



BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung (Wave II)“

Querschnittsthema “Technologien und Verfahren” im Bereich landwirtschaftliche Bewässerung

Thomas Wintgens / RWTH Aachen University

Abschlusskonferenz, 8./9. Oktober 2024
Frankfurt am Main

GEFÖRDERT VOM



1

Ziele des Querschnittsthemas



- 13 Verbundprojekte
- 55 Verfahren von AOP bis UO
- Entwicklung einer Verfahrensübersicht
- Kategorisierung der Verfahren
- Regelmäßiger Informationsaustausch

2

Querschnittsthema „Technologien & Verfahren“ im Bereich Landwirtschaft, T. Wintgens, Frankfurt am Main, 09.10.2024

2

Übersicht der eingesetzten Verfahren in den Projekten (2) (aus QST Technologien & Verfahren - Verfahrensübersicht)



Projekt	Themenfeld	Art des Verfahrens	Verfahren/Technologie	Verfahrenskombinationen
FlexTreat	Kommunales Abwasser	Desinfektion	UV	Ozon + Biofiltration + UV
FlexTreat	Kommunales Abwasser	Desinfektion	UV	Retentionsbodenfilter (RBF+) + UV
FlexTreat	Kommunales Abwasser	Desinfektion	UV-LED	UV-LED
FlexTreat	Kommunales Abwasser	Desinfektion	eChlorung	Low Tech Water Reuse mit eChlorung
HypoWave+	Kommunales Abwasser	Desinfektion	UV Strahler	Mikrosieb, AK-Biofilter, Sandfilter, Speicher- und Mischbehälter (Dosierung von (Mikro-)Nährstoffen), UV Strahler
Nutzwasser	Kommunales Abwasser	Desinfektion	Ozonierung	innovativer Multibarrieren-Behandlungsverfahren: Ozonierung, UV, UF, PAK/Micro-PAK
Nutzwasser	Kommunales Abwasser	Desinfektion	UV	innovativer Multibarrieren-Behandlungsverfahren: Ozonierung, UV, UF, PAK/Micro-PAK
PU2R	Kommunales Abwasser	Desinfektion	UV	MBR + UV-Desinfektion

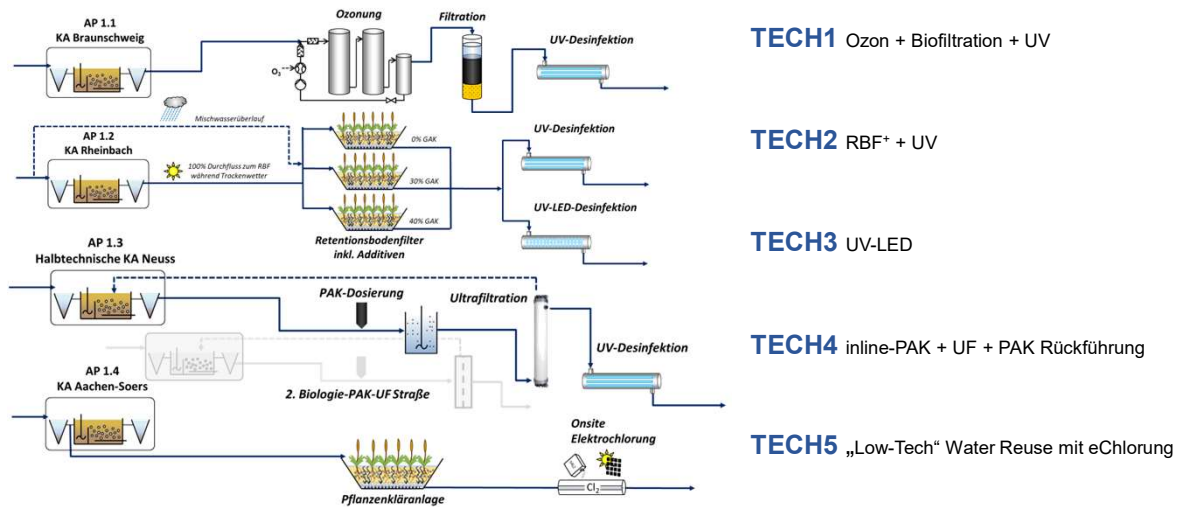
3 Querschnittsthema „Technologien & Verfahren“ im Bereich Landwirtschaft, T. Wintgens, Frankfurt am Main, 09.10.2024

