

Kreislaufschließung im Prozesswasserbereich



Herausforderungen und Lösungsansätze

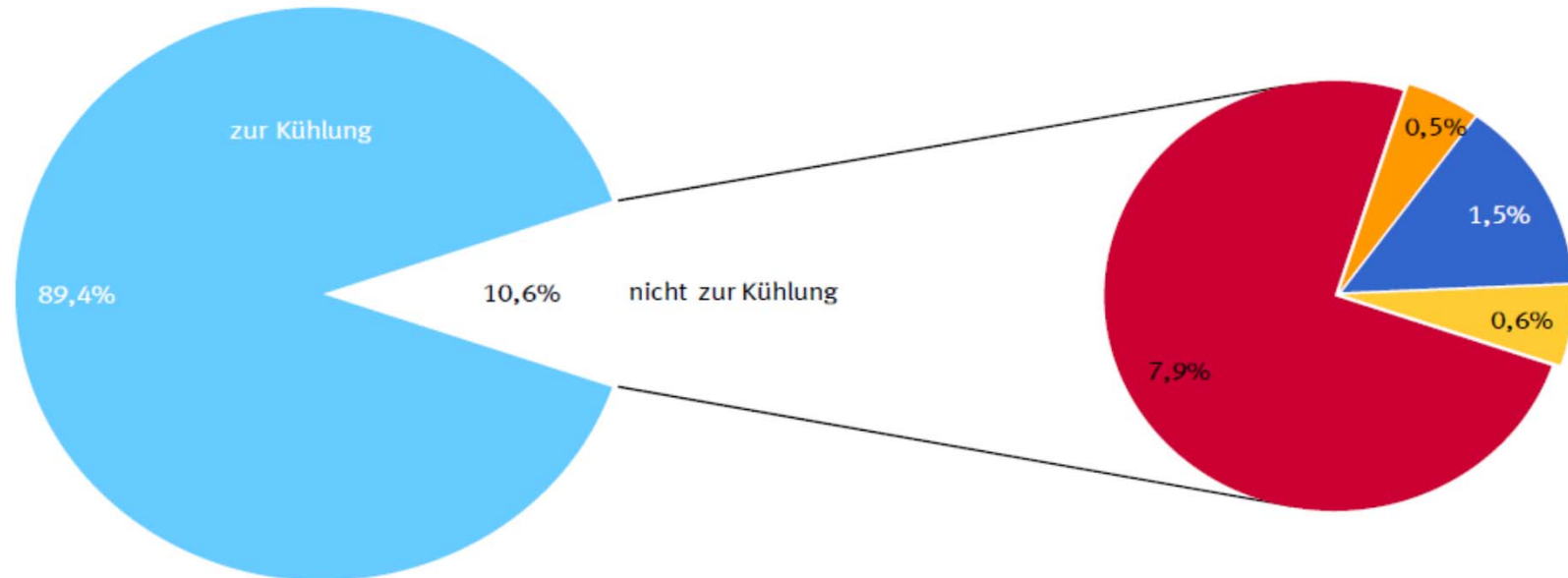
Industrielle Wassertechnik für die Zukunft
40 Jahre EnviroChemie – 15. September 2016

Markus Engelhart

Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR
Fachgebiet Abwassertechnik / Abwasserwirtschaft I

- Industrieller Wasserverbrauch und Wassernutzung
- Forschungs- und Entwicklungsbedarf
- Trennung organischer und anorganischer Prozesswasserinhaltsstoffe
 - Nanofiltration
 - Aktivkohleadsorption
 - Membranverfahren
 - Ionische Flüssigkeiten
- Mehrstufige Konzentratbehandlung
- Fazit

