



WATER SMART INDUSTRIAL SYMBIOSIS

Wasserwiederverwendung für die industrielle Symbiose Kalundborg? Ergebnisse aus dem EU-Projekt ULTIMATE

A. Kleyböcker, J. Jählig, F. Kraus, W. Seis,
C. Remy, U. Miehe





ULTIMATE (Jun. 2020 – Oct. 2024)

- 9 Fallstudien
- 24 Technologien
- 28 Partner:innen



The project leading to this application has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 869318



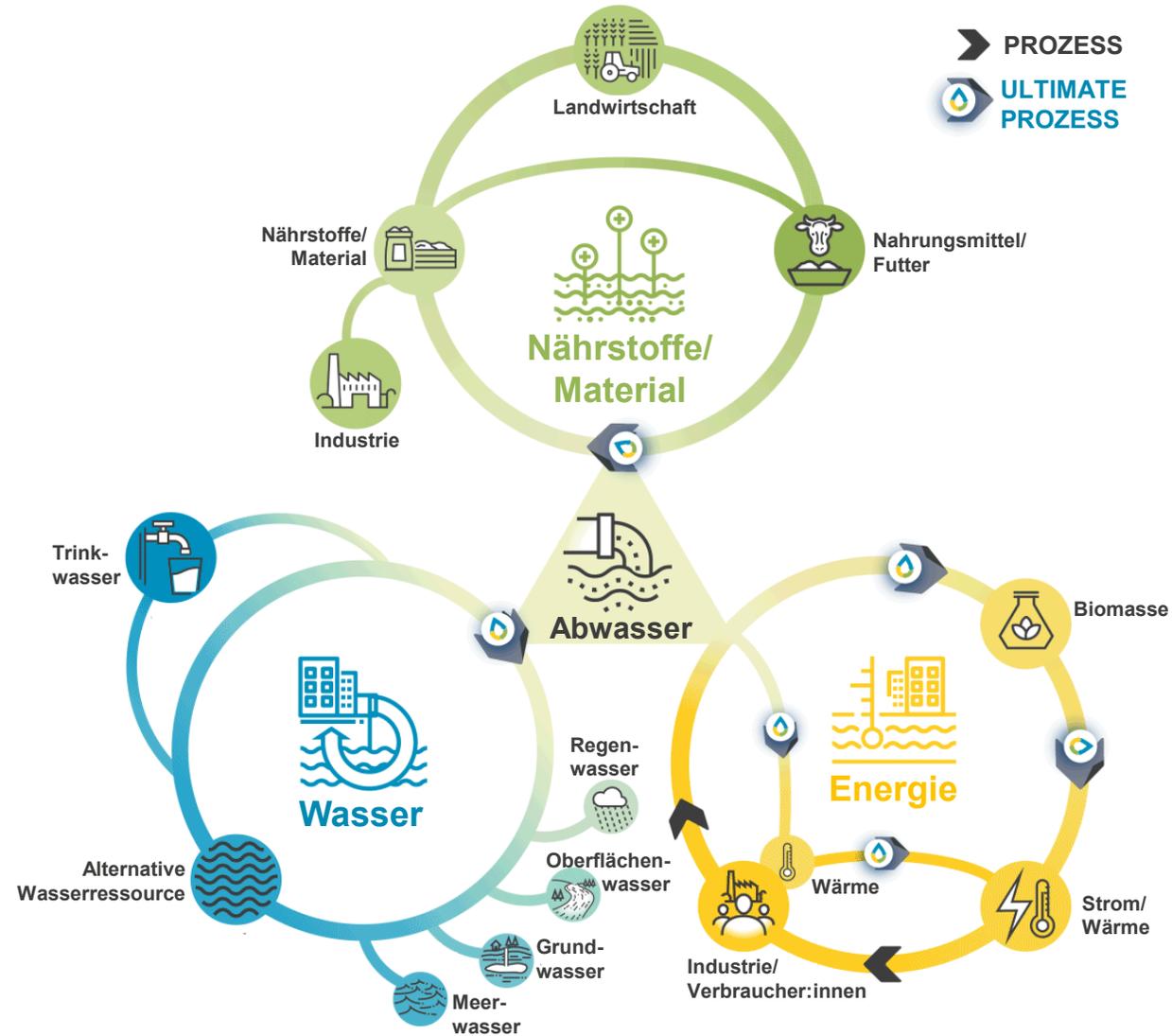
ULTIMATE (Jun. 2020 – Oct. 2024)

- 9 Fallstudien
- 24 Technologien
- 28 Partner:innen





ULTIMATE Technologien aus der Kreislaufwirtschaft





Industrielle Symbiose

→ Vorteile durch Kooperation/Partnerschaft

Symbiose zwischen:

Industrie

Wassersektor



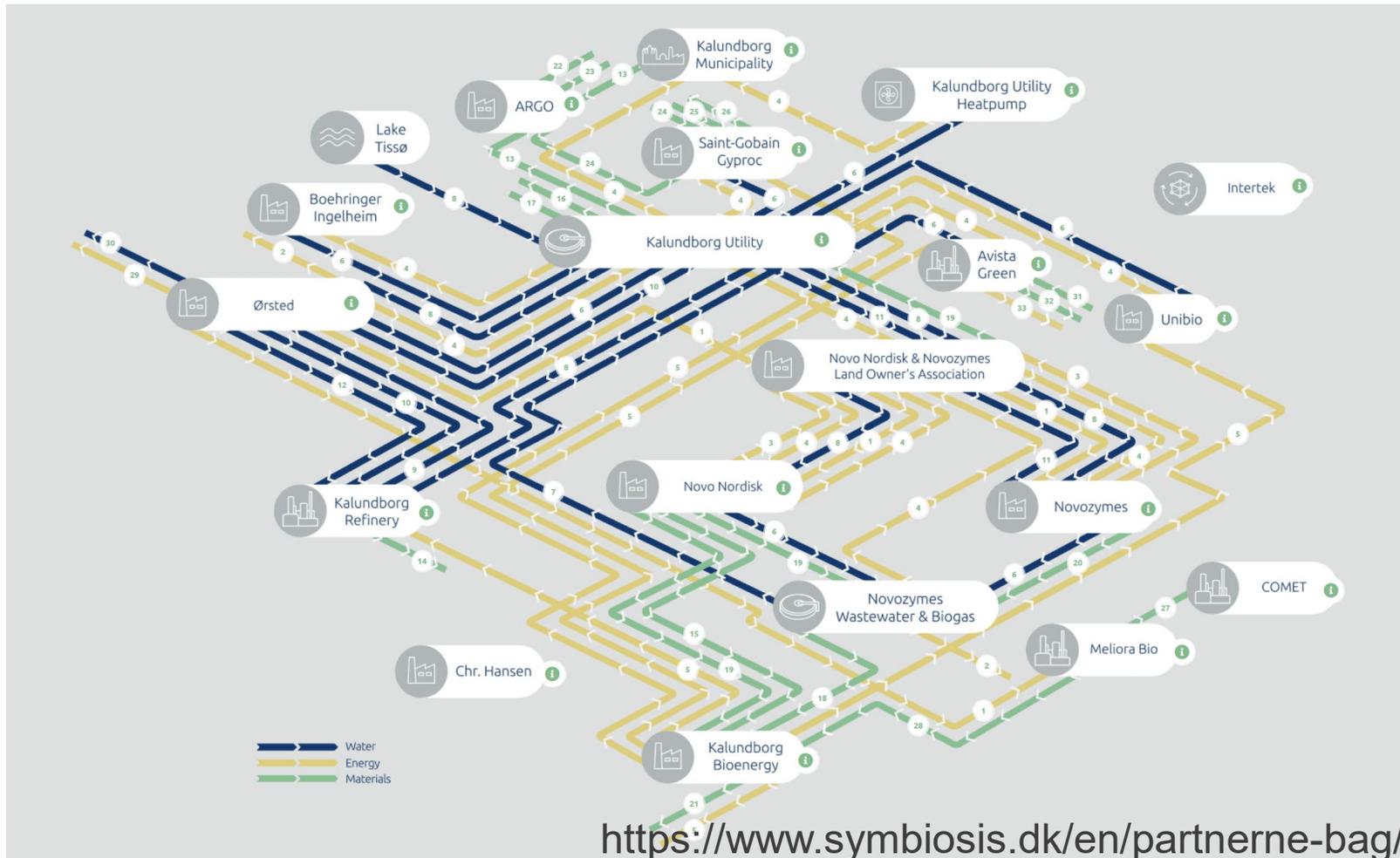
ULTIMATE





Industrielle Symbiose Kalundborg (seit 1972)

- 18 private und öffentliche Unternehmen
- Recycling: **Wasser**, **Materialien** und **Energie**





Neues Industriegebiet





Herausforderungen

- Sehr schnelle **Expansion** des Industrieparks
- **Verdopplung** des Wasserbedarfs und Abwasseraufkommens in 2 Jahren
- **Verdreifachung** des Wasserbedarfs und Abwasseraufkommens in 5 Jahren
- Lange **Dürreperioden** im Sommer
- Häufigere **Starkregenereignisse**
- **Grundwasserressource** ist begrenzt



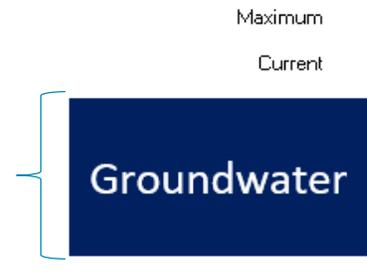


Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten

**Max. Förderrate
bei nachhaltiger
Bewirtschaftung**



**Max. Förderrate
bei nachhaltiger
Bewirtschaftung**



Wasserressourcen



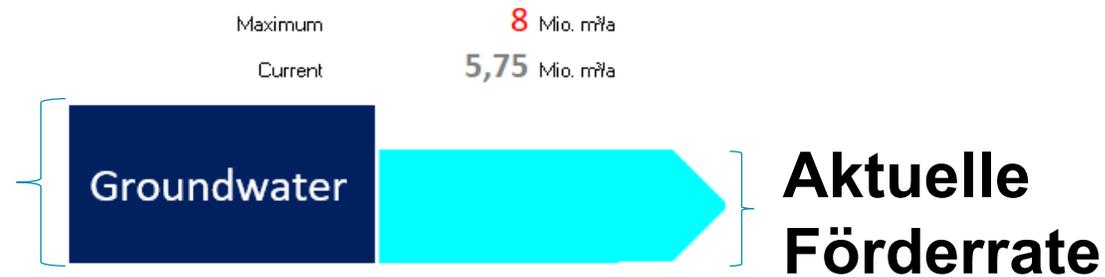


Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten

**Max. Förderrate
bei nachhaltiger
Bewirtschaftung**



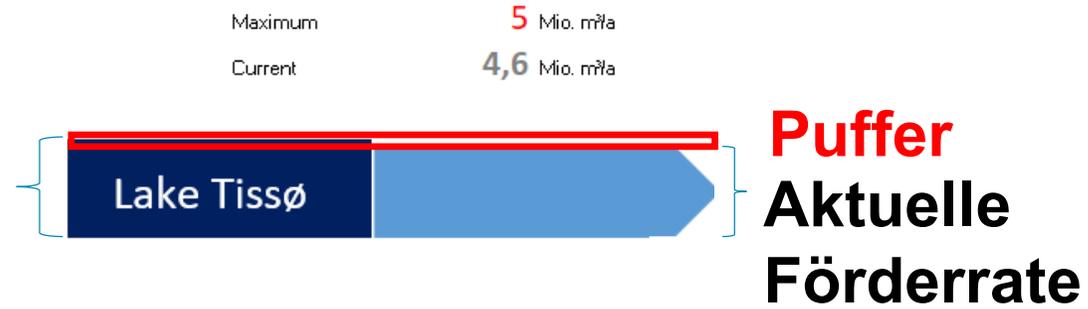
**Max. Förderrate
bei nachhaltiger
Bewirtschaftung**



