

Trinkwassermikrobiologie: Ökologisches Verständnis treibt praktische Anwendungen

Dr. Frederik Hammes

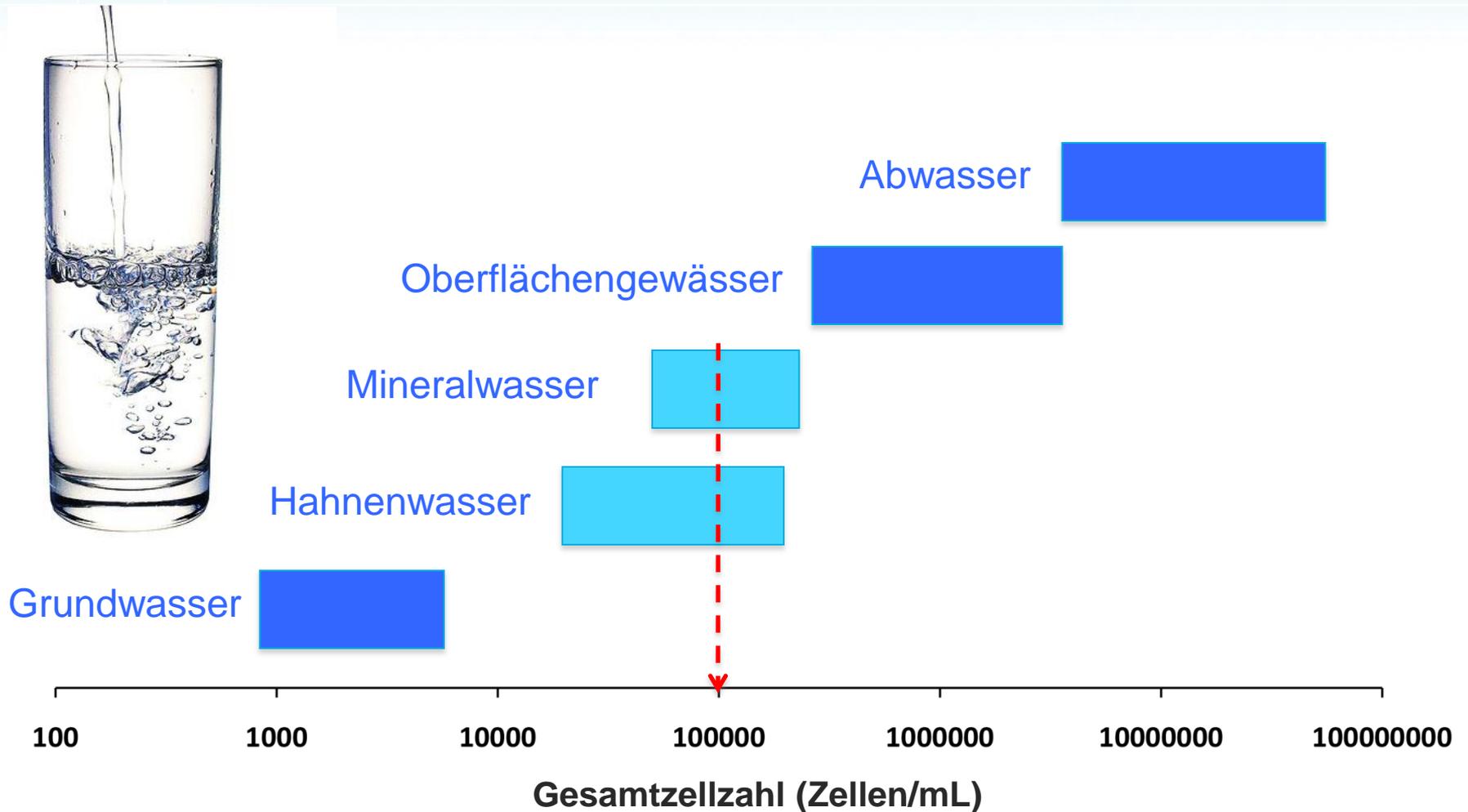


Es gibt Bakterien im Trinkwasser



Es gibt relativ viele Bakterien im Trinkwasser

Suspendierte Bakterien



Bakterienkonzentrationen von 20'000 – 200'000 Zellen/mL sind normal im Trinkwasser

Angeheftete (Biofilm-)Bakterien

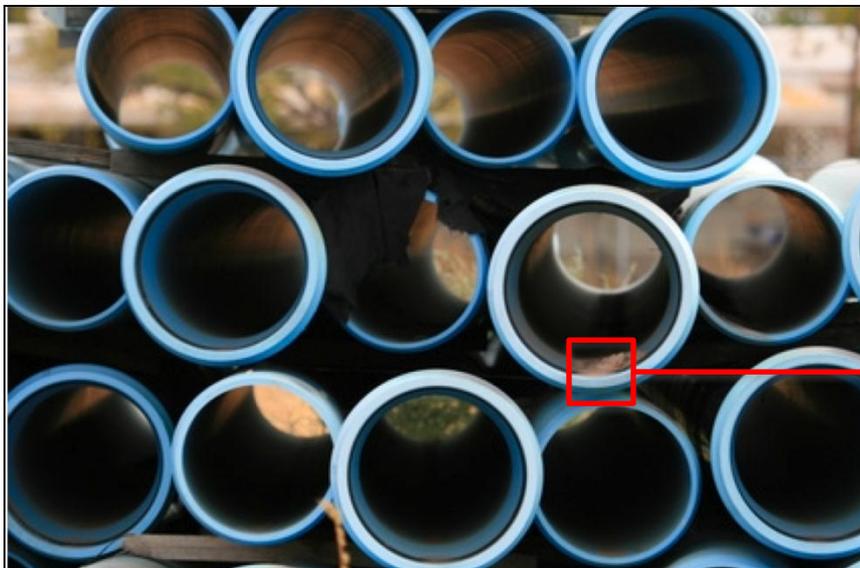


Bild: www.ehow.com

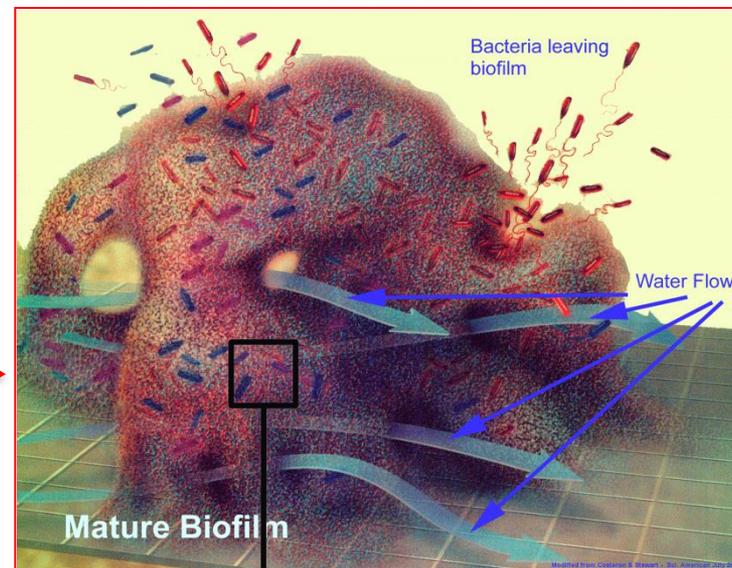
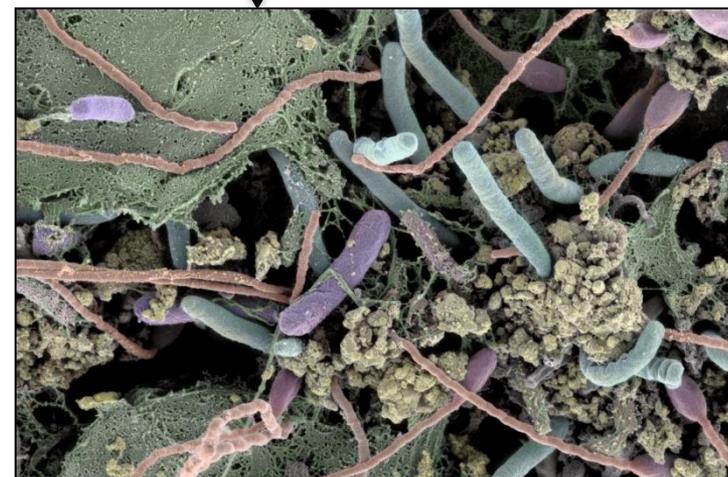
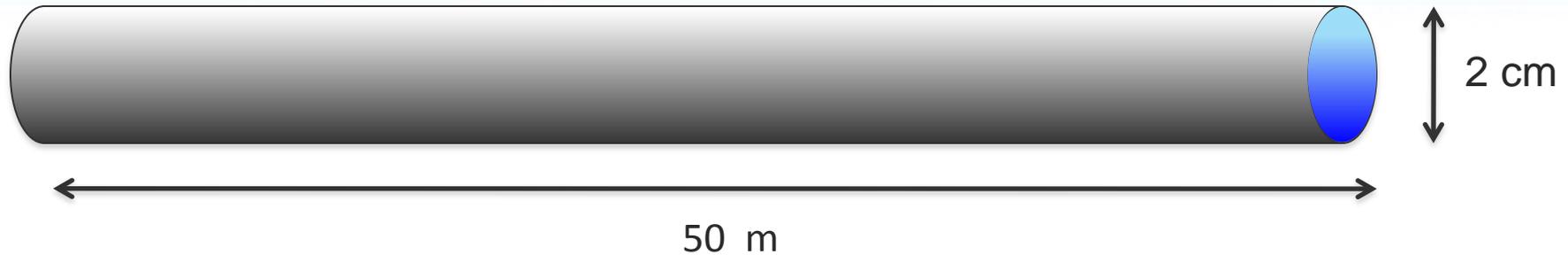


Bild (oben/unten): J. W. Costerton and Philip S. Stewart Scientific American, Juli 2001

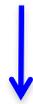
Bakterienkonzentrationen von
> 1×10^6 Zellen/cm²
sind normal in
Trinkwasserleitungen



Bakterien pro Haus



Suspendierte Zellen



$$\begin{aligned} \text{Wasser} &= 15'708 \text{ cm}^3 \\ &\text{und} \\ &1 \times 10^5 \text{ Zellen/mL} \\ &= \\ &1.6 \times 10^9 \text{ Zellen} \end{aligned}$$

