

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

**WavE**  
Wassertechnologien: Wiederverwendung

GEFÖRDERT VOM  
 Bundesministerium für Bildung und Forschung

# FlexTreat

Flexible und zuverlässige Konzepte für eine nachhaltige Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft

Prof. Dr. Thomas Wintgens, RWTH Aachen  
Abschlusskonferenz WavE II, Frankfurt den 08.10.2024



1

# FlexTreat

## Technische Innovationen (AP1)

### Kombinationsverfahren zur Spurenstoffelimination und Desinfektion



Braunschweig





Neuss



Rheinbach

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

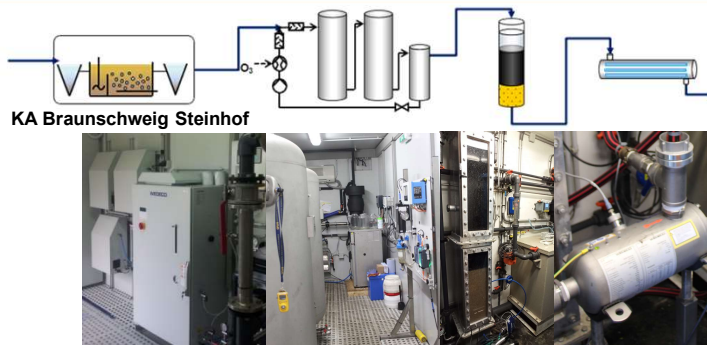


Aachen

2

# Ozonierung + Schnellsandfiltration + UV Desinfektion

**FlexTreat**



- Ozonung:**  
Regelung anhand  $\Delta\text{SAK}_{254}$
- Filtration:**  
Sand/Anthrazit;  
Schnellsandfilter  $v_f = 10 \text{ m/h}$ ,  
keine Fällung/Flockung
- UV:**  
Niederdruckstrahler, konst. UV-Leistung  
→ UV-Dosis (PSS)  
= 470 bzw. 700  $\text{J/m}^2$

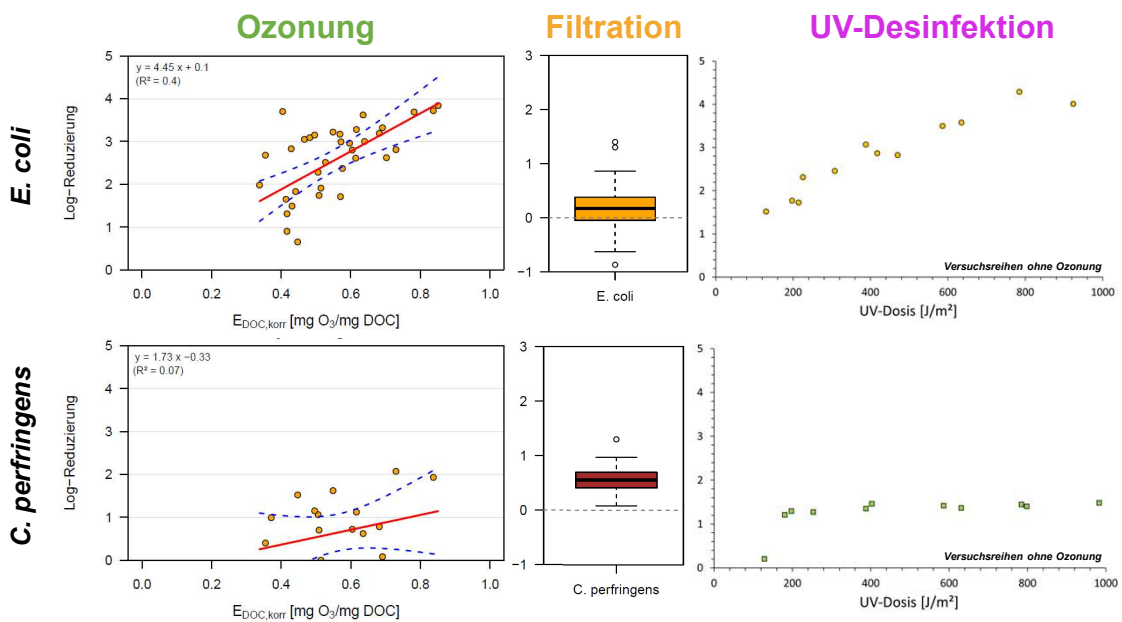
Qualitätsanforderungen (EU VO 2020/741 Tabelle 2)	80%ige Spurenstoffelimination (gemäß Substanzliste nov. KARL)	Bottleneck für den Einsatz:	Synergien
BSB <sub>5</sub> , TSS und Trübung ✓ Vereinzelt Überschreitungen für <i>E. coli</i>	✓	Log-removal Validierung für <i>C. perfringens</i> und <i>Som. Coliphagen</i>	Ozonierung führt zu Teildesinfektion Ozonierung + Filtration verbessert Transmission
(im Betriebszustand, in dem 80% Spurenstoffelimination erreicht wird)	Benötigte Ozondosis ist standortspezifisch	Sowohl Herausforderung für Ozon, als auch für UV Desinfektion	→ verringerter Energiebedarf für UV Eintrag