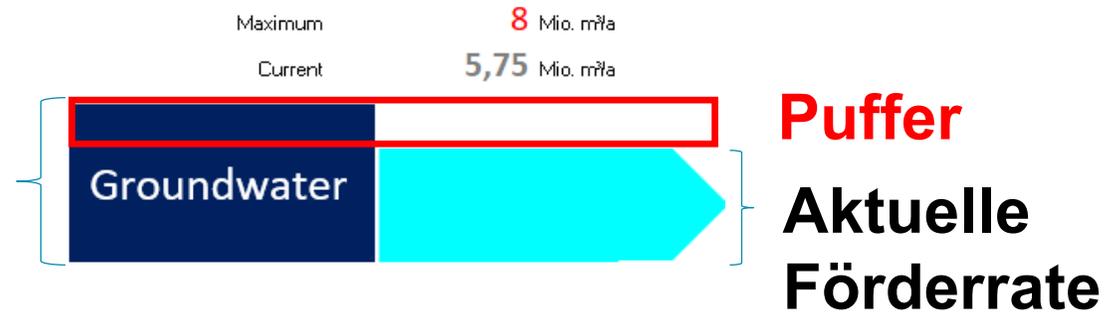


Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten

**Max. Förderrate
bei nachhaltiger
Bewirtschaftung**

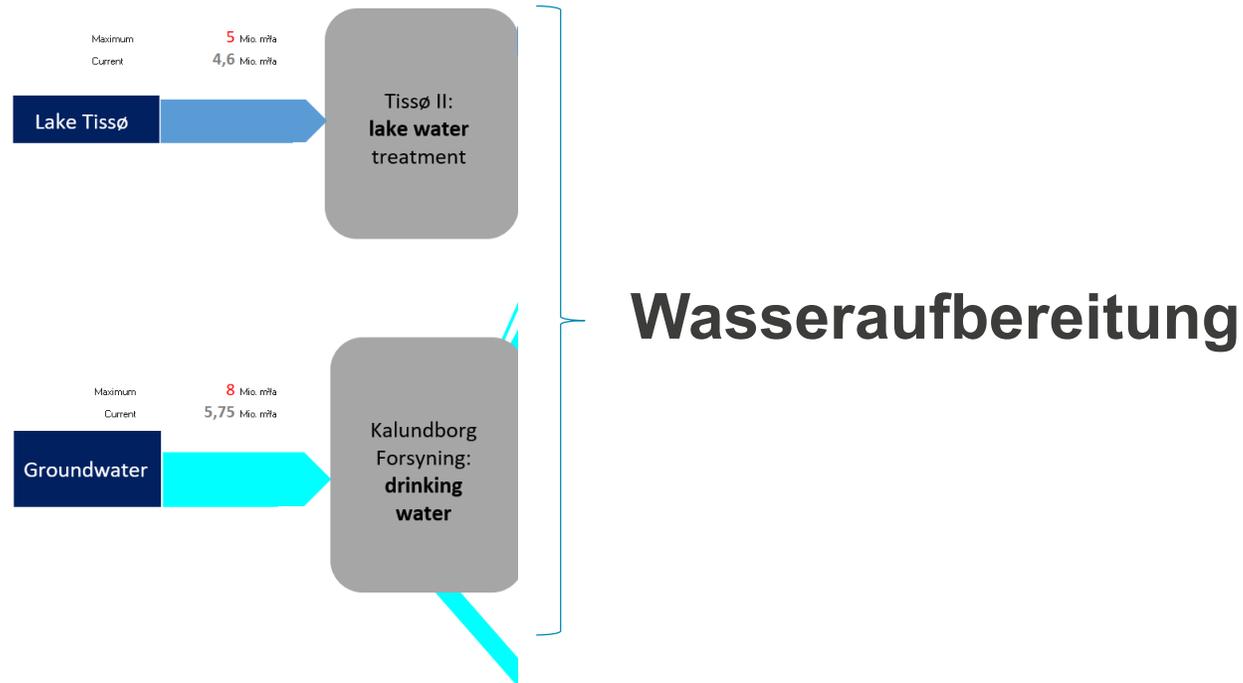


**Max. Förderrate
bei nachhaltiger
Bewirtschaftung**



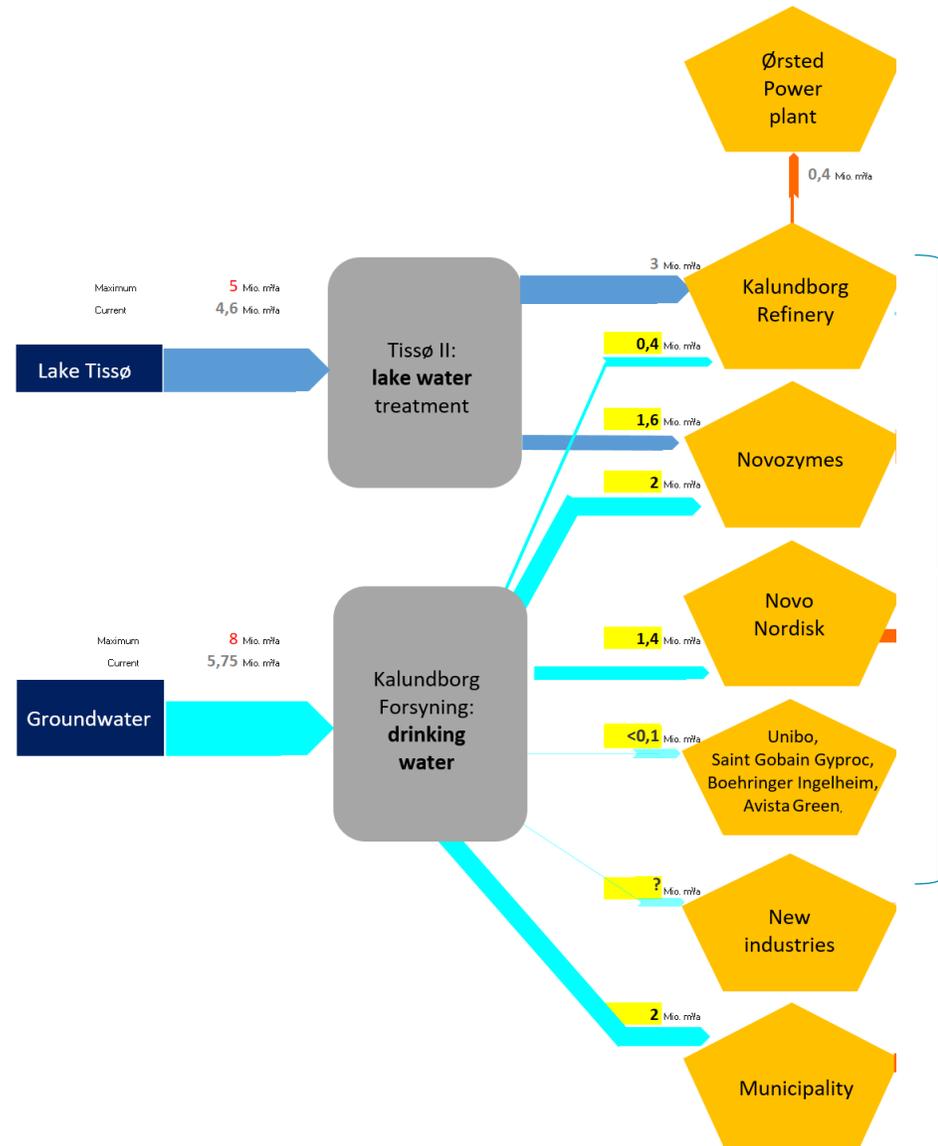


Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten





Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten

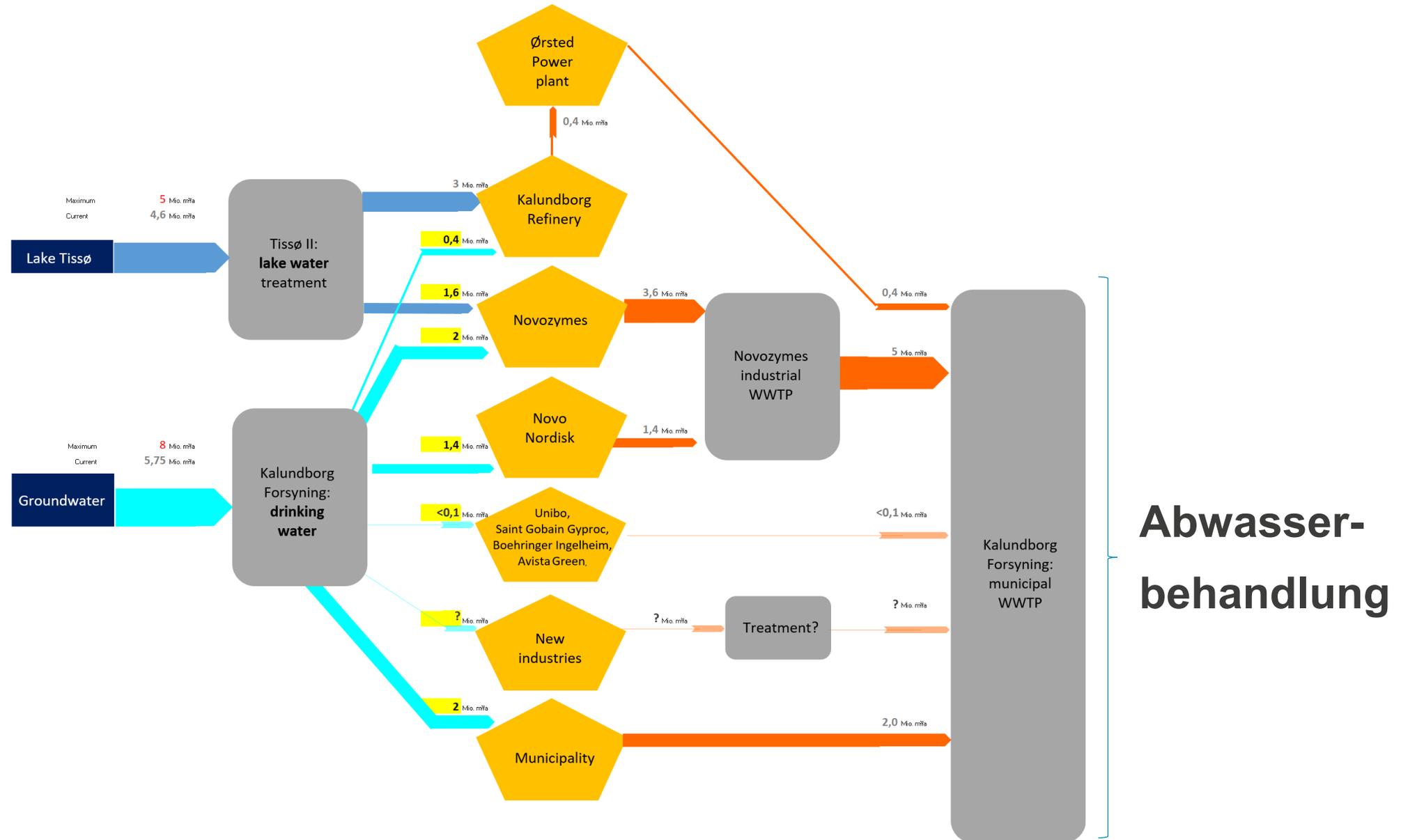


Wasserverbrauchende Unternehmen



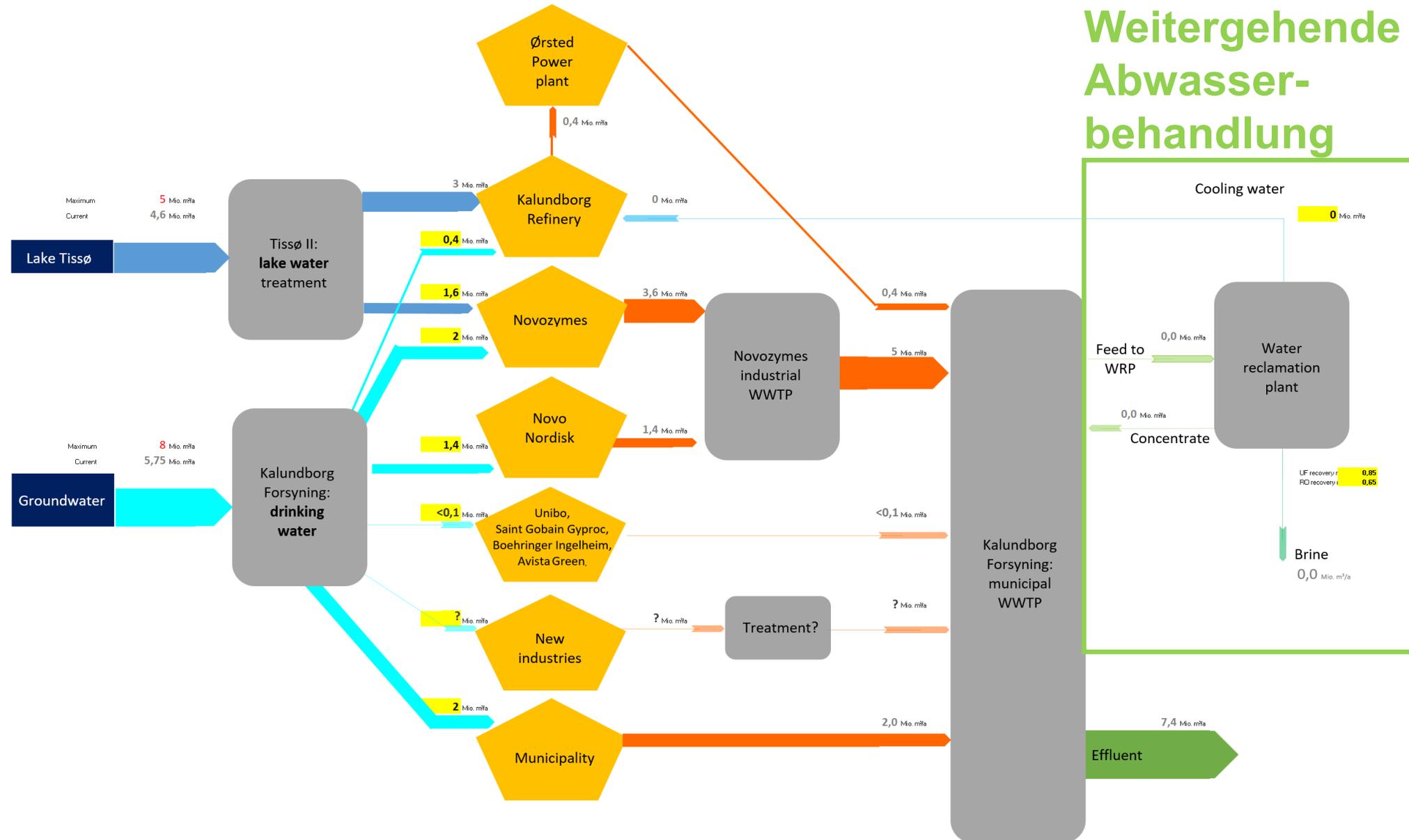


Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten





Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten

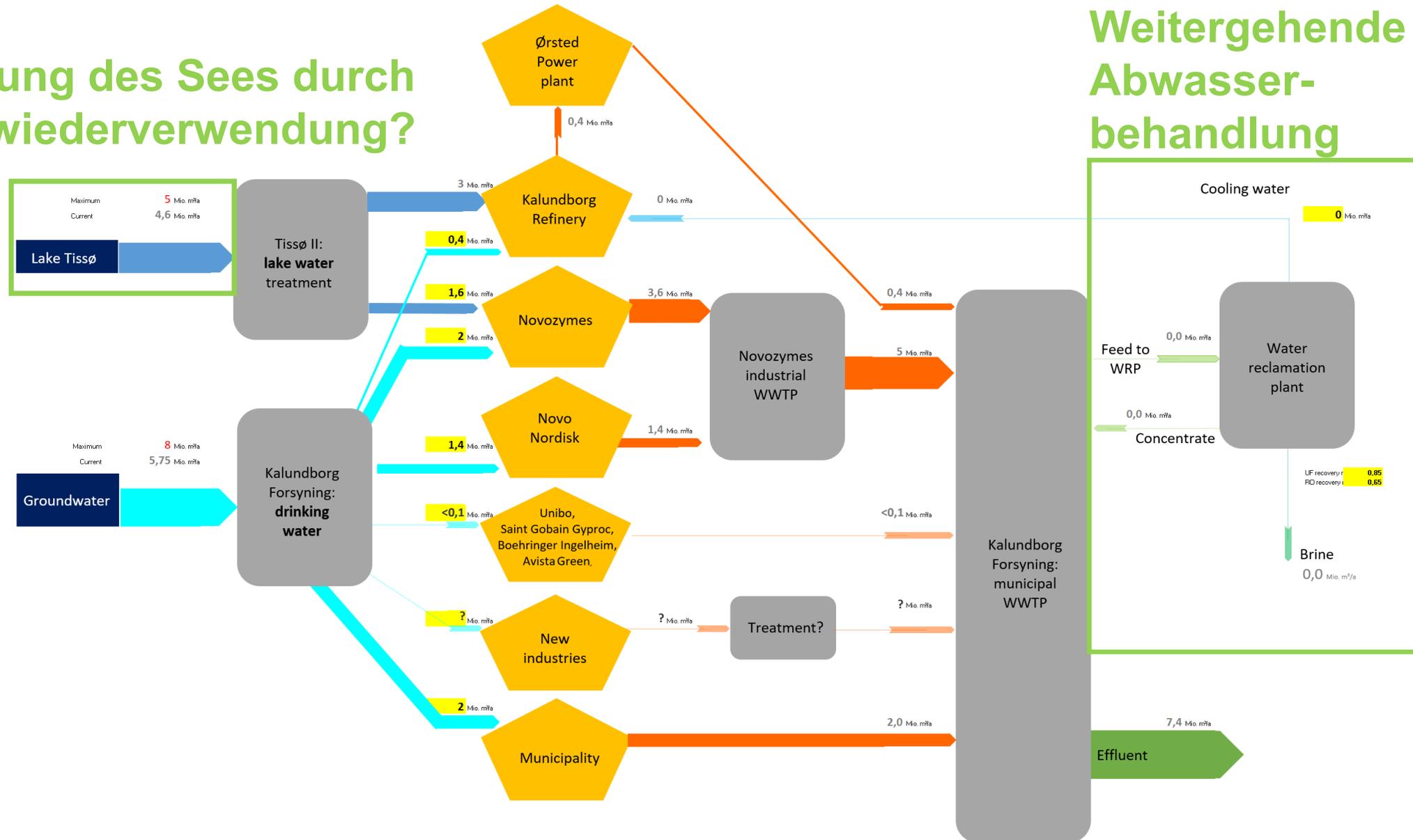




Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten

Entlastung des Sees durch Wasserwiederverwendung?

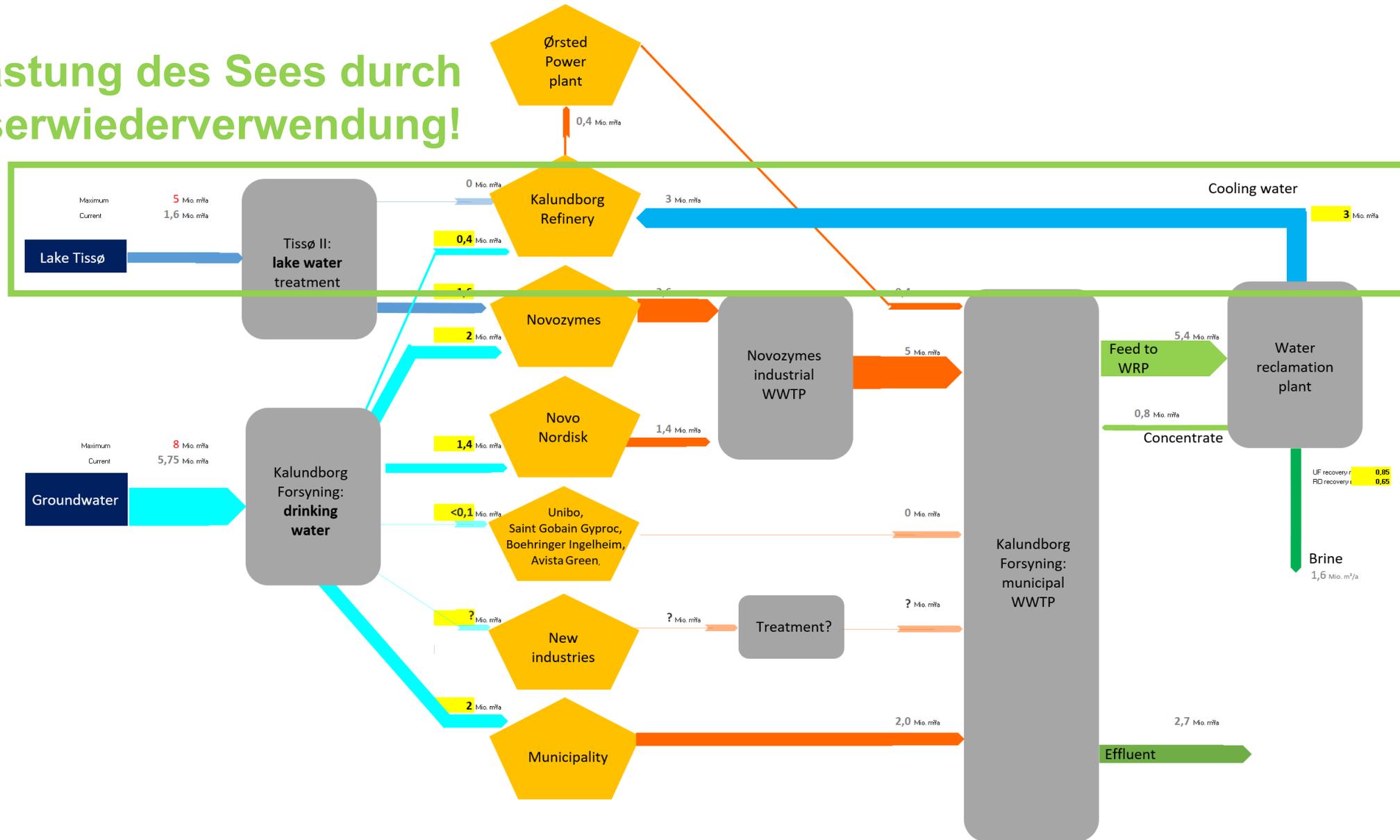
Weitergehende Abwasserbehandlung





Dynamisches Tool: vereinfachte Version mit geschätzten Werten

Entlastung des Sees durch Wasserwiederverwendung!





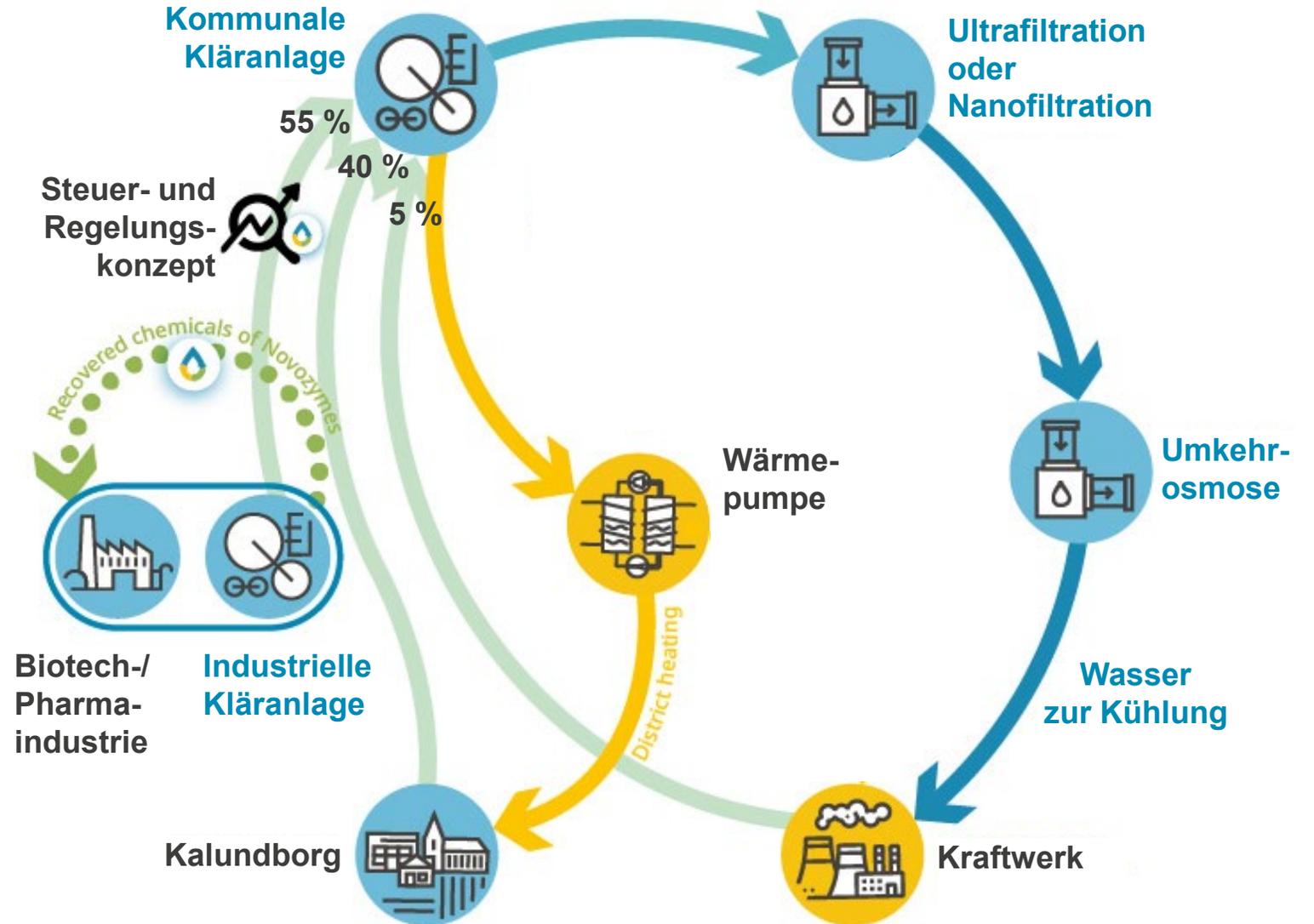
Wasserwiederverwendung?

Geht das technisch?





