

DIE PLANER.

NETZWERK FÜR ENERGIE, UMWELT UND GEBÄUDETECHNIK

Auswirkungen der Ultrafiltration auf die Nährstoffverhältnisse in der Trinkwasserinstallation

Dr. Bernd Bendinger

8. Schweizer Hygienetagung, 24. Januar 2025

Verkehrshaus Luzern

(Version 24.01.2024)



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Decarbonisierung des Gebäudesektors in der EU

Senkung der CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2030 um 65 % ggü. 1990¹; Klimaneutralität bis 2045

Reduktion der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor

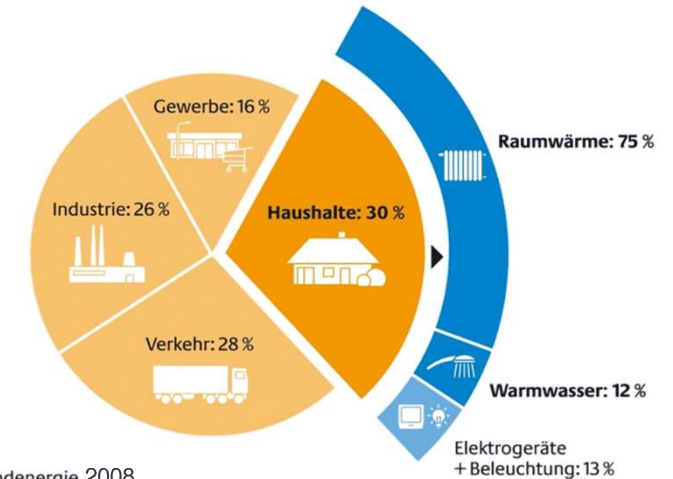
CO₂-Emissionseinsparungen durch Wärmedämmung der Gebäude und effizientere Heizungen → Zunahme des Anteils der CO₂-Emission durch die Trinkwassererwärmung

Reduzierung der CO₂-Emission durch die Trinkwassererwärmung

Absenkung der TWW-Temperatur

- ↪ Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien
- ↪ Beitrag zur **Decarbonisierung** des Gebäudesektors

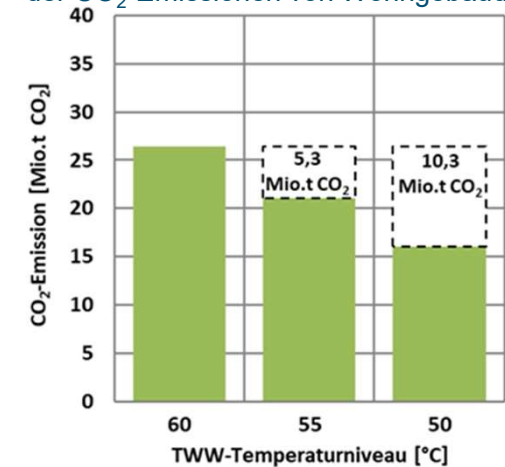
¹ Klimaschutzgesetz 2024



*Endenergie 2008

Quelle: dena / Energiedaten BMWi

Hochrechnung des Einsparpotenzials der CO₂-Emissionen von Wohngebäuden



Ultra-F

BMWK-Projekt: ULTRA-F (2018 -2023)

Ist Ultrafiltration (= Entfernung von Partikeln / Bakterien) eine Maßnahme, die die hygienische Sicherheit bei Absenkung der TWW-Temperatur gewährleisten kann?

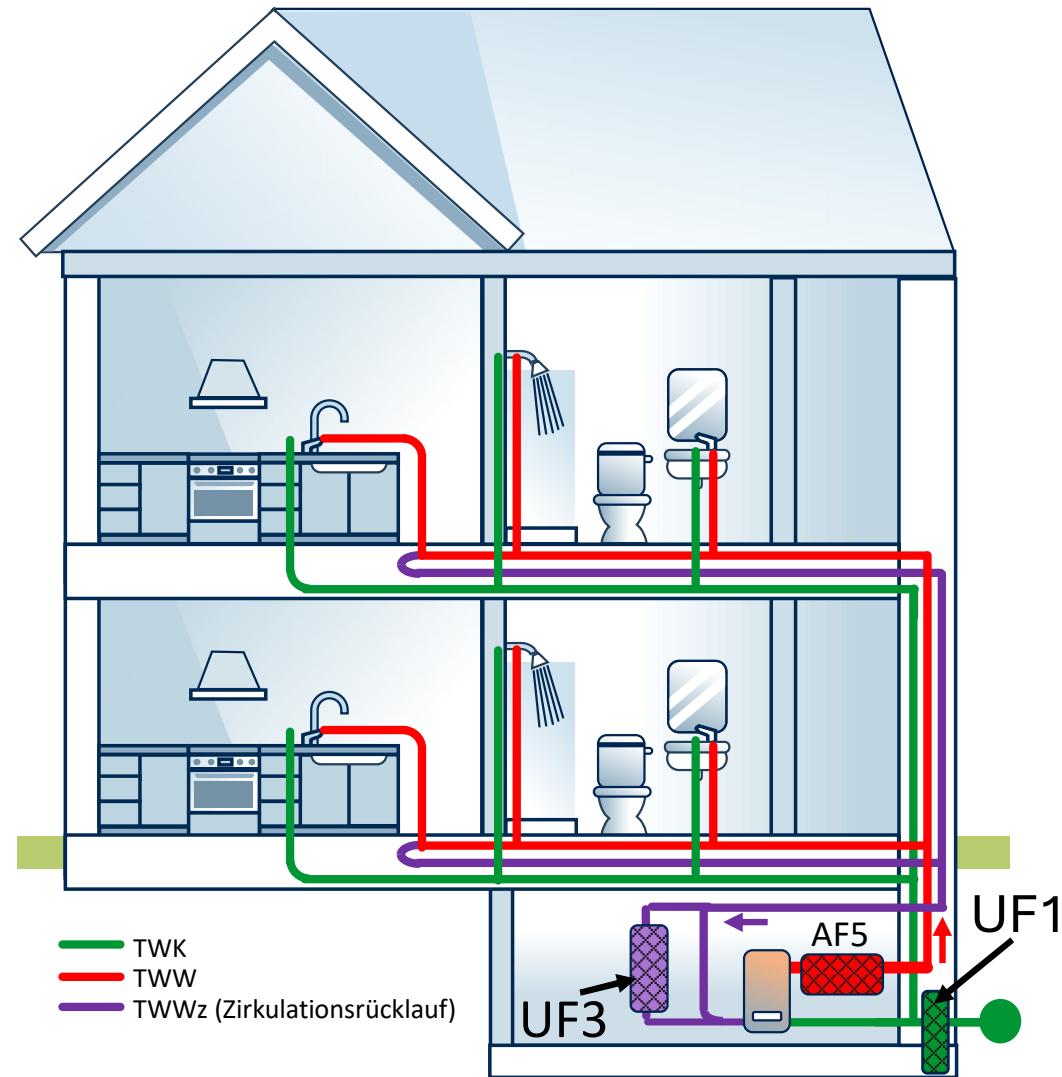


Untersuchung der Wirksamkeit von Ultrafiltrationsanlagen (UF-Anlagen) in TWI mit zentraler Trinkwassererwärmung bei Absenkung der TWW-T in 5 K-Schritten

- Emulatoren
- Technikumsanlage
- Bewohnte Mehrfamilienhäuser (unter Einhaltung von DVGW-Rahmenbedingungen)

Übersicht der untersuchten Feldobjekte

- 33 bewertete Objekte deutschlandweit
- In **keinem** Objekt entsprach der Zustand der TWI den a.a.R.d.T.):
 - z. B. fehlender thermohydraulischer Abgleich
- 13 untersuchte Objekte (9x UF1, 2x UF3, 2x AF5)
- 16 Versuchsreihen
- Ca. 3500 Proben mit bis zu 14 Einzelparametern
- Laufzeiten der Versuchsreihen 14 bis 54 Monate

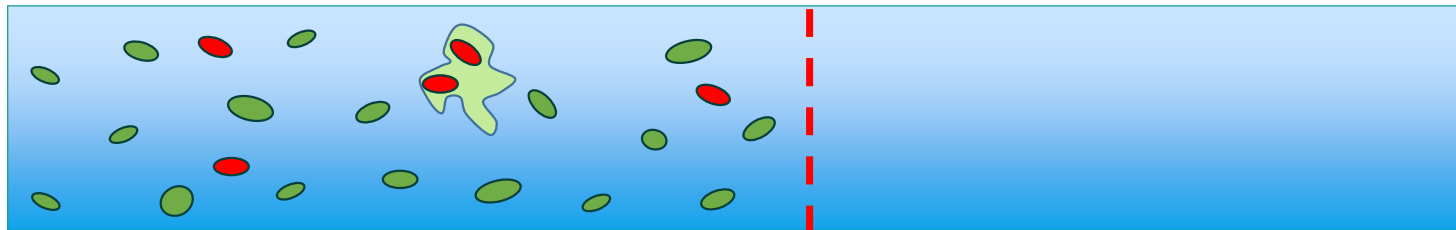


Übersicht über die Ergebnisse der Temperaturabsenkungen in Feldobjekten

Anzahl Versuchsreihen	Ergebnis der Temp.-Absenkung	Grund	Rückhalteverfahren	Temp. am Ausgang TWE	Minimale Temp. in Zirkulation $T_{\text{Zirk, min}}$
7	Erfolgreich	Keine hyg. Auffälligkeiten	3 x UF1 2 x UF3 2 x AF5	45 – 50 °C	42 – 48 °C
7	Abbruch	Starke Vermehrung von Legionellen	5 x UF1 2 x UF1 & UF3	50 – 56 °C	43 – 53 °C
2	Abbruch	Techn. Probleme	2 x UF1	55 – 59 °C	52 – 53 °C