3

Technische Innovationen in FlexTreat




Erweiterung der *Best Available Technologies* (BAT) für die landwirtschaftliche Wiederverwendung




4 Querschnittsthema „Technologien & Verfahren“ im Bereich Landwirtschaft, T. Wintgens, Frankfurt am Main, 09.10.2024

4

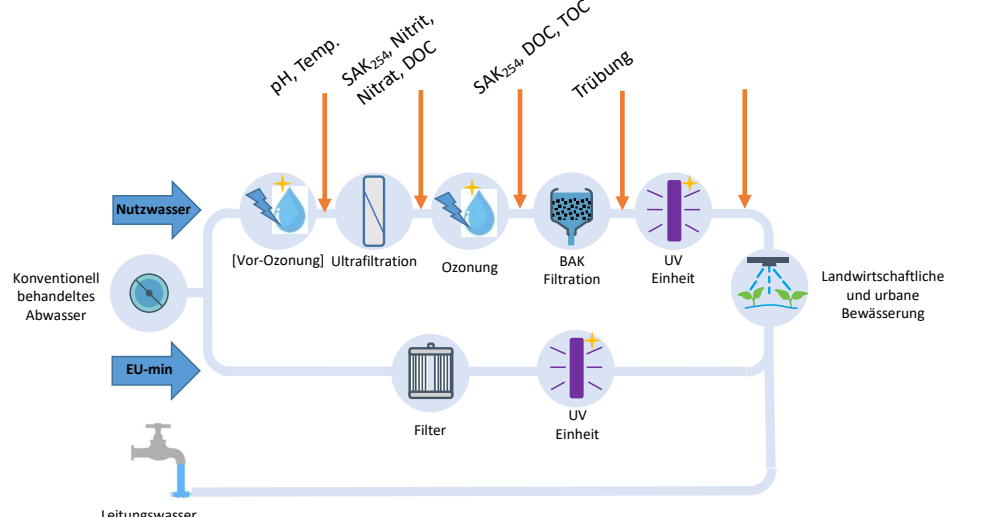
Online Prozesskontrolle Nutzwasser-Aufbereitung Schweinfurt - Messtechnik und Übergabepunkte



Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung




Wassertechnologien: Wiederverwendung




5 Querschnittsthema „Technologien & Verfahren“ im Bereich Landwirtschaft, T. Wintgens, Frankfurt am Main, 09.10.2024

5

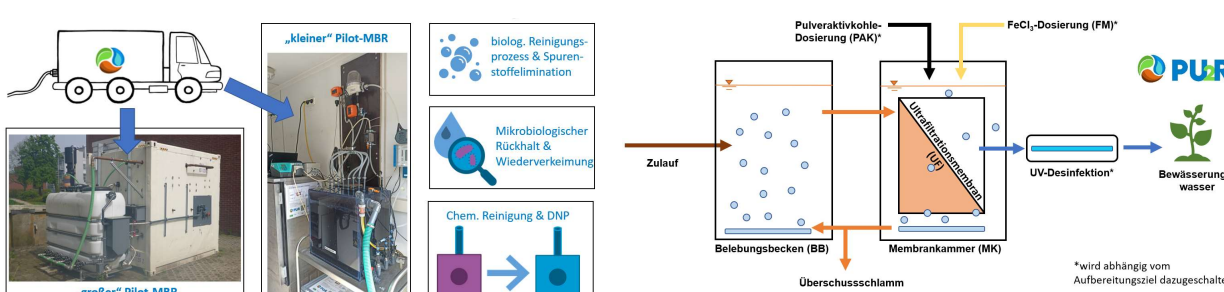
Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung: Membranbioreaktor (MBR) – Projekt PU₂R



Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung



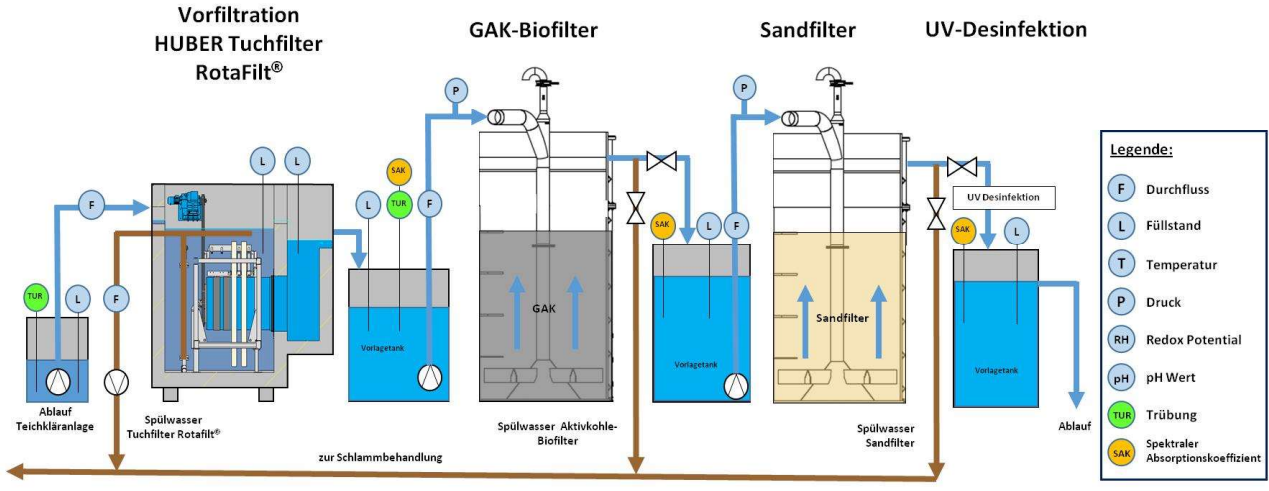
Wassertechnologien: Wiederverwendung



6 Querschnittsthema „Technologien & Verfahren“ im Bereich Landwirtschaft, T. Wintgens, Frankfurt am Main, 09.10.2024

6

Aufbereitung des Bewässerungswassers in Weißenberge



7 Querschnittsthema „Technologien & Verfahren“ im Bereich Landwirtschaft, T. Wintgens, Frankfurt am Main, 09.10.2024

7

Factsheets Querschnittsthema Technologien



Entwurf Struktur Fact Sheet – Projekte Themenfeld Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser

Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen und urbanen Bewässerung: Projekt Nutzwasser

Einführung
Im Projekt Nutzwasser, in Zusammenarbeit mit 12 Praxispartnern wurde untersucht, ob aufbereiteter Kläranlagenablauf als alternative Wasserressource für urbane und landwirtschaftliche Anwendungen in Deutschland genutzt werden kann. Ziel war es, flexible Strategien zur Wasserwiederverwendung zu entwickeln und in praktischen Demonstrationen zu optimieren, um die Übertragbarkeit auf andere Regionen zu beschleunigen. Das Projekt umfasste die Bereitstellung von hochwertigem Wasser durch eine Multibarrieren-Aufbereitungsanlage (UF-Ozonung-BAK-UV) sowie Qualitätssicherungsmaßnahmen. Zudem wurden innovative Technologien wie IoT-basierte Echtzeit-Bestimmung des Bewässerungsbedarfs und neue Ansätze für urbane Wasserversorgungsstrukturen getestet. Kosten, rechtliche Anforderungen und Geschäftsmodelle wurden ebenfalls berücksichtigt.



