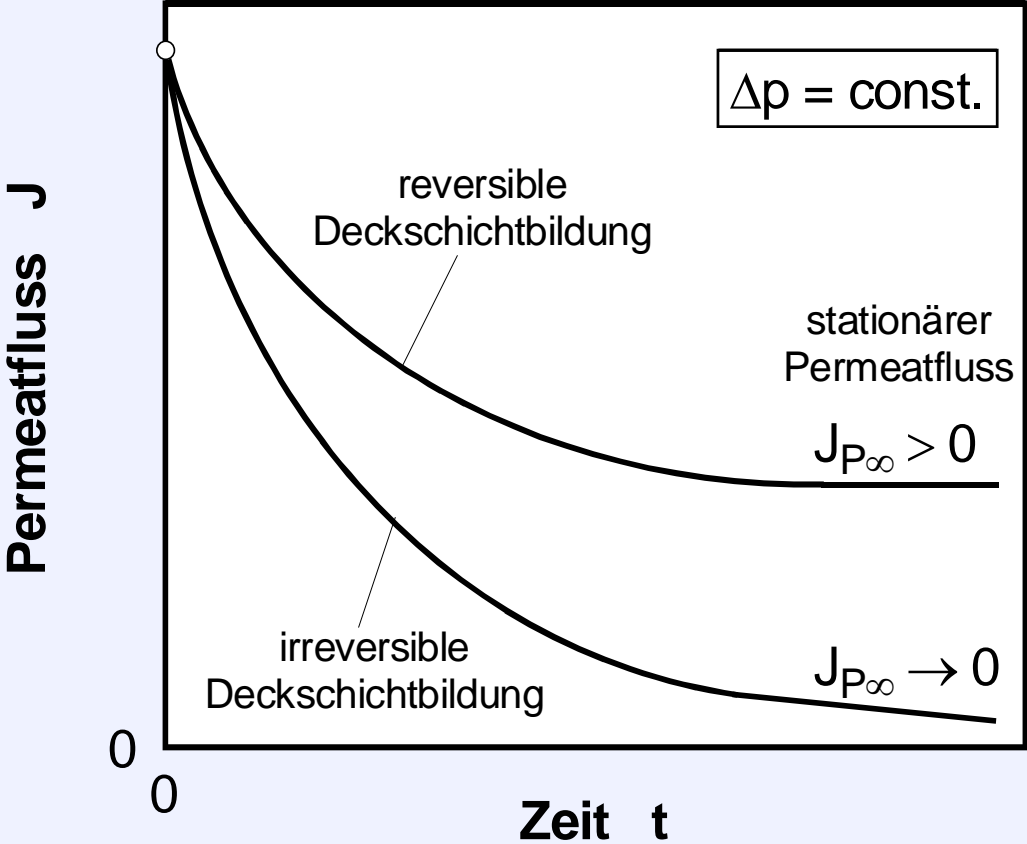
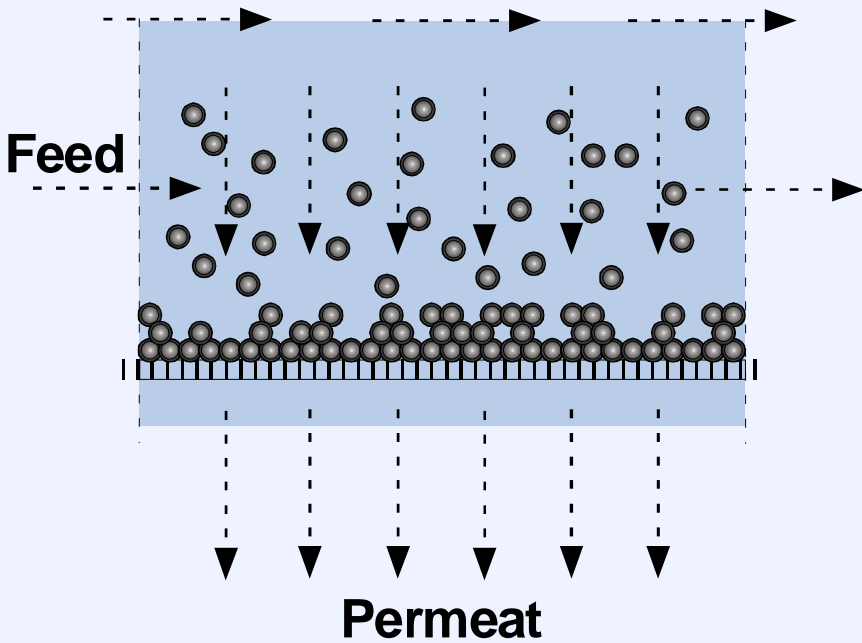
Eingesetzte Membranen:  
Mikro- oder Ultrafiltration

typische Porengrößen:  
0,02 - 0,4 µm

hydrophile Oberfläche

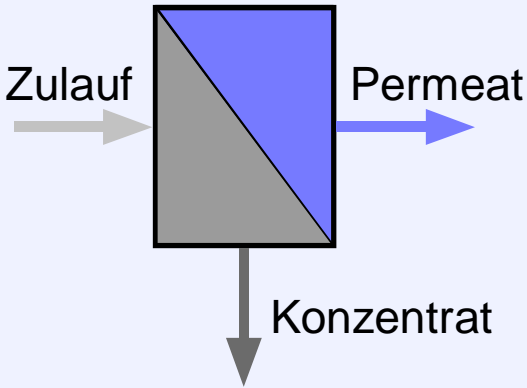
Überströmung der Membran  
(Crossflow) erforderlich