Biofilm-Zellen



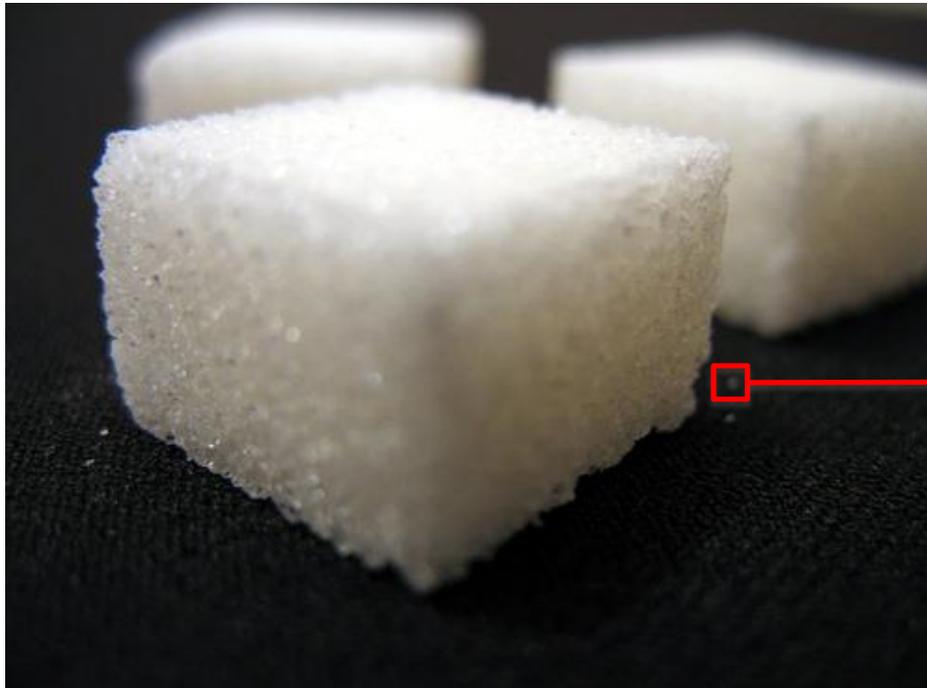
$$\begin{aligned} \text{Oberfläche} &= 31'415 \text{ cm}^2 \\ &\text{und} \\ &1 \times 10^6 \text{ Zellen/cm}^2 \\ &= \\ &3.1 \times 10^{10} \text{ Zellen} \end{aligned}$$

$$= 3.3 \times 10^{10} \text{ Zellen}$$

**Nur wenig Nährstoff wird benötigt, um viele
Bakterien zu produzieren**

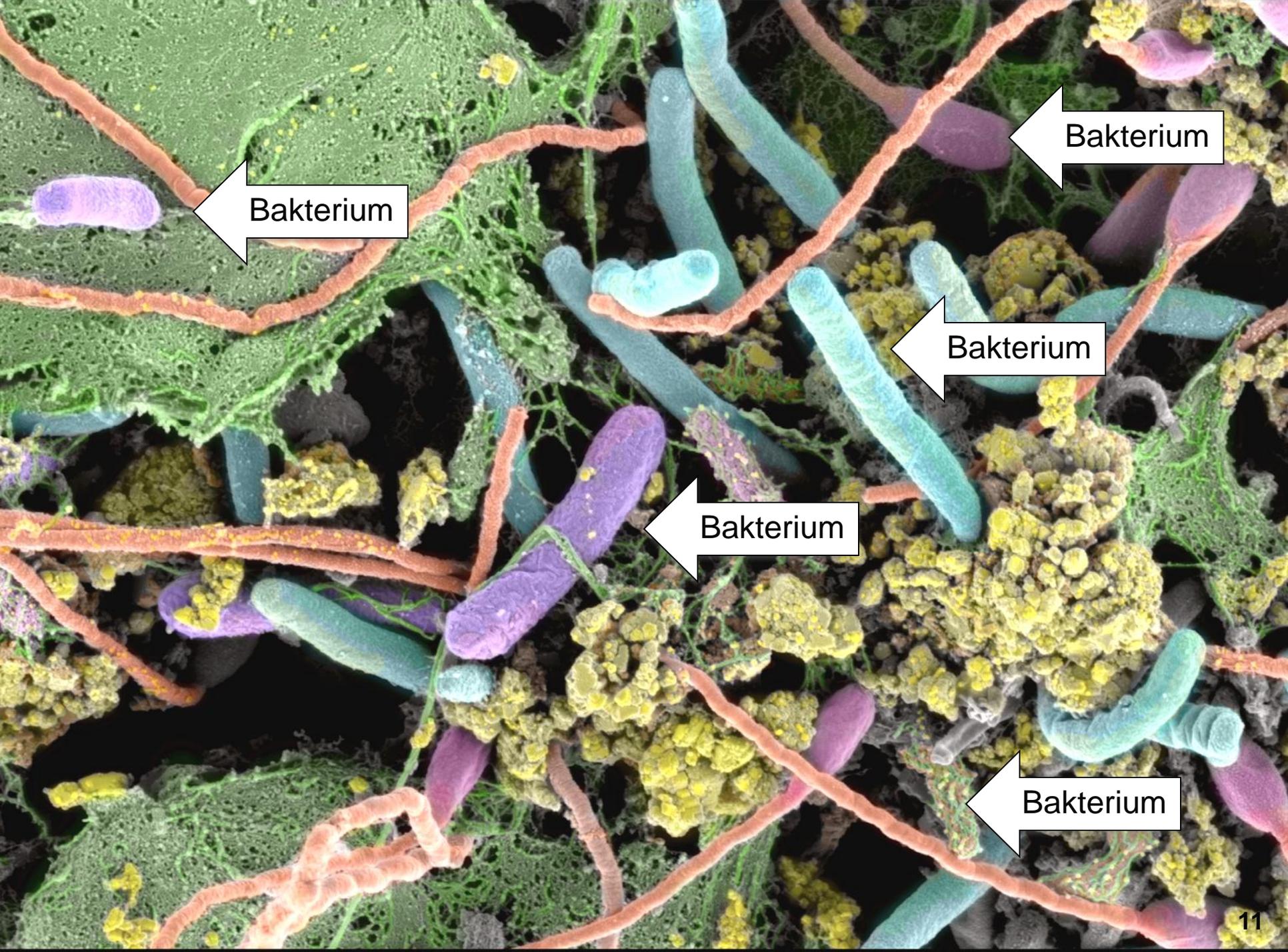
Nur wenig Nahrung...

1×10^7 Zellen pro Mikrogramm organischer Kohlenstoff



Nährstoff für 1×10^9 Zellen

Es gibt viele verschiedene Bakterien im Trinkwasser



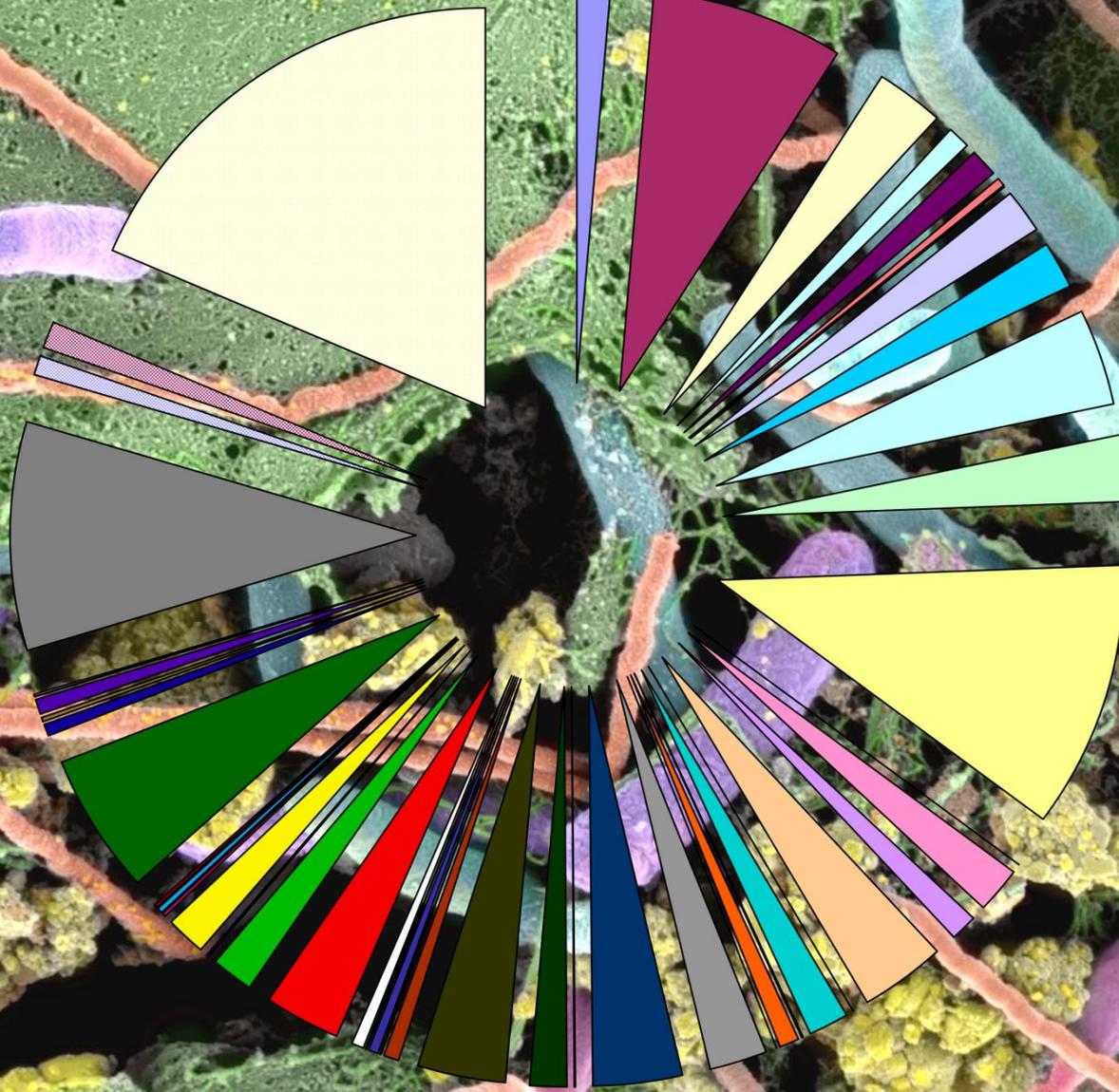
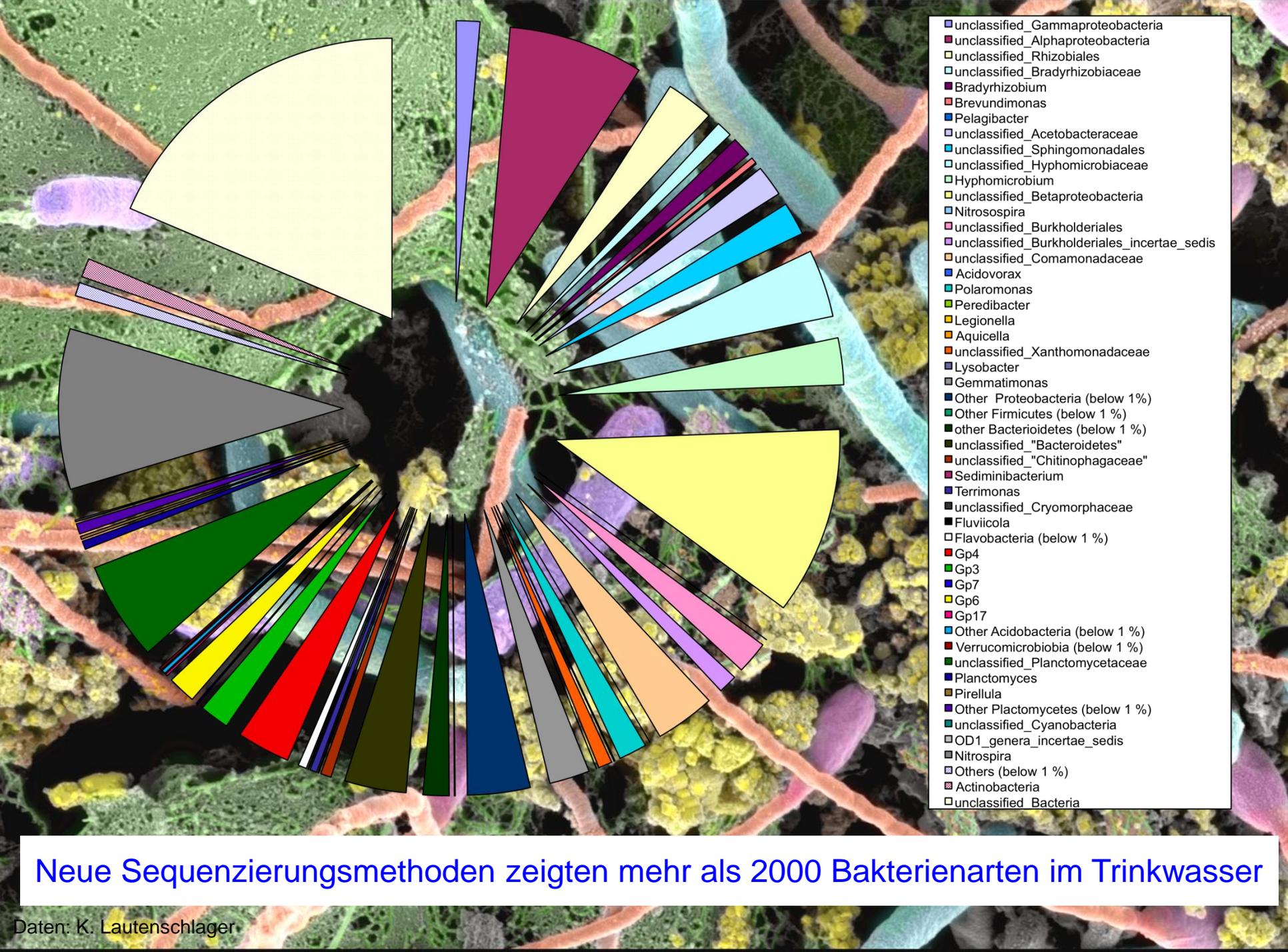
Bakterium