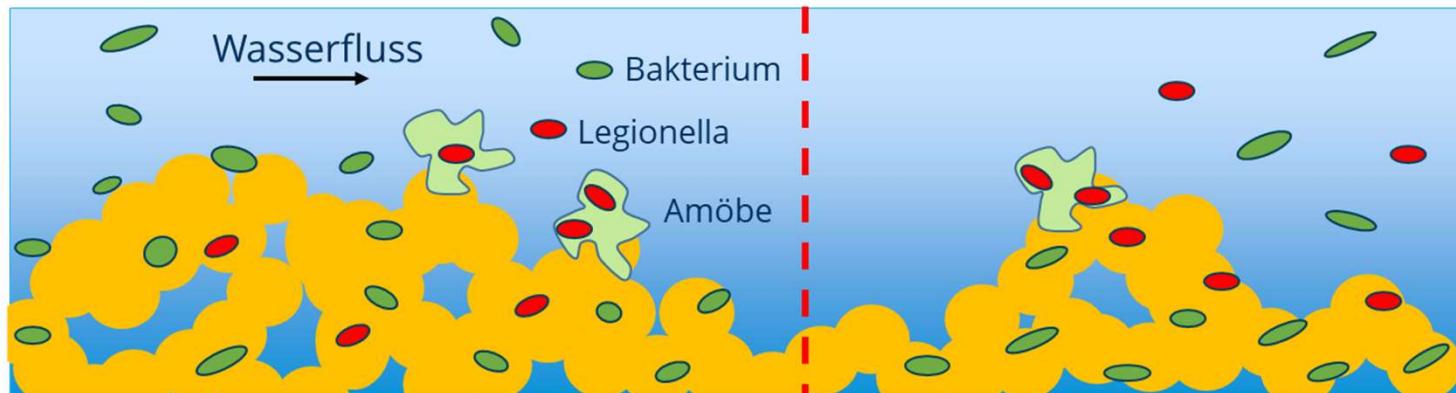
Auswirkungen der Ultrafiltration auf Bakterien und Amöben

TW-Installation im Neubau (idealisiert)



Mikroorganismen werden „abfiltriert“.

TW-Installation im Bestandsgebäude

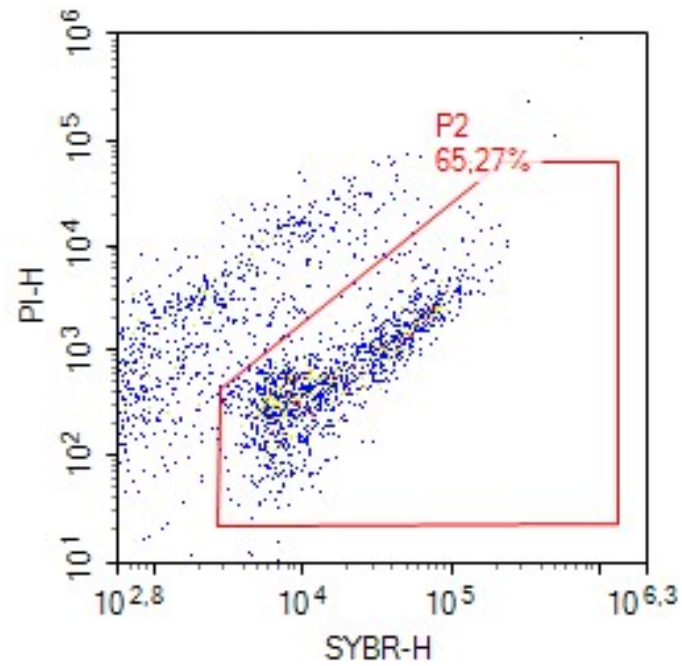


Im Bestandsgebäude ist TWI mit **Biofilm** besiedelt. Keine Nachlieferung von Mikroorganismen aufgrund der Barriere.

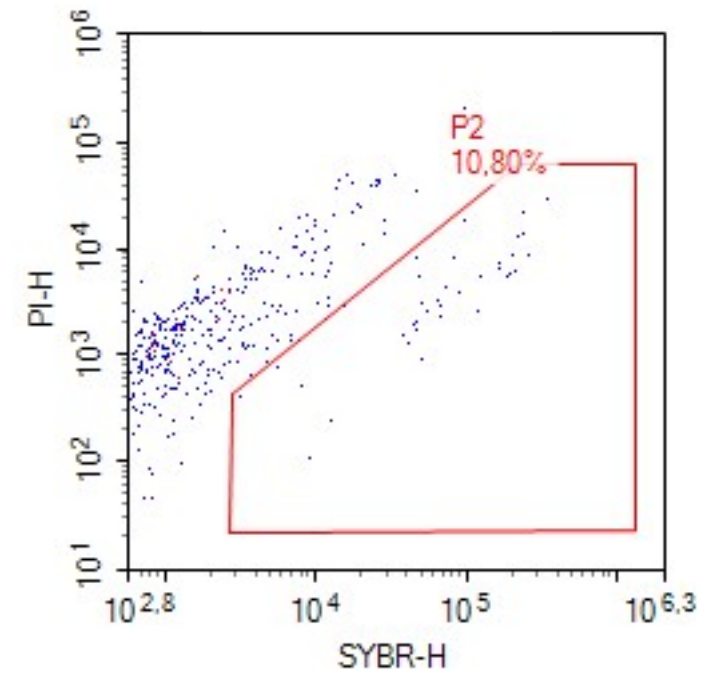
Die Anwesenheit von Legionellen und Amöben ist in Biofilmen der TWI von Bestandsgebäuden zu erwarten (selbst bei negativem kulturellen Nachweis)