Wassereinsatz nach Verwendungszweck



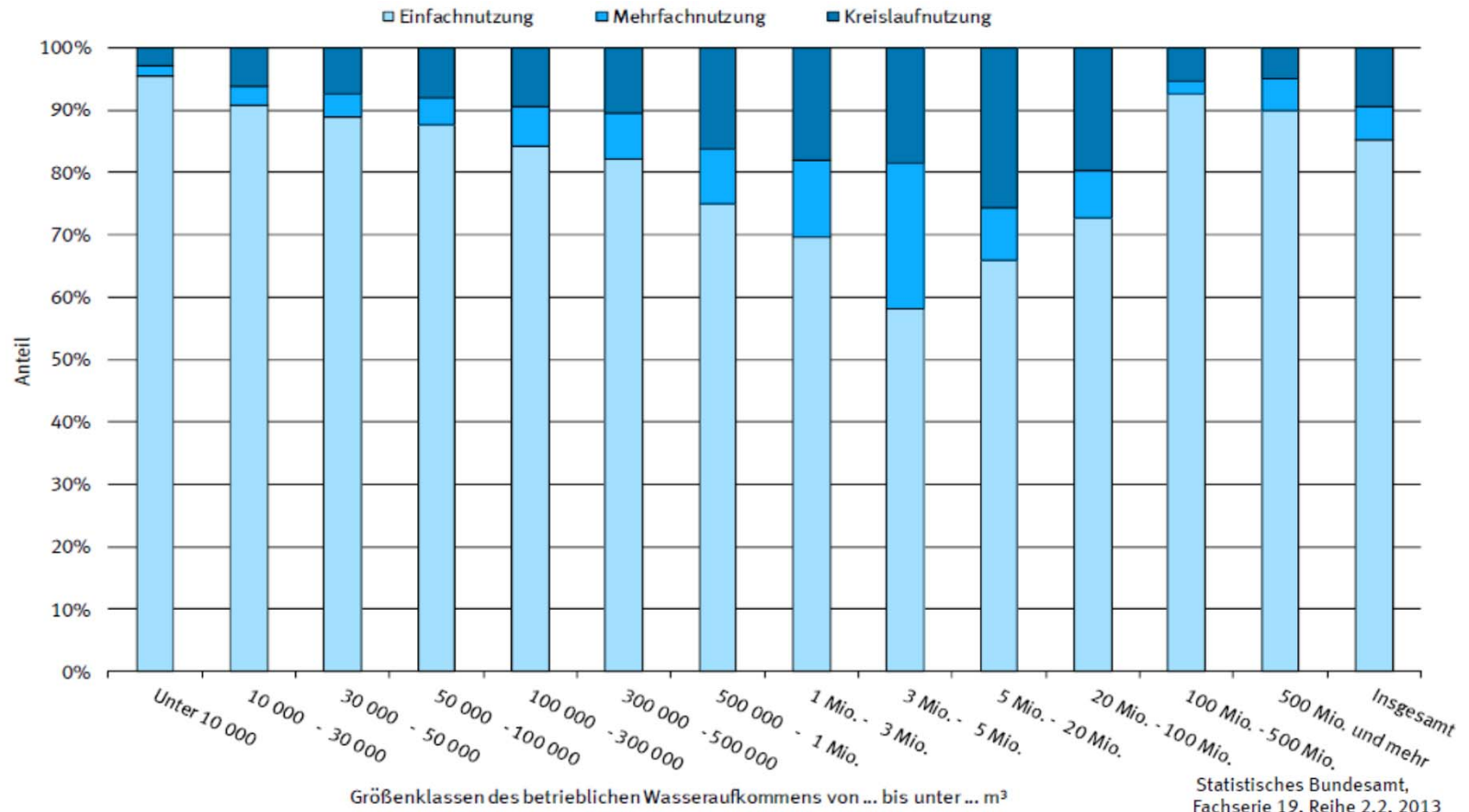
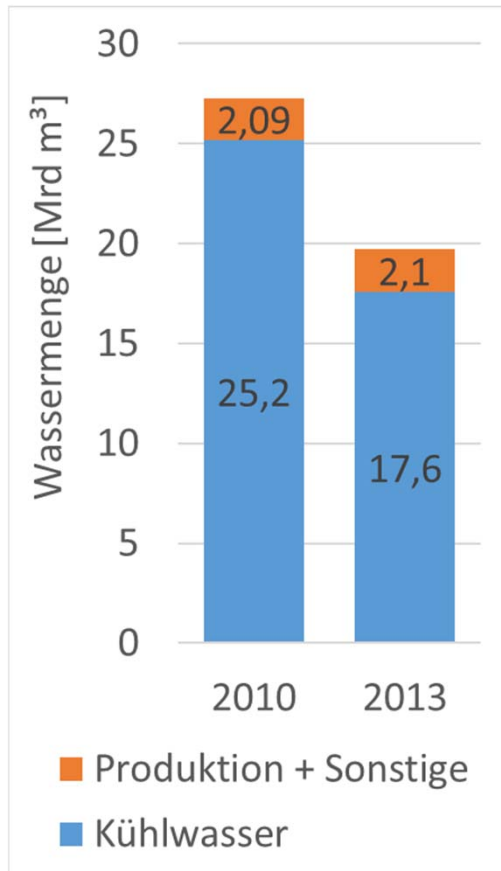
In absoluten Zahlen (in 1 000 m³):

17 598 275	zur Kühlung
2 078 903	nicht zur Kühlung
	davon:
1 549 741	für Produktionszwecke und sonstige Zwecke
106 064	für Belegschaftszwecke
298 571	zur Bewässerung
124 526	in die Produkte eingehendes Wasser

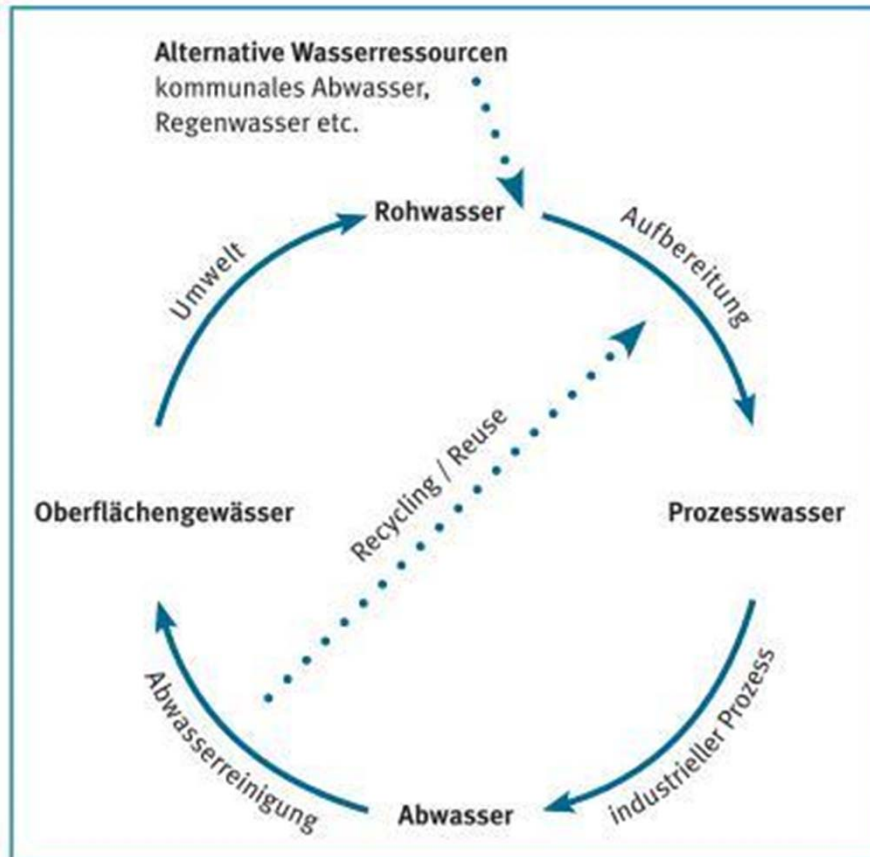
- zur Kühlung
- für Produktionszwecke und sonstige Zwecke
- für Belegschaftszwecke
- zur Bewässerung
- in die Produkte eingehendes Wasser