Entwurf Struktur Fact Sheet – Projekte Themenfeld Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser

Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung: Ozonung mit UV-Desinfektion

Einführung
In Braunschweig wird bereits seit über 85 Jahren gereinigtes Abwasser für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen genutzt (ca. 2700 ha). Da das Abwasser bisher nicht desinfiziert wurde, ist das Anbauspektrum auf Energie- und Industriepflanzen beschränkt. Im Rahmen des Projekts „FloxTreat“ sollen durch die Kombination von erprobten Verfahren (Ozonung, Filtration und UV-Desinfektion) synergistische Effekte genutzt werden, um Spurenstoffe zu entfernen und gleichzeitig eine Desinfektion zu erzielen. Bei einer großtechnischen Umsetzung könnte das Anbauspektrum der in Braunschweig bewässerten Flächen erweitert werden.



- **Wasser:** Ablauf Nachklärung der GKS Kläranlage Steinhof (Braunschweig)
- **Ozonung:** Injektionsystem mit ASAC₂-Regelung (0,13 - 0,61 mg O₃/mg DOC, Q = 7 m³/h)
- **Filtration:** Zweis parallele Zweschichtfilter (Anthrazit/Sand, keine Flockung, Q_{max} = 1,8 m³/h)
- **UV:** Niederdruckstrahler ohne Regelung (XX - XX J/m², Q = 1,5 m³/h)
- **Hochbeet:** Aufbau von sieben Pflanzenzentren im Hochbeet, Bewässerung mit Ablauf UV

Fact Sheet – Projekt P3UR – Themenfeld Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser

Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung: Membranbioreaktor (MBR)

Einführung
Ein Hindernis für die Wiederverwendung von aufbereitetem Wasser sind die oft großen Entfernungen zwischen den Kläranlagen in der Nähe urbaner Zentren und den landwirtschaftlich genutzten Flächen. Der Bau von Leitungssystemen für die zeitweilige Bewässerung während Trockenperioden ist in vielen Fällen ökonomisch nicht umsetzbar. Zur lokalen Wiederverwendung aufbereiteter häuslicher Abwässer aus suburbanen Siedlungsgebieten wurde im Rahmen des Projekts P3UR ein Membranbioreaktor entwickelt, das eine bedarfsgesteuerte dezentrale Abwasserbehandlung zur Einhaltung hygienischer und chemischer Anforderungen bei gleichzeitiger Erhaltung von Nährstoffen gewährleistet und als mobile Anlage eingesetzt werden soll. In umfangreichen Begleituntersuchungen werden Spurenstoffgehalte im Boden und in den Pflanzen ermittelt und eine Umsetzung in die Praxis bewertet.

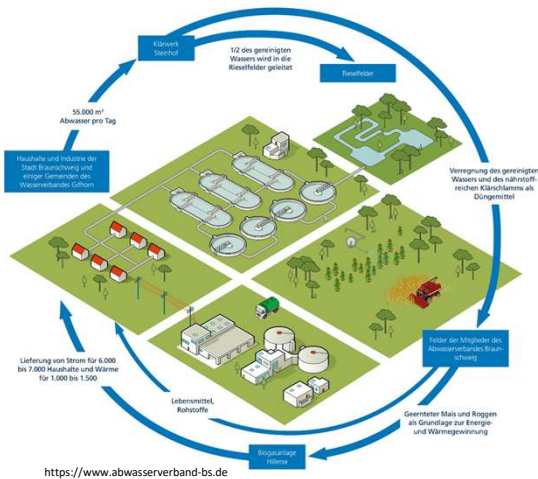


8

Weiterentwicklung: Auswirkung EU-VO auf den Standort Braunschweig



Das Braunschweiger Modell:
ein Wasser-Nährstoff-Energiekreislauf



Auswirkungen:

- Errichtung einer chemischen Desinfektionsstufe
- Erstellung eines Risikomanagementplans und Erneuerung des Antrags auf Wasserwiederverwendung
- Regelmäßige Überwachung der mikrobiologischen Parameter; zusätzliches Monitoring der Spurenstoffe

→ Anstehende Sanierung wird genutzt, um die Kläranlage auf den neuesten Stand der Technik zu bringen

(mögliche) Konsequenzen:

- Steigende Abwassergebühren
- Steigender Beitrag für Verbandsmitglieder (Landwirte)

Vorteile:

- Erfüllung Rechtlicher Rahmen
- Möglichkeit der Erweiterung des Anbauspektrums
- Beitrag zum Umwelt- und Gewässerschutz

9

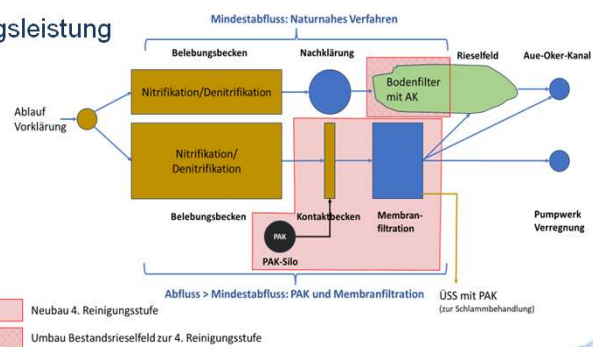
Querschnittsthema „Technologien & Verfahren“ im Bereich Landwirtschaft, T. Wintgens, Frankfurt am Main, 09.10.2024

9

Ausblick – Standort Braunschweig



- Wasserbedarf in der Landwirtschaft wird dauerhaft bestehen, ggf. steigen.
- Die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung wird spätestens ab 2029 nicht mehr möglich sein. Die Umsetzung der Forderung nach P-Recycling ist noch nicht gelöst.
- In der KARL wird u. a. eine konkrete Spurenstoffelimination gefordert werden
- Weitersteigende Anforderungen an die Reinigungsleistung der Kläranlage erfordern einen weiteren Ausbau
- Weitere Auflagen durch Deutsches Recht?



10

10

Vorgehen zur Validierung der mikrobiologischen Leistungsziele



11

Anforderungen Validierung gemäß EU 2020/741

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung
Wave
Wasser-Technologien - Wiederverwendung

Güteklasse des aufbereiteten Wassers	Indikator-Mikroorganismen (*)	Leistungsziele für die Behandlungskette (log ₁₀ -Reduktion)
A	<i>E. coli</i>	≥ 5,0
	Coliphagen insgesamt/f-spezifische Coliphagen/somatische Coliphagen/Coliphagen (**)	≥ 6,0
	<i>Clostridium perfringens</i> -Sporen/sporenbildende sulfatreduzierende Bakterien (***)	≥ 4,0 (bei <i>Clostridium perfringens</i> -Sporen) ≥ 5,0 (bei sporenbildenden sulfatreduzierenden Bakterien)

(*) Anstelle der vorgeschlagenen Indikator-Mikroorganismen können für die Überwachung zur Validierung auch die Referenzpathogene *Campylobacter*, Rotavirus und *Cryptosporidium* herangezogen werden. In diesem Fall gelten die folgenden log₁₀-Reduktionsziele: *Campylobacter* (≥ 5,0), Rotavirus (≥ 6,0) und *Cryptosporidium* (≥ 5,0).

(**) „Coliphagen insgesamt“ wurde als der am besten geeignete Virenindikator ausgewählt. Wenn jedoch die Analyse der Coliphagen insgesamt nicht möglich ist, wird mindestens ein Coliphagentyp (f-spezifische Coliphagen oder somatische Coliphagen) analysiert.