Bakterien auf der Filtratseite direkt nach der UF sind keine Überraschung

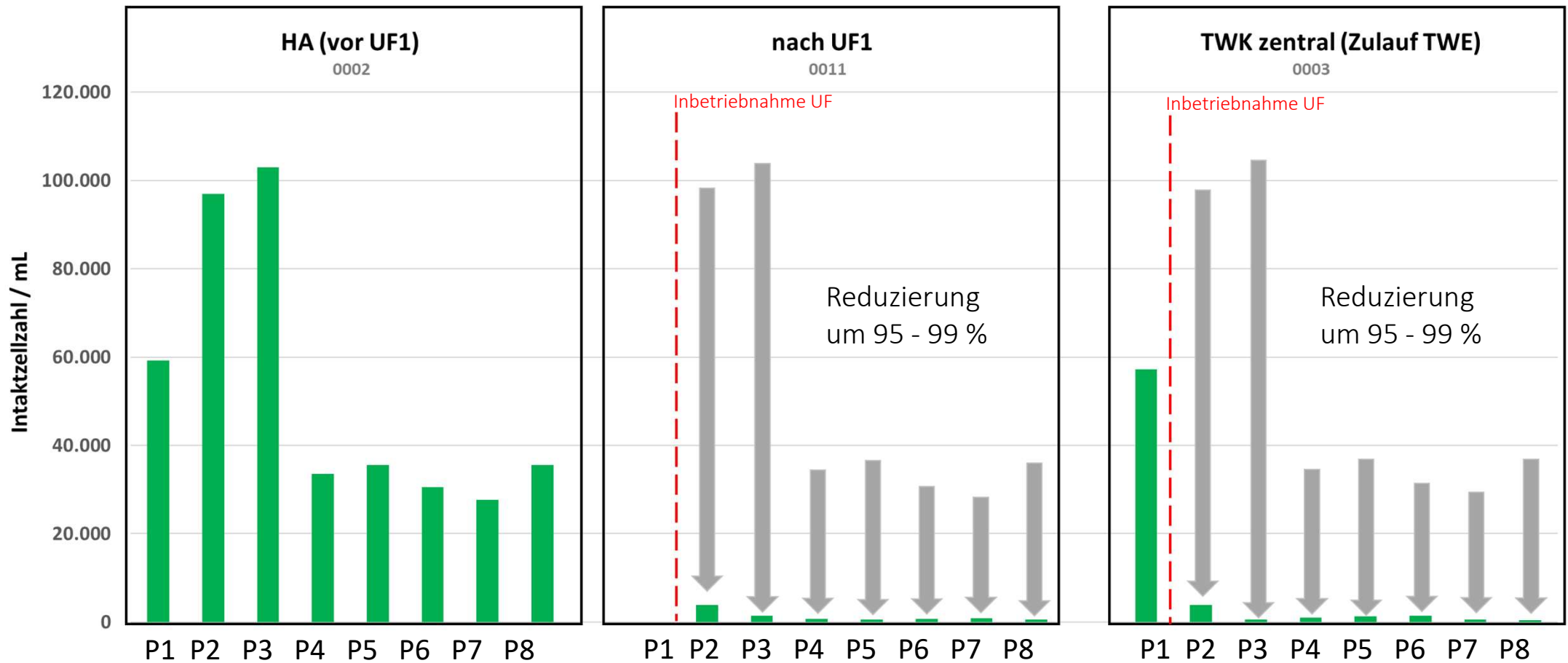
IZZ vor UF



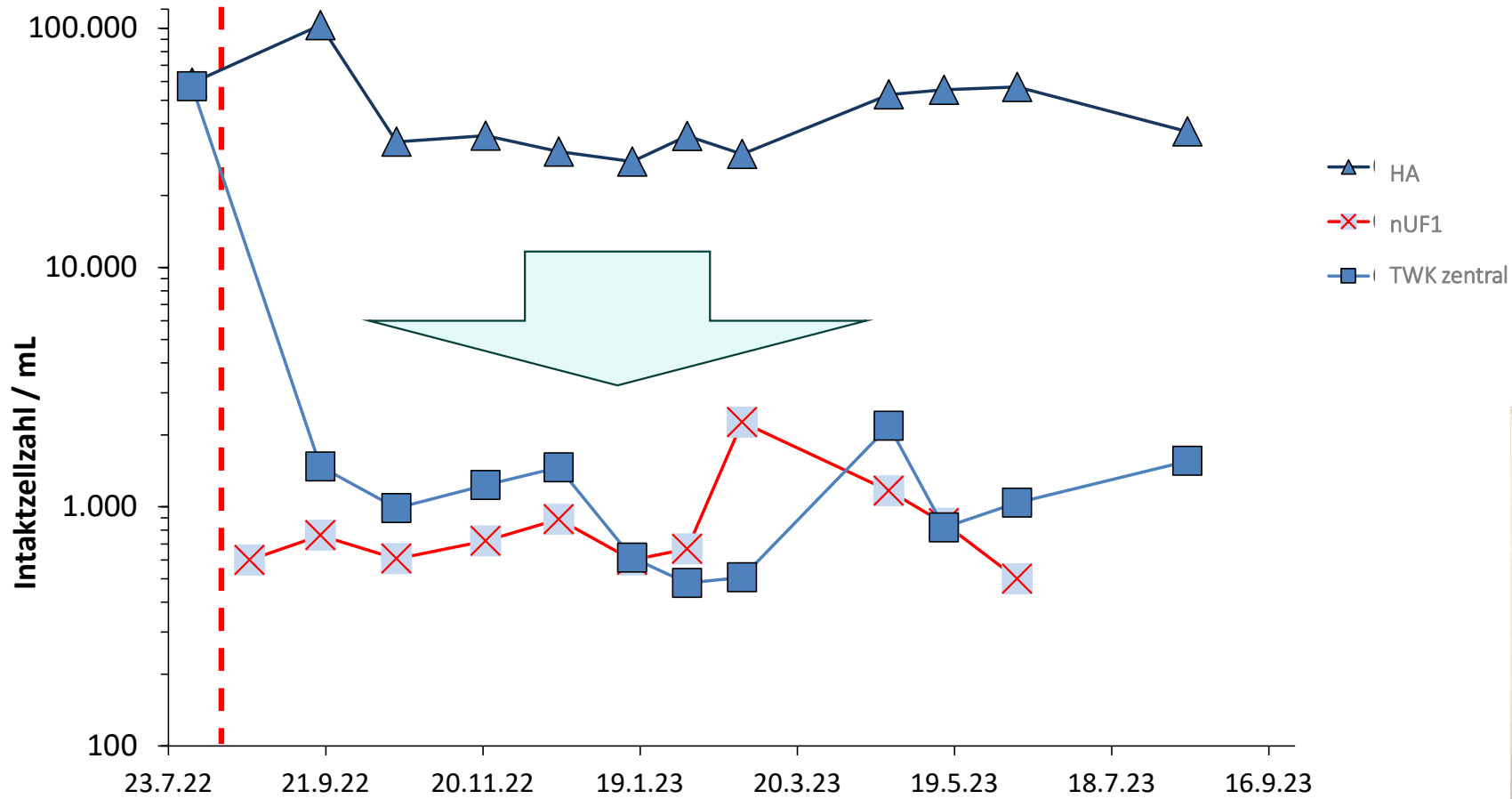
IZZ nach UF



UF 1 verringert die Anzahl der Bakterien im Kaltwasser (Objekt 028)

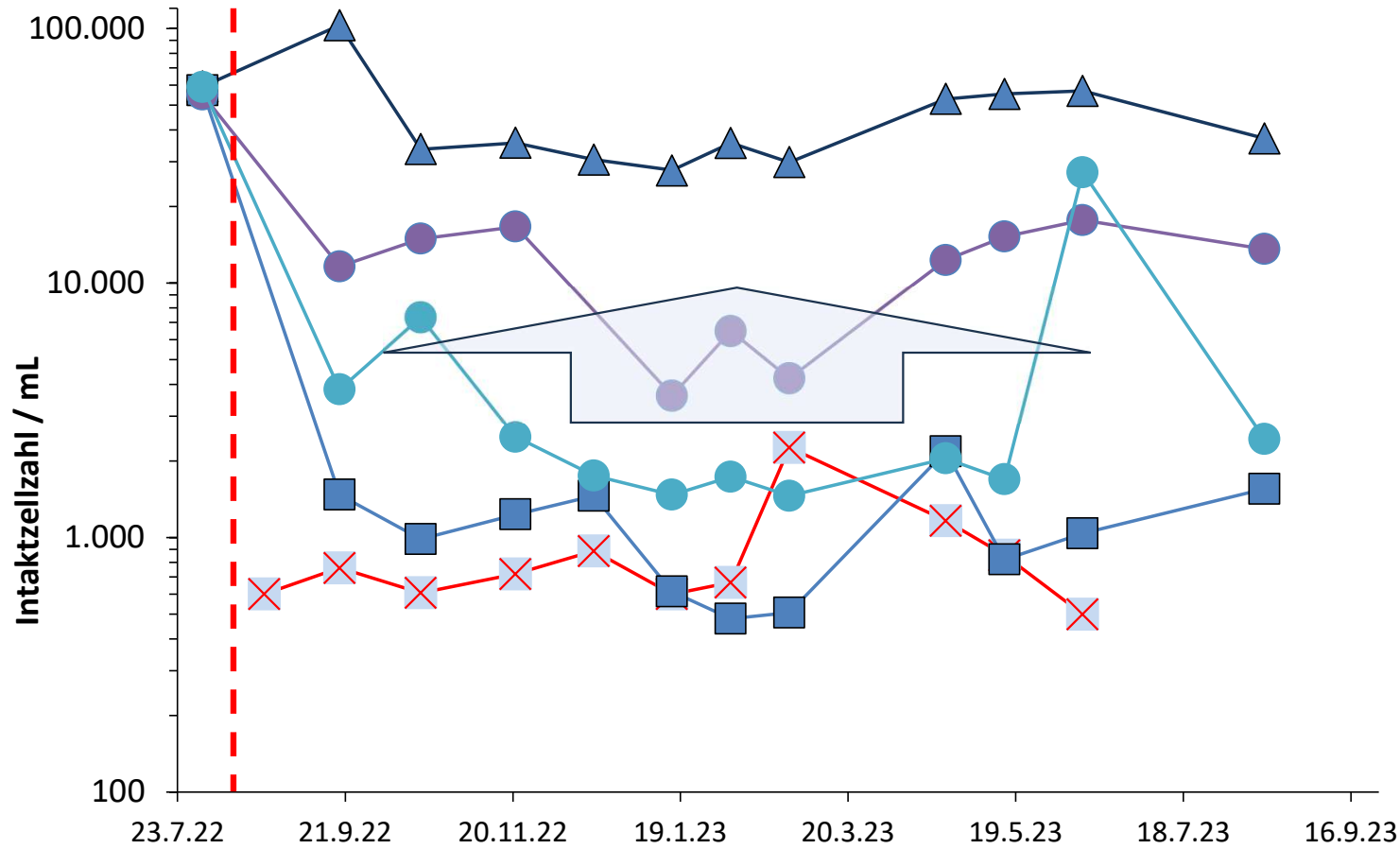


UF 1 erniedrigt langfristig das Niveau der Zellzahlen in der TWI (Objekt 028)



Bildquelle: GTS

UF 1 erniedrigt langfristig das Niveau der Zellzahlen in der TWI (Objekt 028)