# Betriebsverhalten einer Membran

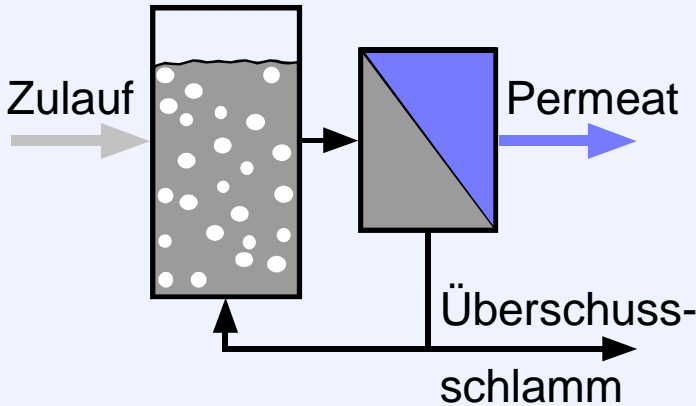


# Membranverfahren in der Grauwasserreinigung

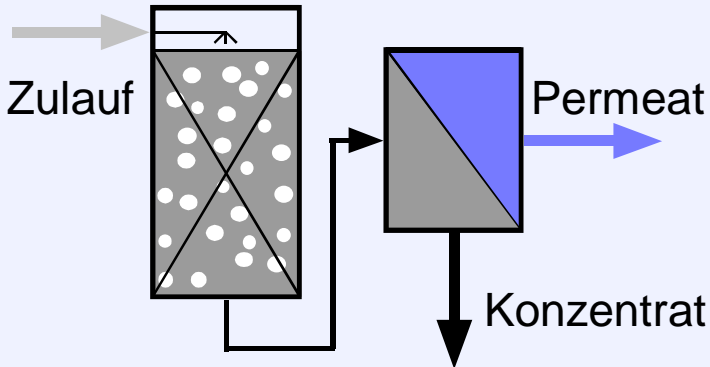
## Physikalische Trennung



## Membran-bioreaktor



## Bioreaktor + Membran



# Physikalische Membranverfahren

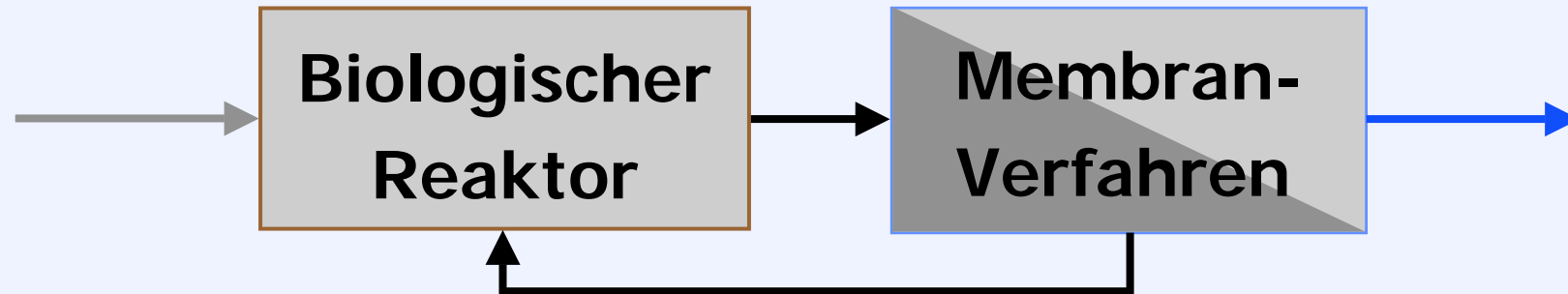
- Ultrafiltration (Porengrößen 0,004...0,1  $\mu\text{m}$ )
- Abtrennung partikulärer Substanzen, Bakterien, bestimmter Viren

## Beschränkungen für die Grauwasserbehandlung

- **Biofouling**: Verminderung des Permeatflusses
- **Gelöste Inhaltsstoffe**: kein Rückhalt
- **Chemische Reinigung**: zur Beseitigung des Foulings regelmäßig notwendig
- **Konzentratanfall**: 5...10% des Abwasservolumens
- **Energiebedarf**: relativ hoch



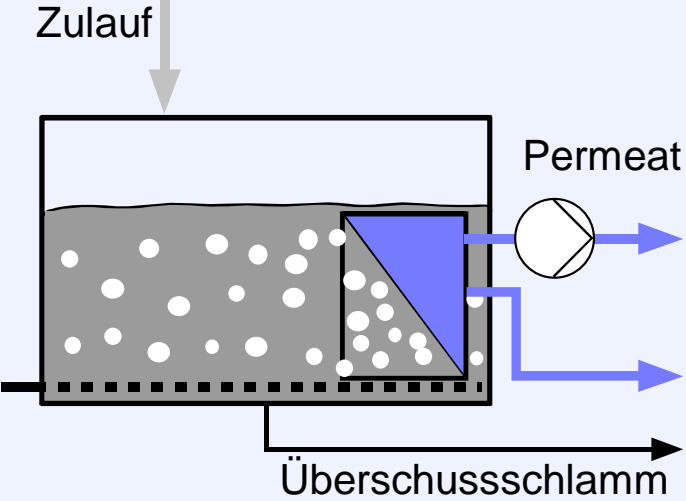
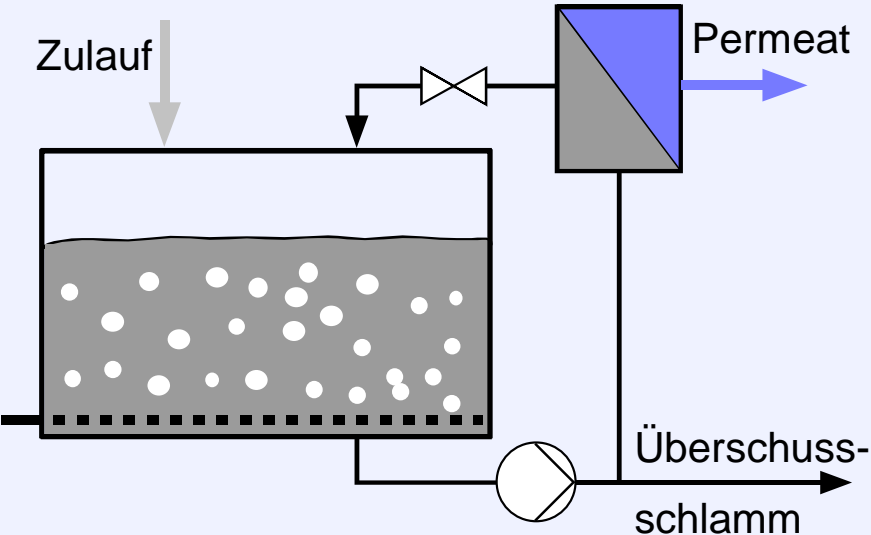
Rohrmodule Fa. Koch



Kopplung konventioneller biologischer Verfahren  
mit Membranverfahren zur Abtrennung der Biomasse

- **aerob** (Belebungsverfahren)
- anaerob (geringer Marktanteil)

# Verfahrensvarianten – Externe/Getauchte Membranfiltration



0,5 - 5 bar

**Transmembrane Druckdifferenz**

0,05 - 0,5 bar

2 - 5 m/s

**Überströmgeschwindigkeit**

durch Belüftung

40 - 120 L/(m<sup>2</sup> h)