Statistisches Bundesamt, Fachserie 19, Reihe 2.2, 2013

Wassernutzung



Industrieller Wasserkreislauf

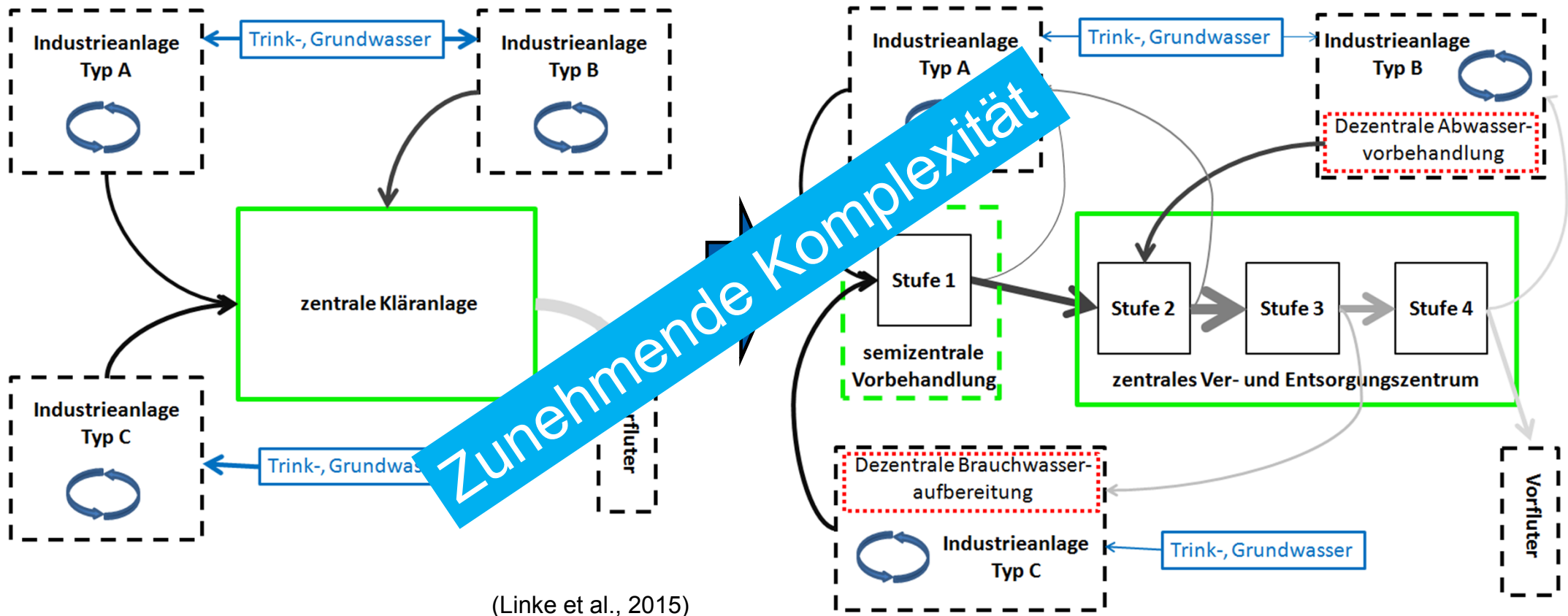


(Ante et al., 2014)

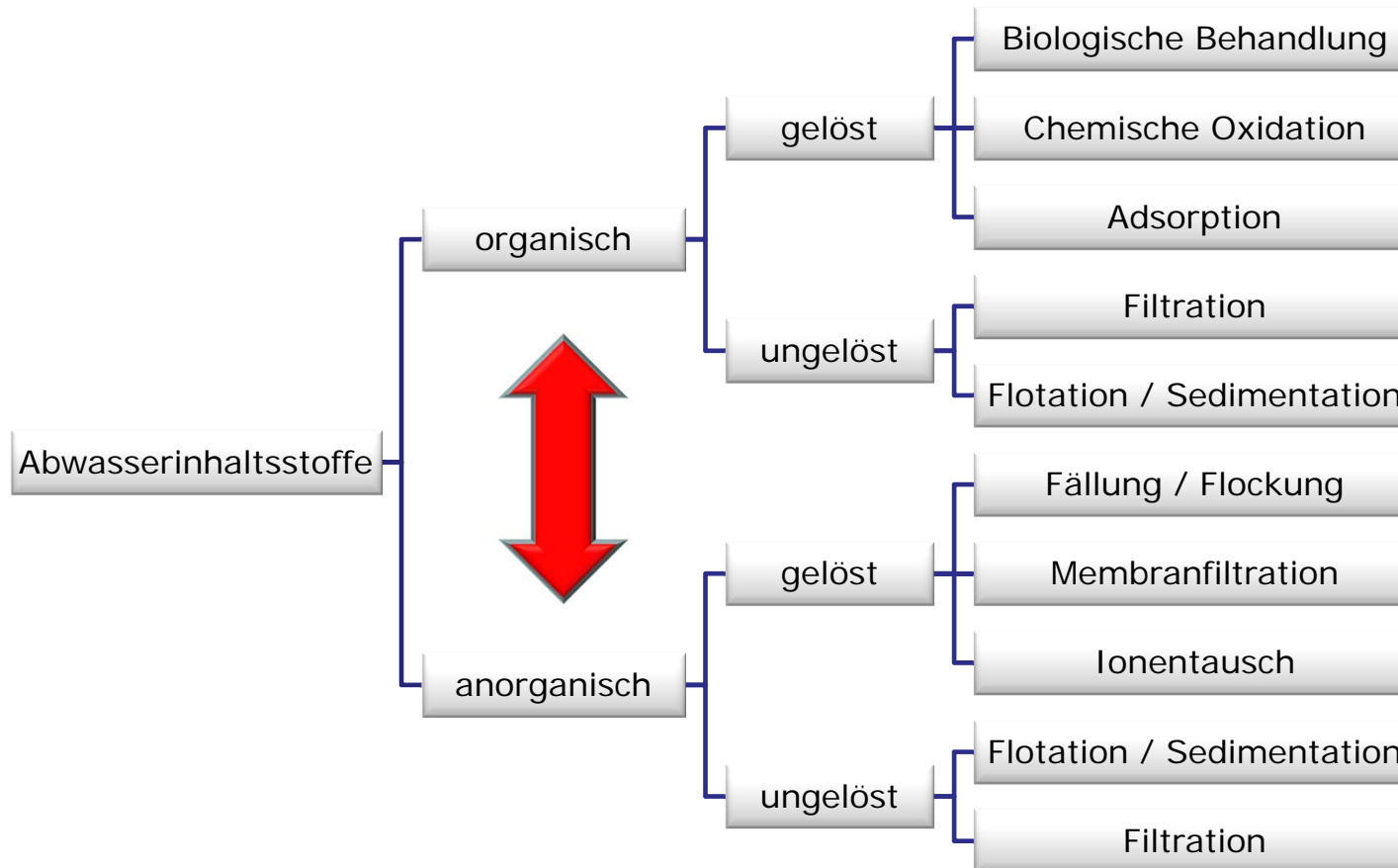
Forschungsschwerpunkte:

- Produktionsintegrierte Maßnahmen mit dem Ziel eines energieeffizienten Wasserrecyclings
- Rückgewinnung von Wertstoffen
- Umgang mit Salzen
- Biologische Verfahren
- Advanced Oxidation Processes
- Membranen für die Wasser und Abwasseraufbereitung

Transformationsprozess



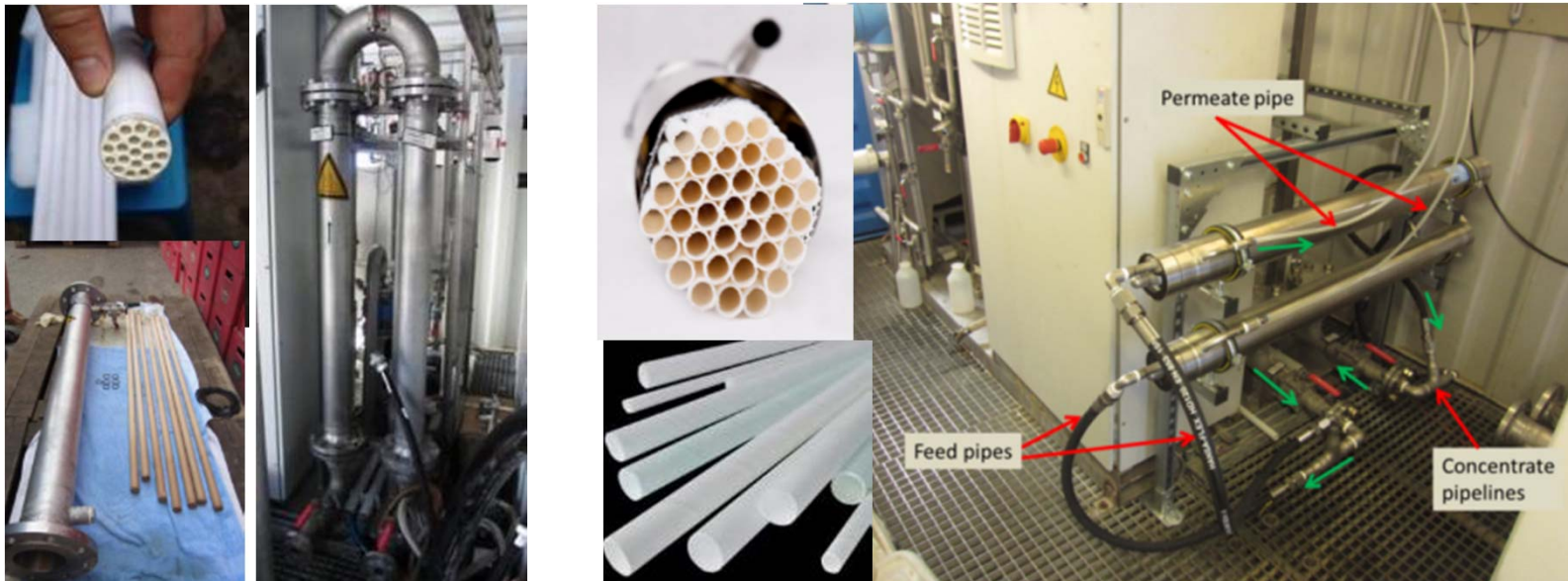
Auftrennung von Abwasserinhaltsstoffen



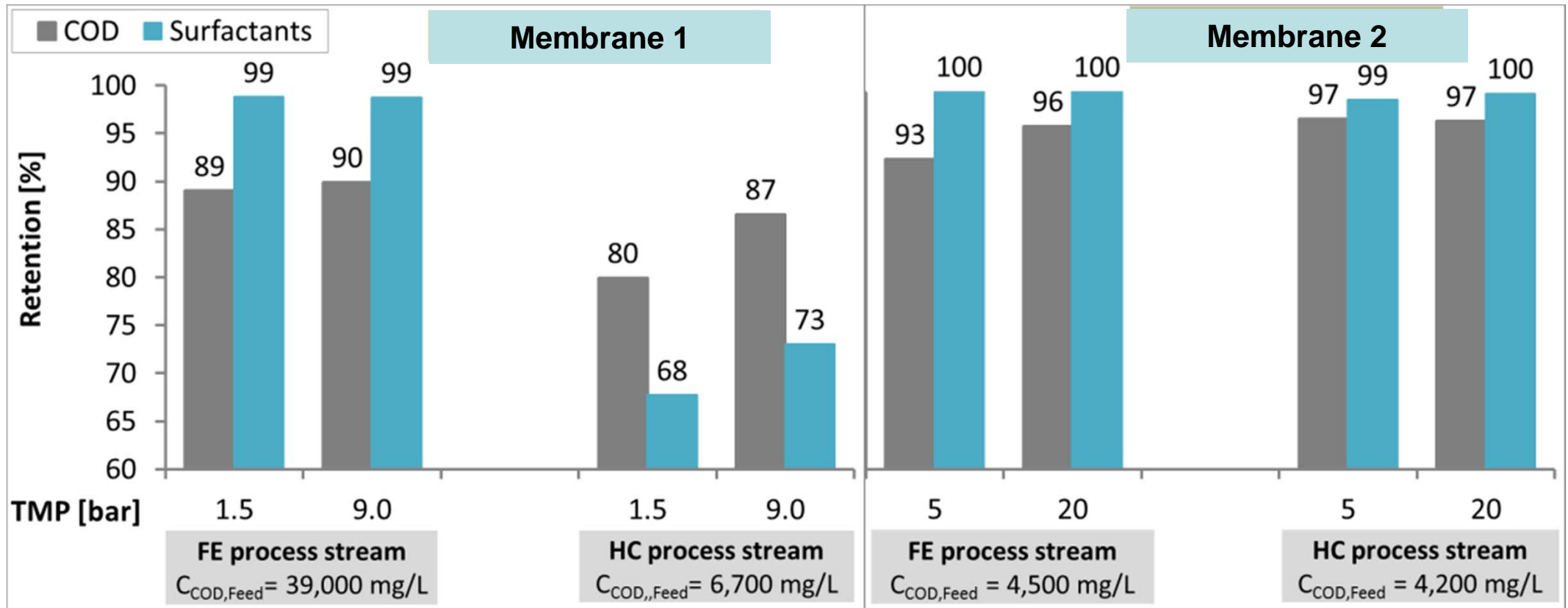
u. v. a. m.

Tensidabtrennung durch Nanofiltration

Membran	Aktive Schicht	Cut-Off / Salzurückhalt	Permeabilität L/(m ² ·h·bar)	Test Bedingungen