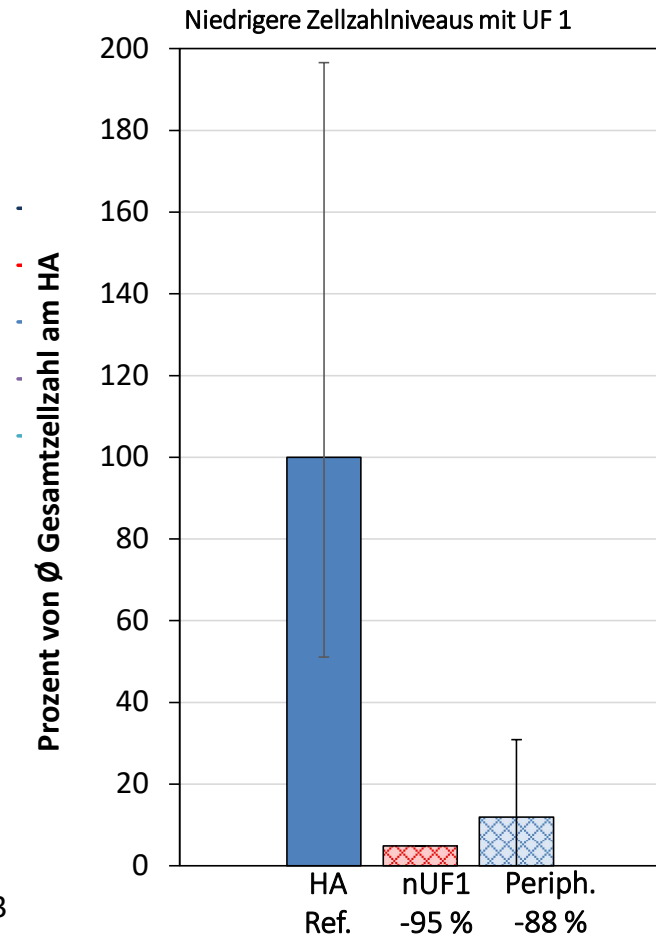
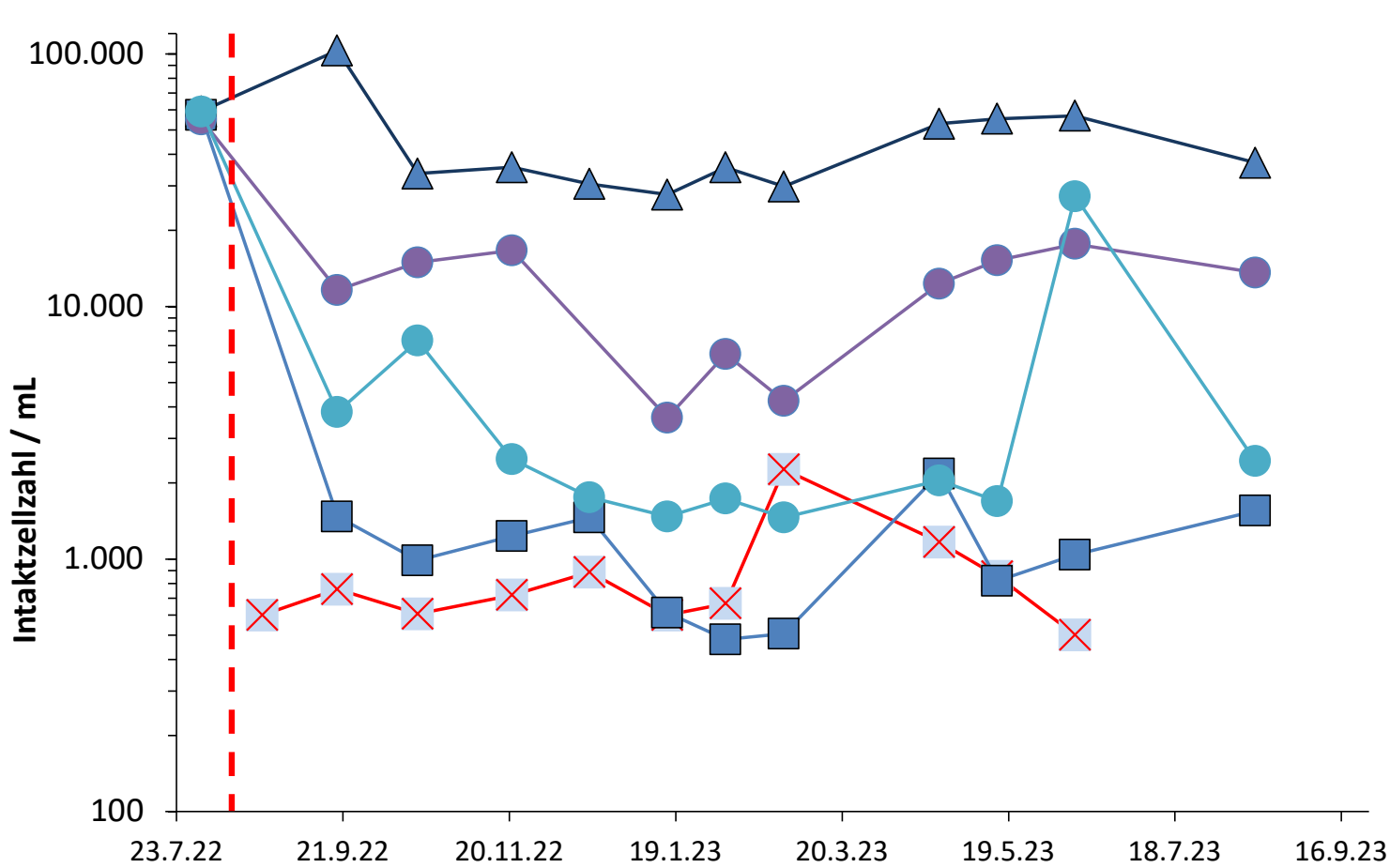


- HA
- nUF1
- TWK zentral
- TWK peripher, Strang 2
- TWK peripher, Strang 8



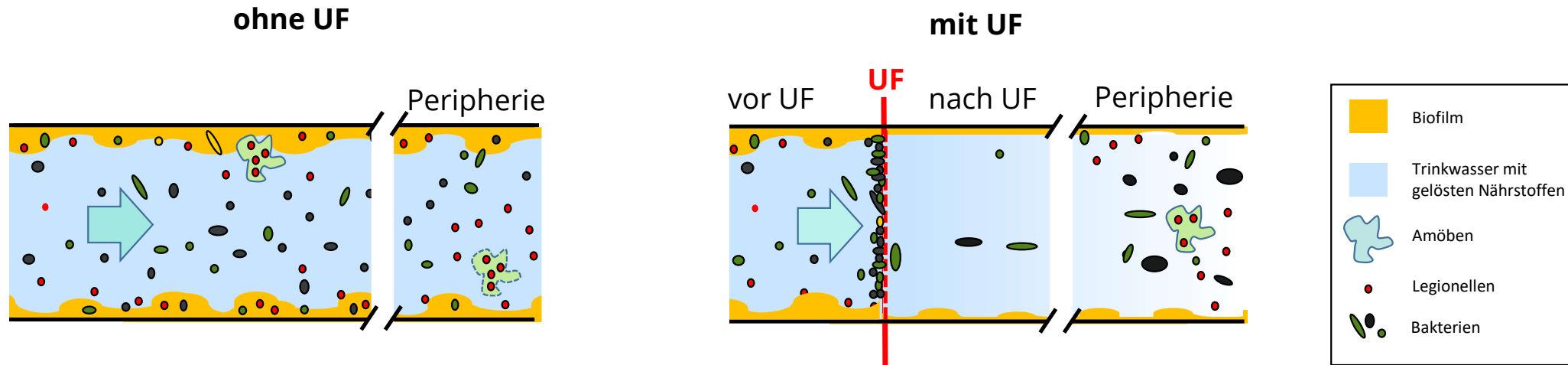
Bildquelle: GTS

UF 1 erniedrigt langfristig das Niveau der Zellzahlen in der TWI (Objekt 028)



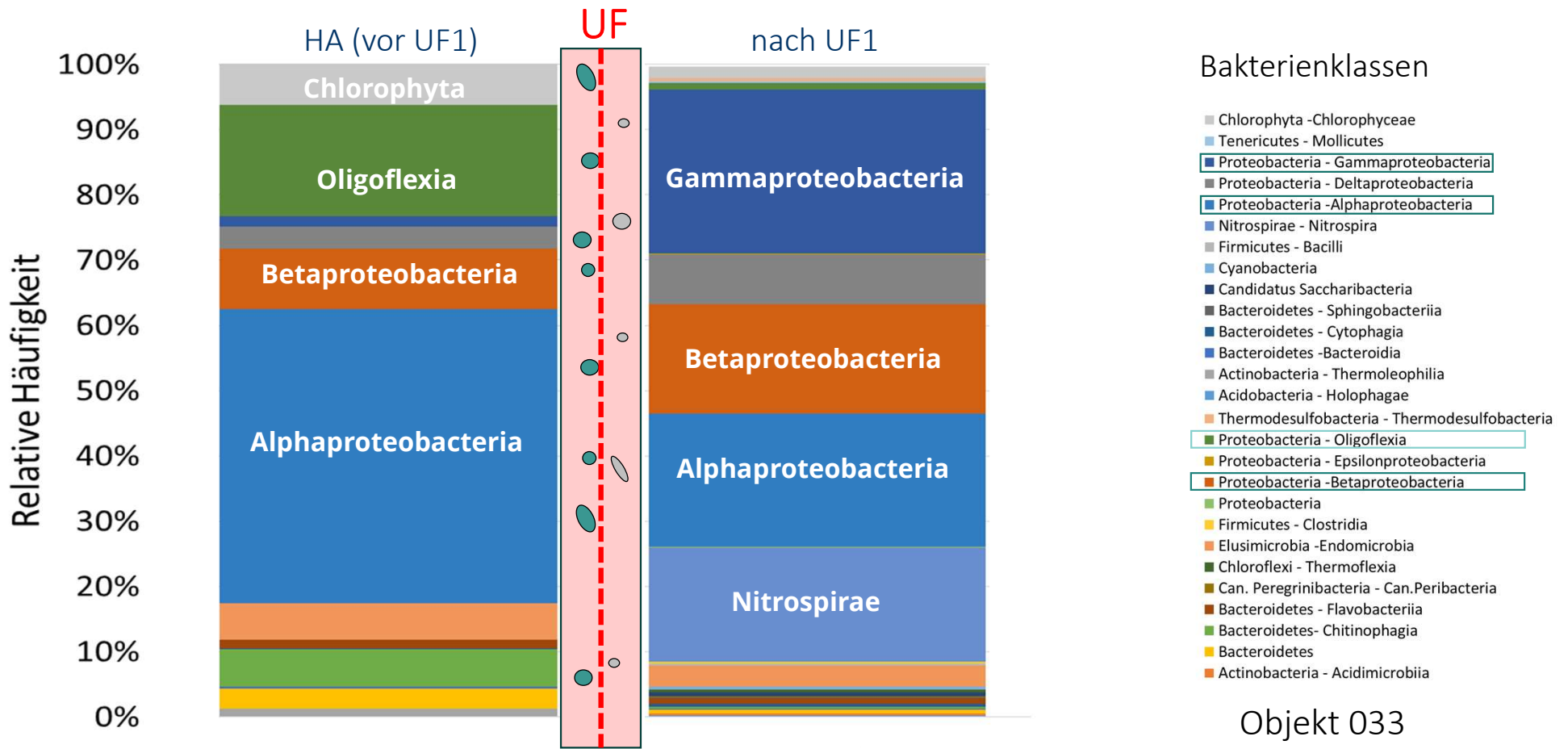
- UF1 führte langfristig (12 Monate) zu einem um 88 % niedrigeren Niveau der Zellzahlen in der Peripherie (TWK)

Ultrafiltration als Barriere für Bakterien



- UF hält Partikel und Bakterien zurück (Rückhaltegrade von $> 1 \times 10^7$)
- Legionellen im zuströmenden Wasser (**Import-Legionellen**) werden abfiltriert, Legionellen, die sich schon vor Einbau der UF in der TW-Installation befanden (**Bestands-Legionellen**) werden nicht beeinflusst
- Bakterien sind im Trinkwasser nach der UF immer vorhanden und vermehren sich in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot
 - aus dem Trinkwasser selbst,
 - aus dem Biofilm oder
 - aus Installationsmaterialien