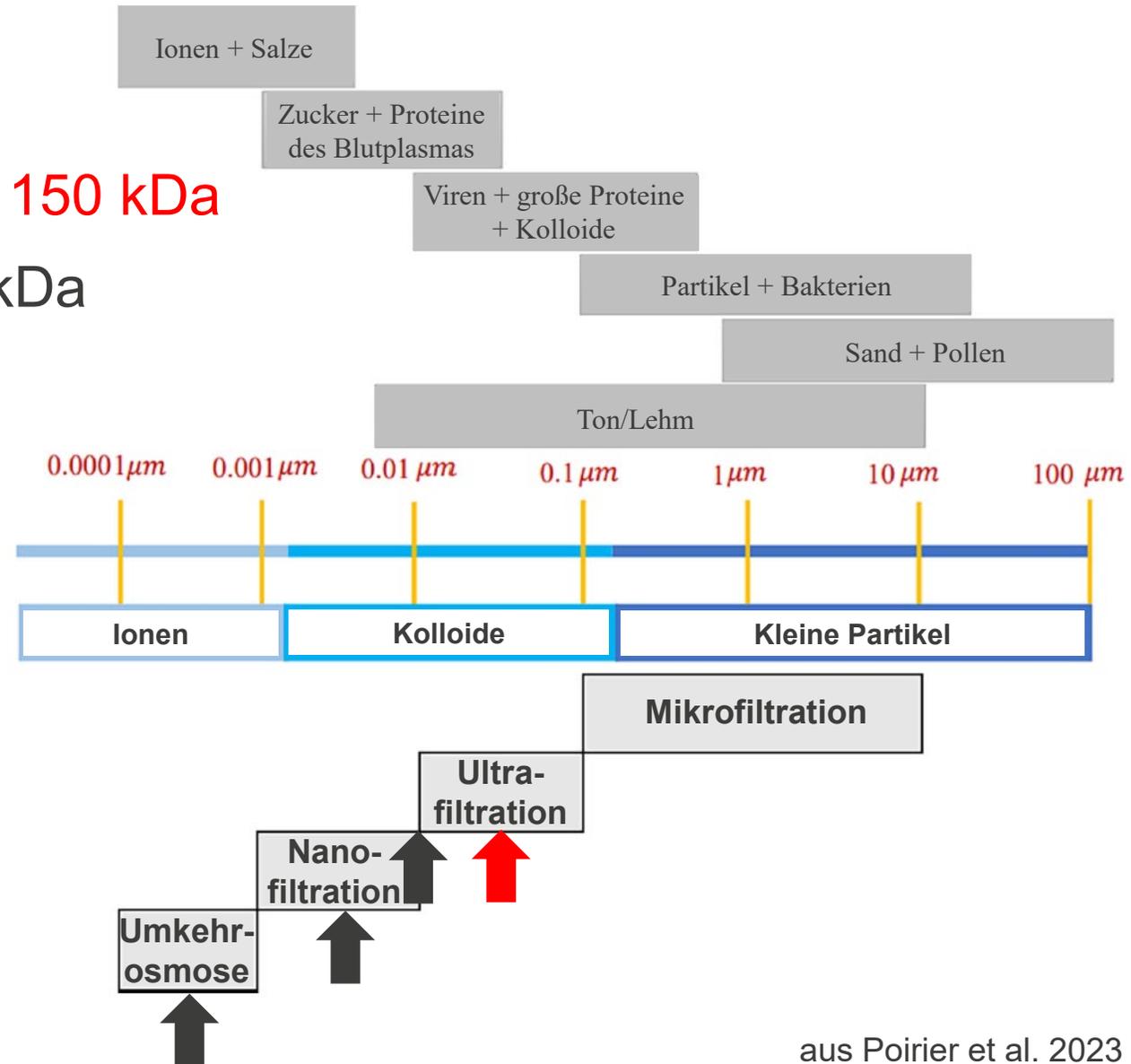
Wasserwiederverwendung





Exkurs: Membrantechnologien

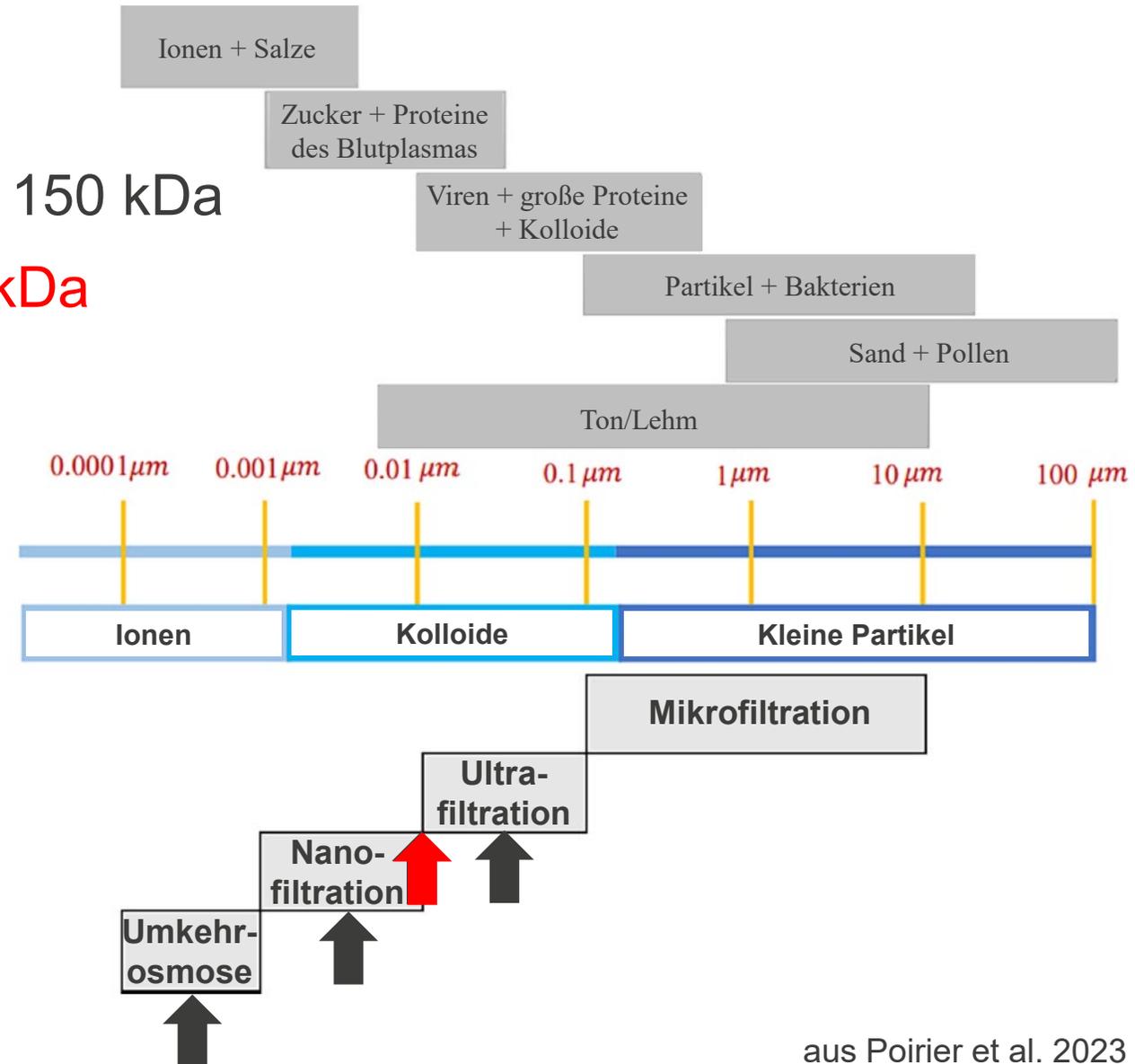
- **konventionelle Ultrafiltration (UF): 150 kDa**
- **ultradichte Ultrafiltration (dUF): 4 kDa**
- **offene Nanofiltration (NF): 1 kDa**
- **Umkehrosmose: < 0,2 kDa**





Exkurs: Membrantechnologien

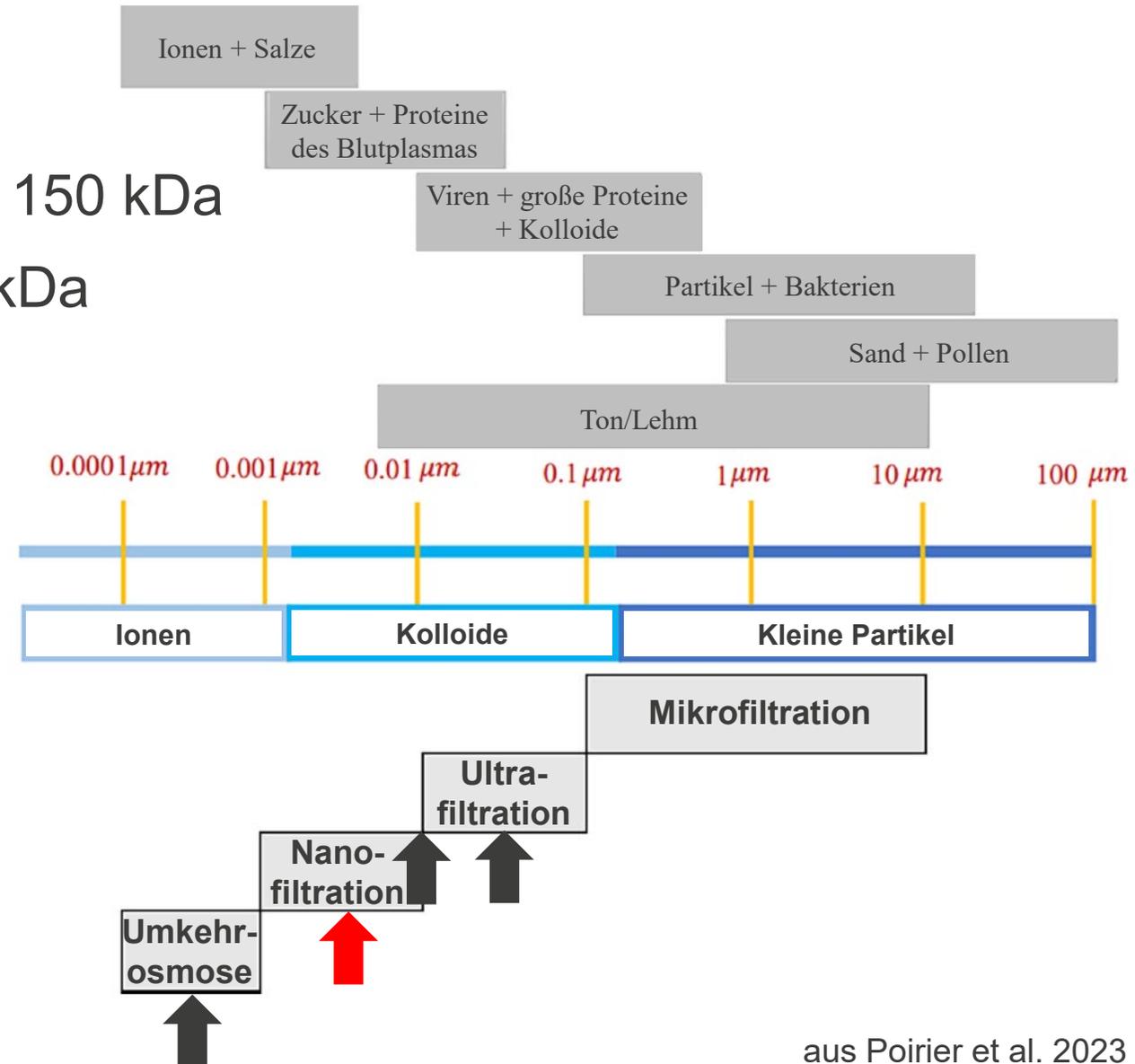
- konventionelle Ultrafiltration (UF): 150 kDa
- **ultradichte Ultrafiltration (dUF): 4 kDa**
- offene Nanofiltration (NF): 1 kDa
- Umkehrosmose: < 0,2 kDa