1	TiO ₂	< 300 D	20 – 30	35°C, 3 m/s
2	Polyamid	R _{NaCl} =80 %	5	60°C, 2 m/s



Produktionsintegrierte Rückgewinnung mit NF



Ergebnis



Neutralsalzrecycling

Kreislaufführung NaCl-haltiger
Prozessabwässer bei der
Herstellung von Polycarbonat
Einsatz bei der Chlor-Alkali-
Elektrolyse

- 30.000 t NaCl/a
- 400.000 t VE-Wasser

Herausforderung:

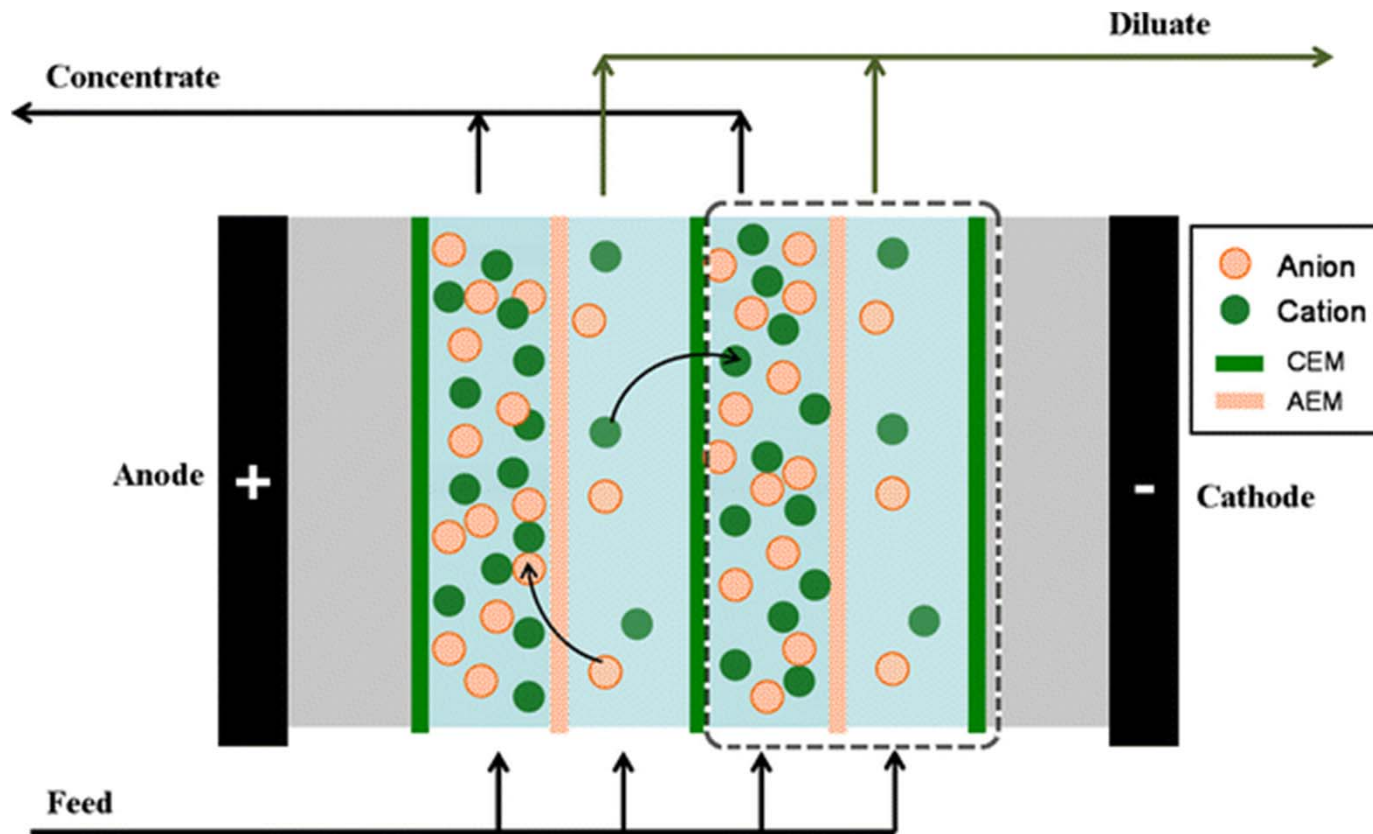
Adsorption von organischen
Spurenstoffen bei hoher NaCl-
Konzentration