UF 1 verändert die Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaft

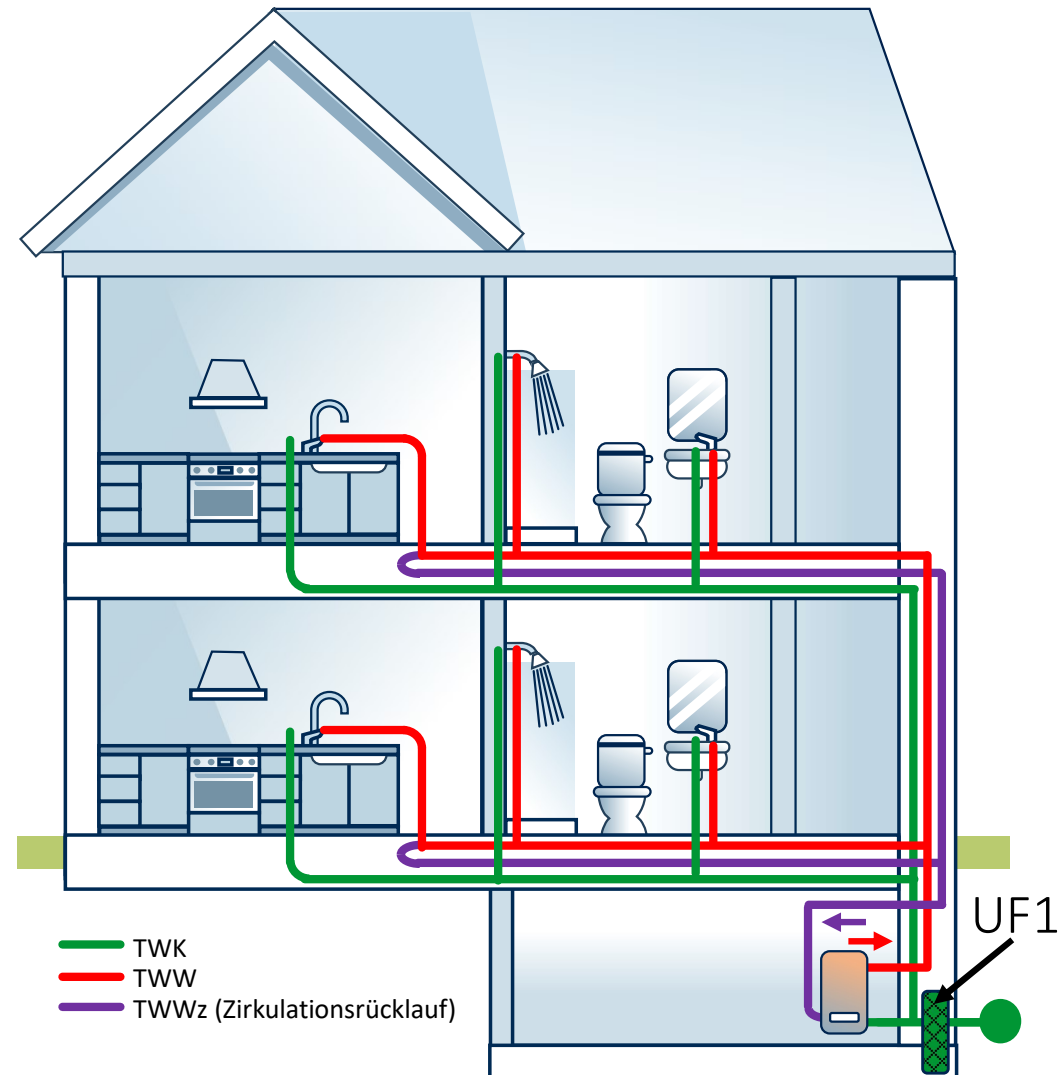
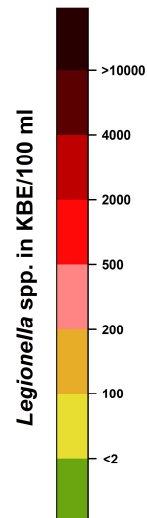


UF hat Barrierefunktion !

Ultrafiltration am Hauseingang (UF 1) ab Erstbefüllung der TWI

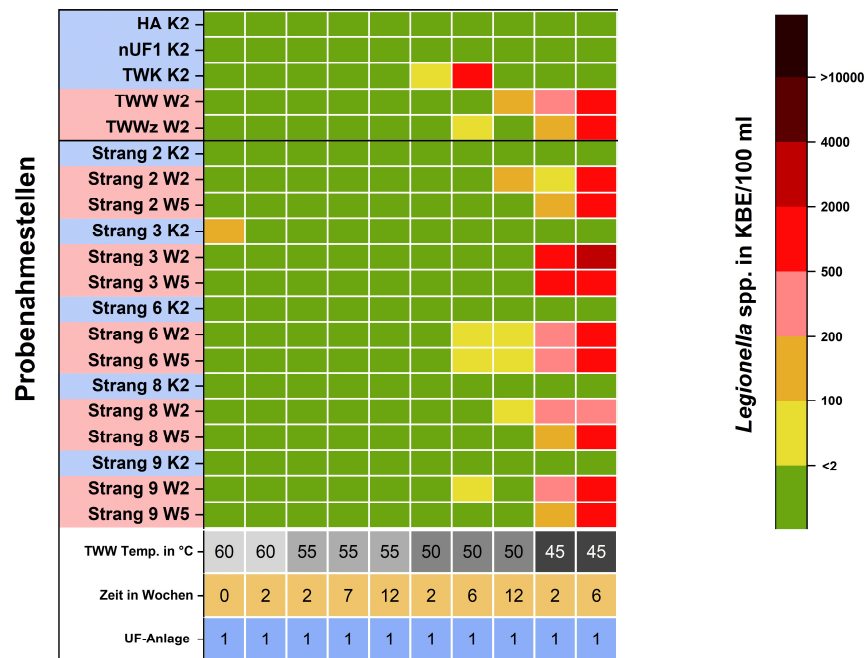
Legionella spp. Konzentrationen im Kulturverfahren im Objekt 033 (Neubau) bei Temperaturabsenkung

Probenahmestellen	HA K2				
	nUF1 K2				
	TWK K2				
	TWW W2				
	TWWz W2				
	Strang 2 K2				
	Strang 2 W2				
	Strang 2 W5				
	Strang 3 K2				
	Strang 3 W2				
	Strang 3 W5				
	Strang 6 K2				
	Strang 6 W2				
	Strang 6 W5				
	Strang 8 K2				
	Strang 8 W2				
	Strang 8 W5				
	Strang 9 K2				
Strang 9 W2					
Strang 9 W5					
TWW Temp. in °C	60	60	55	55	55
Zeit in Wochen	0	2	2	7	12
UF-Anlage	1	1	1	1	1



Ultrafiltration am Hauseingang (UF 1) ab Erstbefüllung der TWI

Legionella spp. Konzentrationen im Kulturverfahren im Objekt 033 (Neubau) bei Temperaturabsenkung

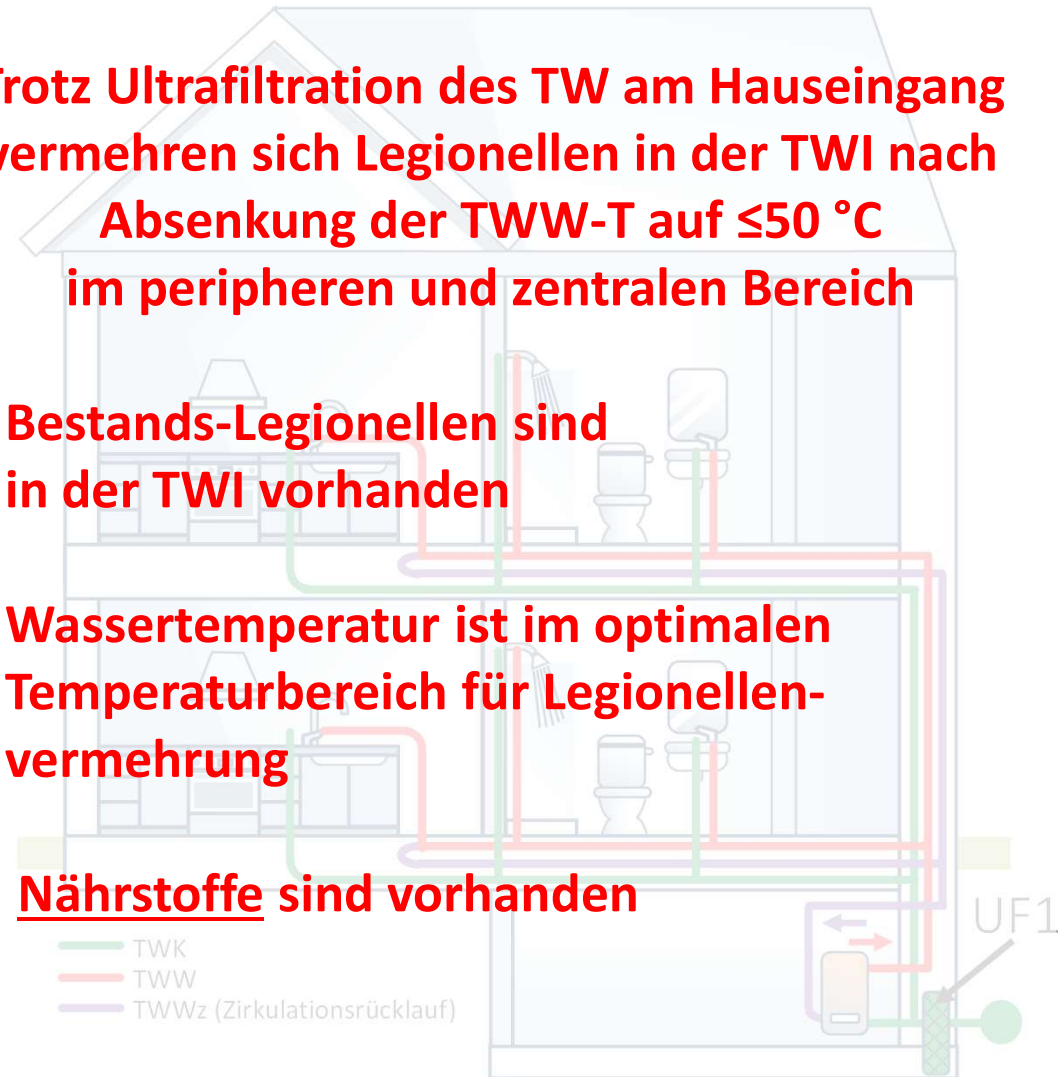


Legionellenvermehrung und technische Mängel im Objekt
 → Versuchsabbruch

Trotz Ultrafiltration des TW am Hauseingang vermehren sich Legionellen in der TWI nach Absenkung der TWW-T auf $\leq 50^\circ\text{C}$ im peripheren und zentralen Bereich