**Permeatfluss**

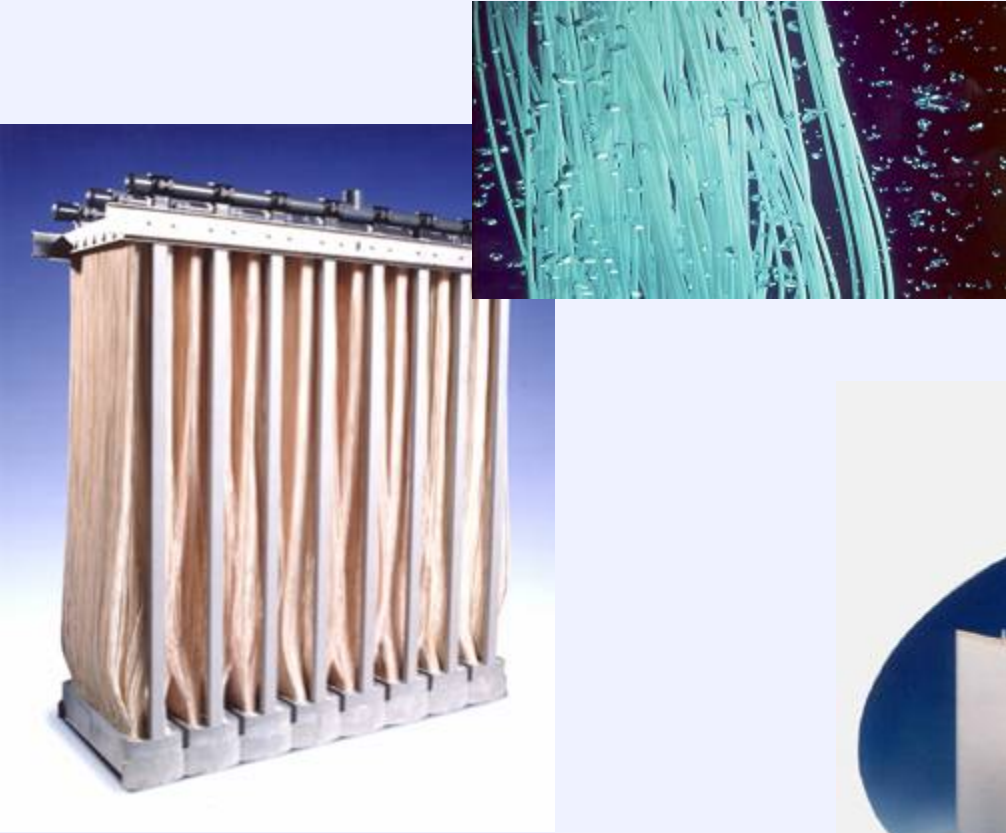
10 - 60 L/(m<sup>2</sup> h)

2 - 10 kWh/m<sup>3</sup><sub>Permeat</sub>

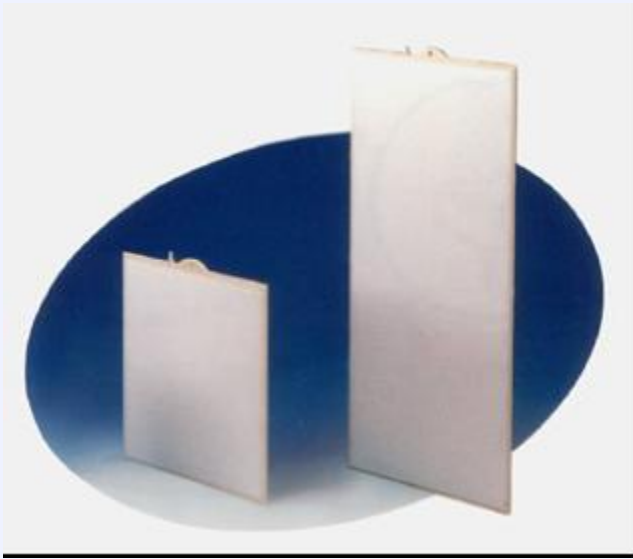
**Energieaufwand**

0,2 - 0,8 kWh/m<sup>3</sup><sub>Permeat</sub>

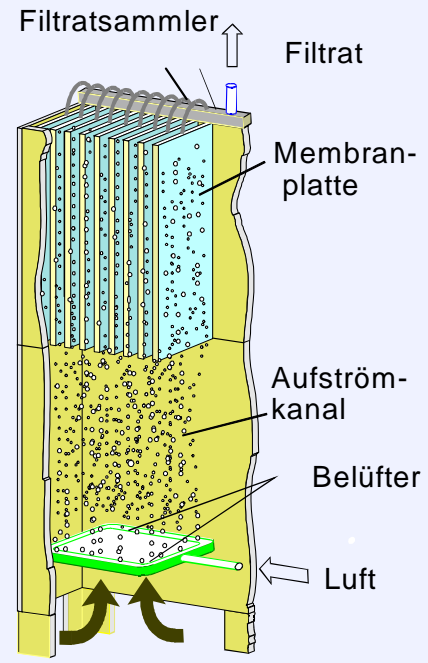
# Getauchte Membranfiltration – Beispiele für etablierte Module



**Hohlfasermodule** (Fa. Zenon)



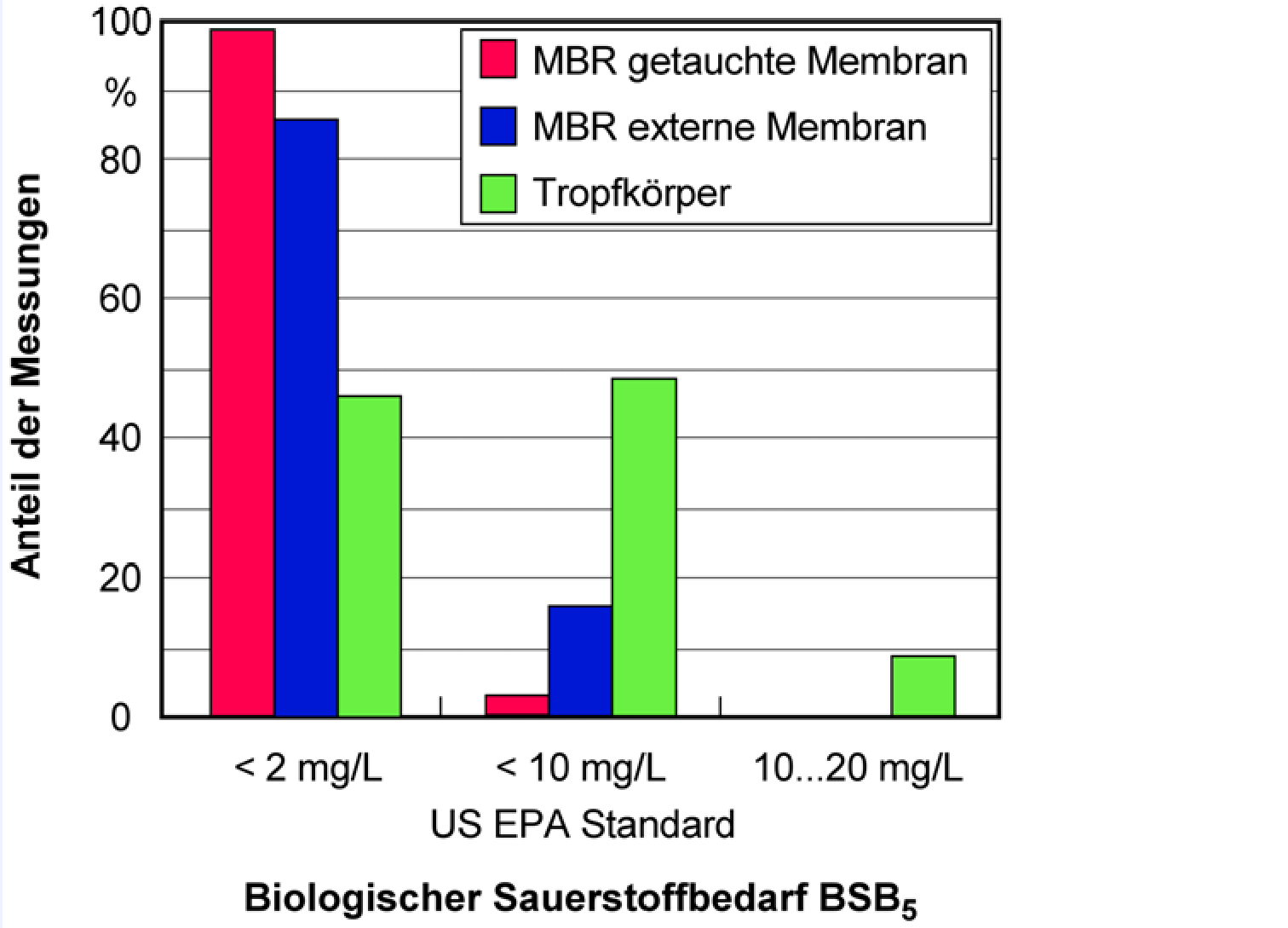
**Plattenmodule** (Fa. Kubota)  
(Lizenz Deutschland: Aggerwasser GmbH)