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

3

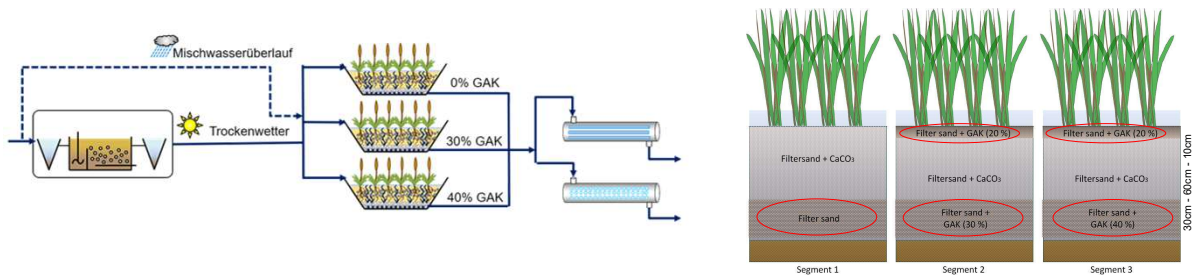
# Desinfektionsleistung

**FlexTreat**



4

## Retentionsbodenfilter mit GAK (RBF+) & UV Desinfektion (Rheinbach) **FlexTreat**

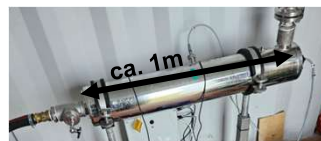


WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

5

## Retentionsbodenfilter mit GAK (RBF+) & UV Desinfektion

**FlexTreat**



Konventionelle UV-Desinfektion



UV-LED-Desinfektion

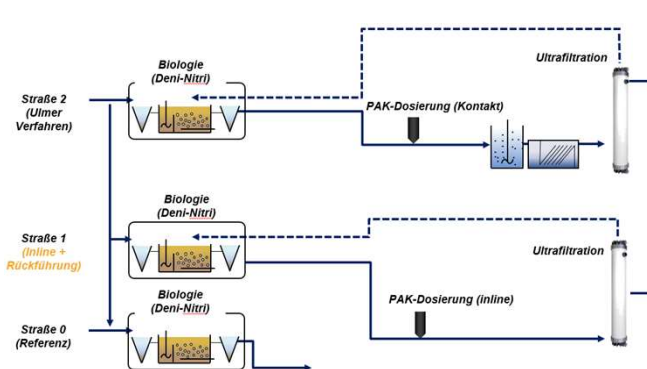
Qualitätsanforderungen (EU VO 2020/741 Tabelle 2)	80%ige Spurenstoffelimination (gemäß Substanzliste nov. KARL)	Bottleneck für den Einsatz:	Synergien
Class A (konv. UV)		Log-removal Validierung für <i>Somatische Coliphagen</i> (ggf. wegen zu geringer Zulaufkonzentration)	Teildesinfektion durch RBF+
✓	✓	Großer Flächenbedarf	Verbesserung Transmission durch RBF+
vereinzelt Ausreißer bei <i>E. coli</i> sehr wahrscheinlich wegen Kontamination des Probenahmesystems	Für das Segment mit 40% GAK Beimischung Langzeitwirksamkeit der GAK bisher unklar, derzeit 5 Jahre im Betrieb		Bauwerk kann im Regenwetterfall Mischwasserabschläge behandeln → geringerer Energiebedarf UV