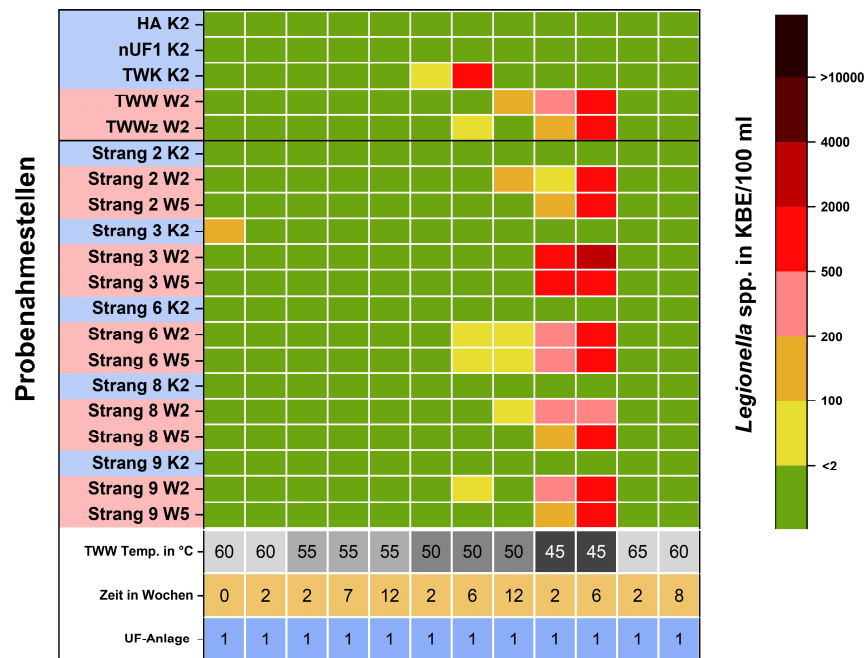
- Bestands-Legionellen sind in der TWI vorhanden
- Wassertemperatur ist im optimalen Temperaturbereich für Legionellenvermehrung
- Nährstoffe sind vorhanden

— TWK
 — TWW
 — TWWz (Zirkulationsrücklauf)

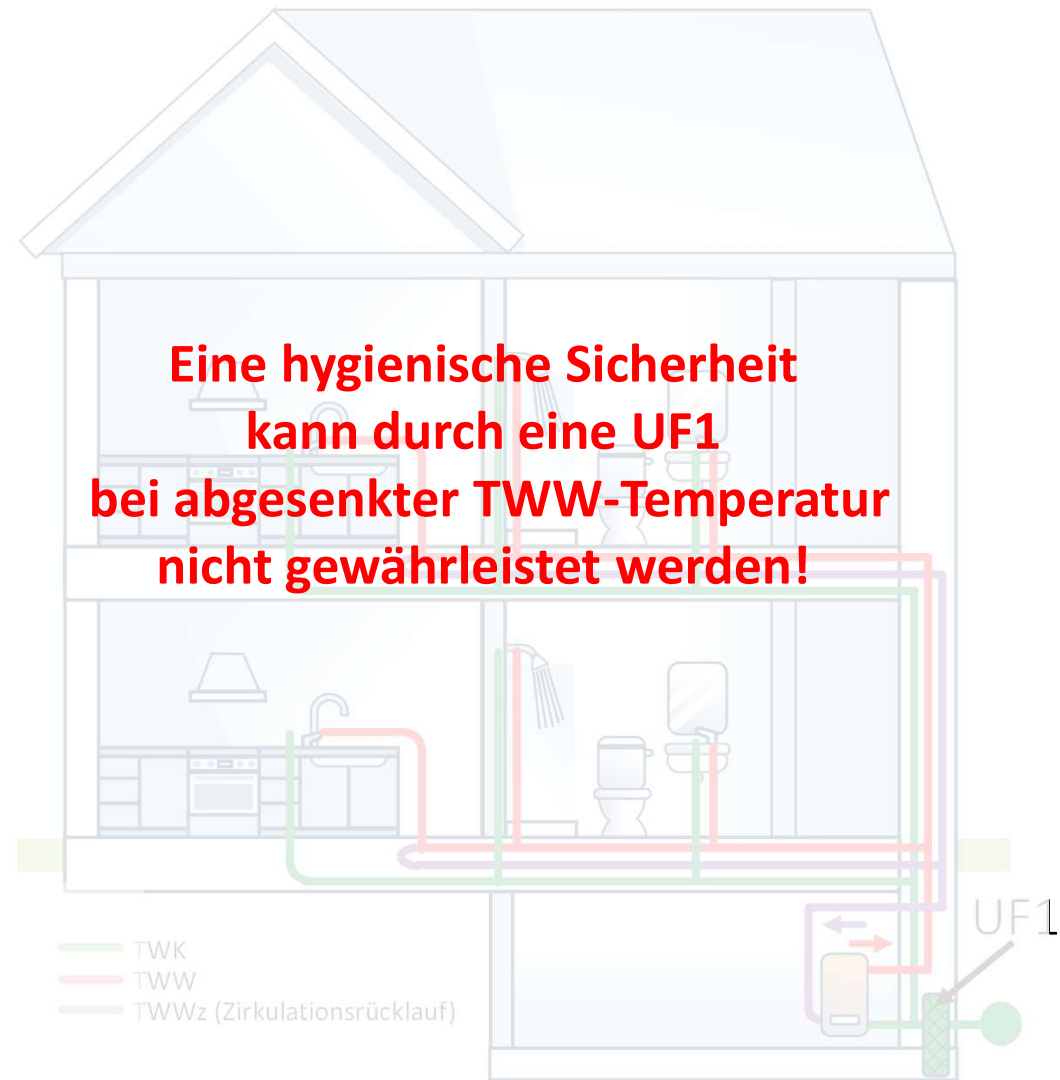


Ultrafiltration am Hauseingang (UF 1) ab Erstbefüllung der TWI

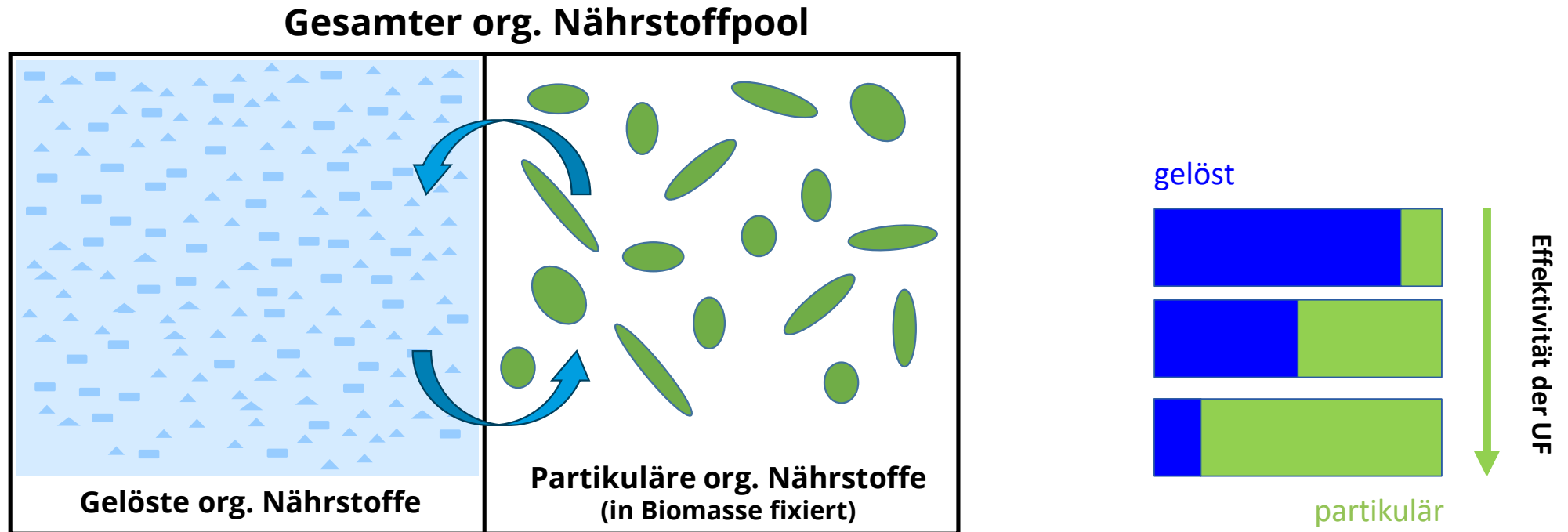
Legionella spp. Konzentrationen im Kulturverfahren im Objekt 033 (Neubau) bei Temperaturabsenkung