Bakterium

Bakterium

Bakterium

Bakterium

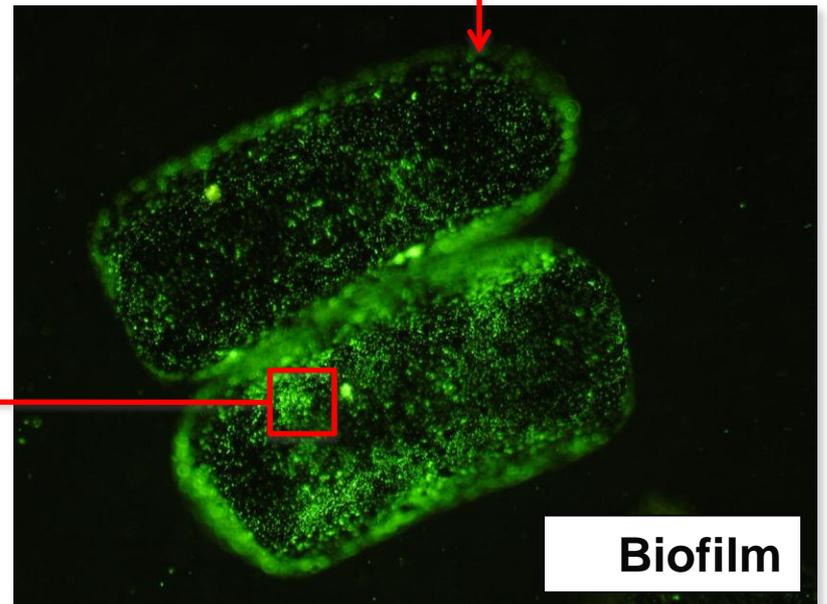
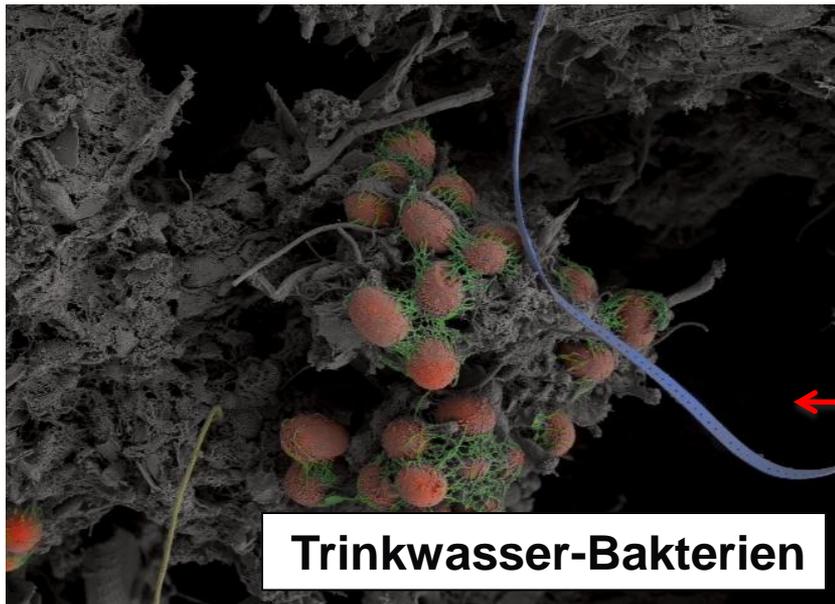
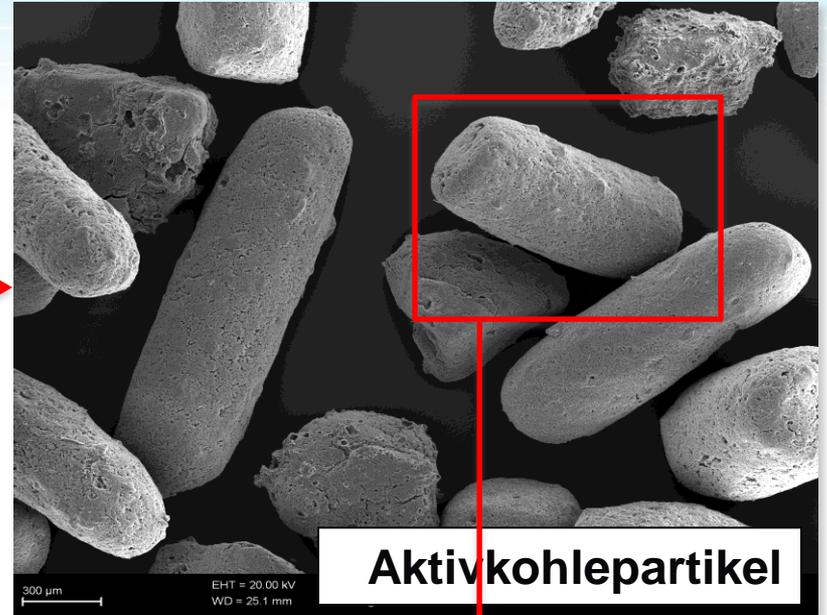
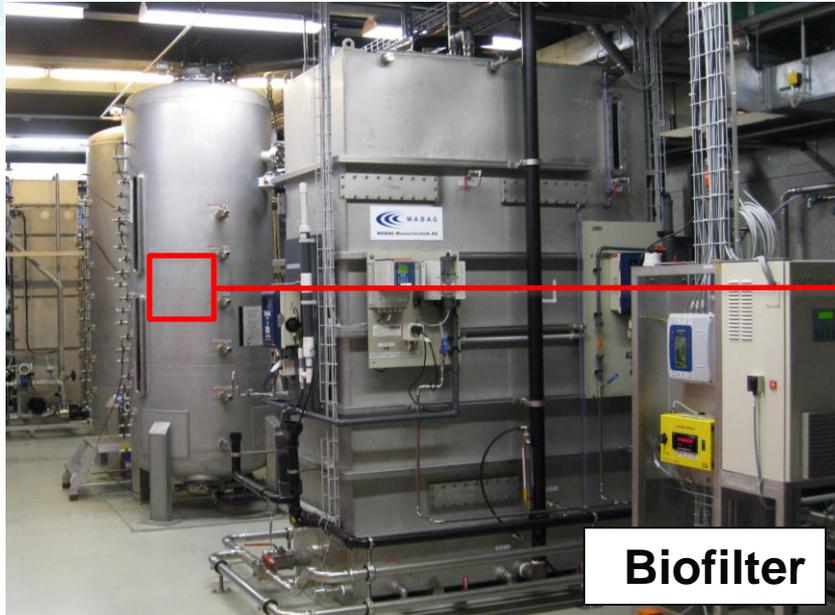


- unclassified_Gammaproteobacteria
- unclassified_Alphaproteobacteria
- unclassified_Rhizobiales
- unclassified_Bradyrhizobiaceae
- Bradyrhizobium
- Brevundimonas
- Pelagibacter
- unclassified_Acetobacteraceae
- unclassified_Sphingomonadales
- unclassified_Hyphomicrobiaceae
- Hyphomicrobium
- unclassified_Betaproteobacteria
- Nitrospira
- unclassified_Burkholderiales
- unclassified_Burkholderiales_incertae_sedis
- unclassified_Comamonadaceae
- Acidovorax
- Polaromonas
- Peredibacter
- Legionella
- Aquicella
- unclassified_Xanthomonadaceae
- Lysobacter
- Gemmatimonas
- Other Proteobacteria (below 1%)
- Other Firmicutes (below 1%)
- other Bacteroidetes (below 1%)
- unclassified_"Bacteroidetes"
- unclassified_"Chitinophagaceae"
- Sediminibacterium
- Terrimonas
- unclassified_Cryomorphaceae
- Fluviicola
- Flavobacteria (below 1%)
- Gp4
- Gp3
- Gp7
- Gp6
- Gp17
- Other Acidobacteria (below 1%)
- Verrucomicrobiobia (below 1%)
- unclassified_Planctomycetaceae
- Planctomyces
- Pirellula
- Other Plactomycetes (below 1%)
- unclassified_Cyanobacteria
- OD1_genera_incertae_sedis
- Nitrospira
- Others (below 1%)
- Actinobacteria
- unclassified_Bacteria

Neue Sequenzierungsmethoden zeigten mehr als 2000 Bakterienarten im Trinkwasser

**Verbraucher haben in der Regel eine negative
Wahrnehmung von Bakterien im Trinkwasser**

... aber, die meisten Bakterien im Trinkwasser sind vollkommen unschädlich und sie sind oft nützlich und funktionell relevant.



**Die Mehrheit des Trinkwassers in der Schweiz wird ohne
Zugabe von chemischen Desinfektionsmitteln verteilt**

Biologische Stabilität

Eine Entfernung von verwertbaren Nährstoffen verhindert unerwünschtes Bakterienwachstum



Wann sind Trinkwasserbakterien problematisch?

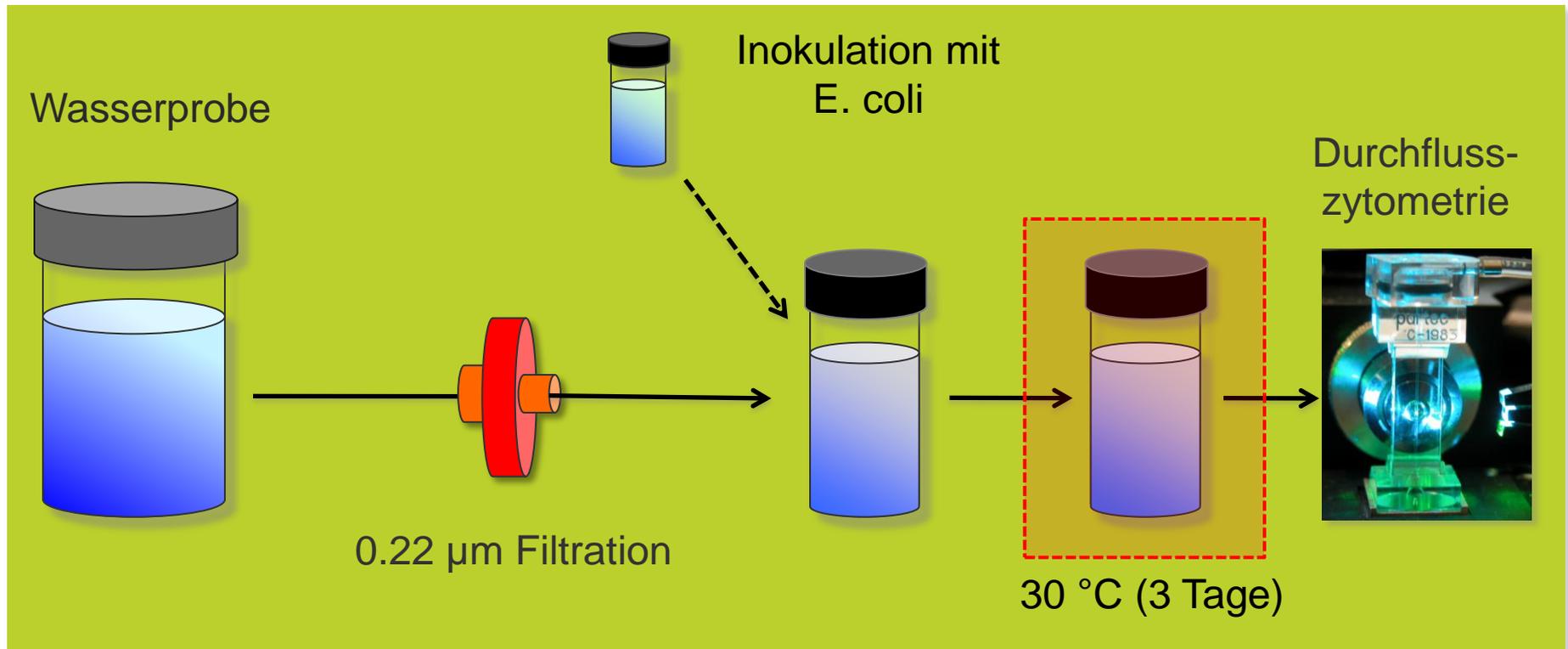
Wann sind Trinkwasserbakterien problematisch?