(***) *Clostridium perfringens*-Sporen werden als der am besten geeignete Indikator für Protozoen ausgewählt. Sporenbildende sulfatreduzierende Bakterien sind jedoch eine Alternative, wenn die Konzentration von *Clostridium perfringens*-Sporen nicht ausreicht, um die erforderliche log₁₀-Reduktion zu validieren.

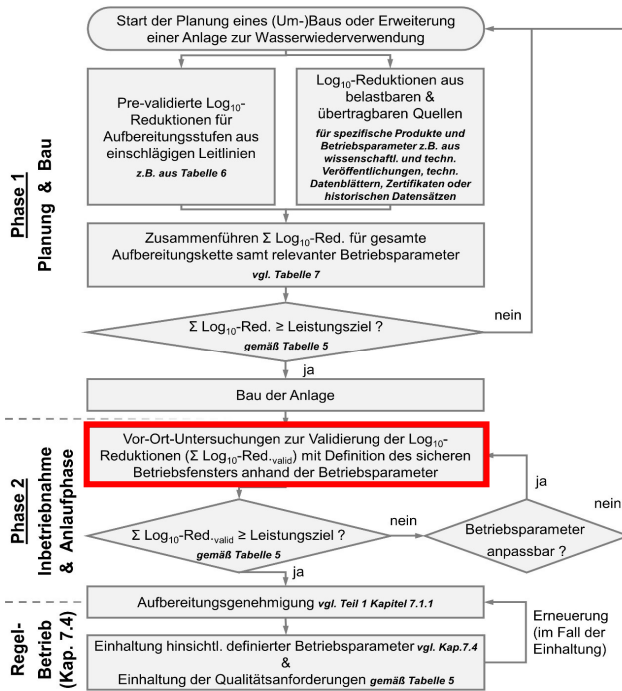
Vorschlag UBA: Validierungsanforderungen auch für Güteklassen A-C

12

Closed-door-Workshop: "Wasserwiederverwendung in der landwirtschaftlichen Bewässerung", 22.11.2022

12

Flussdiagramm zur Validierung



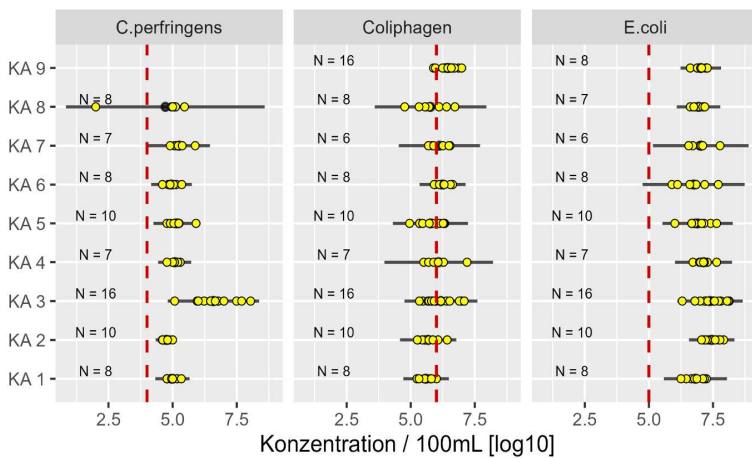
aus M1200-2 Entwurf (Stand: November 2023)

13

Vor-Ort-Untersuchungen zur Validierung der Log₁₀-Reduktionen (Σ Log₁₀-Red._{valid}) mit Definition des sicheren Betriebsfensters anhand der Betriebsparameter