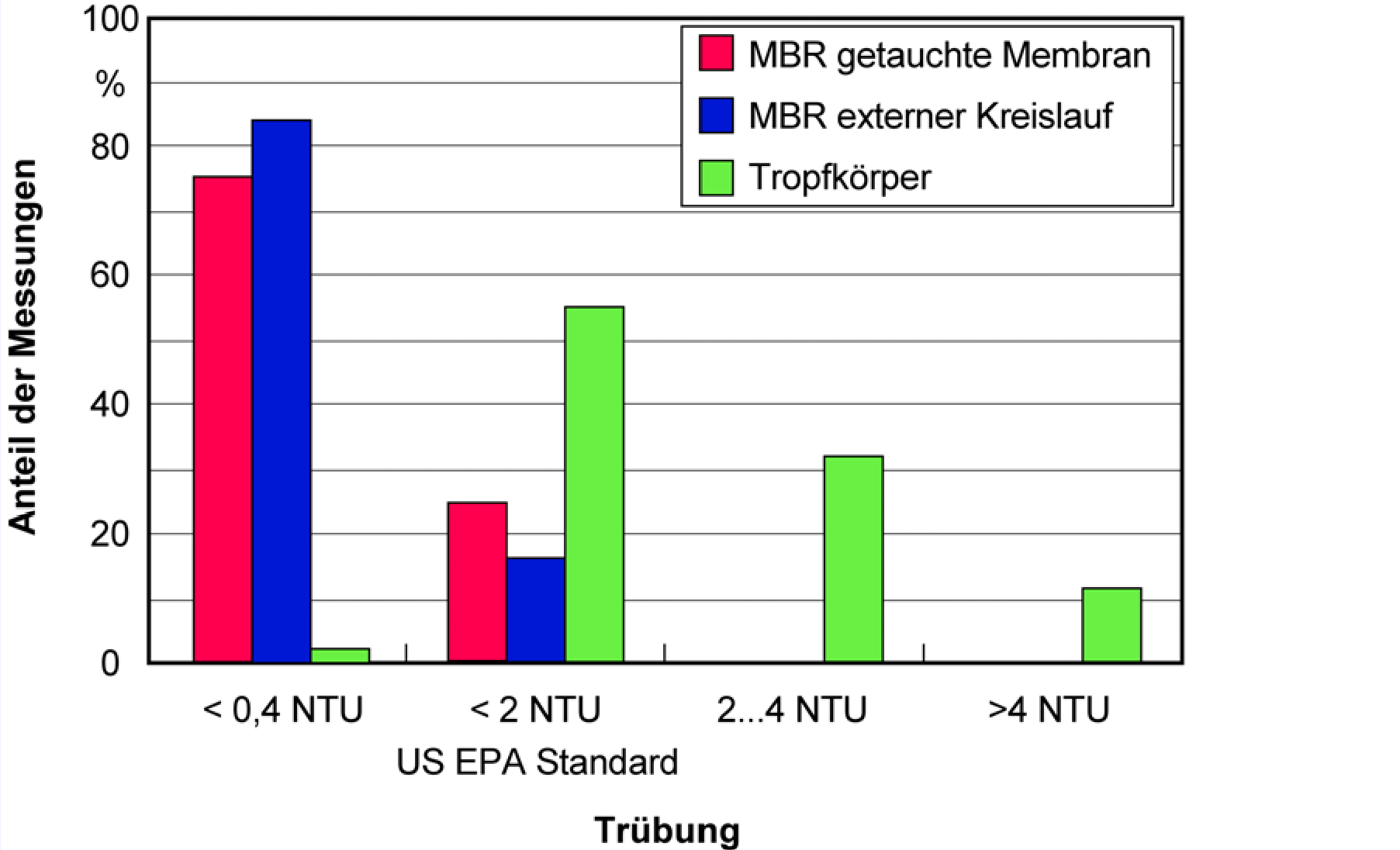
## Qualitätsstandards für Wasserrecycling

- **Biologisch abbaubare Stoffe**       $BSB_5 < 20 \text{ mg/L}$
- **Coliforme Bakterien**       $< 100 \text{ cfu/100 mL}$
- **Trübung**       $< 1...2 \text{ NTU}$