Verschiedene Probleme durch übermässiges **Bakterienwachstum** können auftreten:

- Schleim
- Ablagerungen
- Biofilmbildung
- Geruch, Geschmack und Trübung
- Wachstum von pathogenen Bakterien

Der Pathogen-Wachstumspotenzial-Test (PWP)

Der Test bestimmt, ob und wie stark ein Pathogen in Wasser unter optimalen Bedingungen wachsen kann, ohne Konkurrenz mit anderen Bakterien





Nährstoffbedarf und
Nährstoffpräferenzen



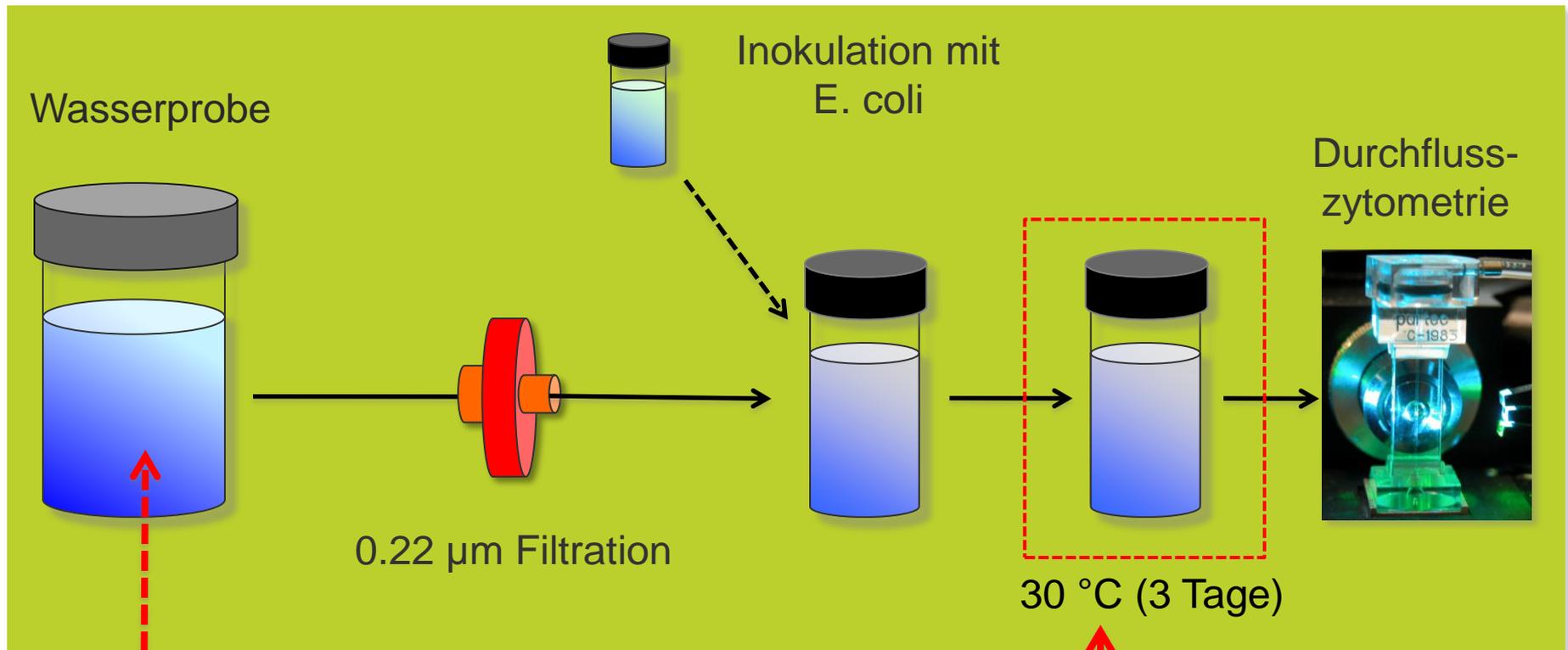
Wie wachsen (pathogene) Bakterien?



Temperaturabhängigkeit

Der Pathogen-Wachstumspotenzial-Test (PWP)

Ein experimentelles Modell für das bakterielle Wachstum im Trinkwasser

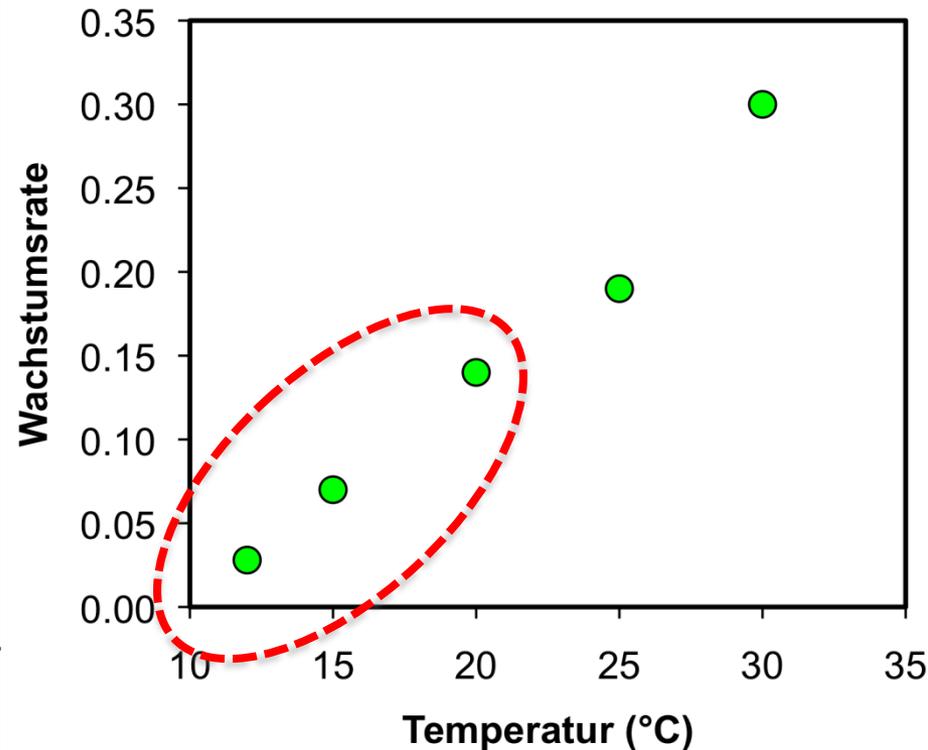
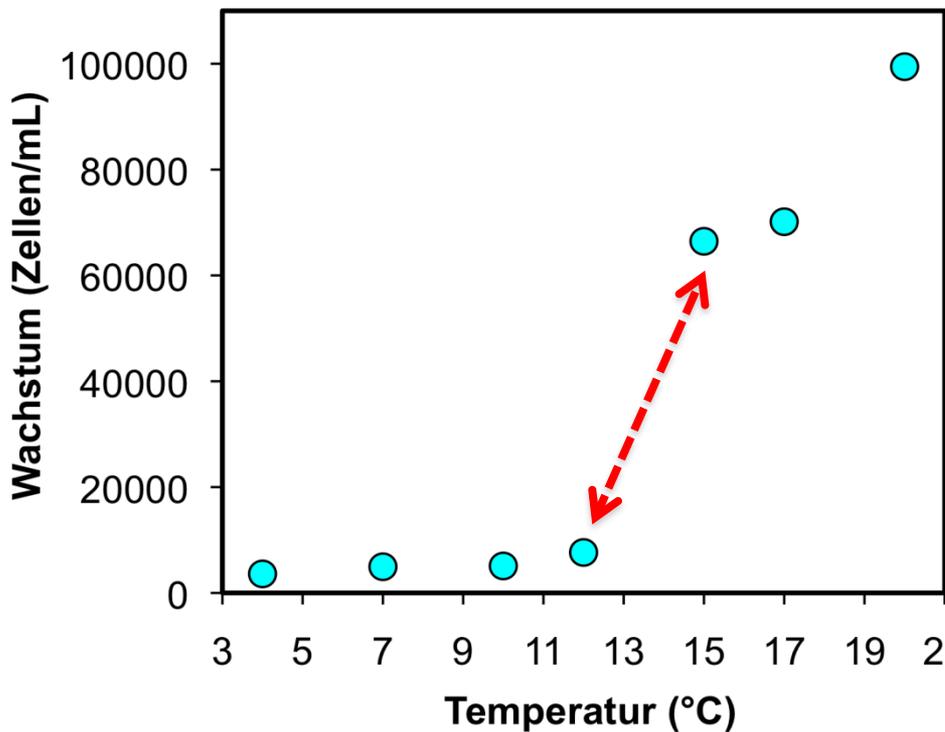


Nährstoffbedarf

Temperaturabhängigkeit

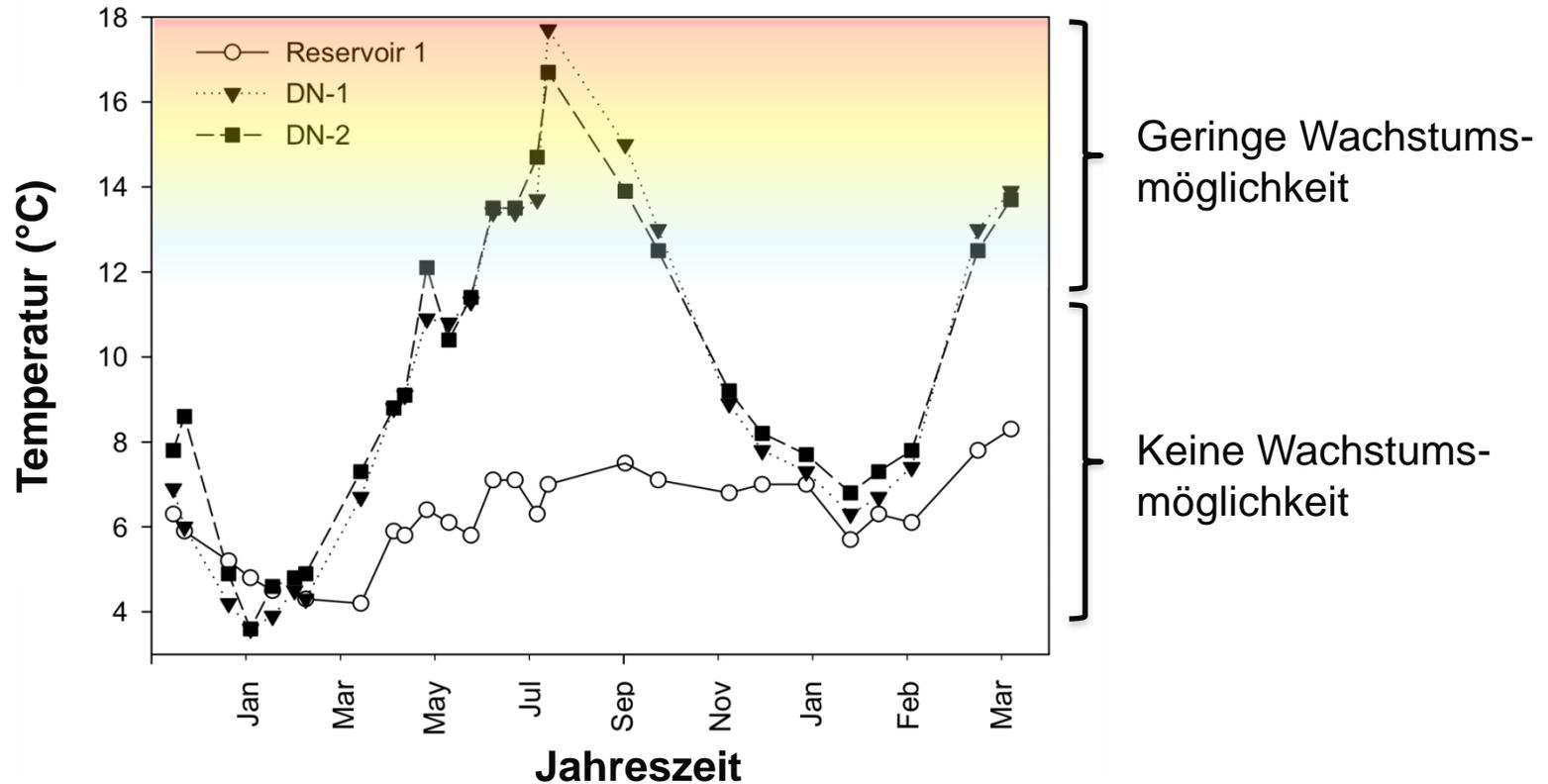
Temperatur und Wachstum

Unterschiedliche Bakterien bevorzugen unterschiedliche Temperaturen für das Wachstum