Exkurs: Membrantechnologien

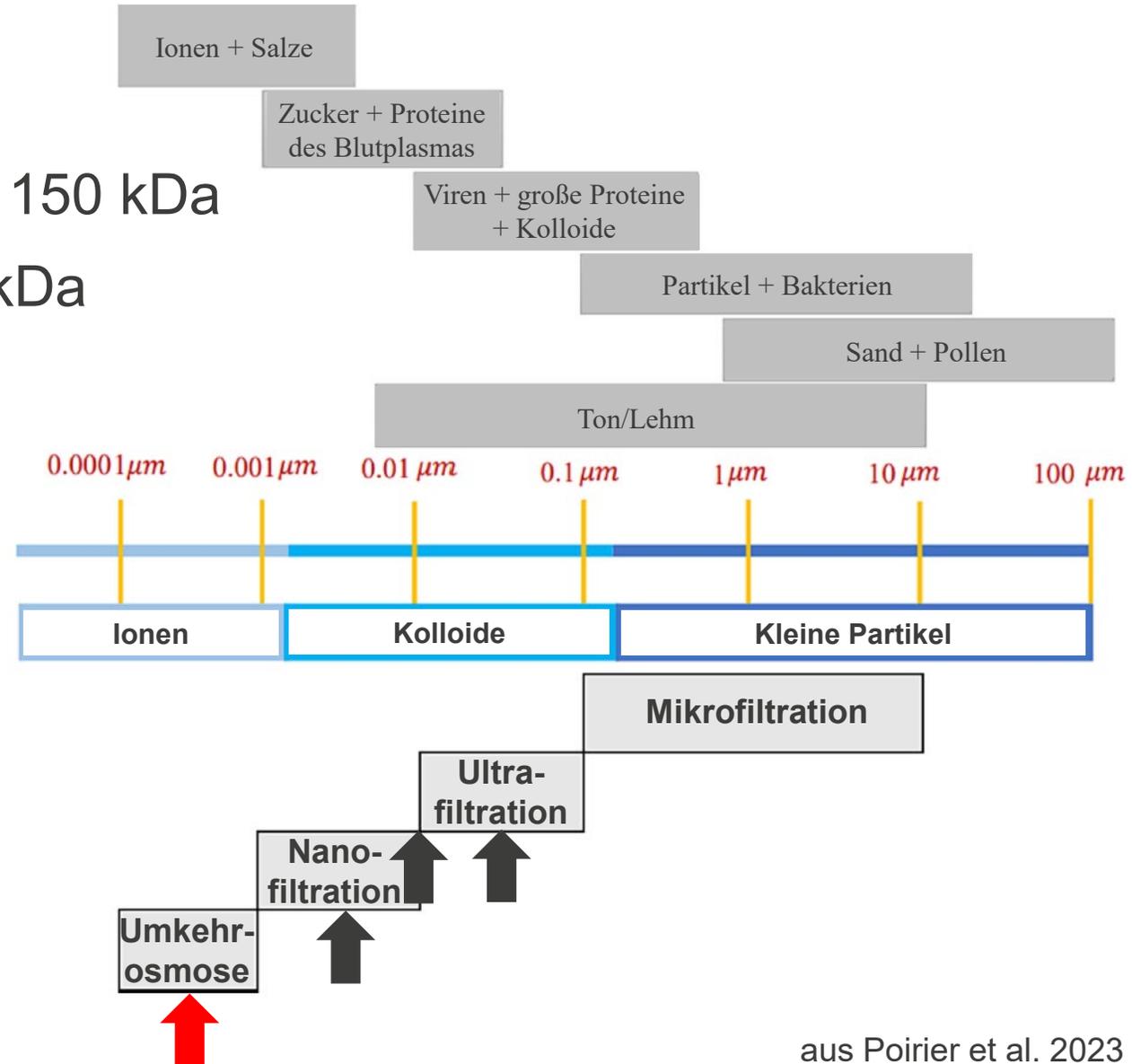
- konventionelle Ultrafiltration (UF): 150 kDa
- ultradichte Ultrafiltration (dUF): 4 kDa
- **offene Nanofiltration (NF): 1 kDa**
- Umkehrosmose: < 0,2 kDa





Exkurs: Membrantechnologien

- konventionelle Ultrafiltration (UF): 150 kDa
- ultradichte Ultrafiltration (dUF): 4 kDa
- offene Nanofiltration (NF): 1 kDa
- **Umkehrosmose (RO): < 0,2 kDa**





Exkurs: Vorteil der Kombination UF/NF mit RO?

- ✓ **UF, dUF, NF entfernen Feststoffe und Mikroorganismen**
 - Schützen RO vor Fouling (Verschmutzung/Verblockung der Membran)
- ✓ **UF, dUF, NF sind kapillar und lassen sich leichter reinigen als RO**
 - automatische hydraulische Spülung ohne Chemikalien
 - bei starken organischen Verschmutzungen: Reinigung mit Chlor möglich
- ✓ **Offene NF ist auf Organikrückhalt optimiert**
 - Noch besserer Schutz für RO vor Fouling als mit UF?





Zusammensetzung des kommunalen Kläranlagenablaufs → Wasserrückgewinnung technisch möglich?

Parameter	Einheit	Kalundborg
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	2800 – 8200
Abfiltrierbare Stoffe	mg/L	4 – 17
TOC / CSB	mg/L	20 – 60 / 50 – 190
Calcium	mg/L	98 – 130
Hydrogencarbonat	mg/L	1000 – 1100
Sulfat	mg/L	440 – 510





Zusammensetzung des kommunalen Kläranlagenablaufs

→ Konzentrationen sind 2 – 4 mal höher als in Berlin

Parameter	Einheit	Kalundborg	Berlin
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	2800 – 8200	1200 – 1770
Abfiltrierbare Stoffe	mg/L	4 – 17	1 – 7
TOC / CSB	mg/L	20 – 60 / 50 – 190	9 – 14 / 26 – 40
Calcium	mg/L	98 – 130	90 – 150
Hydrogencarbonat	mg/L	1000 – 1100	220 – 300
Sulfat	mg/L	440 – 510	110 – 220

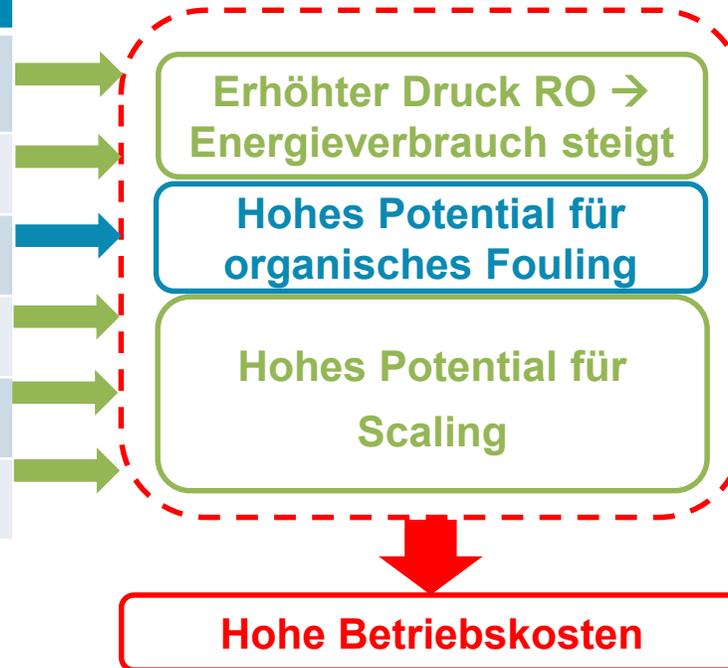




Kläranlagenablauf → hohes Potential für Fouling

Ablauf der kommunalen KA

Parameter	Einheit	Kalundborg
Elektrische Leitfähigkeit	μS/cm	2800 – 8200
Abfiltrierbare Stoffe	mg/L	4 – 17
TOC / CSB	mg/L	20 – 60 / 50 – 190
Calcium	mg/L	98 – 130
Hydrogencarbonat	mg/L	1000 – 1100
Sulfat	mg/L	440 – 510





Fragestellungen:

1. Welche Vorbehandlung UF/dUF/NF schützt die RO am besten vor **Fouling**?
2. Können durch die Vorbehandlung **Chemikalien** bei der Reinigung der RO eingespart werden?
3. Kann die standardmäßige **Bioziddosierung** in UF/NF Permeat eingespart werden?
4. Können die Technologien eine ausreichende **Wasserqualität** für Kühlungszwecke bereitstellen?





Pilotanlage

- 2 Jahre in Betrieb
- verschiedene Konfigurationen



Zweischichtfilter



Vorfilter



Ultrafiltration/
Nanofiltration
UF/dUF/NF



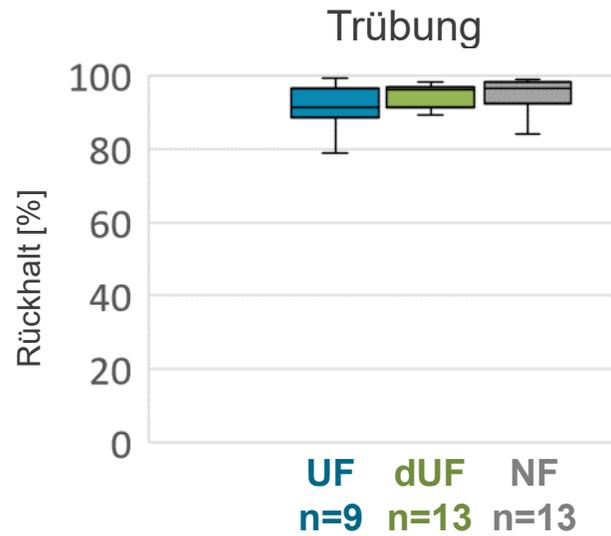
Umkehrosmose
RO



Kühl-
wasser

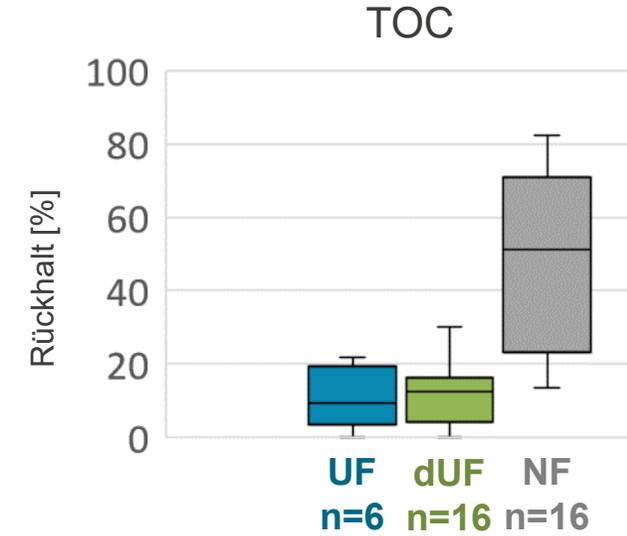
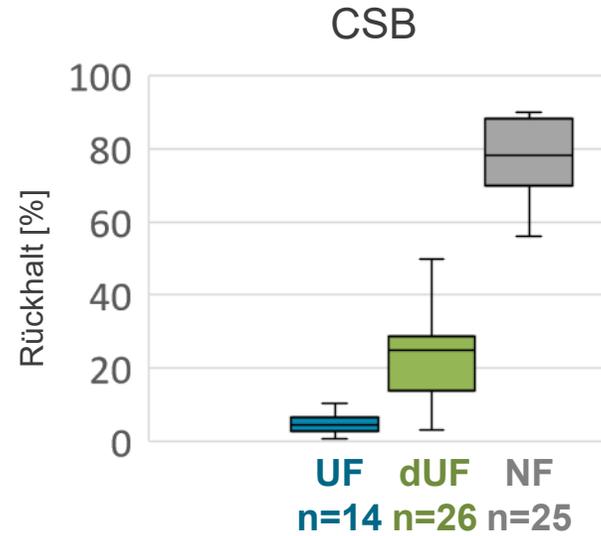
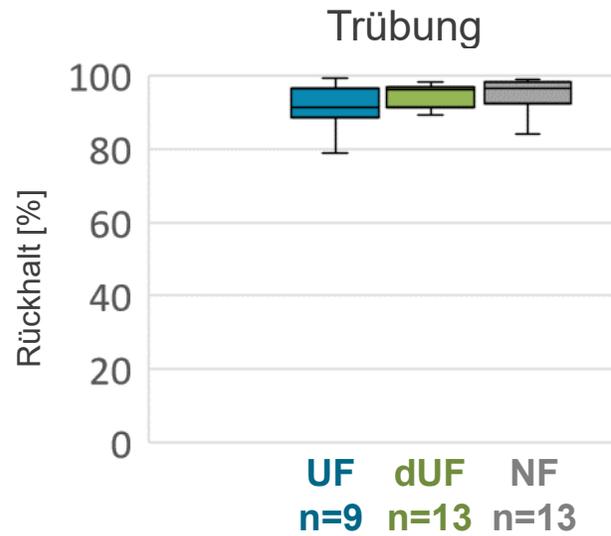