Nach Erhöhung der TWW-T auf 65 bzw. 60 °C waren keine Legionellen mehr kulturell nachweisbar



Effekt der Ultrafiltration auf die Nährstoffentfernung



- Nährstoffe liegen entweder gelöst oder partikulär (z.B. in Biomasse fixiert) vor – in unterschiedlichen Verhältnissen
- Eine UF kann nur die partikulären Nährstoffe (größtenteils Bakterien oder Amöben) entfernen
- Je größer der Anteil der partikulären Nährstoffe ist, um so effektiver ist die UF

Bestimmung des Aufkeimungspotentials

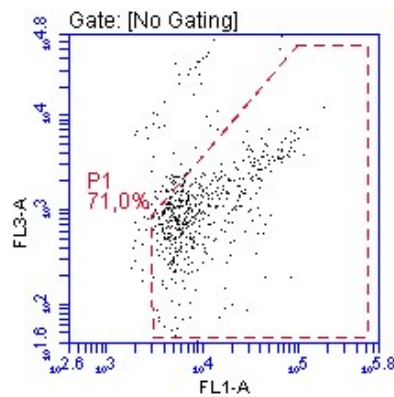


22°C für Kaltwasser

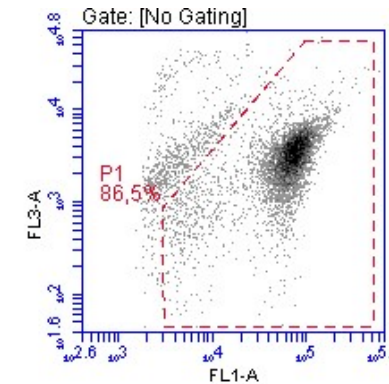


Inkubation für 7 Tage in AOC-freien Gefäßen

Intaktzellzahl (IZZ) am Tag 0



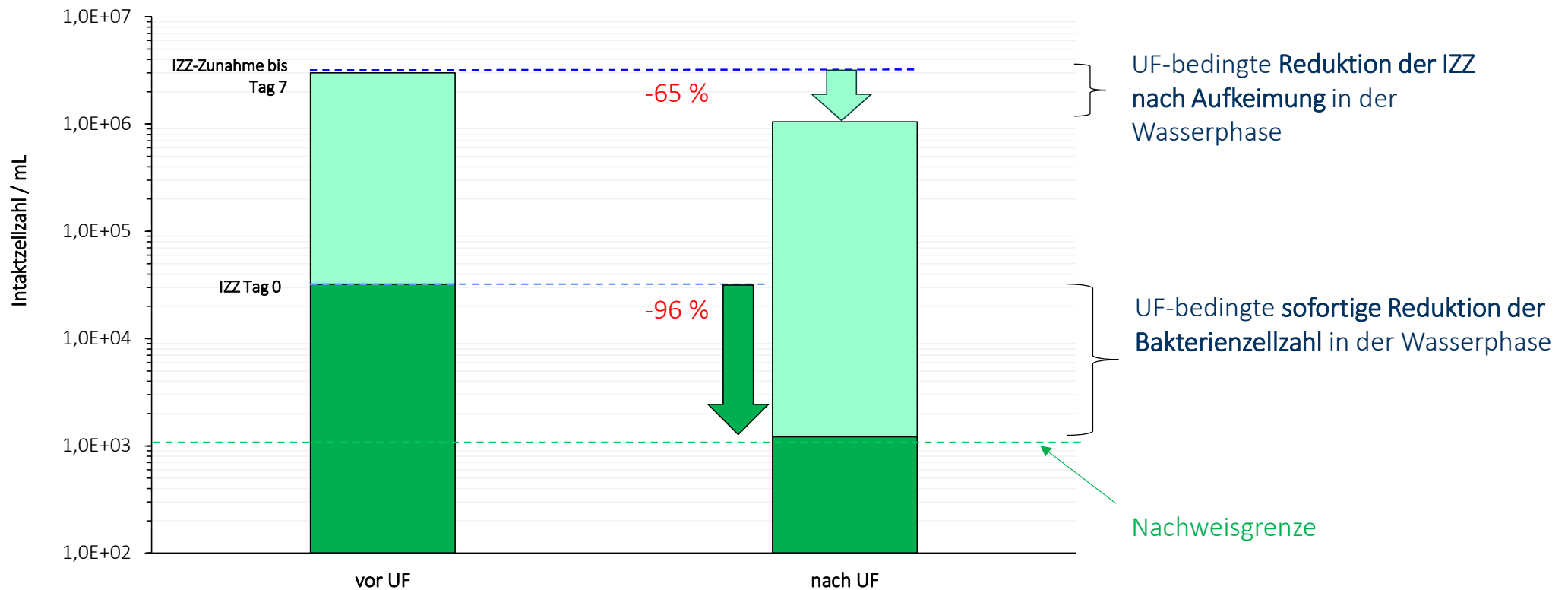
Intaktzellzahl (IZZ_{max}) am Tag 7



Die Zunahme der Zellzahl
an natürlichen Bakterien im Wasser
ist proportional
zur Nährstoffkonzentration
(Messung mit Durchflusszytometrie)

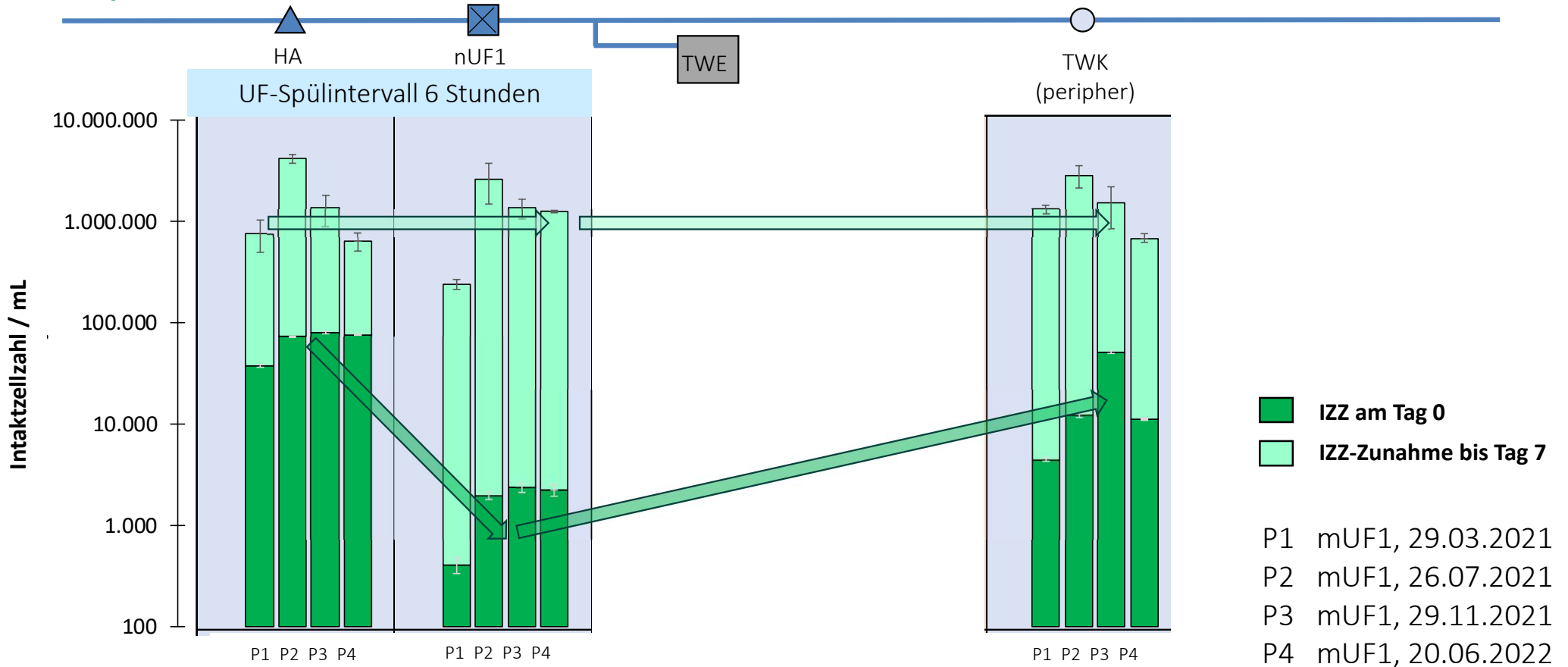
IZZ Tag 7 / IZZ Tag 0 = AKF (Aufkeimungsfaktor)

Nach Aufkeimung verringert sich der Effekt der UF1 auf die IZZ-Abnahme (Objekt 016 mit UF1)