- Die Minimaltemperatur: 10 – 15 °C
- Höhere Temperatur = schnelleres Wachstum

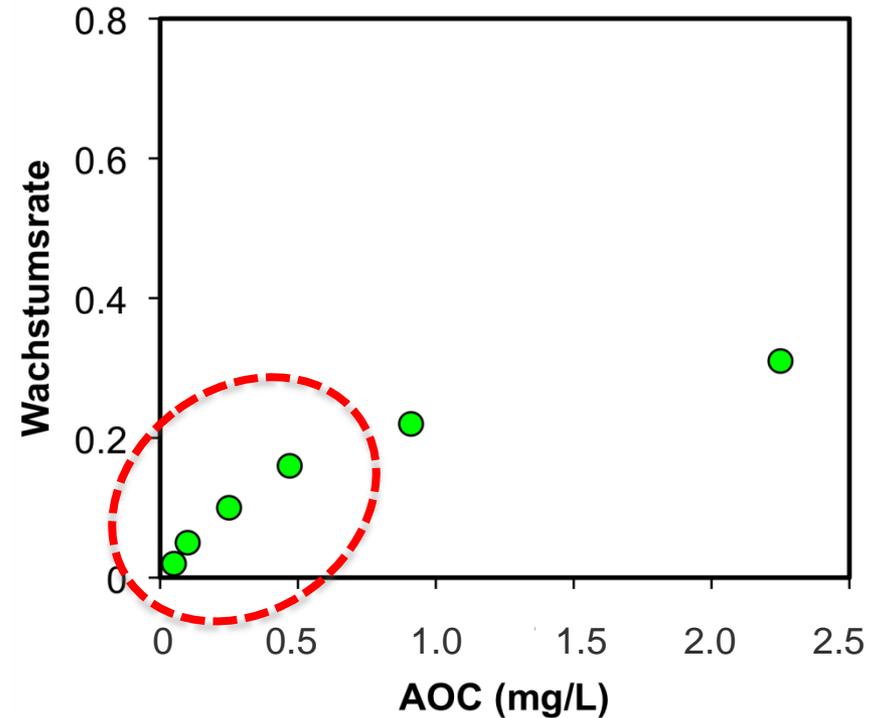
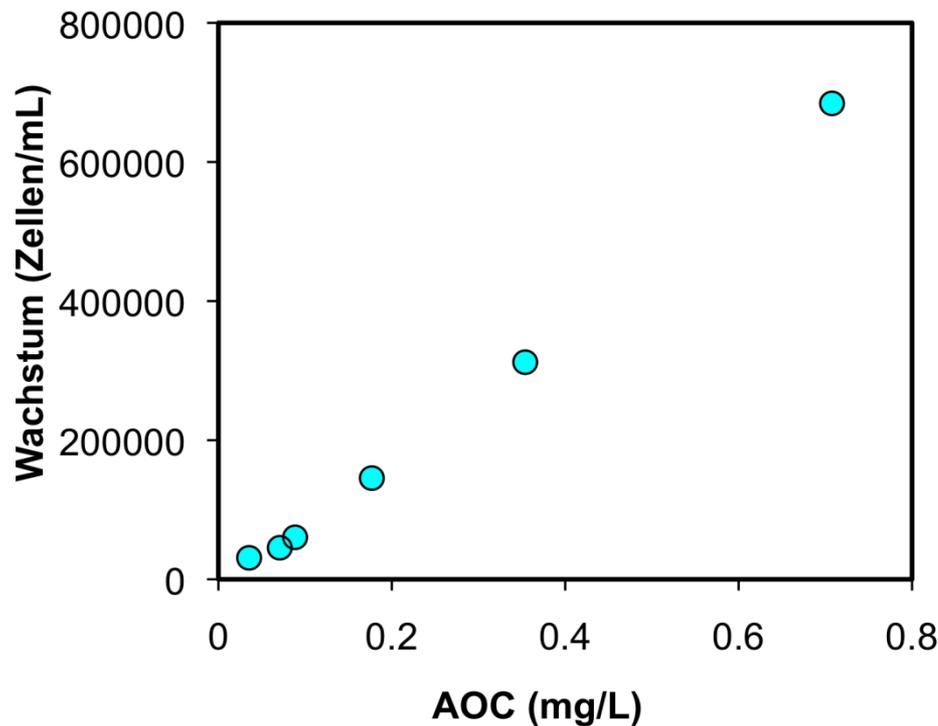
Temperatur und Wachstum



- Die Temperatur im Zürcher Trinkwasser-System: 4 – 18 °C
- Deshalb wirklich nicht optimal für Wachstum

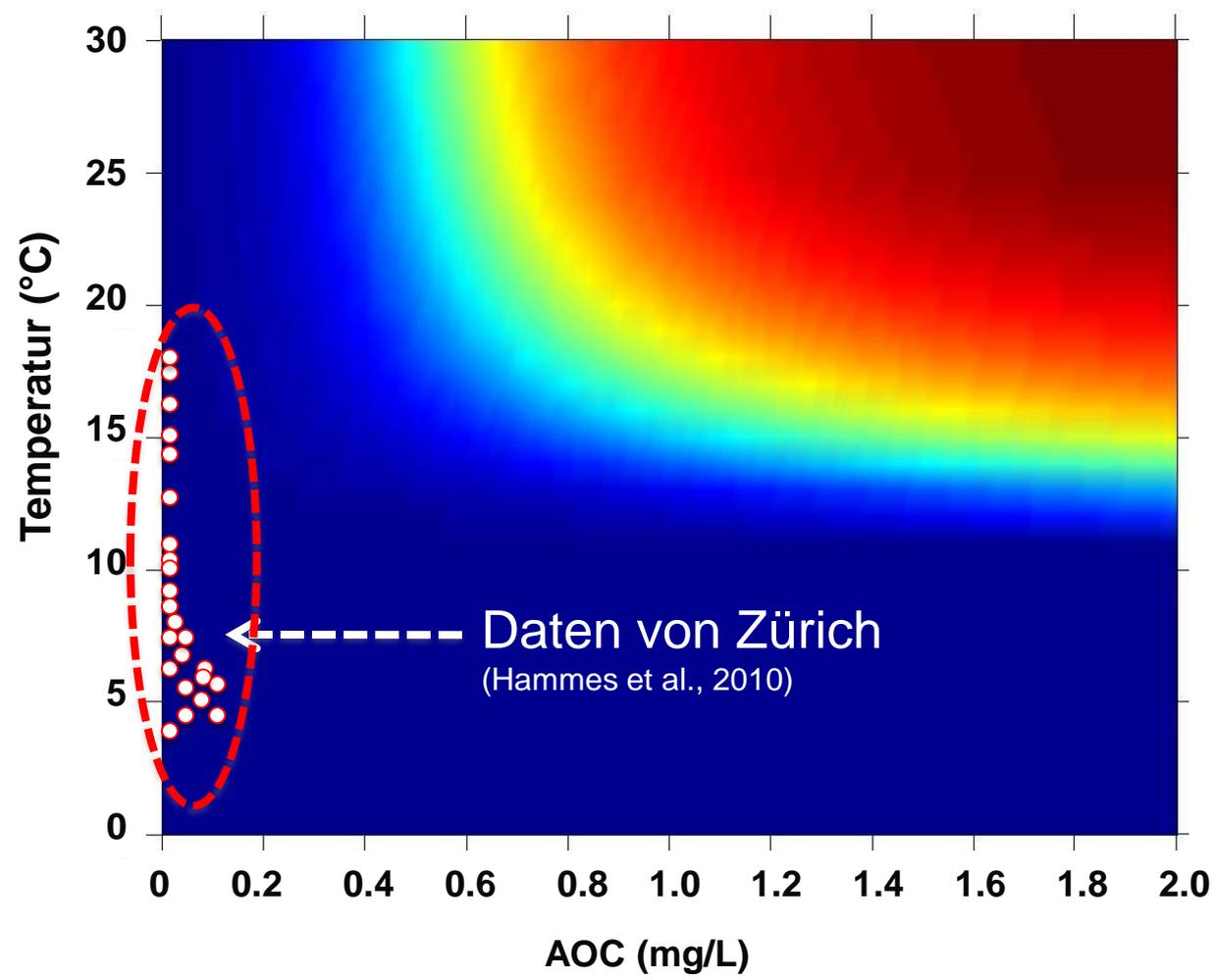
Nährstoffbedarf

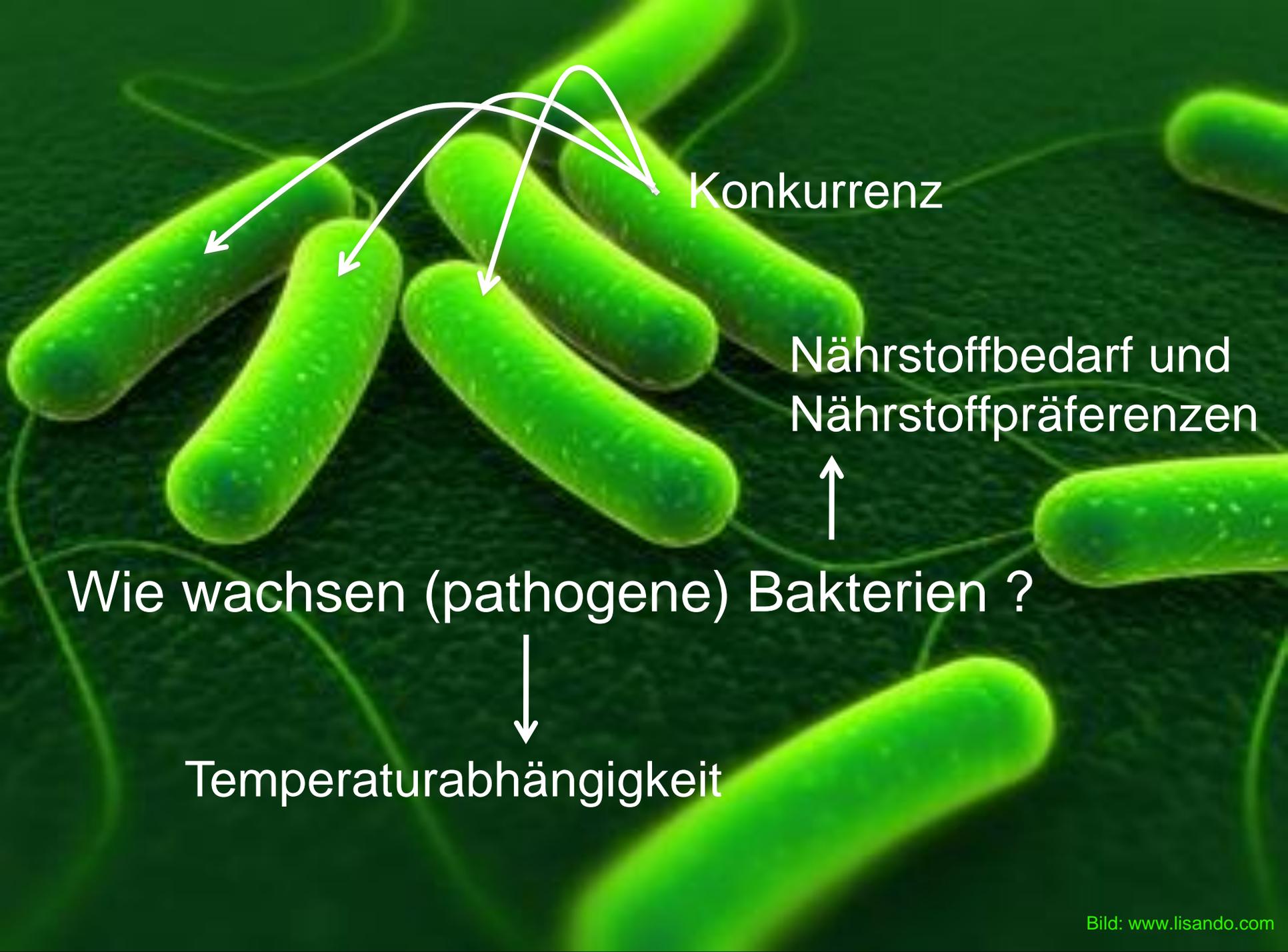
Die verfügbaren Nährstoffe bestimmen, ob Bakterien wachsen, wie viel sie wachsen und wie schnell sie wachsen.