Ergebnisse: Reinigungsleistung der UF, dUF und NF



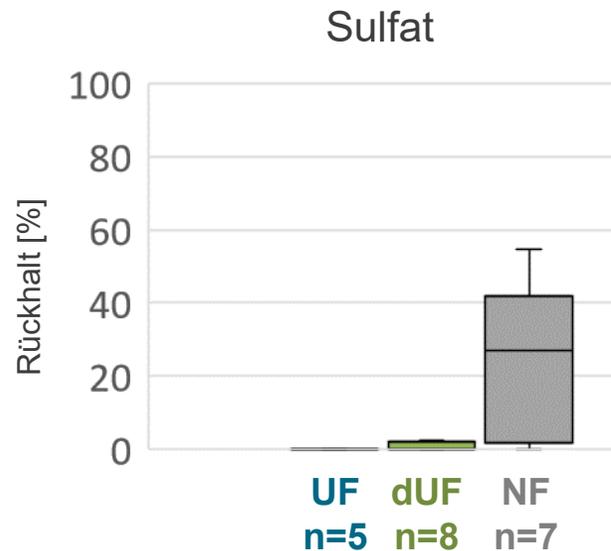
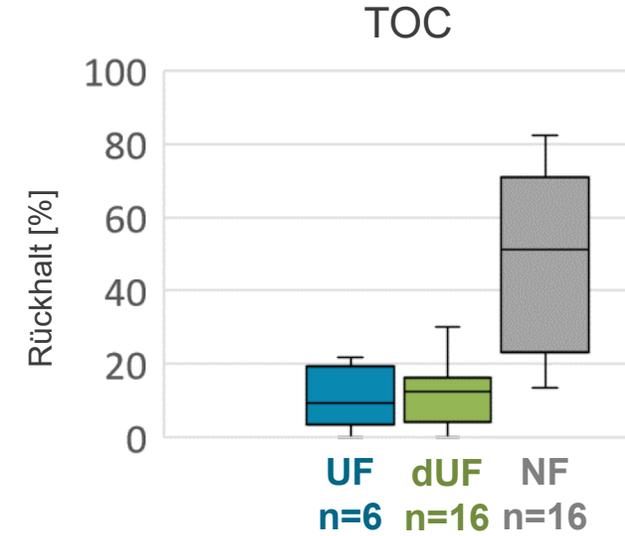
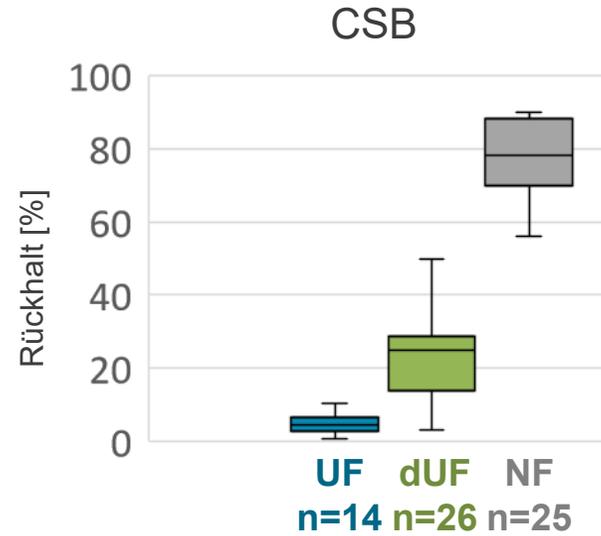
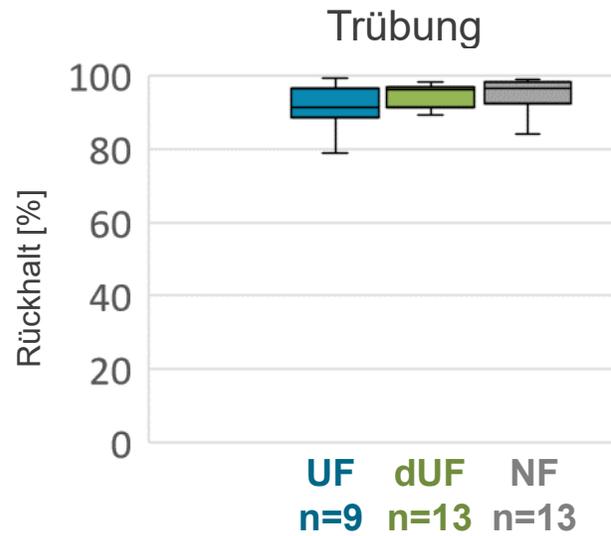


NF hält mehr Organik zurück als UF und dUF



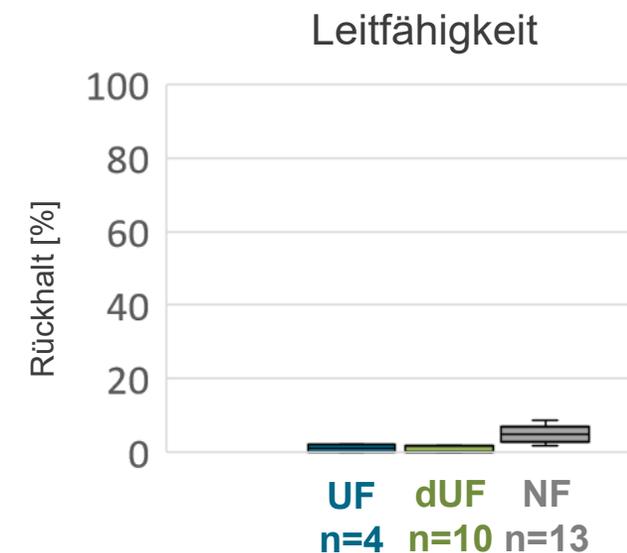
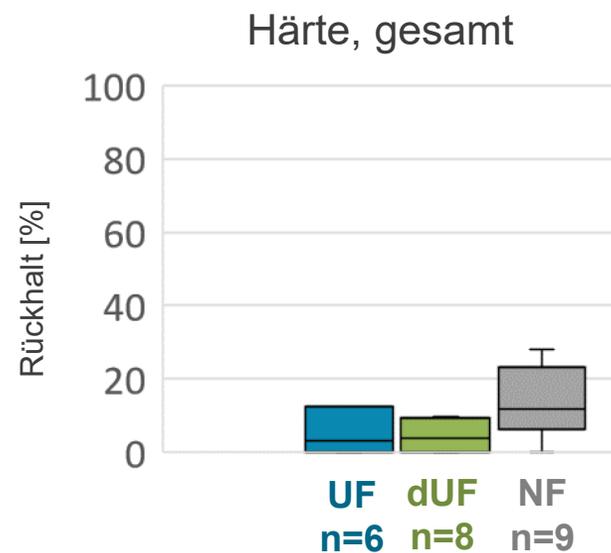
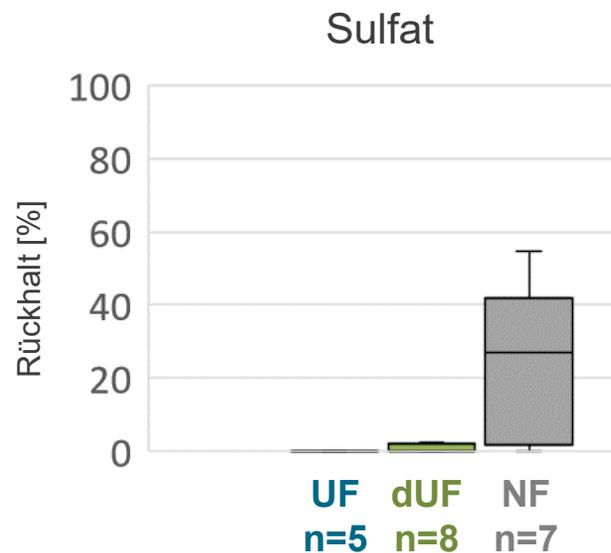
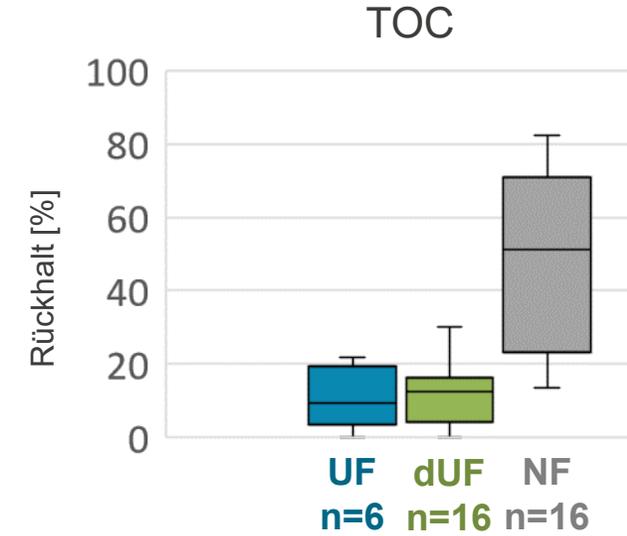
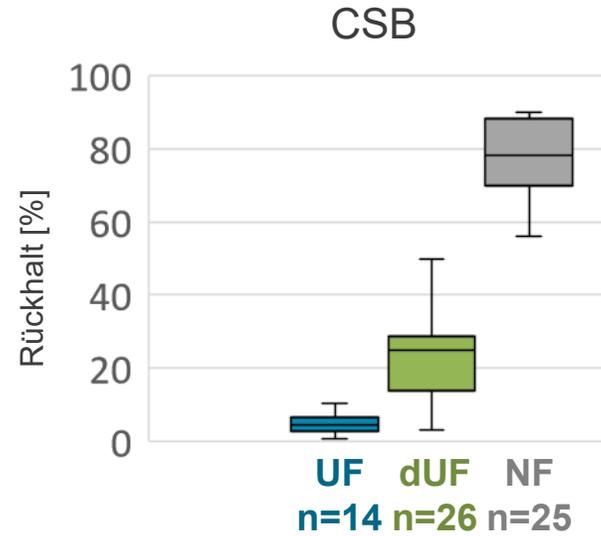
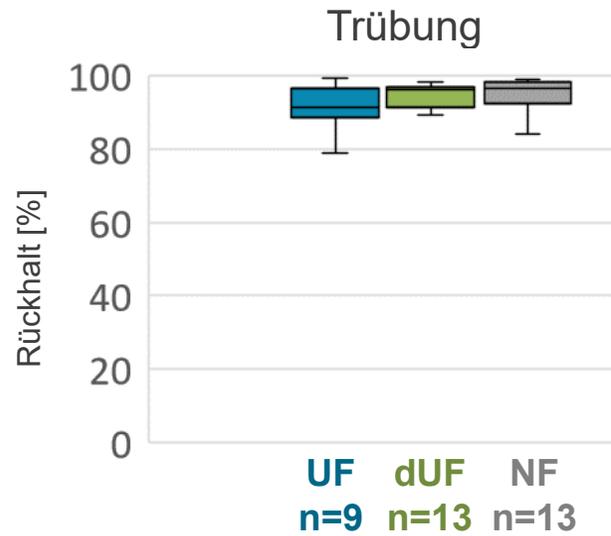