Ergebnisse des Monitorings im Rohabwasser

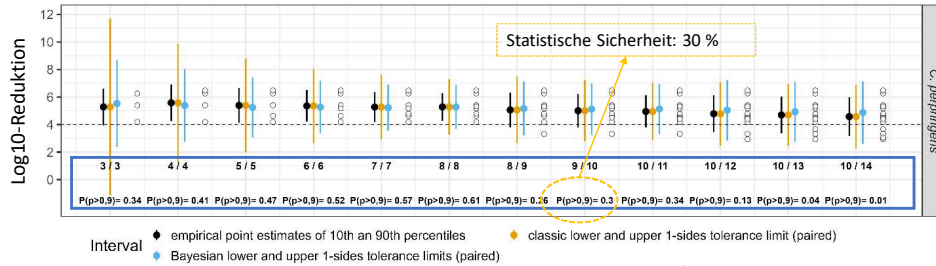


C. perfringens (100mL ok)
 Coliphagen Aufkonzentrierung nötig
 E. coli 100mL ok

aus FlexTreat Validierungsleitfaden, W. Seis et al. (2024)

14

Mikrobielle Risiken: Validierung Datenauswertung



Vergleich von 5 verschiedenen Auswertungsalternativen

1. Klassische Toleranzgrenzen normalverteilter Werte (gepaart)
2. Bayes'sche Toleranzgrenzen (gepaart)
3. Bayes'sche Toleranzgrenzen (ungepaart, Zu- und Ablauf unabhängig)
4. Binomialansatz (gepaart)
5. Perzentilansatz nach Badegewässerrichtlinie (gepaart)



Flexible und zuverlässige Konzepte für eine nachhaltige Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft (FlexTreat)

Validierungsleitfaden für die uneingeschränkte Bewässerung

Wolfgang Seis¹, Nicole Zacharias², Benedikt Aumeier³, Lia Freier², Michael Stapf¹, Ulf Miehe¹, Thomas Wirtgens⁴

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13756832>

15

15

Pre-validierte Log₁₀-Reduktionen für Aufbereitungsstufen aus einschlägigen Leitlinien z.B. aus Tabelle 6

Vorhandene und übertragbare Log₁₀-Reduktionen, aus Wave II - Projekten



Mikro- oder Ultrafiltration (MF/UF)							
Bakterien	Viren	Protozoen	Art der Angabe	Betriebseinstellung	Standort	Anlagentyp	Referenz
≥ 4,5 (E.coli, N=6); ≥ 5,5 (Gesamtcoliforme, N=6)	3,7 (somat. Coliphagen, N=6); ≥ 2,1 (F-spez. Coliphagen, N=6)	3,3 (C. perfringens Sporen, N=6)	Median	Flux = 90...120 L/m ² /h, Flockung mit Al (10 mg/L), Trübung im Filtrat = 0,1...0,2 NTU, CEB (Frequenz ca. 2/Tag, NaOH+NaOCl > HCl+H ₂ O ₂)	Schweinfurt	keramische UF (MWCO = 100 kDa) (Pilot)	Ahmadi et al. (2024) BMBF-Projekt Nutzwasser
≥ 4,4 (E.coli, N=8)	N.V.	≥ 3,6 (C. perfringens Sporen, N=9)	Median	Flux = 60 L/m ² /h, Flockung mit Al (2 mg/L), Trübung im Filtrat < 1 NTU, CEB (Frequenz ca. 1/Tag, Lauge > Säure)	Neuss	Polymer-UF (Porendurchmesser = 20 nm) (Pilot) mit inline-PAK-Dosierung	BMBF-Projekt FlexTreat 2020-2024
≥ 4,4 (E.coli, N=8)	N.V.	≥ 3,6 (C. perfringens Sporen, N=9)	Median	Flux = 60 L/m ² /h, Flockung mit Al (2 mg/L), Trübung im Filtrat < 1 NTU, CEB (Frequenz ca. 1/Tag, Lauge > Säure)	Neuss	Polymer-UF (Porendurchmesser = 20 nm) (Pilot) mit vorgeschaltete m Ulmer Verfahren	BMBF-Projekt FlexTreat 2020-2024

aus M1200-2 Entwurf (Stand: April 2024)

16