- Eine Ausbeute von etwa 1×10^6 Zellen/ μg AOC
- Wachstum ist langsamer bei niedrigeren Konzentrationen

Risiko für bakterielles Wachstum





Konkurrenz

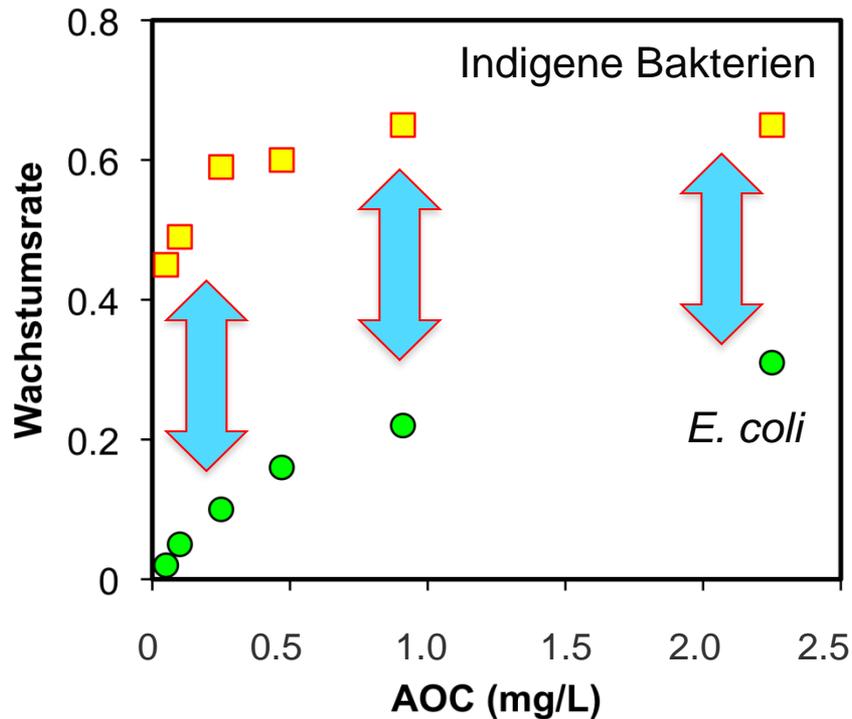
Nährstoffbedarf und
Nährstoffpräferenzen

Wie wachsen (pathogene) Bakterien ?

Temperaturabhängigkeit

Konkurrenz um Nährstoffe

Der Wert einer indigenen mikrobiellen Gemeinschaft



Indigene Bakterien wachsen viel schneller als *E. coli*

Zusammenfassung

Anwesenheit



der Umweltbedingungen ermöglichen Wachstum
(Nährstoff, Temperatur)



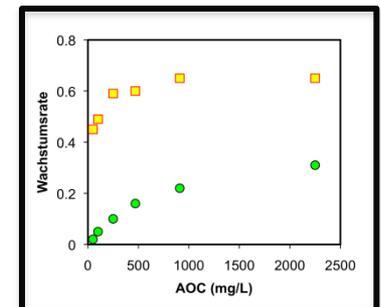
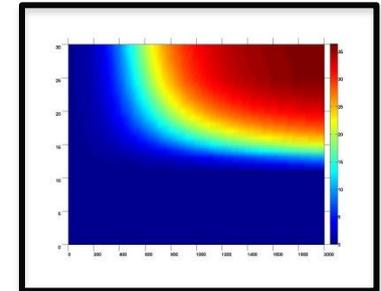
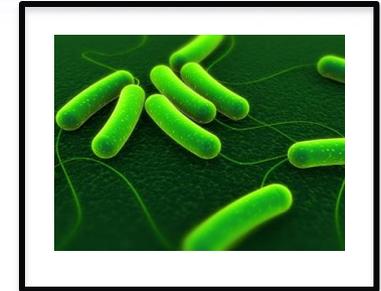
Risiko
für bakterielles Wachstum



Konkurrenz



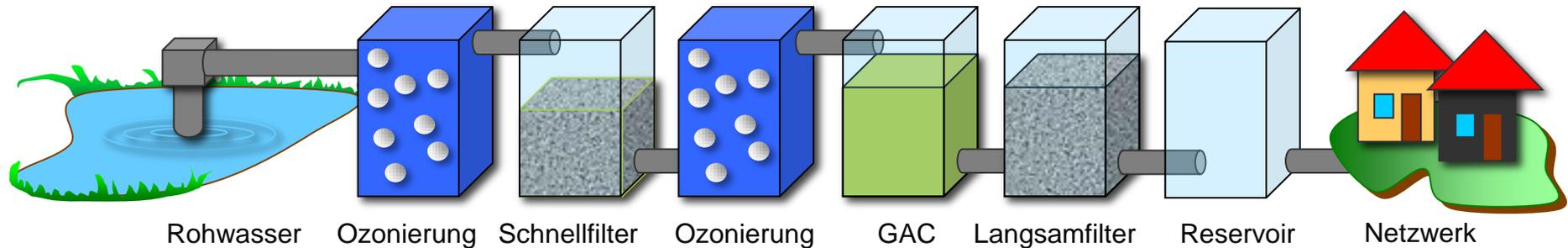
Umfang
des bakteriellen Wachstums



Wie produziert man sauberes Trinkwasser?

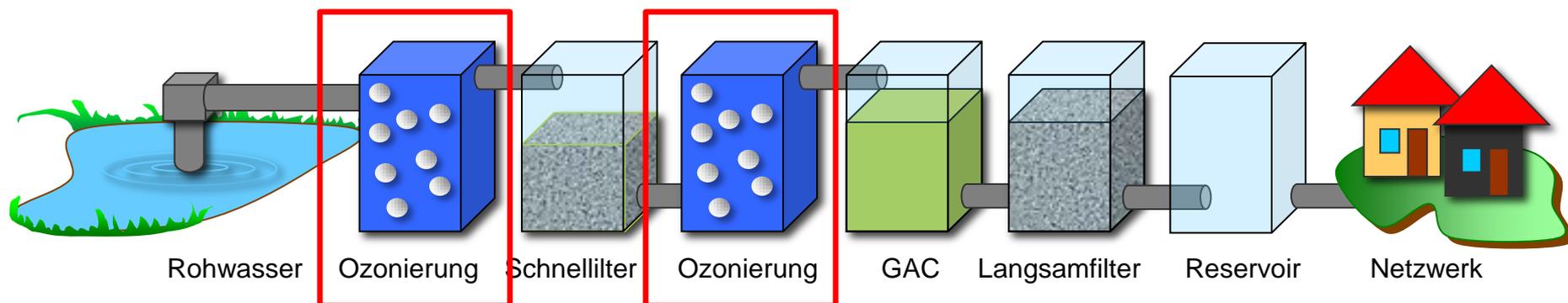
Das Hauptaugenmerk der Trinkwasserproduktion liegt im Prinzip auf der Produktion qualitativ hochstehenden und **biostabilen Wassers** in Kombination mit einem **hochqualitativen und intakten Verteilnetz**.

Biologische Stabilität im Zürcher Trinkwasser



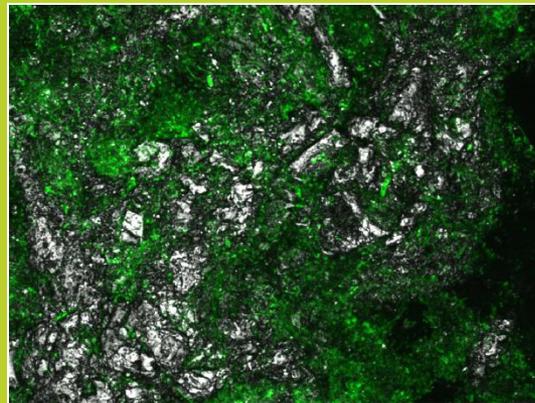
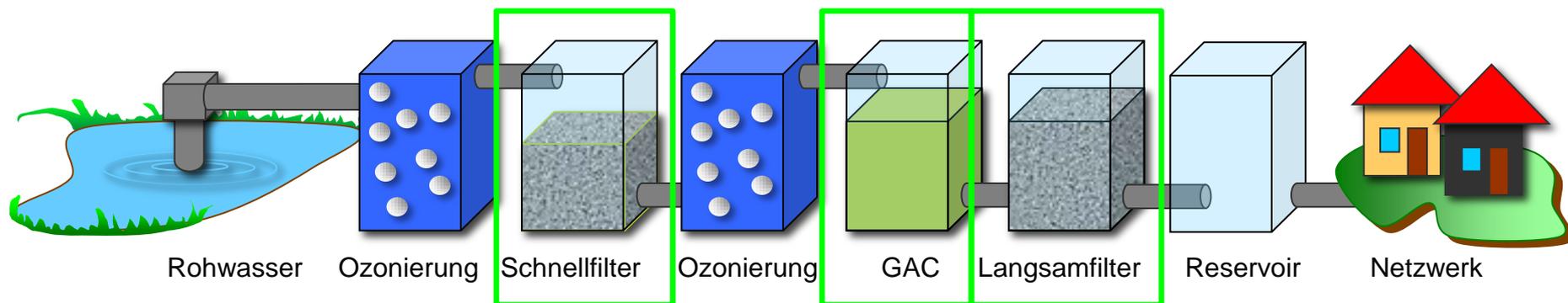
Das Hauptaugenmerk der Trinkwasserproduktion liegt im Prinzip auf der Produktion qualitativ hochstehenden und **biostabilen Wassers** in Kombination mit einem **hochqualitativen und intakten Verteilnetz**.