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

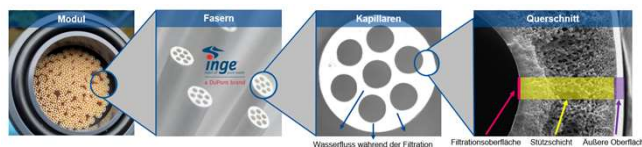
6

## Pulveraktivkohle (PAK) Dosierung & Ultrafiltration

**FlexTreat**



- Kapazität Gesamtkette: ~500 l/h
- Rückführung PAK in Biologische Stufe
- DuPont™ IntegraTec™ Multibore
- Porengröße 0,02 µm



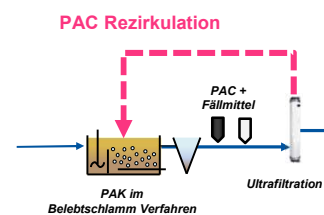
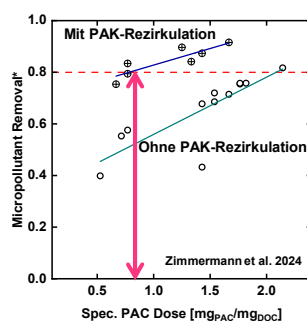
WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

7

## Pulveraktivkohle (PAK) Dosierung & Ultrafiltration

**FlexTreat**

- Verringerung der benötigten PAK-Dosis zur Spurenstoffelimination durch PAK Gegenstromführung



Qualitätsanforderungen (EU VO 2020/741 Tabelle 2)	80%ige Spurenstoffelimination (gemäß Substanzliste nov. KARL)	Bottleneck für den Einsatz:	Synergien
Class A ✓	✓	Log-removal Validierung für f-spez Coliphagen	Barriere für partikuläre Stoffe (PAK, Bakterien, Mikroplastik,...)
	Benötigte PAK Dosis ist Standort- / Matrixabhängig	Voraussichtlich Zusätzliche UV Desinfektion notwendig!	Verbesserte Transmission → Senkt Energiebedarf für UV-Desinfektion

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

8

8

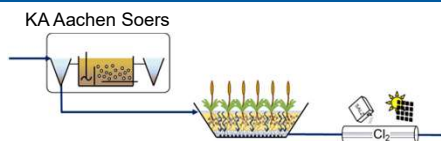


## Pflanzenkläranlage und Chlordesinfektion

FlexTreat



Pflanzenkläranlage (vertikal durchströmt)		
Filtersandkörnung	0 ... 2	mm
Schichtdicke	50	cm
Oberfläche	7,8	m <sup>2</sup>
Behandlungskapazität	80	L/m <sup>2</sup> /d



Natriumchlorid (Kochsalz)  
+  
(Regen-) Wasser  
+  
Strom (aus Photovoltaik)

Chlorlösung

- Sehr gute Wasserqualität
- Quasi-vollständige Nitrifikation

Konventionell: ~15 bis 25 mg<sub>Freies Chlor</sub>/L → 2 mg<sub>Freies Chlor</sub>/L

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

9

9

## Pflanzenkläranlage und Chlordesinfektion

FlexTreat

Qualitätsanforderungen (EU VO 2020/741 Tabelle 2)	80%ige Spurenstoffelimination (gemäß Substanzliste nov. KARL)	Bottleneck für den Einsatz:	Synergien
Class A		Log-Removal ClassA som. Coliphagen (hier vermutlich aufgrund zu geringem Konzentrationsniveau im Zulauf nicht nachweisbar) Großer Flächenbedarf Anforderungen an Temperaturniveau Desinfektionsnebenprodukte	Teildesinfektion durch Pflanzenkläranlage Reduktion der Chlorzehrenden Substanzen (insb. NH <sub>4</sub> )
	Langzeitstabilität wurde im Projekt nicht untersucht	In DE ggf. nur im Sommer betreibbar	→ Reduktion der erforderlichen Chlordosis

→ Nutzung voraussichtlich eher in wärmeren Klimaten

Siehe Fallstudie Spanien (AP4.2)



WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

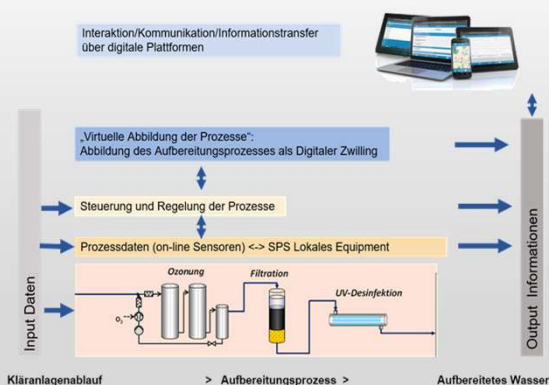
10

10

# Digital Green Tech (AP2)



Anwendung von Digitalen Technologien für die Optimierung von Aufbereitungsverfahren und die Bereitstellung eines bedarfs- und qualitätsgerechten Wassers



WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

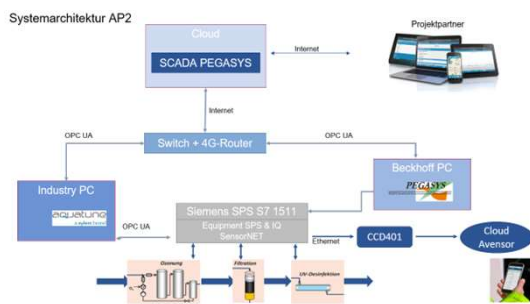
11

11

## Digitaler Zwilling in der Anwendung am Standort Braunschweig

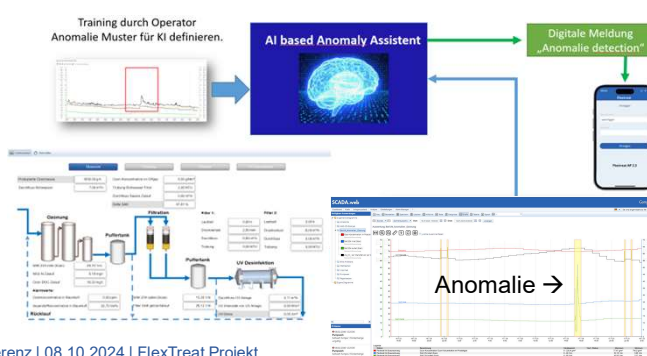


Systemarchitektur AP2



- Systemarchitektur für Datenerfassung
  - Schnittstellenabstimmung, Hardware, Software
  - Cloudbasierte oder „on the Edge“ Auswertungen möglich

- Web-SCADA zur Visualisierung
- Anomalie Erkennung + Visualisierung im SCADA



WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

12

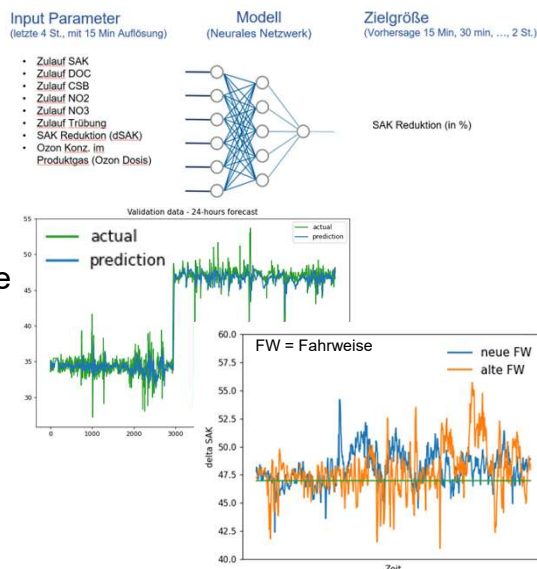
## Künstliche Neuronale Netze (KNN) zur Prozessoptimierung

- Ozonung wird nach dem  $\Delta\text{SAK}_{254\text{nm}}$  geregelt
- Historisch erhobener Trainingsdatensatz

Neu:

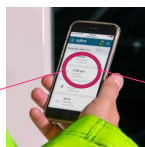
- KNN Prediction Teil der Regelungsstrategie
- Vorhersagezeitraum in Einklang mit hydraulischer Kontaktzeit Ozonung