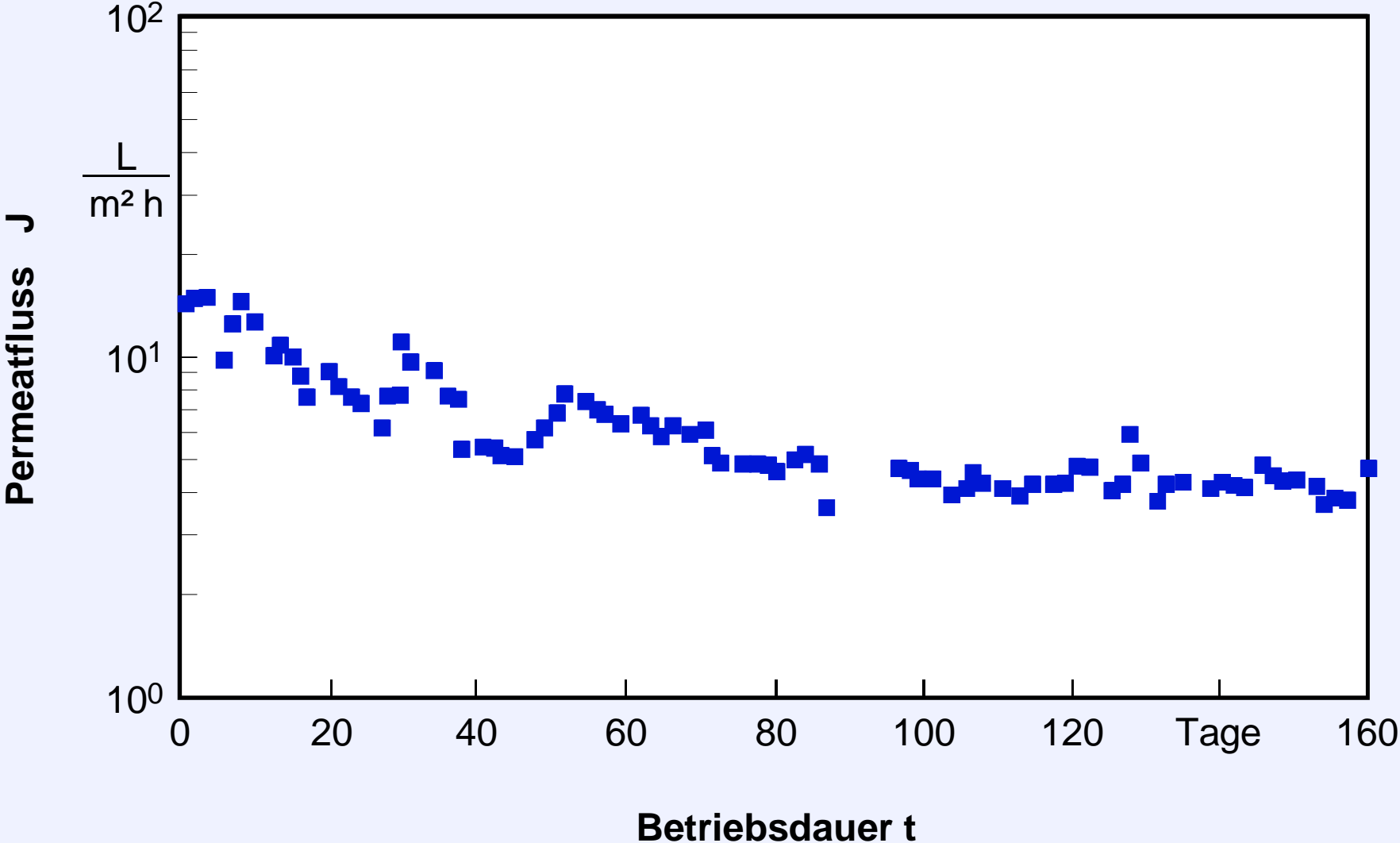
# Abbauleistungen aus Vergleich von Pilotanlagen – BSB<sub>5</sub>



# Abbauleistungen aus Vergleich von Pilotanlagen - Trübung



# Flussrückgang infolge Fouling in einem MBR



# Charakteristika der Verfahren

Kriterien	Verfahren		
	Getauchte MBR	Crossflow MBR	Tropfkörper
Kosten	40 Cent/m <sup>3</sup>	63 Cent/m <sup>3</sup>	29 Cent/m <sup>3</sup>
Ablaufqualität	sehr gut	sehr gut	gut
Schlamm Bildung	keine/kaum	keine/kaum	tägl. Rückspülung
zusätzl. Versorgung	Luft	Luft	Luft
Vorklärung	Feinrechen	Feinrechen	Feinrechen
Nachklärung	Desinfektion	Desinfektion	Filtration, Desinfekt., Schlamm entsorgung
Wartung	gelegentlicher Membranersatz	chem. Reinigung, Membranersatz	Rückspülung, Medienersatz
Sonstiges			starke Schaumbildung beim Anfahren

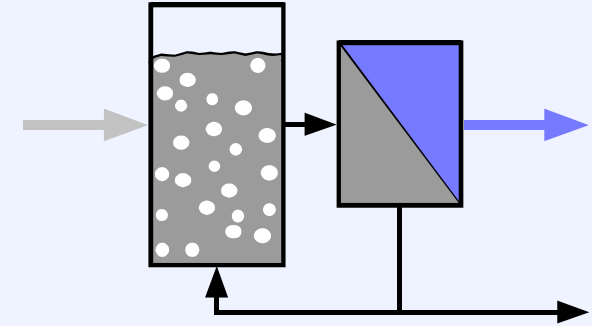
- **Schiffe**
  - physikalisch
  - biologisch mit Membranen
- **Wohnanlagen**
  - z. B.: Annecy (F)
- **Bürogebäude**
  - Japan: weitergehende Reinigung und teilweise Wiederverwendung für Toilettenspülung, Bewässerung, Sprinkleranlagen und zentrale Klimaanlage
- **Öffentliche Gebäude**
  - z. B.: Millennium Dome (GB)  
(inkl. Regenwassernutzung und Grundwasseraufbereitung)



**Grauwasseranlage an Bord eines Schiffs**

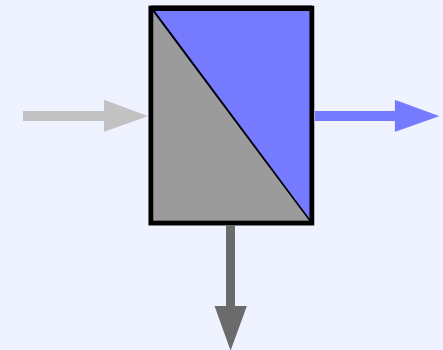
- **Membranbioreaktor**

- Verringerung der abbaubaren Organika in kurzer Verweilzeit
- Substrat dient mehr dem Erhaltungsstoffwechsel als dem Wachstum (kein/kaum Schlammfall)
- $BSB_5$  besteht zu großem Anteil aus Detergenzien