Biologische Stabilität im Zürcher Trinkwasser

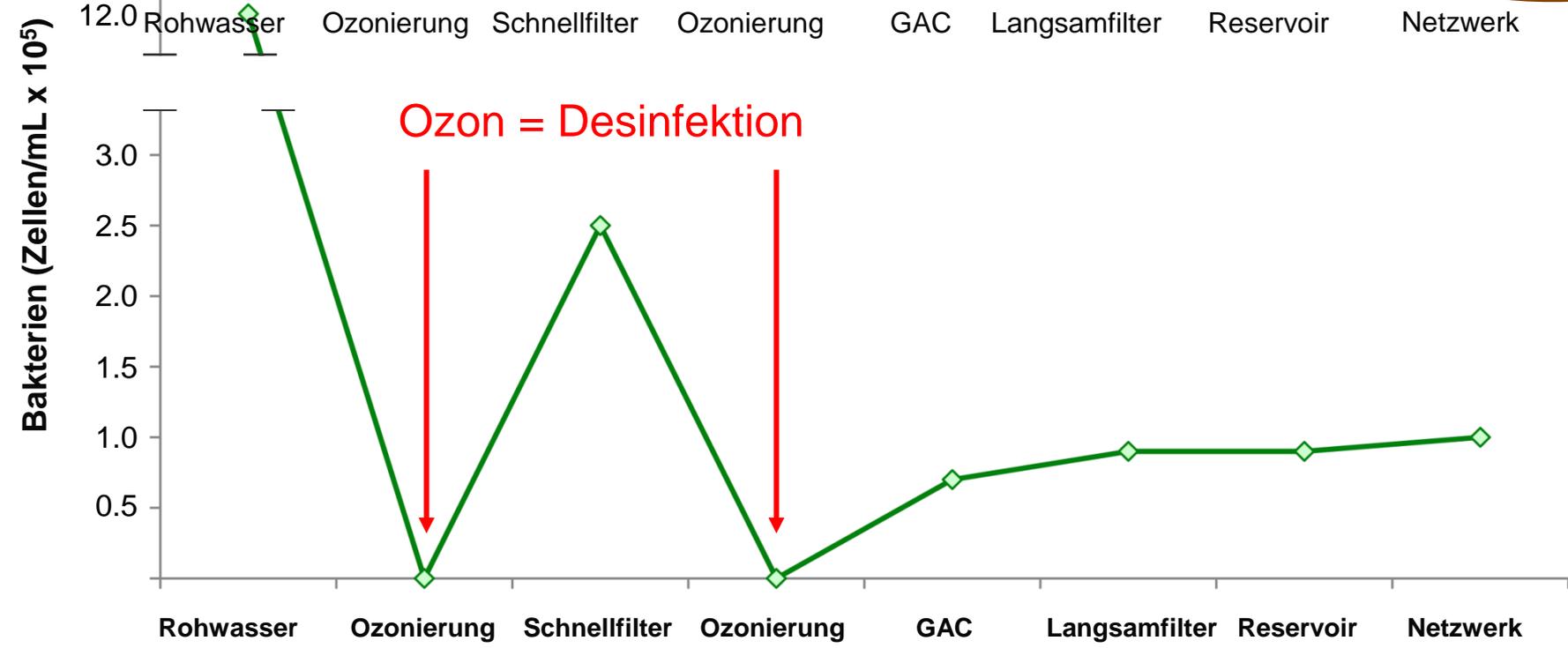
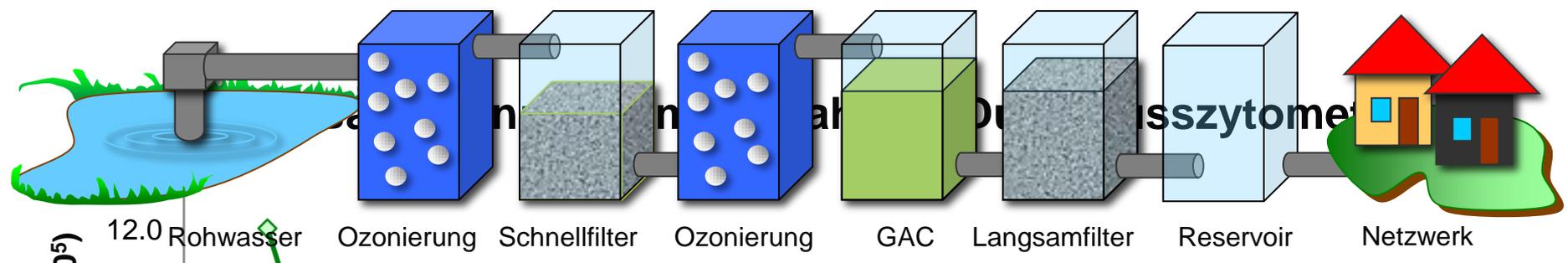


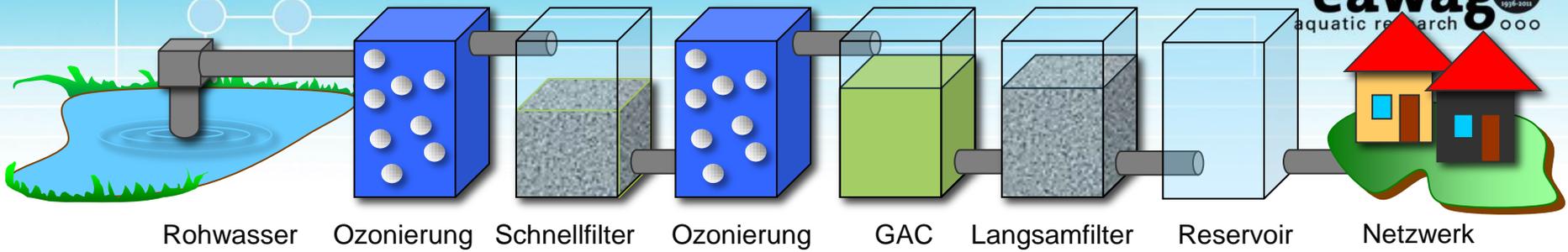
Das behandelte Wasser wird verteilt **ohne** die Zugabe von Chlor oder anderen chemischen Netzschutzmitteln

Biologische Stabilität im Zürcher Trinkwasser

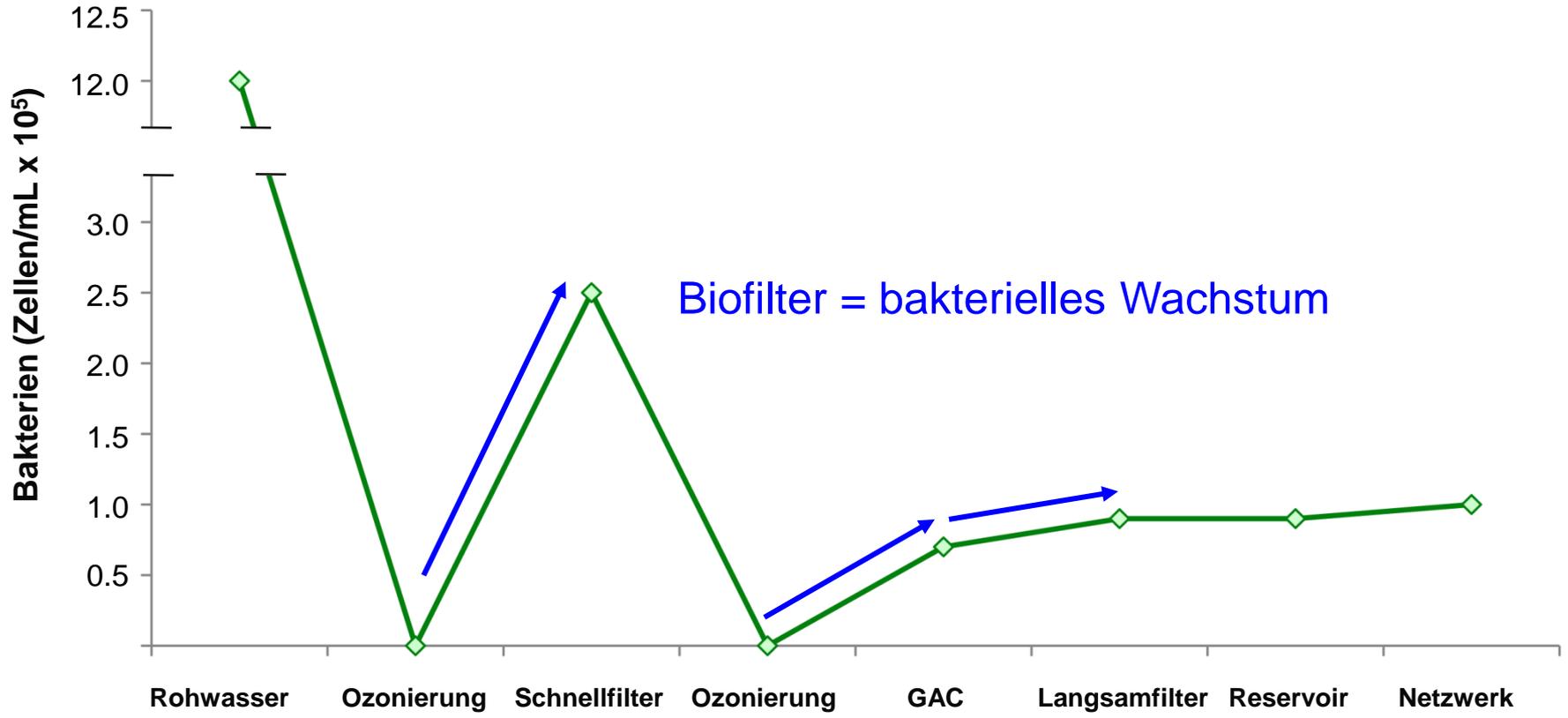


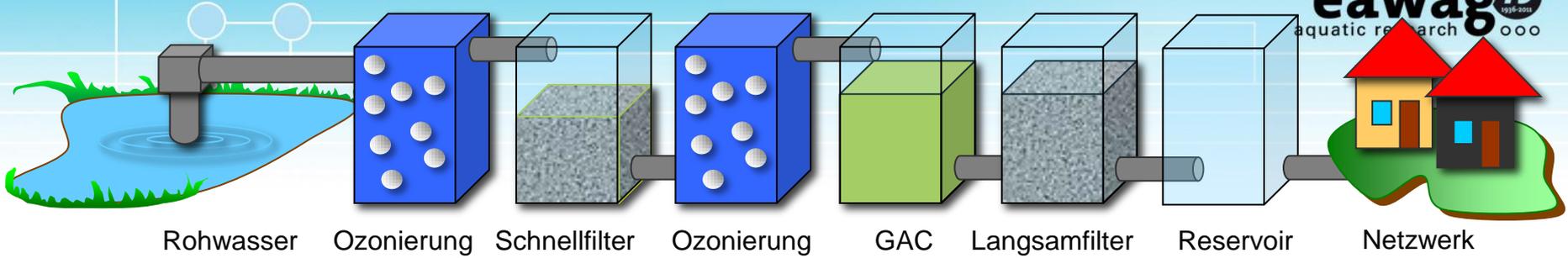
Das behandelte Wasser wird verteilt **ohne** die Zugabe von Chlor oder anderen chemischen Netzschutzmitteln