- verringert Streuung der Ozondosis
- bessere Einhaltung des SOLL-Wertes

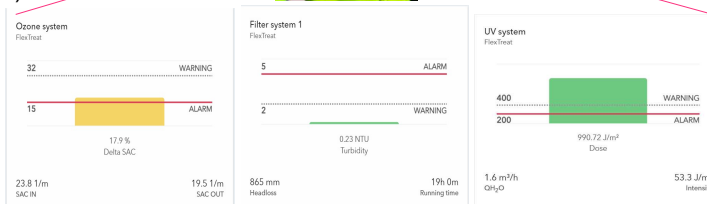


## Real Time Wasserqualität: App, Dashboards und Surrogate

- Prozesszusammenfassung in Anwender App
  - Anomalieerkennung
  - Grenzwertüberschreitungen (Ampelsystem, Alarm)

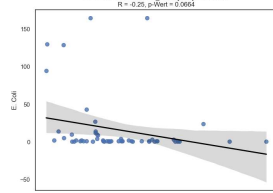


→ Nutzbarkeit der aktuellen Wasserqualität live prüfen



- Verschiedene Überwachungsgrößen
  - Je Aufbereitungsziel
  - Je Technologie

z.B.  $\Delta\text{SAK}_{254\text{nm}}$  für Spurenstoffelimination in Ozonung



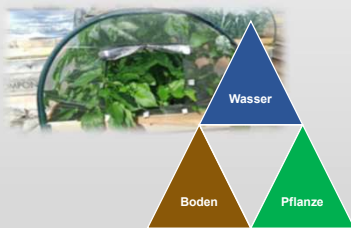
- Desinfektionsleistung mittels Surrogaten überprüfen? - Schwierig!

Bisher gilt:

- einfache Korrelationen nicht aussagekräftig!
- UV Dosis sicherstellen

# Risikomanagement (AP3)

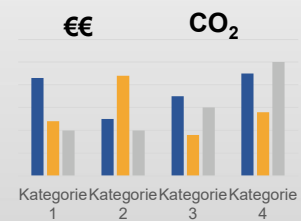
## Stoffliche Risiken



## Mikrobiologische Risiken



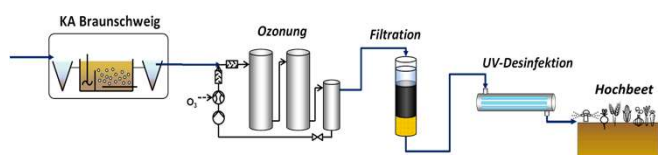
## Integrierte Bewertung



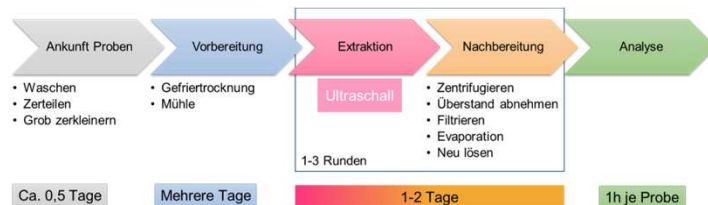
15

## Stoffliche Risiken: Pflanzversuche

- 7 Pflanzen (Erdbeere, Salat, Gerste, Kartoffel, Zuckerrüber, Karotte, Mais)
- Alle Beete wurden 2 x pro Tag mit Ablauf UV bewässert, Plastikhaube zum Regenschutz
- Zwei Anbauperioden: 2022 & 2023



BfG: Extraktionsmethode entwickelt und etabliert - Analyse auf 160 Substanzen (target-Analyse)



16



## Validierungsleitfaden



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

Validierungsleitfaden für die uneingeschränkte Bewässerung

Wolfgang Seis<sup>1</sup>, Nicole Zacharias<sup>2</sup>, Benedikt Aumeier<sup>3</sup>, Lia Freier<sup>3</sup>, Michael Stapf<sup>4</sup>, Ulf Miele<sup>1</sup>, Thomas Wintgens<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Grunewaldstr. 61-62, 10825 Berlin  
<sup>2</sup>Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit, Universitätsklinikum Bonn, 53127 Bonn, Deutschland  
<sup>3</sup>Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München, Am Coulombwall 3, 85748 Garching  
<sup>4</sup>Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft und Institut für Siedlungswasserwirtschaft