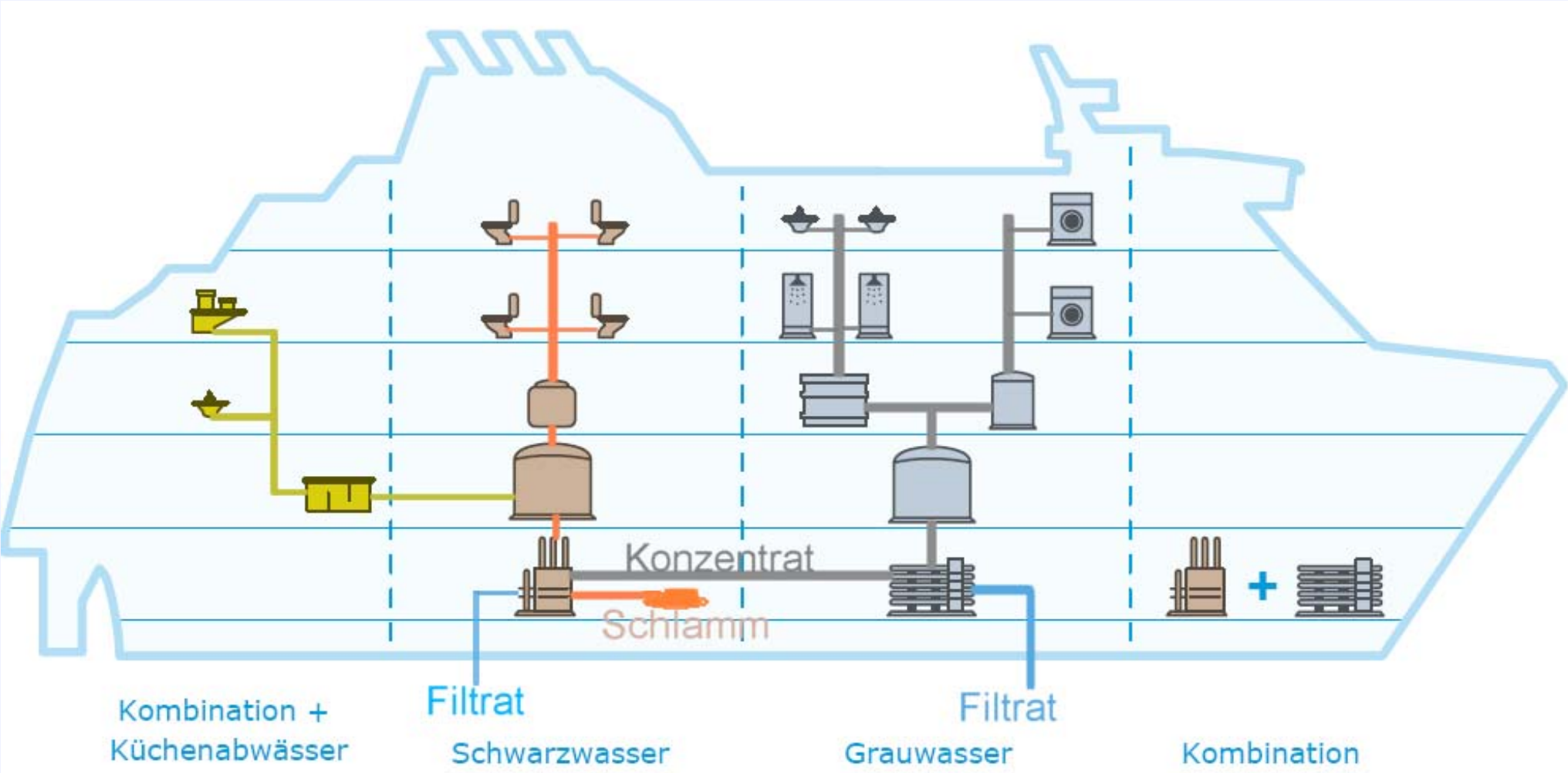


- **Rein physikalische Membrantrennung**

- Aufkonzentrierung des Grauwasserstroms und anschl. Behandlung mit dem Schwarzwasser oder
- komplette physikalische Reinigung und anschließende Entsorgung im Meer
- keine Verringerung der gelösten organischen Fracht