NF hält mehr Sulfat zurück als UF und dUF





NF hält vor allem mehr Organik und Sulfat zurück als UF/ dUF

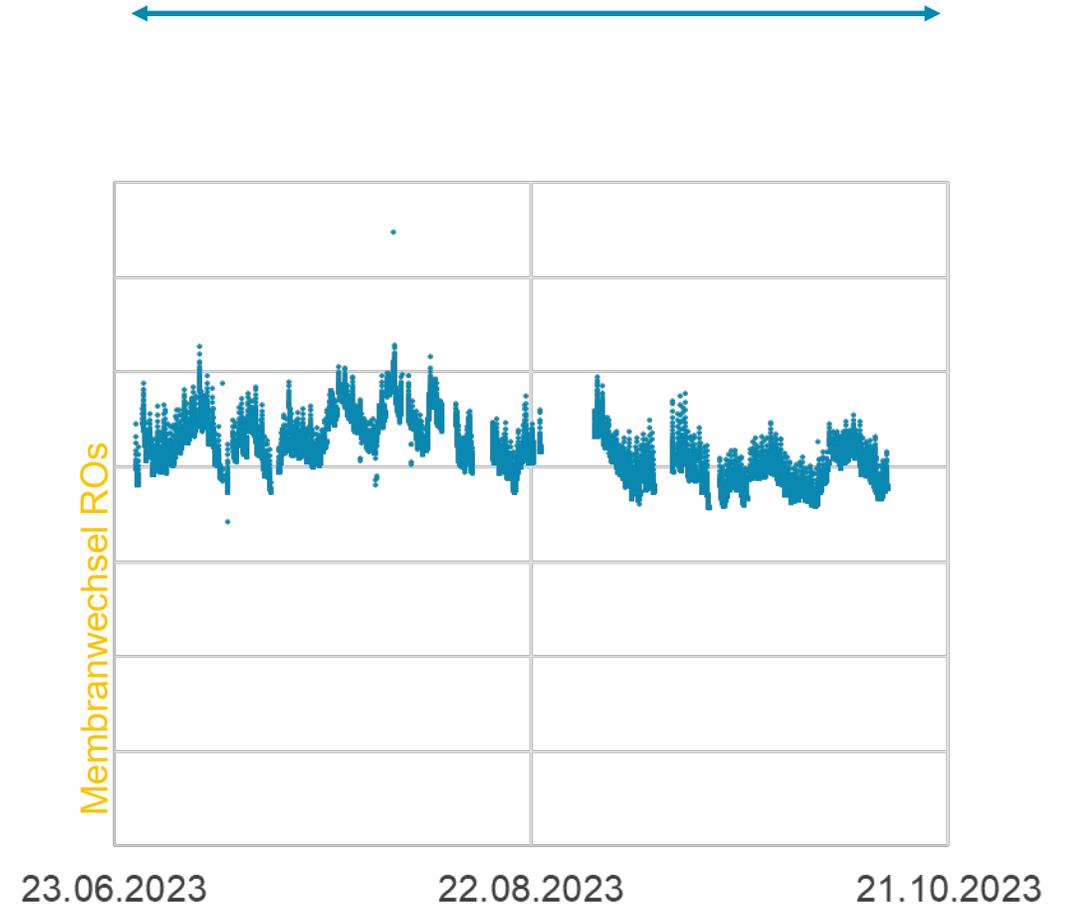
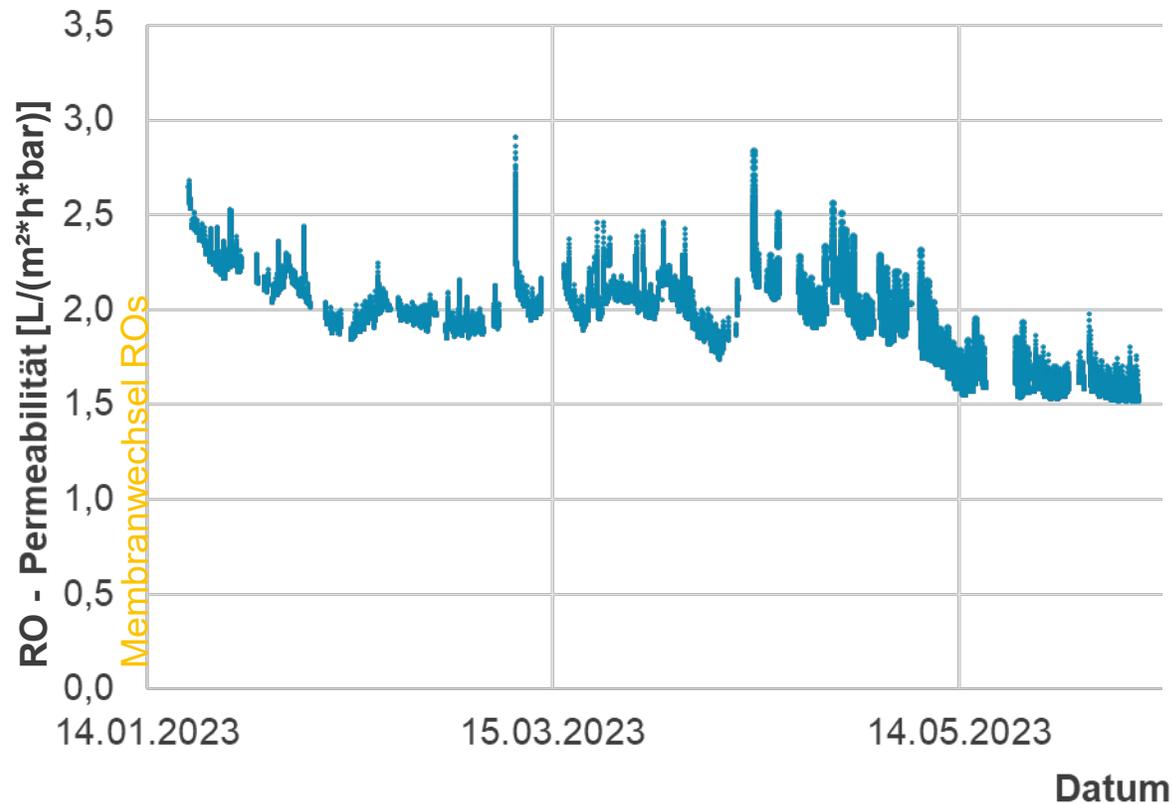




Welche Membran schützt RO besser vor Fouling?

RO mit ultra-dichter UF (4 kDa)

RO mit konv. UF (150 kDa)

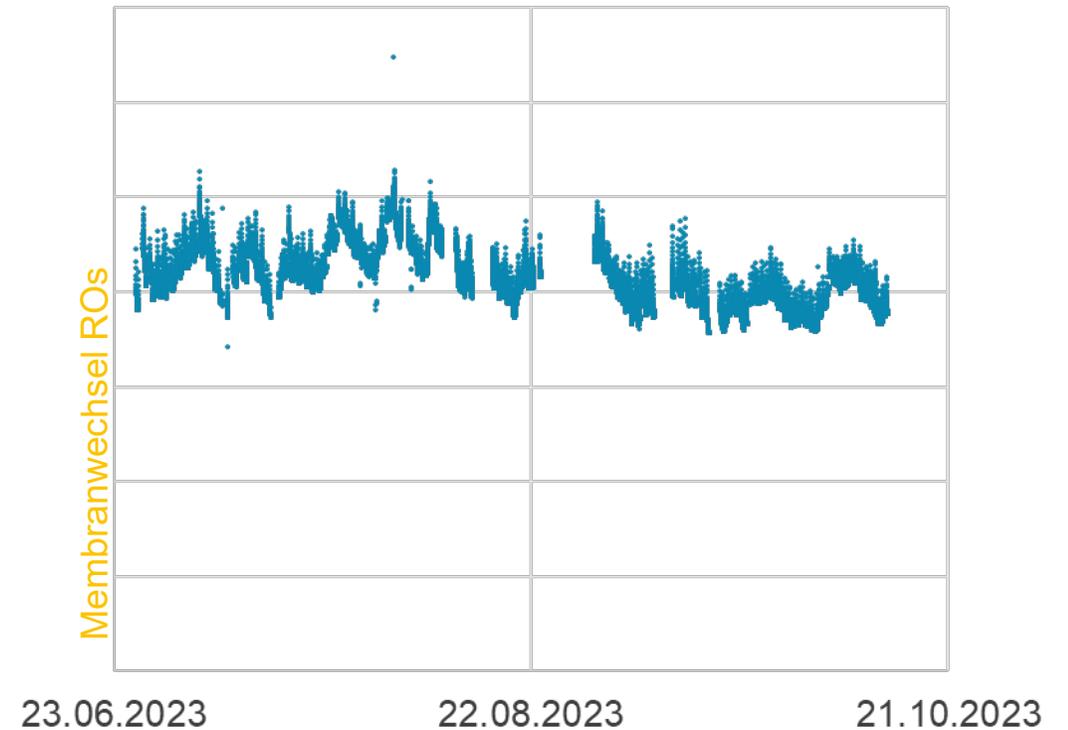
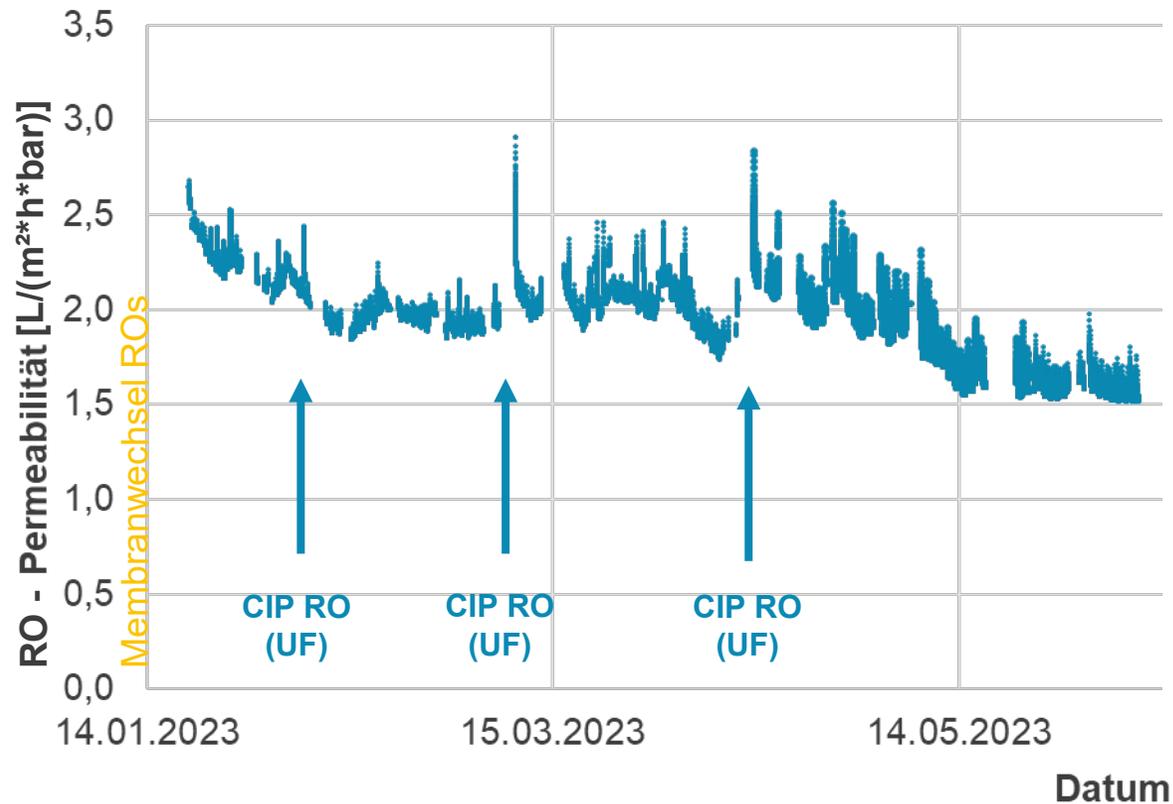




Welche Membran schützt RO besser vor Fouling?

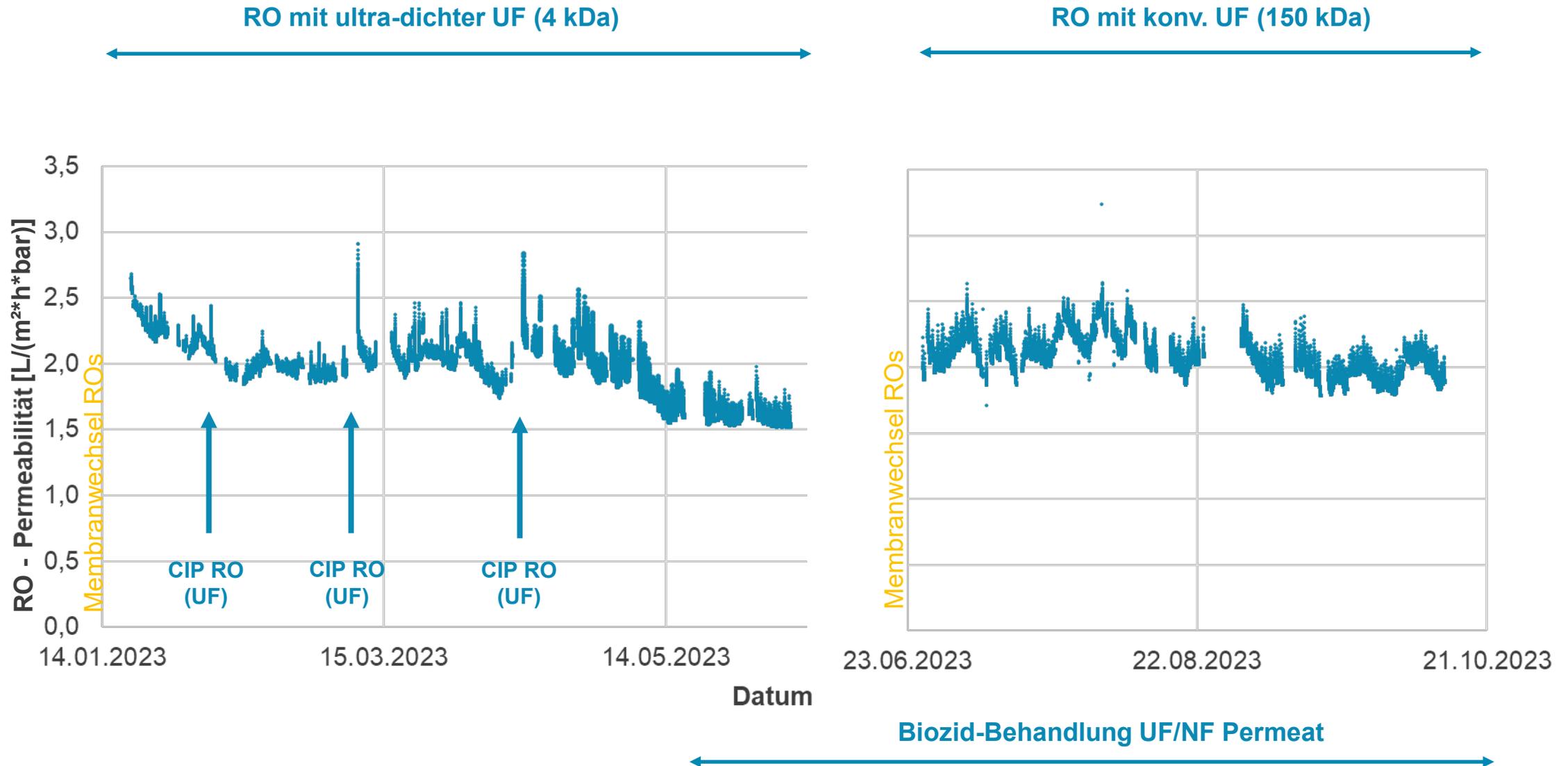
RO mit ultra-dichter UF (4 kDa)

RO mit konv. UF (150 kDa)