### Inhalt (67 Seiten)

1. Einleitung und gesetzlicher Hintergrund
2. Auswahl der Validierungsparameter
3. Versuchsdurchführung
4. Datenauswertung
5. Anwendungsbeispiel
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

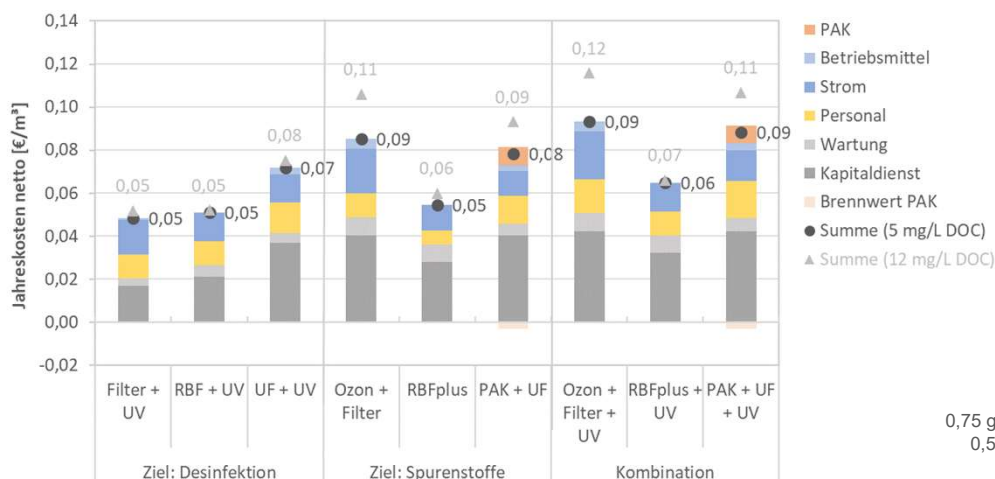


QR Code zum Validierungsleitfaden

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

17

## Jahreskosten für 330.000 EW Klärwerk



Dosis:  
 0,75 g PAK/g DOC  
 0,5 g O<sub>3</sub>/g DOC

+ 8-16 €-ct/m<sup>3</sup> für Verteilnetz zur Landwirtschaft!

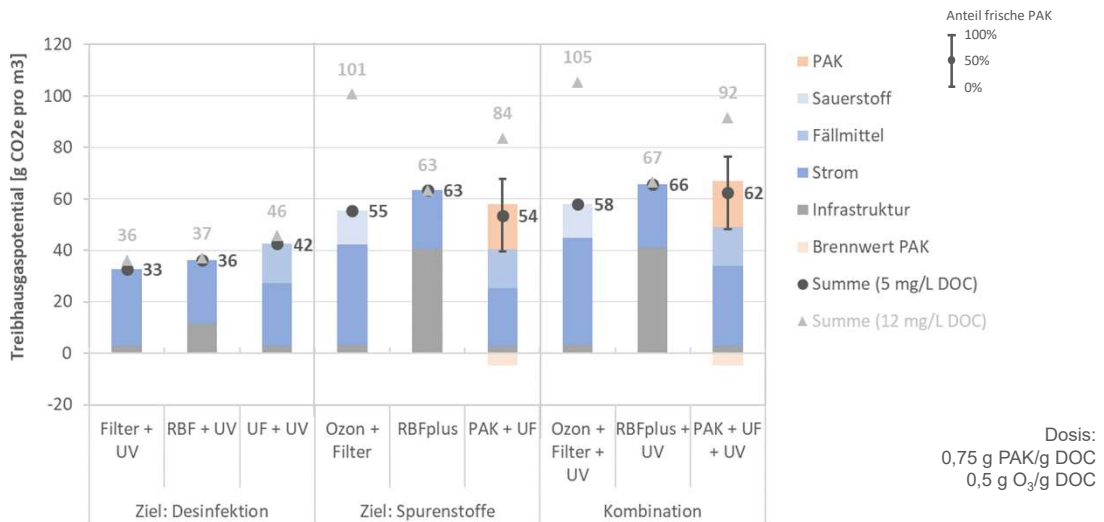
WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