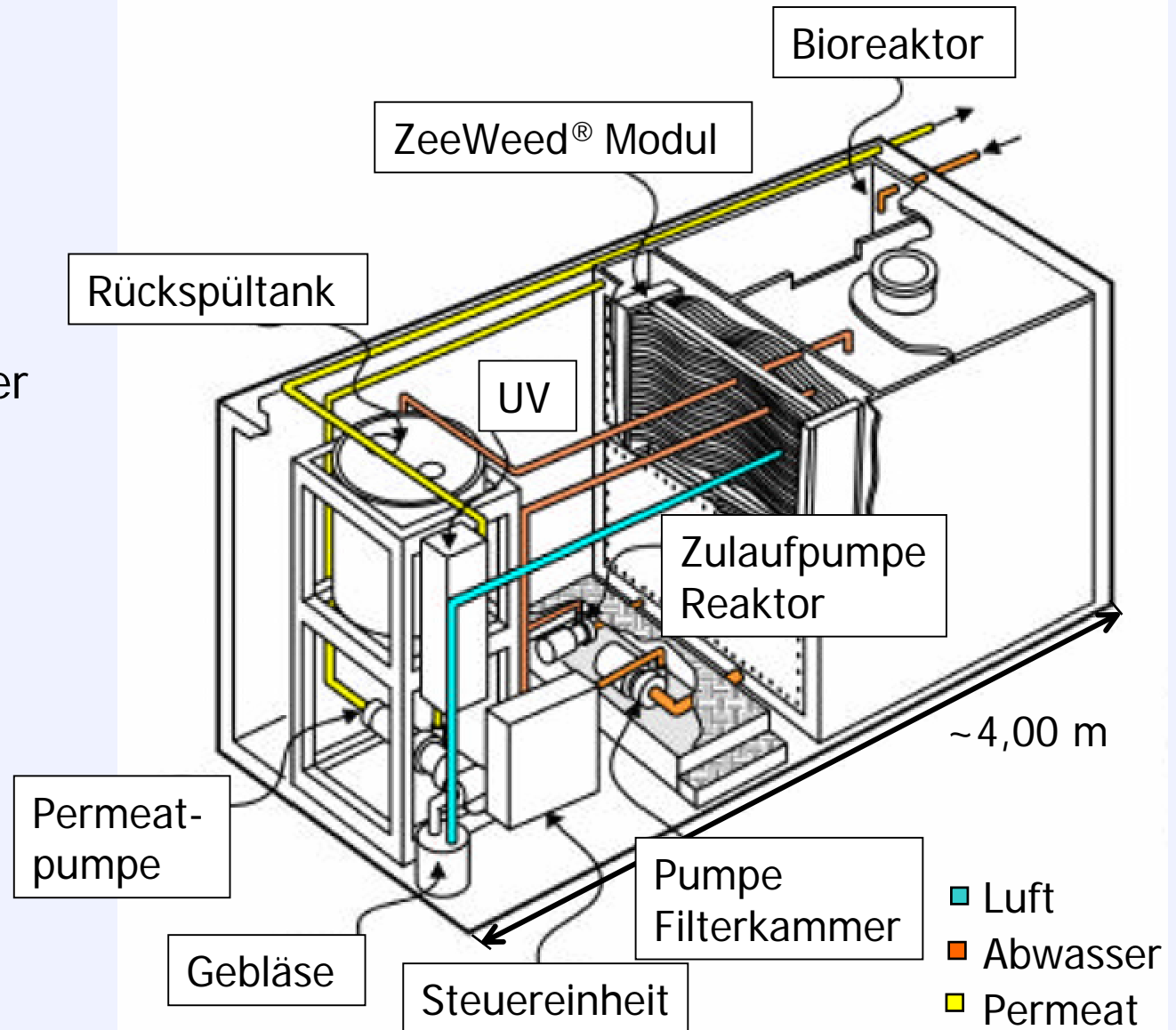


# Kreuzfahrtschiff



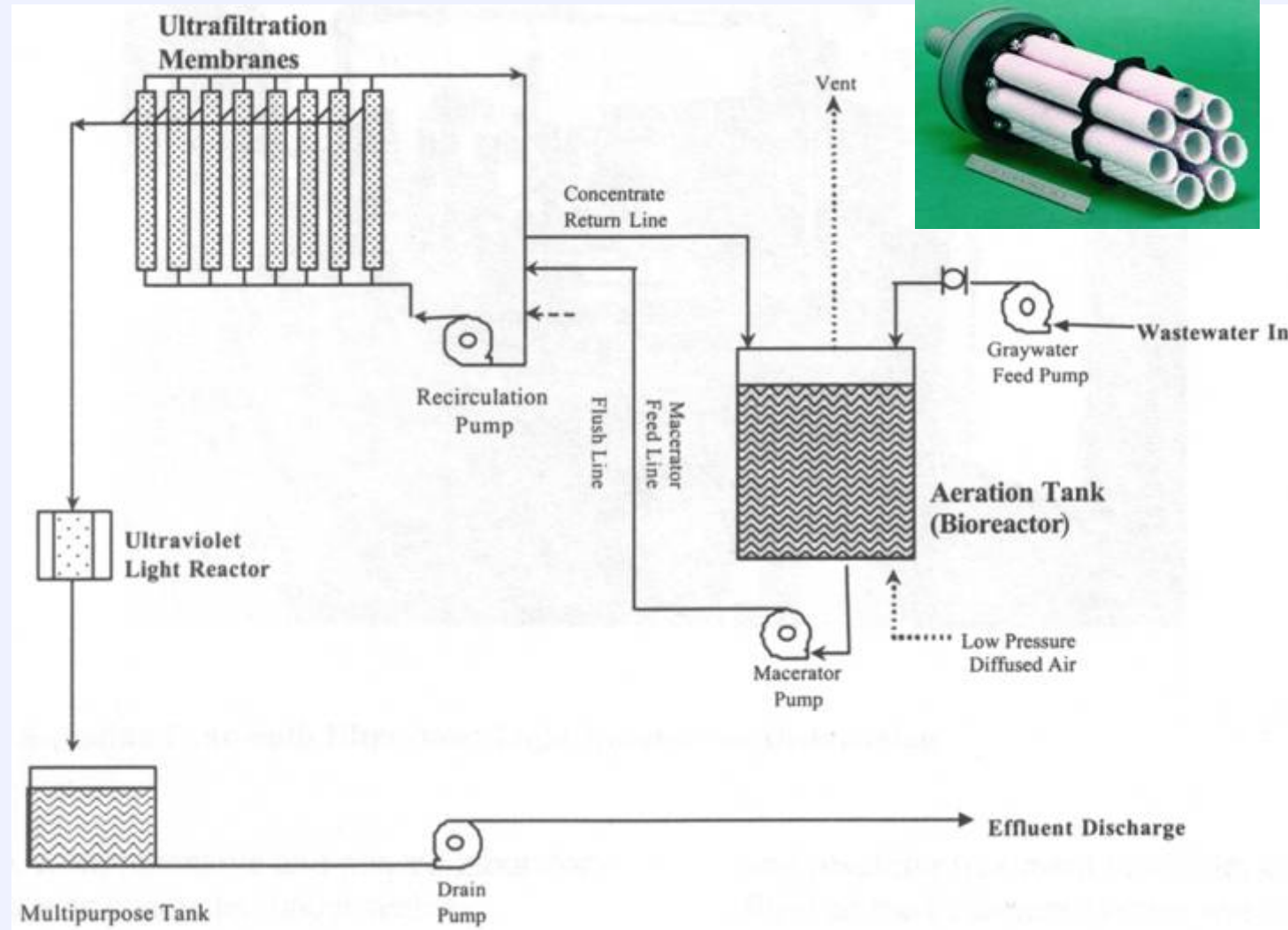
# Membranbioreaktor mit getauchter Membran für Schiffsabwasser

- Auslegung für 75 Personen (ca. 10 m<sup>3</sup>/Tag)
- getauchtes Hohlfasermodul
- gesammeltes Schiffsabwasser (Grau- und Schwarzwasser, Vakuumtoiletten)
- Permeatqualität:
  - BSB<sub>5</sub>: < 50 mg/L
  - TSS: < 100 mg/L
  - Gesamtcoliforme: < 200 KBE/100 mL
  - SRT = 30 Tage



# Membranbioreaktor mit externer Membran für Schiffsabwasser

- Auslegung für 75 Personen (ca. 10 m<sup>3</sup>/Tag)
- Membranbioreaktor mit externer UF-Membran
- HRT = 8h
- SRT = 30 Tage