- Beladungskapazität ?
- Restkonzentration ?



Bild: Covestro Deutschland AG

Elektrodialyse (ED / EDR)



Einsatzbereiche:

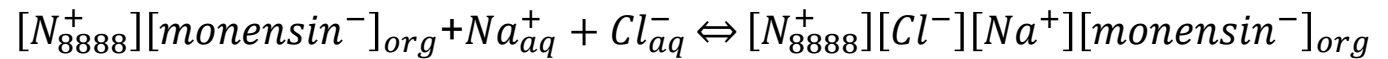
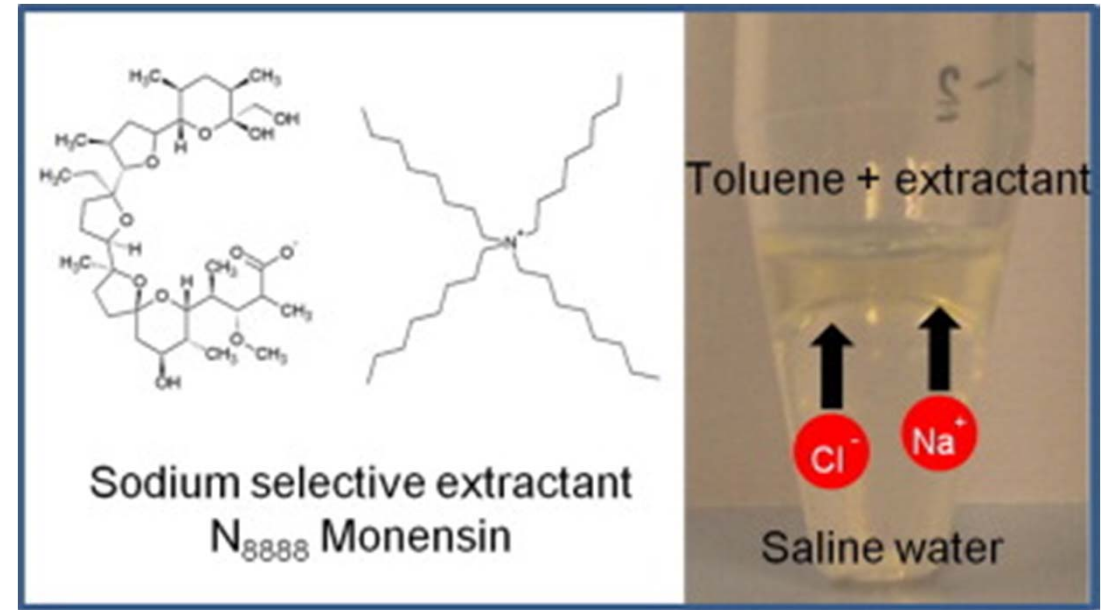
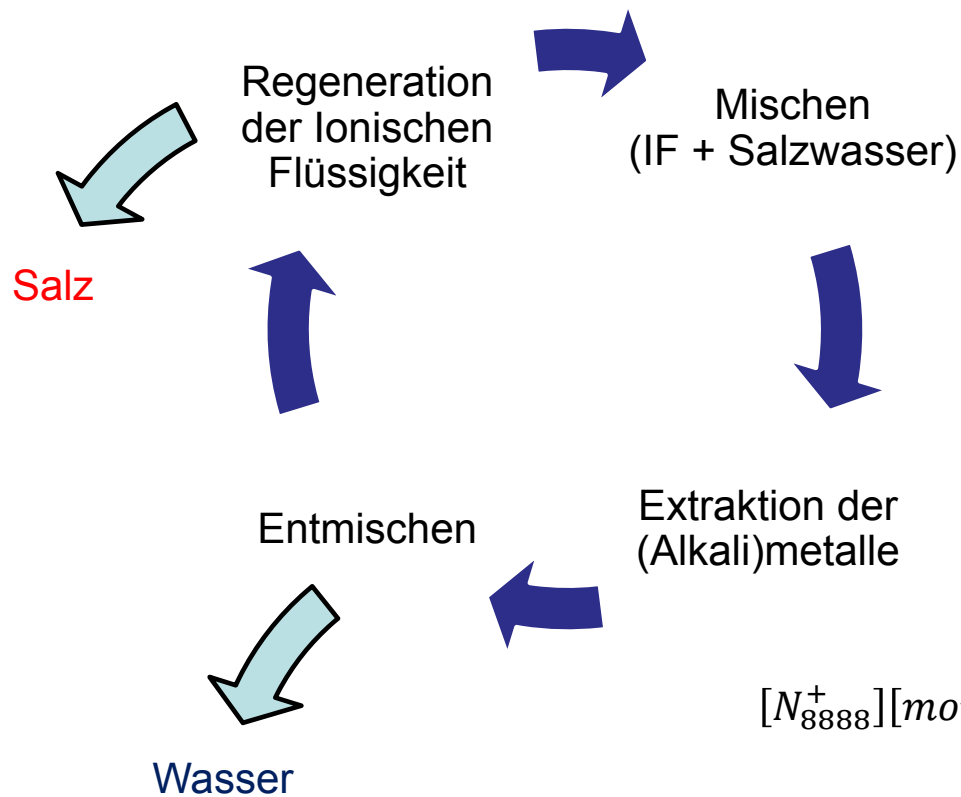
- Produktgewinnung (Salz)
- Entmineralisierung des Produkts vor Weiterbehandlung (Organik)
- Konzentrierung von Reststoffen (UO Konzentrat)