18

18

## CO<sub>2</sub>e-Fußabdruck der Verfahren

**FlexTreat**



WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

19

19

**FlexTreat**

## Verwertungspotenzial der FlexTreat-Lösungen fördern (AP4)

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

20

20

## FlexTreat Technologien für verschiedene Zielmärkte: Internationale Case Studies

Internationale Anforderungen an WWV (Auszug):

	BSB <sub>5</sub>	AFS	Trübung	pH	Fett und Öl	CSB	DO	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TN	E. Coli	Legionella spp. <sup>1</sup>	Intestinale Nematoden	Heimtier-Eier
	mg/l	mg/l	NTU	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	KBE/100ml	KBE/l	Ei/l	Ei/l
EU	Klasse A - D	≤ 10 - 25	≤ 10 - 35	≤ 5	-	-	-	-	-	≤ 10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>	< 1000	< 1 *	-
Ägypten	Klasse B - C	≤ 10 - 60	≤ 10 - 50	-	-	-	-	-	-	10 <sup>3</sup> - 5x10 <sup>3</sup>	-	≤ 1	-
Bahrain	Unbeschränkt	10	10	2	6.5 - 9.0	5	40	-	10	10 <sup>3</sup>	-	-	< 1
Jordanien	Klasse A - C	≤ 30 - 300	≤ 50 - 300	≤ 10	6.0 - 9.0	≤ 8	≤ 100 - 500	≥ 2	≤ 30 - 70	≤ 45 - 100	100 - 10 <sup>3</sup>	-	≤ 1

1) Bei Gefahr einer Aerosolbildung; \* Nur bei Weiden / Futterpflanzen Messwerte: 90% Perzentil; (beste) Betriebseinstellung; < BG = BG (konservativ)

→ Im Vergleich zur EU – VO 2020/741 teilweise zusätzliche (regional spezifische) Anforderungen

- Hurghada, Ägypten**  
→ Energieeintrag vs. Nährstoffbereitstellung
- Abu Saiba, Bahrain**  
→ Dezentrale Desinfektion von Verteilnetzwerk mittels Elektrochlorung
- Talavera de la Reina, Spanien**  
→ Kombination naturnaher Verfahren + Elektrochlorung



WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

21

21

## Akzeptanzanalyse, Experteninterviews, Stakeholder-Dialog

### Stand der Literatur: Akzeptanz von WWV

Definition verschiedenster Faktoren/ Gründe

- sozio-demographische Faktoren:** Alter, Erziehung, Religion, Geschlecht, Ethnie, politische Zugehörigkeit, Einkommen, etc.
- psychologische Faktoren:** „yuck factor“ (Ekelfaktor), Grad der Abstoßung, Angst vor Seuchen, etc.
- ökologische Faktoren:** Umweltschutz, umweltfreundliche Einstellung, etc.,
- ökonomische Faktoren:** Wasserpreis, Preisstaffelung je Qualität und Nutzung, etc.,
- sonstige Faktoren:** Sicherheit der WWV, Gesundheitsaspekt, Unterstützung durch die Öffentlichkeit, technologische oder Systemfehler, Fehler durch menschliches Versagen)

### Stakeholder-Dialog

mit Entscheidungsträgern aus Wasser-/Umweltbehörden, Landwirtschaftskammern und Landwirten, sowie Vertretern aus der Politik



**Fazit: es herrscht Bedarf für...**

- ... Kommunikation und Aufklärung
- ... Bedarfs- und Risikomanagement
- ... klare und praktikabel Gesetzgebungen und Regelwerke
- ... eine faire Kostenverteilung

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

22



23

## Danksagungen FlexTreat



Vielen Dank für Förderung und Begleitung des Projektes!  
(FKZ: 02WV1561)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



FONA  
Forschung für Nachhaltigkeit

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung



WavE  
Wassertechnologien: Wiederverwendung



PTKA  
Projektträger Karlsruhe  
Karlsruher Institut für Technologie



DECHEMA

WavE II Abschlusskonferenz | 08.10.2024 | FlexTreat Projekt

24