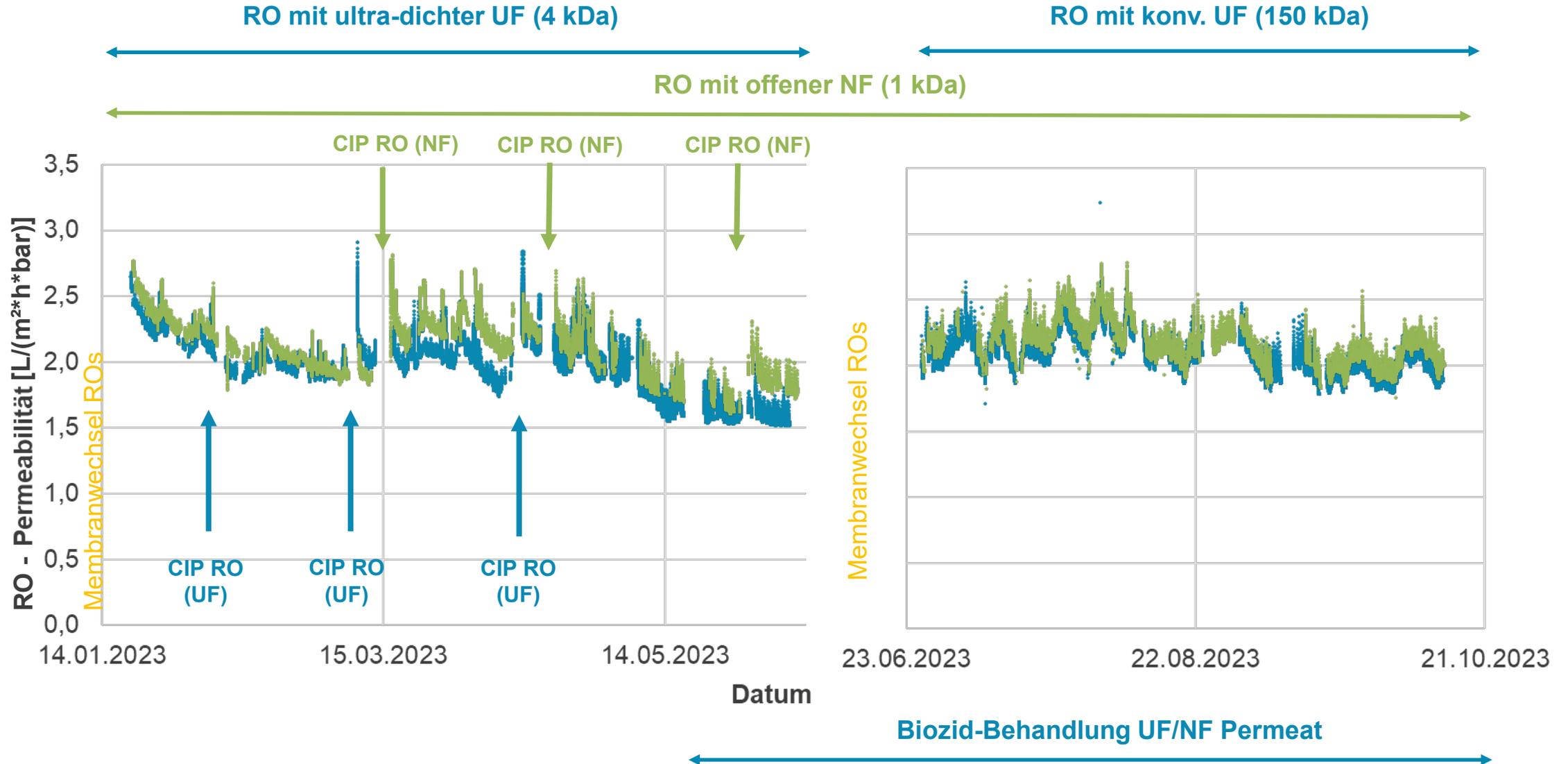


Welche Membran schützt RO besser vor Fouling?



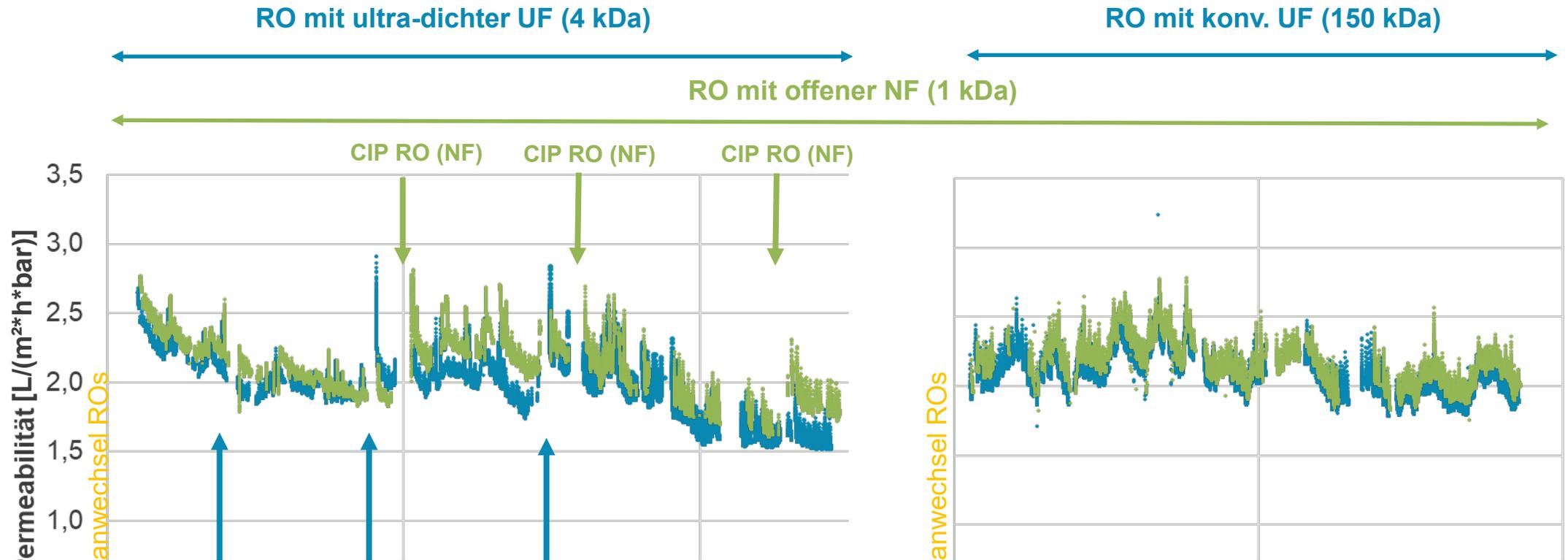


Welche Membran schützt RO besser vor Fouling?





Welche Membran schützt RO besser vor Fouling?



- NF und UF schützen die RO gleich gut!
- standardmäßige Bioziddosierung erforderlich
- weniger Reinigungen der RO möglich, wenn Biozid dosiert wird



Vergleich der Vorbehandlung

Parameter	Einheit	konventionelle UF		ultra-dichte UF	offene NF
		crossflow ¹⁾	dead end		
MWOC	kDa	150		4	1
Flux	L/(m ² h)	40	50 – 60 – 65	15 – 37	15 – 32,5
Ausbeute	%	65 – 85*	95 – 99**	75 – 80	50 – 80**
TMP ²⁾	bar	0,03 – 0,4	0,04 – 0,9	0,15 – 1,0	1,0 – 2,7

MWCO Molecular weight cut-off → Indikator für Porengröße

TMP Transmembraner Druck → Indikator für Energieverbrauch

* ohne SF

** mit SF

1) mit Abschlag des Konzentrats
 2) für bevorzugte Einstellungen; abhängig von der Zulaufwasserqualität und Zeit nach einer CEC



Vergleich der Vorbehandlung

Parameter	Einheit	konventionelle UF		ultra-dichte UF	offene NF
		crossflow ¹⁾	dead end		
MWOC	kDa	150		4	1
Flux	L/(m ² h)	40	50 – 60 – 65	15 – 37	15 – 32,5
Ausbeute	%	65 – 85*	95 – 99**	75 – 80	50 – 80**
TMP ²⁾	bar	0,03 – 0,4	0,04 – 0,9	0,15 – 1,0	1,0 – 2,7

MWCO Molecular weight cut-off → Indikator für Porengröße

TMP Transmembraner Druck → Indikator für Energieverbrauch

→ Konventionelle UF:
 → geringerer Energieverbrauch + höhere Rückgewinnung!



Kühlwasserqualität wird nach chemischer Stabilisierung erreicht

Parameter ²⁾	Einheit	Ziel: Kühlwasser	RO ¹⁾	n
Aluminium	µg/L	< 500	2) ✓	
Calcium	mg/L	> 20 / < 500	< 0,5 ✓	23
Karbonathärte	°dH	< 4 / < 20	< 0,1 ✓	16
Chlorid	mg/L	< 50 / < 250	13,4 ✓	25
Kupfer	µg/L	< 500	< 0,5 ✓	25
Leitfähigkeit	µS/cm	50 - < 3000	5,8 ✓	29
Eisen	mg/L	< 0,1 / < 0,5	< 0,05 ✓	19
Magnesium	mg/L	< 100	0,1 ✓	24
pH		7 - 9	6,4 ✓	28
Sulfat	mg/L	< 50 / < 600	1,0 ✓	24
Trockenrückstand	g/L	< 1,8	0,06 ✓	21
Härte gesamt	°dH	0,1 - <8	< 0,1 ✓	23
AfS	mg/L	<5	0,6 ✓	18
Trübung	FNU	< 1	2) ✓	
<i>Escherichia coli</i>	MPN/100 mL	Absence	< 1 ✓	19
<i>Legionella</i>	CFU/L	< 100	< 10 ✓	11

1) Unabhängig von Voraufbereitung, beide RO zusammen; einstufige RO

2) Schon nach UF/NF erreicht



Spanish Regulation for Water Reuse - Royal Decree 1620/2007 of 7 December

VDI 2047 Blatt 2 and VDI 3803 Blatt 1, Düsseldorf, VDI e.V

C. Niewersch et al (2016). Deliverable 1.3 - Report on innovative membrane technologies and schemes for water reuse.



Wasserwiederverwendung?

Wie ist die Akzeptanz bei den Akteuren?





Workshops mit allen Akteuren:

Erfahrungsberichte aus der Praxis & Pilotergebnisse aus ULTIMATE

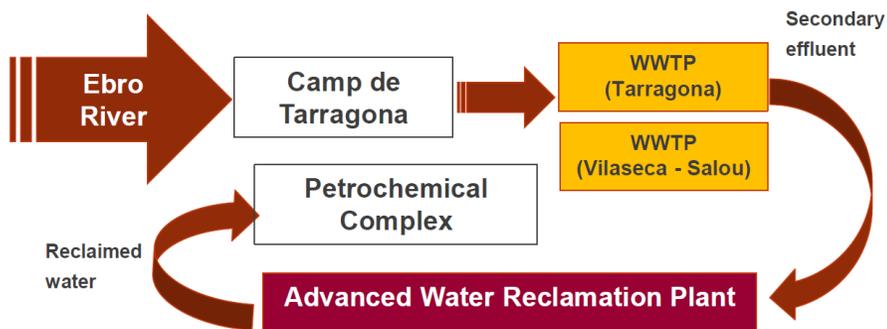
Torrelle (BE): Infiltration von geklärtem Abwasser



Rosignano (IT): industrielle Wasserwiederverwendung



Tarragona (ES): industrielle Wasserwiederverwendung



Koyambedu: größte Wasserwiederaufbereitungsanlage Indiens



The project leading to this application has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 869318



Escape-Room: Wie erreiche ich eine stabile Wasserversorgung?





Akzeptanz bei Industriepartnern erreicht, aber...

derzeit gibt es keine gesetzliche Grundlage in Dänemark für Wasserwiederverwendung:

- Gesetze/Richtlinien, mit Vorgaben zu Wasserqualitätsanforderungen etc. fehlen
- Dänemark sieht von der Anwendung der EU-Verordnung für Wasserwiederverwendung ab (Opt-out-Möglichkeit)





Was lernen wir daraus für Deutschland?

Wasserwiederverwendung:

- Leistet wichtigen Beitrag zur Entlastung natürlicher Gewässer
- gesetzliche Grundlage notwendig!

EU Verordnung zur Wasserwiederverwendung (EU 2020/741) gilt seit 2023:

- **Derzeit**: Mindestanforderungen an Wasserwiederverwendung **in der Landwirtschaft**



Novellierung des deutschen Wasserhaushaltsgesetzes

- **Wiederverwendung** bisher nur **in der Landwirtschaft** vorgesehen

- **Industrielle Nutzung von wiederaufbereitetem Wasser sollte integriert werden!**



ULTIMATE

WATER SMART INDUSTRIAL SYMBIOSIS

Kontakt

Dr. Anne Kleyböcker

Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB)

anne.kleyboecker@kompetenz-wasser.de



Vielen Dank!



The project leading to this application has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 869318