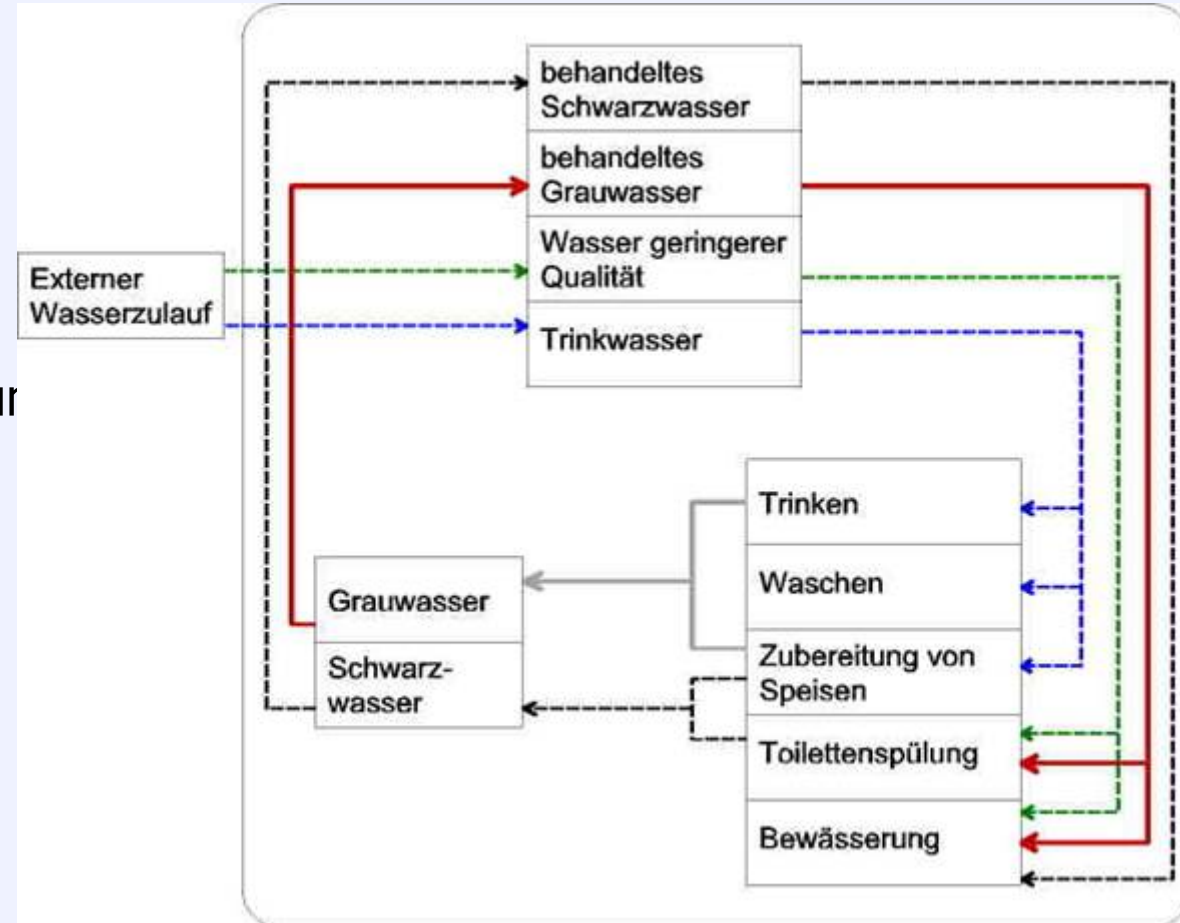
# Eigenschaften beider Systeme

---

- Membranbioreaktor mit getauchtem Modul:
  - platzsparend
  - geringeres Gewicht
  - geringerer Energieverbrauch
  - geringere Betriebskosten
- Membranbioreaktor mit externem Modul:
  - einfacher Zugang und Instandhaltung
  - auch für Abwasser mit hoher Feststoffkonzentration und Faserstoffen
- **Beide erfüllen die hohen Anforderungen einer adäquaten Abwasserreinigung im modernen Schiffsbau**

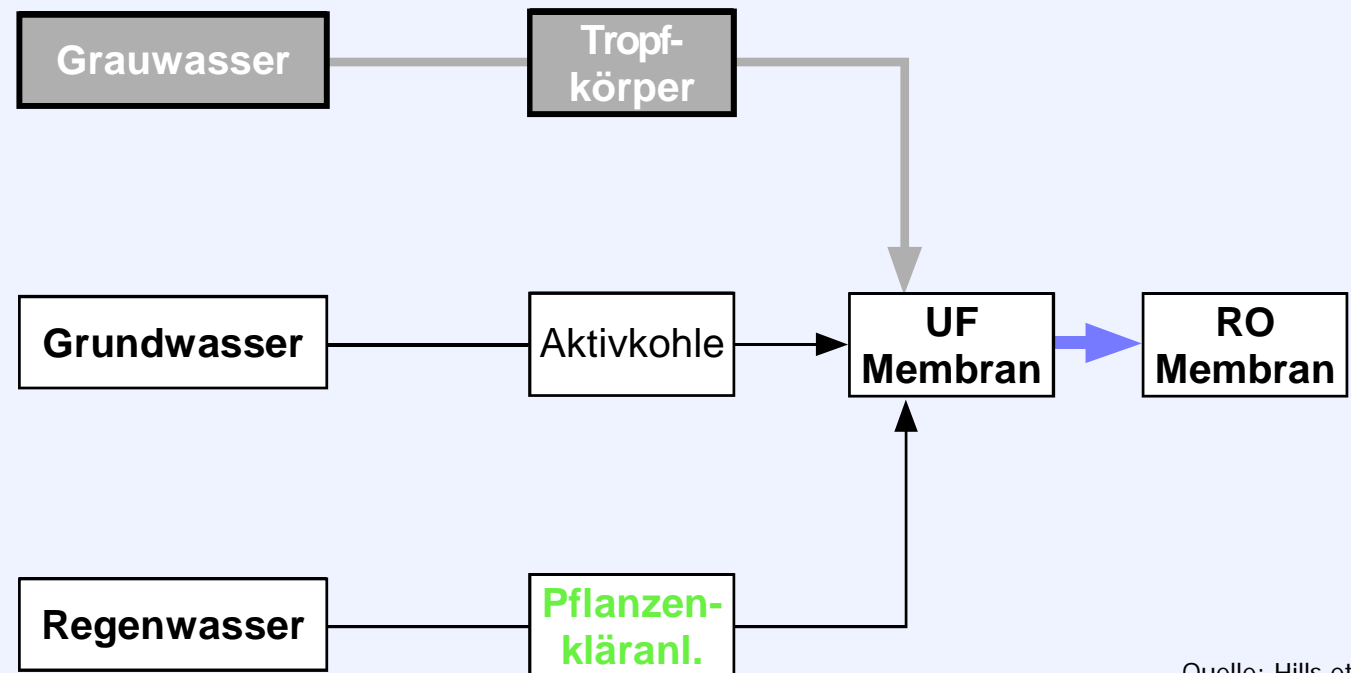
# Schließung von Wasserkreislaufen in Wohngebäuden

- z.B. Wohngebäude aus 64 Apartments in Annecy (F)
- Behandlung mittels MBR-Verfahren (UF, Ondeo Degremont)
- Wiederverwendung hauptsächlich für Toilettenspülung, teilweise Bewässerung
- Teure Behandlungsalternative:
  - $< 75\text{m}^3/\text{d}$ : ca. 3,00 €/m<sup>3</sup>
  - bis zu  $300\text{m}^3/\text{d}$ : 1,70 €/m<sup>3</sup>



# Kombinierte Behandlung: Millennium Dome (GB)

- Kombinierte Behandlung mit Grundwasser und Regenwasser
- Grauwasser liefert nur 10% des recycelten Wassers
- UF-Membranen entfernen partikuläre Stoffe und Bakterien
  - 100% Entfernung Gesamtcoliforme und *E.Coli*
- Desinfektion mit RO-Membranen
- Hohe Akzeptanz der Benutzer



Quelle: Hills et al. 2001

## Vorteile

- **Qualitätskriterien für das Permeat (BSB5, Trübung, Coliforme) werden problemlos eingehalten**
- **Kein/kaum Schlammfall**
- **Stabiler Betrieb unempfindlich gegen Lastschwankungen**
- **Kompakte Anlagengröße**
- **Geringer Bedienungsaufwand**

## Kritische Punkte

- **Membranfouling führt zu niedrigem Flux bzw. großen Membranflächen**
- **Membranstandzeiten noch nicht völlig klar**
- **Teilweise Notwendigkeit chemischer Reinigungen**
- **Relativ hohe Kosten**

**Membranverfahren insbesondere MBR sind für das  
Grauwasserrecycling eine technisch sinnvolle Alternative**