(Bild: Silva et al. (2013), Journal of Applied Electrochemistry 43, 11, 1057-1067)

Vorteile der Elektrodialyse (ED / EDR)

- **Geringere Empfindlichkeit** gegen Feed-Qualität (SDI, SiO_2)
- Höhere Resistenz gegen Chlor (kont. bis zu 1 ppm)
- **Höhere Permeatausbeute** (jedoch bei geringerer Permeatqualität), dadurch geringeres Konzentratvolumen
- **Geringere Fouling- und ggf. Scalingneigung** (insbes. bei EDR)
- **Manuelle Reinigung** von Plattenmodulen möglich (insbes. bei Verwendung von nicht-homogenen ionenselektiven Membranen)

Extraktion mit Ionischen Flüssigkeiten



Tetraoctylammonium Monensin, Parmentier et al. (2016). Desalination 399, 124-127

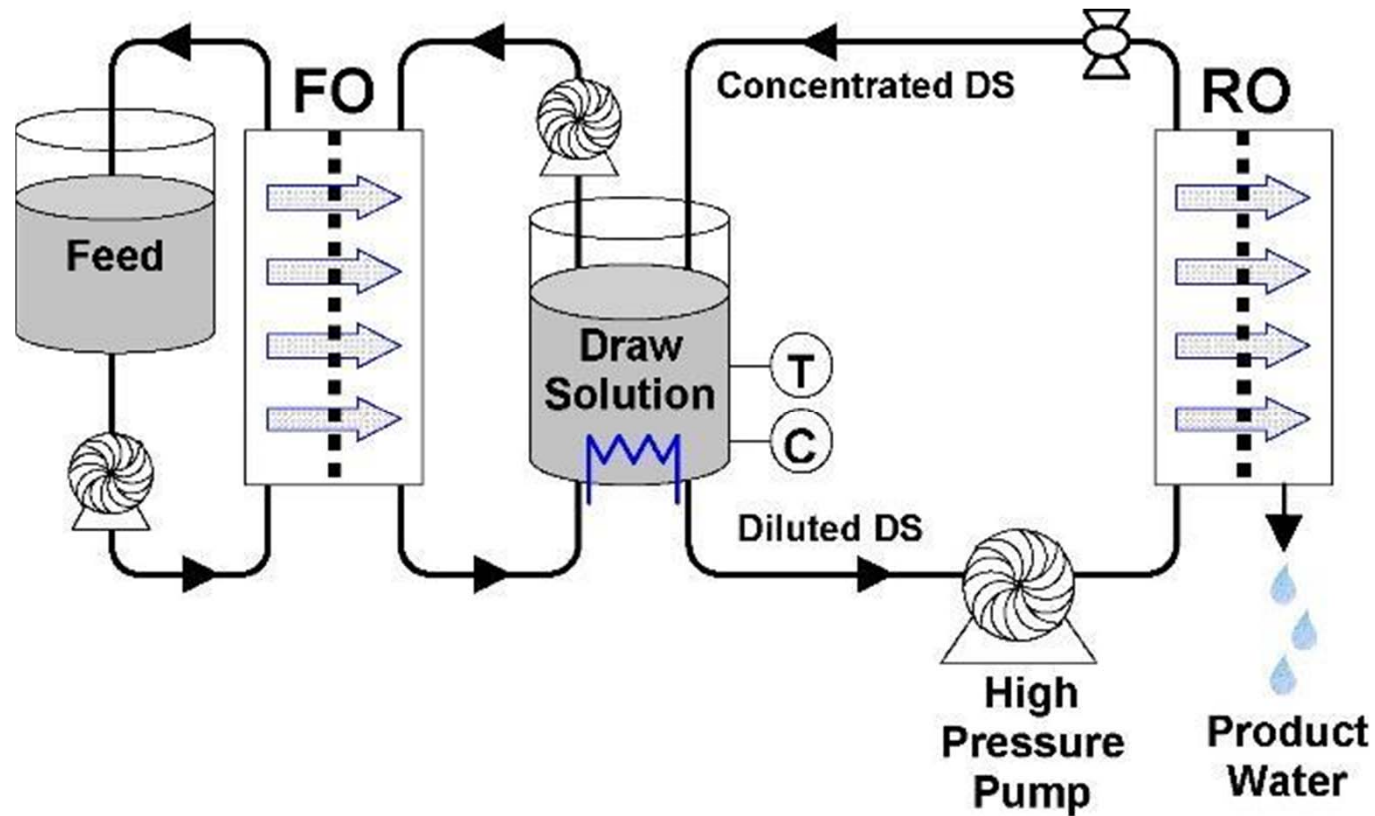
Konzentrat aus Membranprozess (NF, UO)
(evtl. mit Vorbehandlung: Enthärtung, Vorfällung)



Vorkonzentrierung

(Ultra-HPRO ≥ 120 bar: Plattenmodul, Wickelmodul, ED / EDR, FO)

Prinzip Forward Osmosis



Martinetti et al. (2009) Journal of Membrane Science, Volume 331, Issues 1–2, 2009, 31–39

Konzentrat aus Membranprozess (NF, UO)
(evtl. mit Vorbehandlung: Enthärtung, Vorfällung)



Vorkonzentrierung

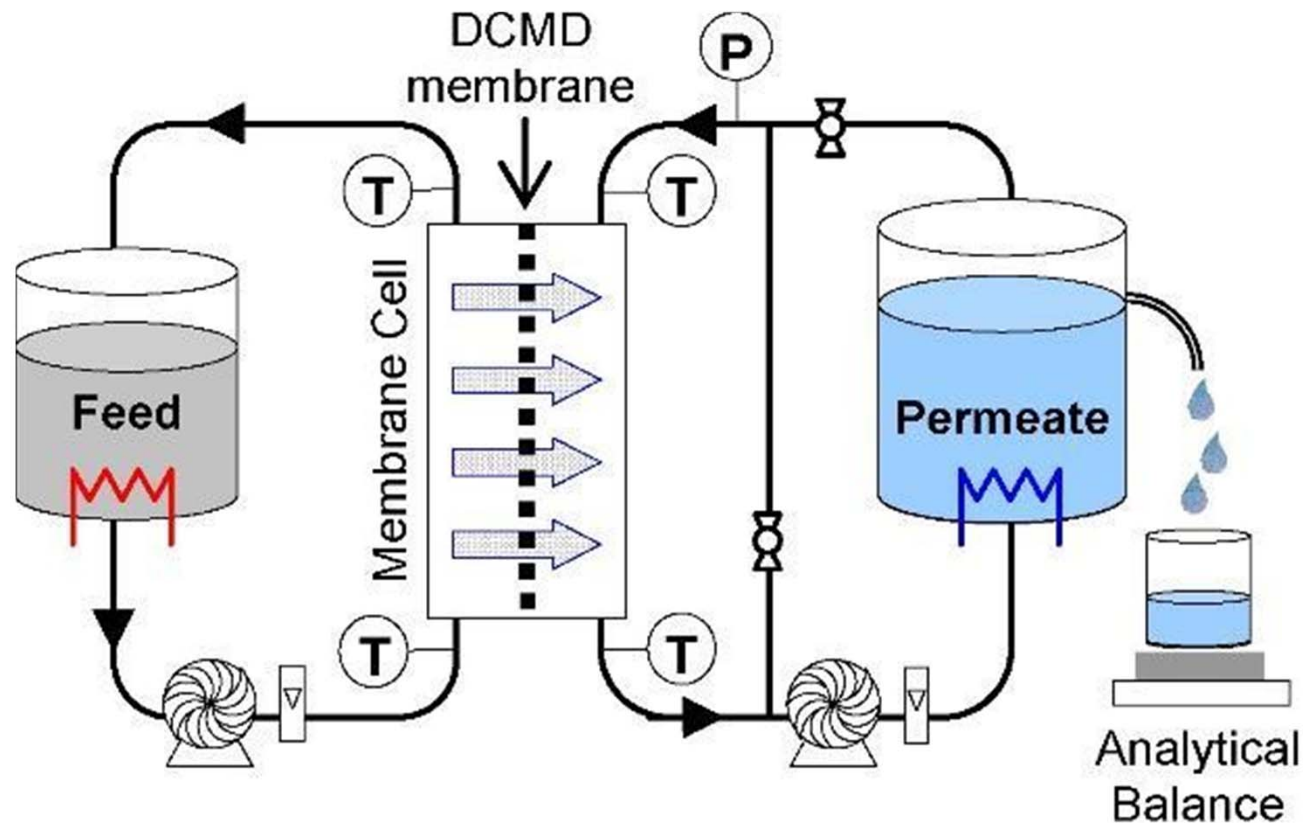
(Ultra-HPRO ≥ 120 bar: Plattenmodul, Wickelmodul, ED / EDR, FO)



Aufkonzentrierung

(Membrandestillation, Vakuumdestillation)

Prinzip Vakuum Membrandestillation



Martinetti et al. (2009) Journal of Membrane Science, Volume 331, Issues 1–2, 2009, 31–39

Konzentrat aus Membranprozess (NF, UO)
(evtl. mit Vorbehandlung: Enthärtung, Vorfällung)



Vorkonzentrierung

(Ultra-HPRO ≥ 120 bar: Plattenmodul, Wickelmodul, ED / EDR, FO)



Aufkonzentrierung

(Membrandestillation, Vakuumdestillation)



Verfestigung / Auskristallisieren

(Solare Trocknung, Kristallisation, Gefrierkristallisation)

► **Minimal Liquid Discharge (MLD) / Zero Liquid Discharge (ZLD)**

- Die Mehrfachnutzung und Kreislaufnutzung von (Prozess)Wasser in der industriellen Produktion muss ausgebaut werden.
 - Vernetzte Systeme führen zu erhöhter Komplexität der Behandlungsanlagen.
 - Abgabe von Neutralsalzfrachten in Gewässer ist zu limitieren.
 - Rückgewinnung erfordert Trennung von organischen und anorganischen Abwasserinhaltsstoffen.
 - Innovative Membranprozesse verringern Konzentratvolumina und ermöglichen weitgehende Konzentratbehandlung (MLD / ZLD).
- Die anorganische Abwasserfracht rückt in den Fokus der Recyclingkonzepte.