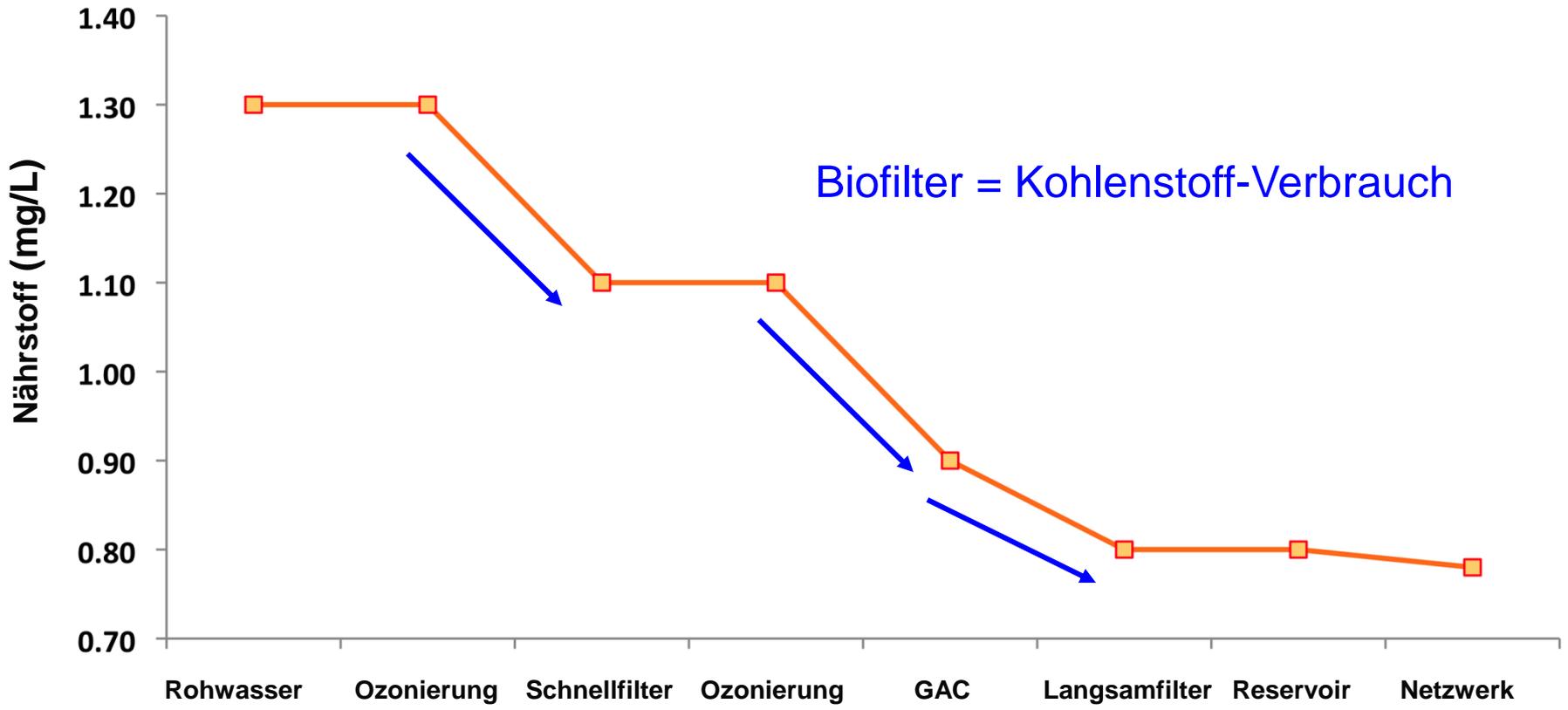


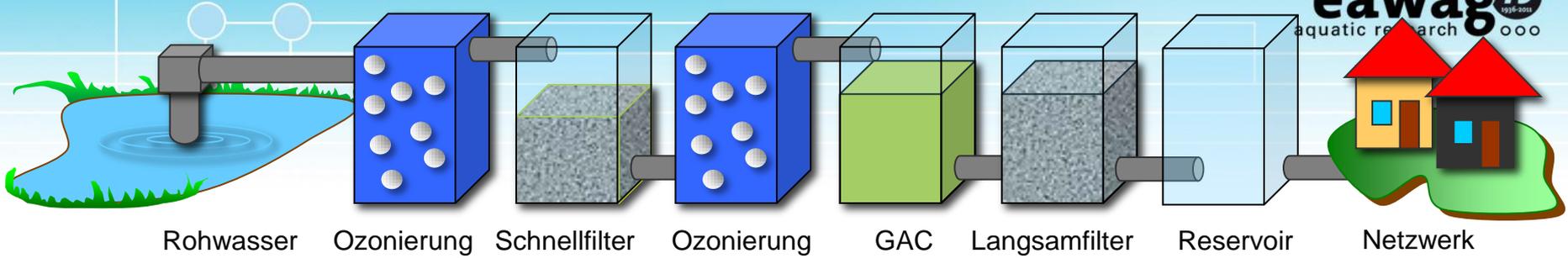
Bakterien: Gesamtzellzahl mit Durchflusszytometrie



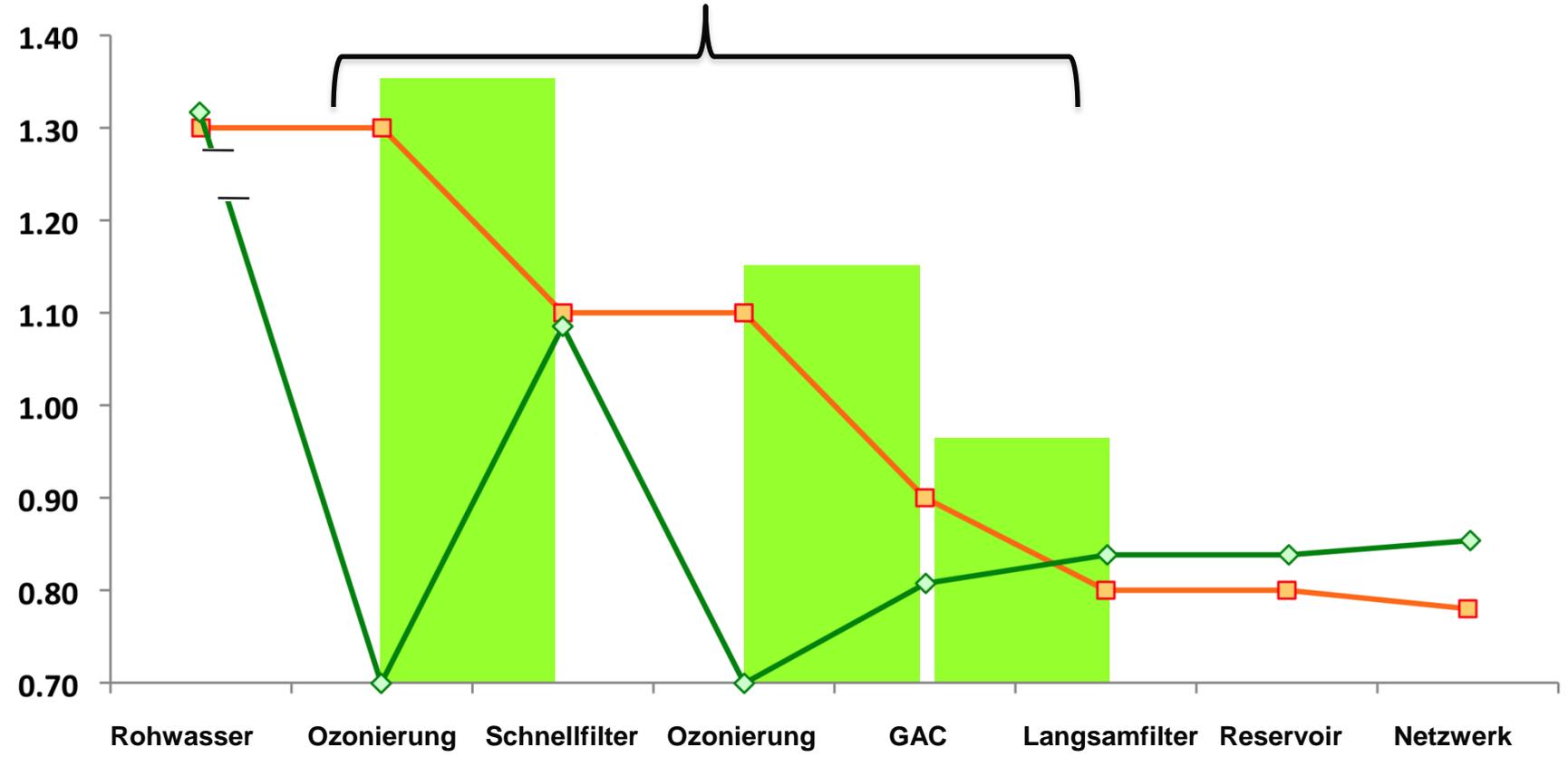


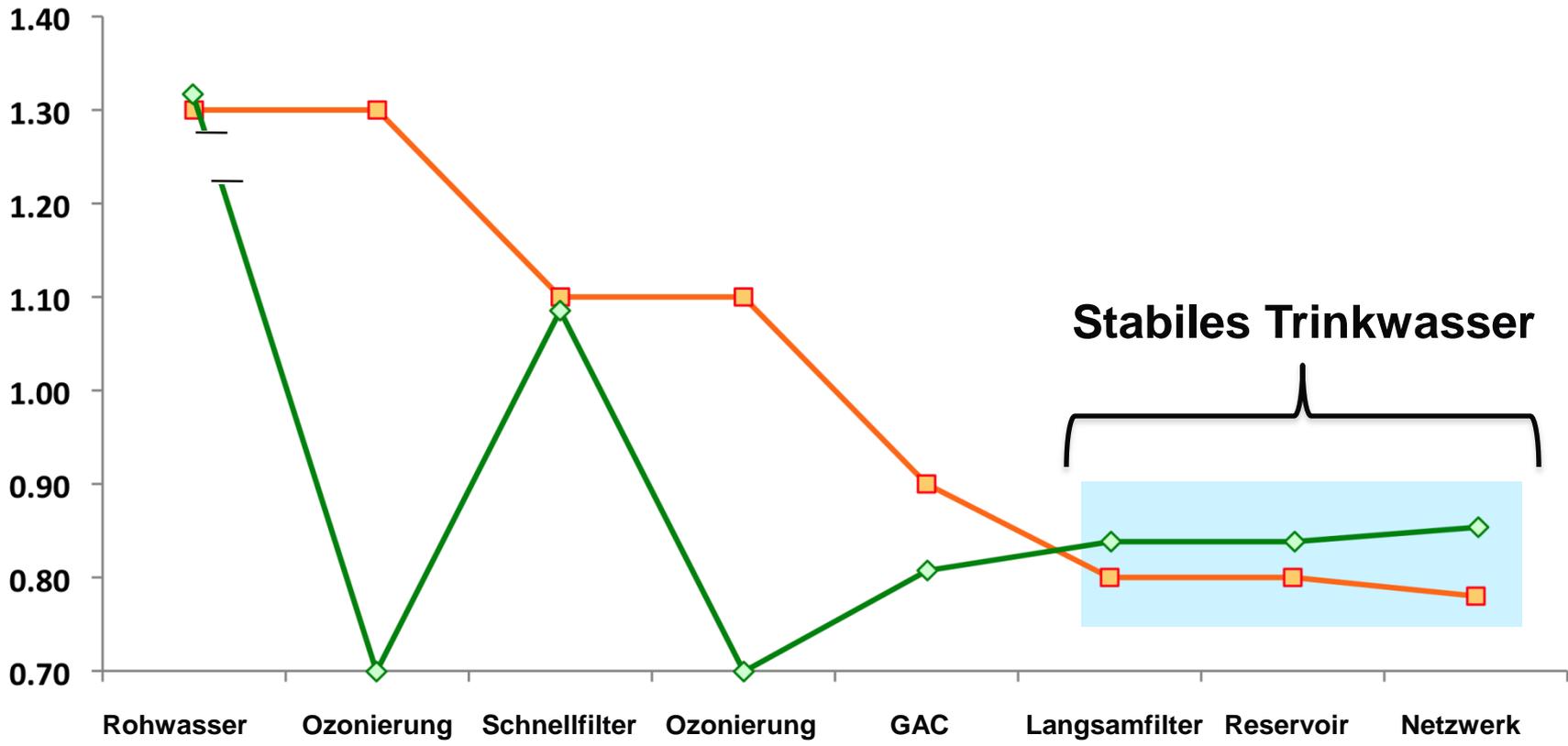
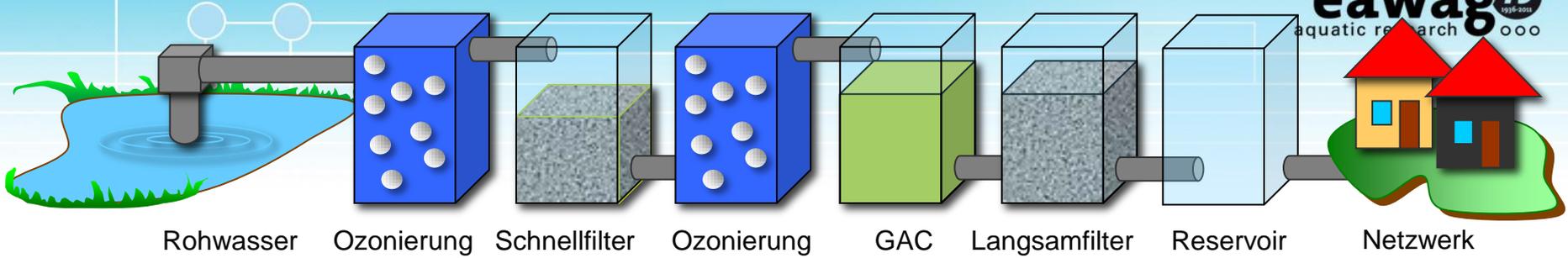
Nährstoff: Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)





Biologische Stabilisierung





Zusammenfassung

Die Anwesenheit von indigenen Bakterien im Trinkwasser ist normal und natürlich.

Diese Bakterien spielen eine wichtige Rolle bei der Aufbereitung von sauberem Trinkwasser und biologischen Stabilisierung des Netzwerks.

Wichtig ist, übermässiges Wachstum generell und das Wachstum von Pathogenen zu vermeiden.

Die Produktion eines biologisch stabilen Wassers ist eine gute nachhaltige Methode, um Bakterienwachstum während der Verteilung von Trinkwasser zu vermeiden/minimieren.