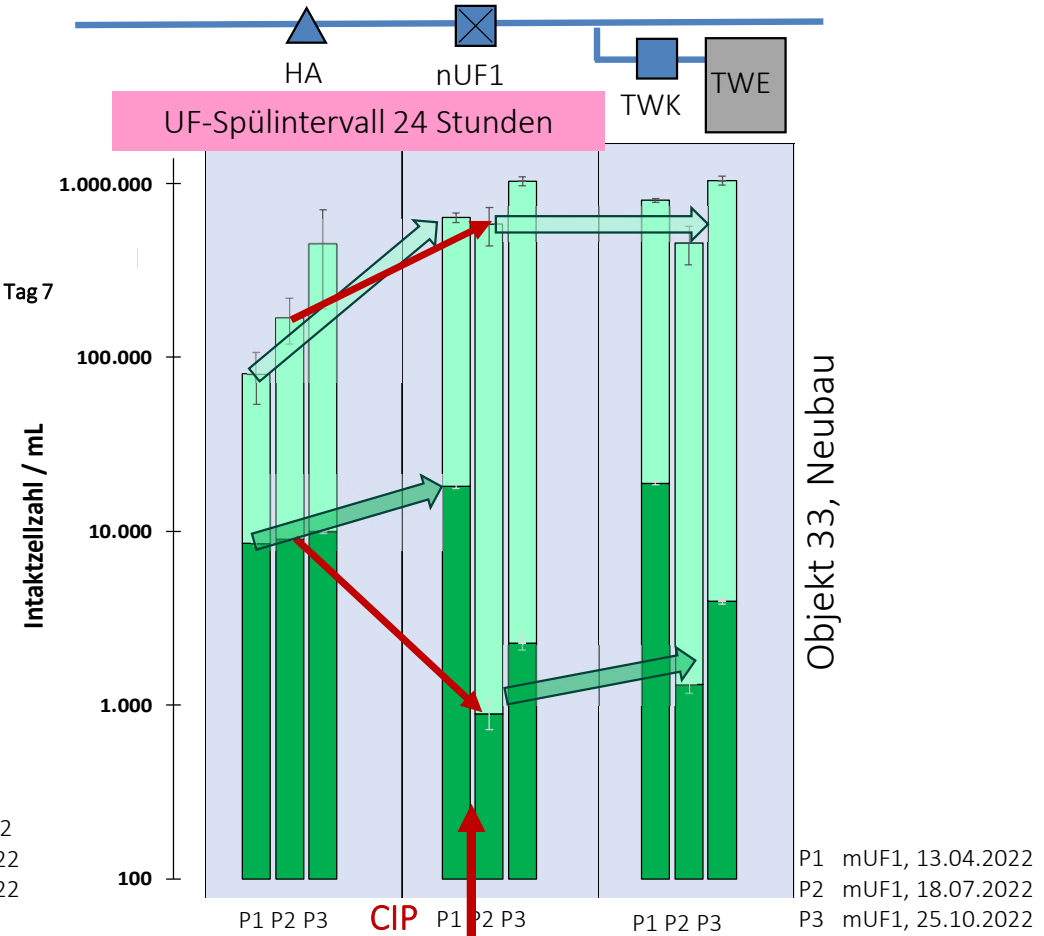
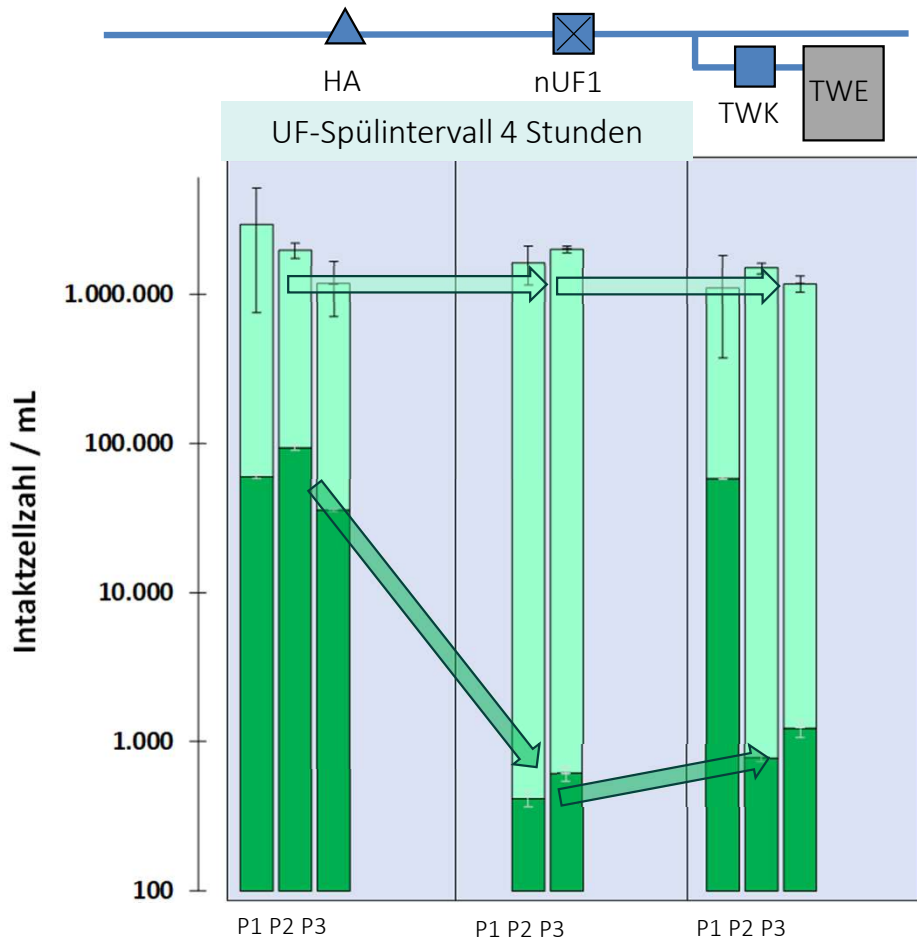
- Die UF1 bewirkt in diesem Beispiel eines Bestandsgebäudes eine sofortige Reduktion der Zellzahl um 96 %, aber nur einer Reduktion der IZZ nach Aufkeimung um 65 %.

Nach Aufkeimung verringert sich der Effekt der UF1 auf die IZZ-Abnahme (Objekt 010 mit UF1)



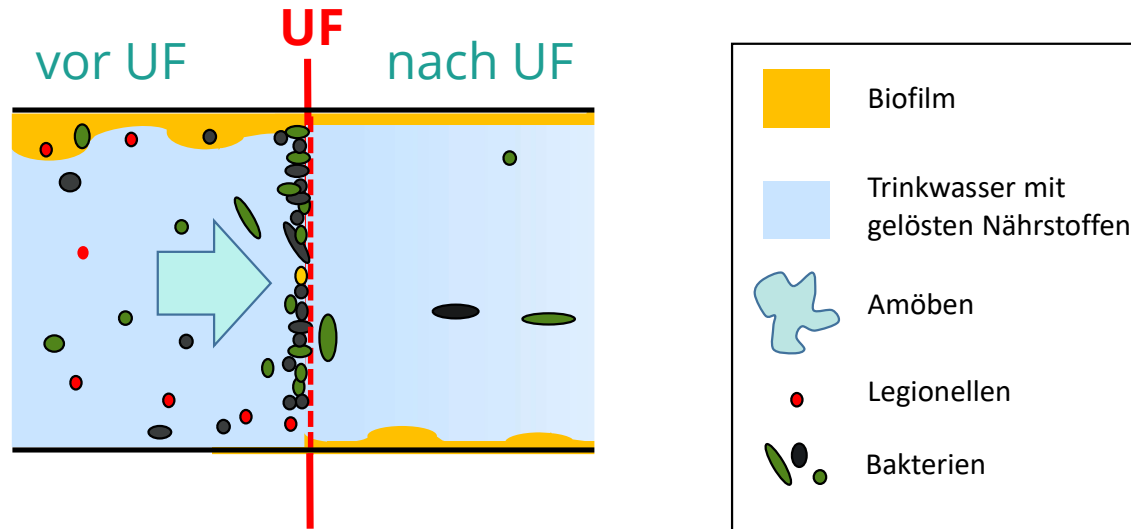
- UF verringert sofort die IZZ um 97-99 %, diese steigt in der Peripherie jedoch wieder an.
- Keine wesentliche Veränderung der IZZ_{max} nach Aufkeimung - weder direkt nach UF noch in der Peripherie.

Nach UF1: IZZ und die IZZ_{max} nach Aufkeimung sind abhängig vom Spülintervall



- Ein zu langes Spülintervall der UF (z. B. 24 h) kann die IZZ und das AKP hinter der UF deutlich erhöhen
- Ein CIP (cleaning in place) verringert die IZZ, aber nicht das AKP

Einfluss des Spülintervalls auf die Nährstoffsituation



- Zurückgehaltene Bakterien auf der UF-Membran sterben ab, lysieren und geben ihre intrazellulären Nährstoffe in das Filtrat ab.
- Durch die Transformation der biologisch fixierten Nährstoffe in gelöste Nährstoffe werden diese membrangängig.

Fazit: Auswirkungen der Ultrafiltration auf die mikrobiologischen Verhältnisse in der TWI

UF stellt eine Barriere für Partikel, aber nicht für gelöste Nährstoffe dar

1. Die Trinkwasserpopulation (inkl. Import-Legionellen) aus dem Hausanschluss wird zurückgehalten
 - ↳ UF verringert sofort die Zellzahlen um ca. 95 bis 99 %
 - ↳ Die UF1 führt langfristig zu einer Verringerung der Zellzahlen in der Peripherie (GZZ Ø -84 % im TWK)
2. UF führt zu einer veränderten Zusammensetzung der Bakterienpopulation in der TWI
3. „Bestands-Legionellen“ werden nicht entfernt
4. UF hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Verringerung des Aufkeimungspotentials
 - ↳ Gelöste Nährstoffe ermöglichen in der TWI weiterhin die Bakterienvermehrung und Biofilmbildung
 - ↳ UF kann die Vermehrung von „Bestands-Legionellen“ auf der Filtratseite nicht verhindern
5. Auf der Zulaufseite der UF-Membran angereicherte Zellen lysieren mit der Zeit und geben gelöste Nährstoffe ins Filtrat ab
 - ↳ Notwendigkeit der Spülung der UF-Membran in kurzen Zeitintervallen
6. Die Frage, ob Biofilme langfristig durch UF „ausgehungert“ werden können, um den Legionellen die Vermehrungsgrundlage zu entziehen, bleibt offen

Vielen Dank.



**IWW Institut für Wasserforschung
gemeinnützige GmbH**

Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr

Fon +49 208 40303-0
Fax +49 208 40303-80

An-Institut der



Dr. Benjamin Meyer



Dr. Andreas Nocker



Dr. Mark Pannekens



Dr. Bernd Bendinger



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages