



# KWVB

## DeWaResT

Dezentrale Abwasserbehandlung und  
Wasserwiederverwendung für Regionen  
mit saisonalem Trockenstress

WasserWerkstatt 11.03.2025

Jan Schütz



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**AKUT**  
Partner

# Motivation

Wasserknappheit

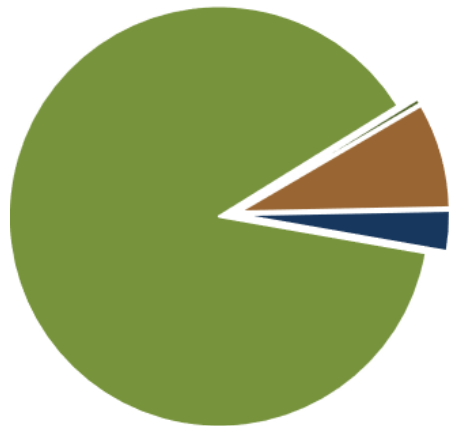
Demographie

Dürre

Klimawandel

Anschlussgrad

Auslastung KA



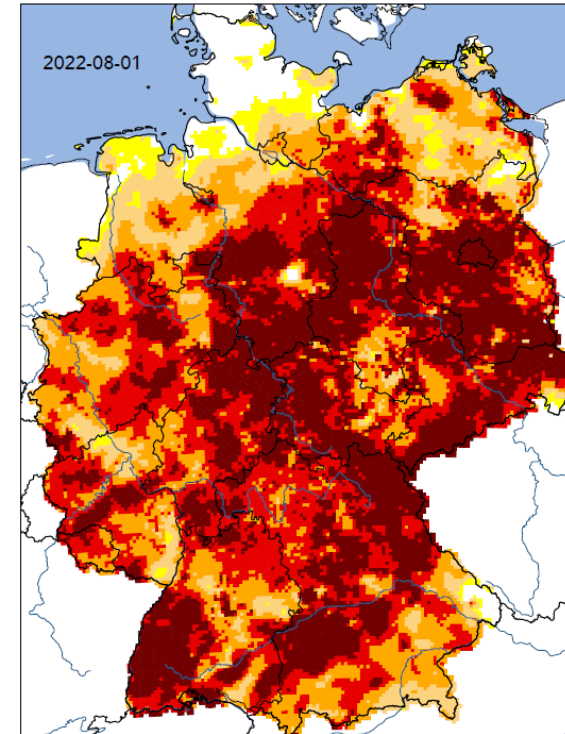
Prozentualer Anteil der Brandenburger Einwohner

- 88,4% } Zentrale Entsorgung
- 0,4% }
- 8,1% } Dezentrale Entsorgung
- 3,1% }

- am Kanal und KA mit Nährstoffreduzierung
- am Kanal und KA mit biologischer Reinigung
- mit abflussloser Sammelgrube
- mit Kleinkläranlage

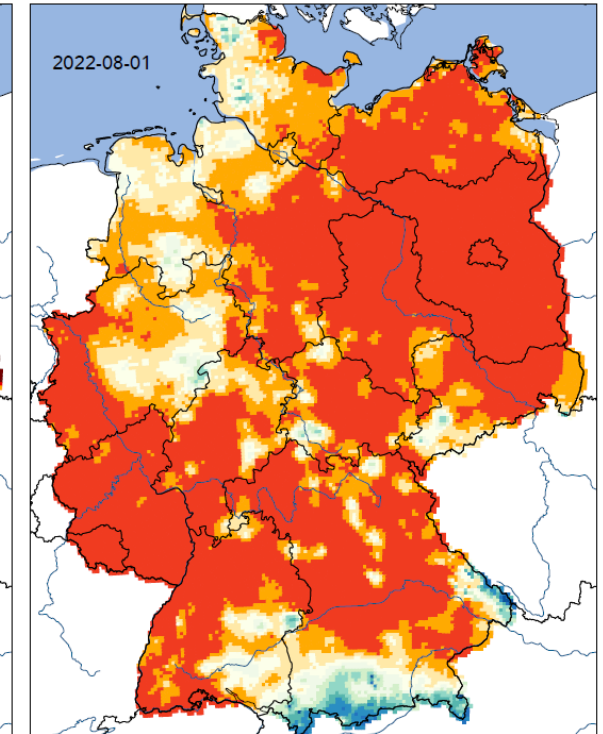
Quelle: MLUK Brandenburg (2021) Kommunale Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg.  
<https://mluk.brandenburg.de/>

Dürremonitor Gesamtboden bis ca 1.8 m



- ungewöhnlich trocken
- moderate Dürre
- schwere Dürre
- extreme Dürre
- außergewöhnliche Dürre

Pflanzenverfügbares Wasser bis 25 cm



- 0 30 50 100 (%nutzbare Feldkapazität)
- >110
- 0 %nFK, Welkepunkt
- <30 %nFK, Trockenstress
- <50 %nFK, beginnender Trockenstress

Quelle: UFZ (2022); Dürrezustand Gesamtboden bis ca. 1,8 m (links) und pflanzenverfügbares Wasser bis 25 cm. <https://www.ufz.de/index.php?de=37937>

# Motivation

## Pilotstandort



Quelle: Naturcampingplatz Pehlitzwerder <https://naturcampingplatz-pehlitzwerder.jimdosite.com/>

## DeWaResT

- De → **Dezentrale Abwasserreinigung:**  
Alternative zu abflusslosen Gruben in ländlichen Regionen
  
- Wa → **Wasserwiederverwendung:**  
Wasserknappheit durch die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser verringern
  
- ResT → **Regionen mit saisonalen Trockenstress:**  
Viele Regionen auf der Welt leiden unter Trockenstress  
→ **Übertragbarkeit**

# Ziele

## 1. Entwicklung Bodenfilters (BBF)

- Rohabwasser
- Zweistufig, vertikal durchflossen
- Kleiner Flächenbedarf  
< 1 m<sup>2</sup>/EW
- Hohe Reinigungsleistung

### Internes Qualitätsziel chemische Parameter

- CSB < 75 mg/L
- BSB<sub>5</sub> < 15 mg/L
- NH<sub>4</sub>-N < 10 mg/L

- N<sub>anorg.</sub> < 25 mg/L
- TP < 2 mg/L

**Quelle:**

DWA (2019): DWA Arbeitsblatt A-221: Grundsätze für die Verwendung von Kleinkläranlagen.

## 2. Nachweis Eignung zur Wasserwiederverwendung

## 3. Spurenstoffentfernung

### Internes Qualitätsziel Mikrobiologie

- (B) *E. coli* < 100 MPN /100 mL

- (C) *E. coli* < 1000 MPN /100 mL

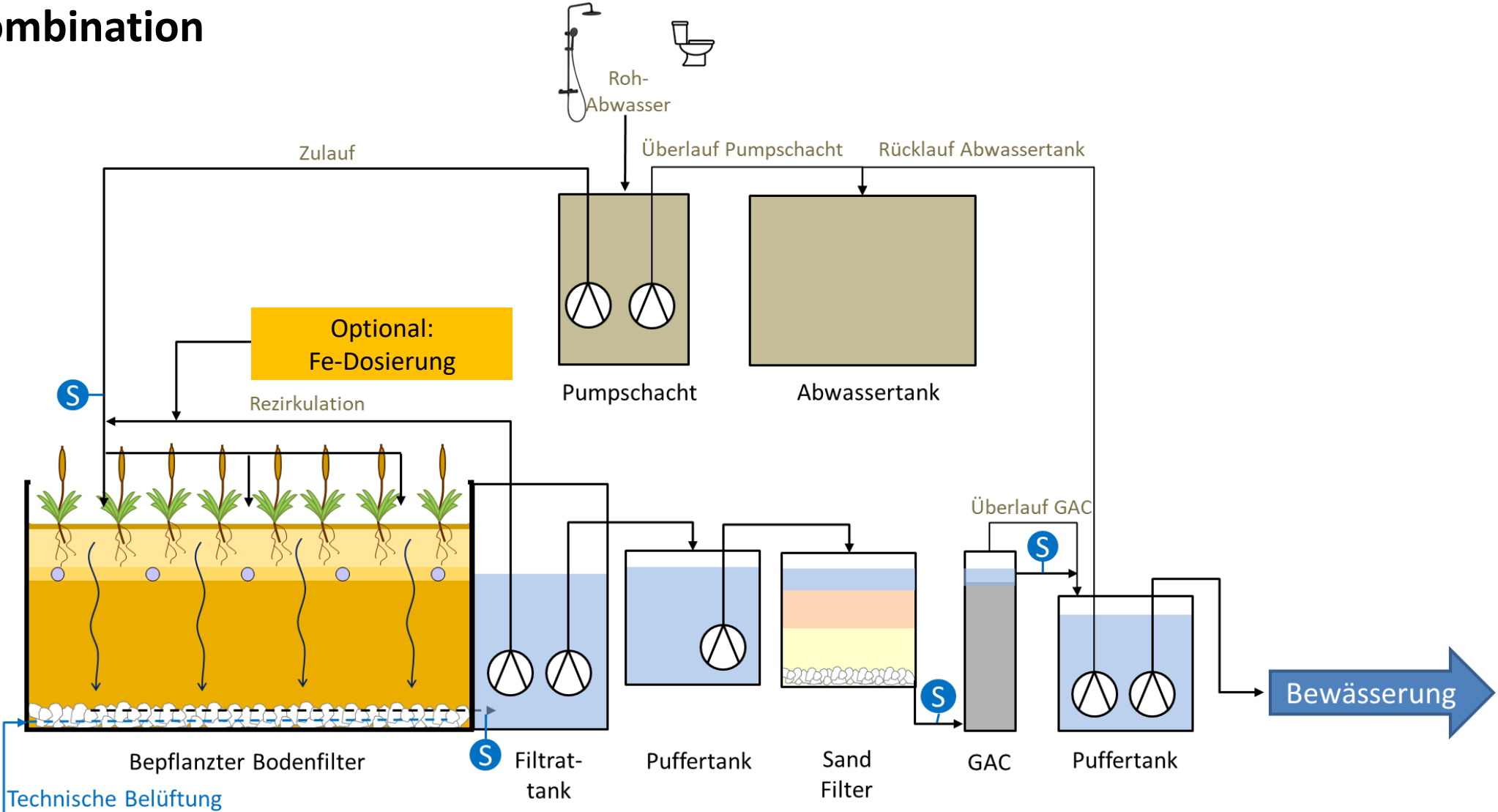
- (D) *E. coli* < 10000 MPN /100 mL

**Quelle:**

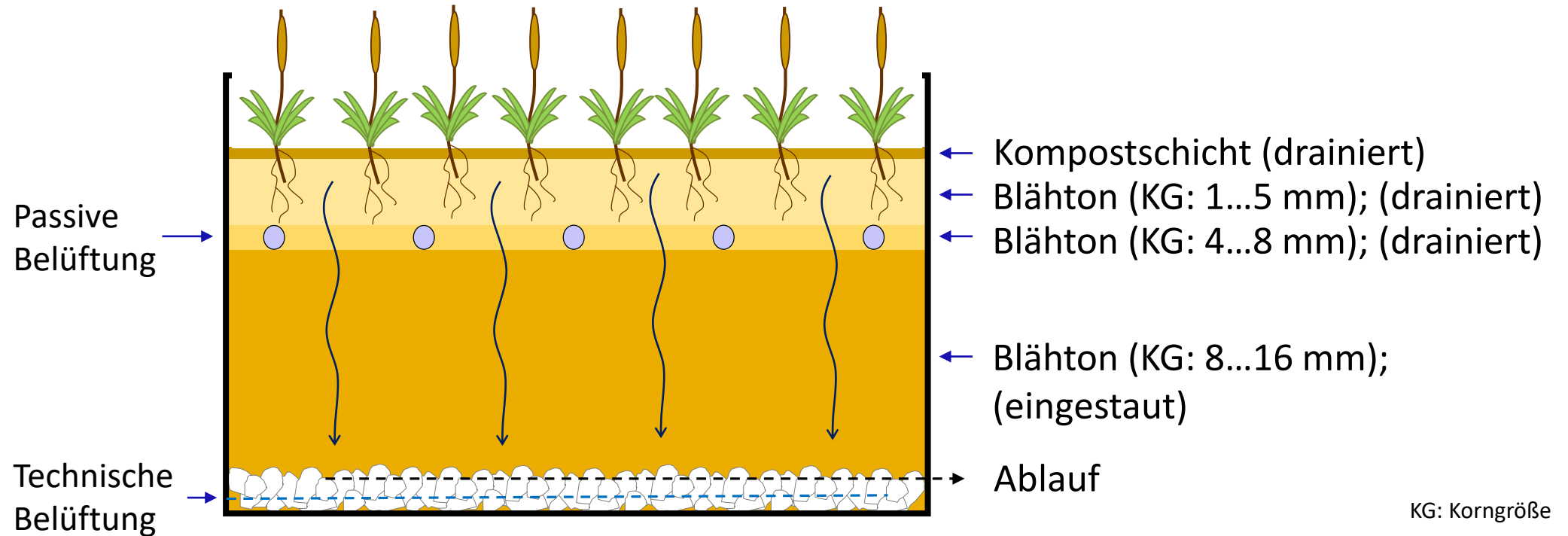
EU 2020/741 (2020): Mindestanforderungen an die Qualität des aufbereiteten Wassers entsprechend Verordnung (EU) 2020/741

# Material und Methoden

## Schematisches Fließbild der Verfahrenskombination

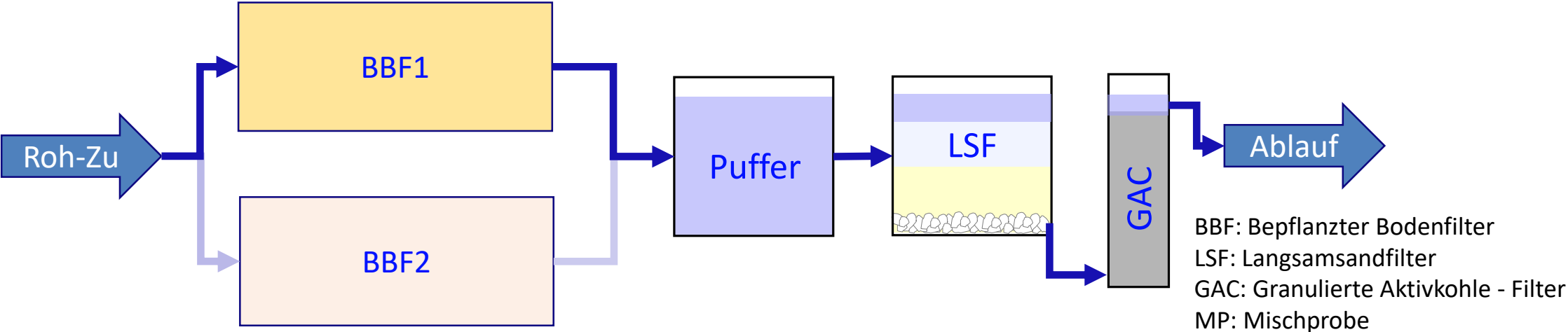
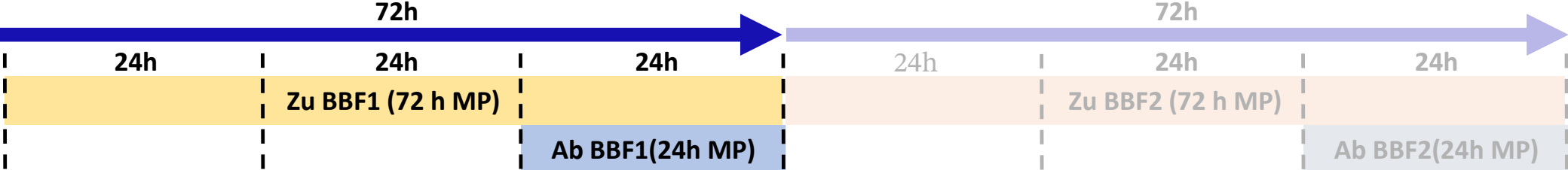


# Material und Methoden

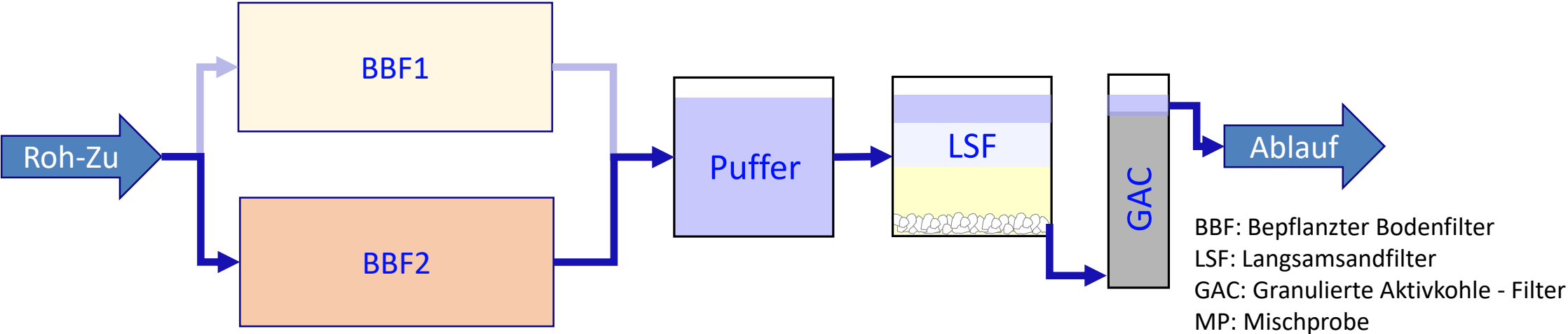
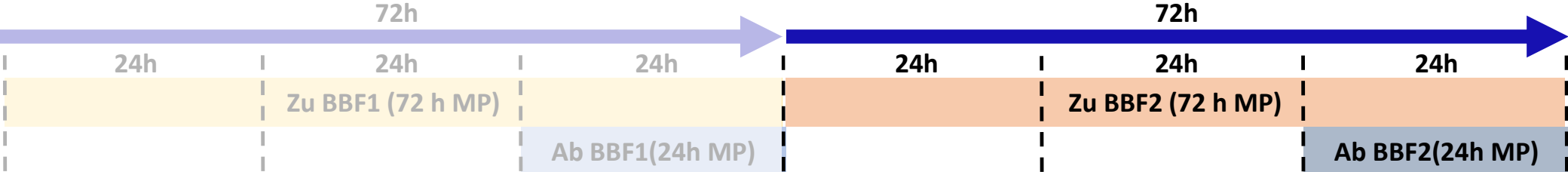


- Vertikaler Mehrschichtaufbau
- Denitrifikation und Nitrifikation sind in einer Stufe integriert
- Geringerer spezifischer Flächenbedarf als konventionelle BBF

# Material und Methoden

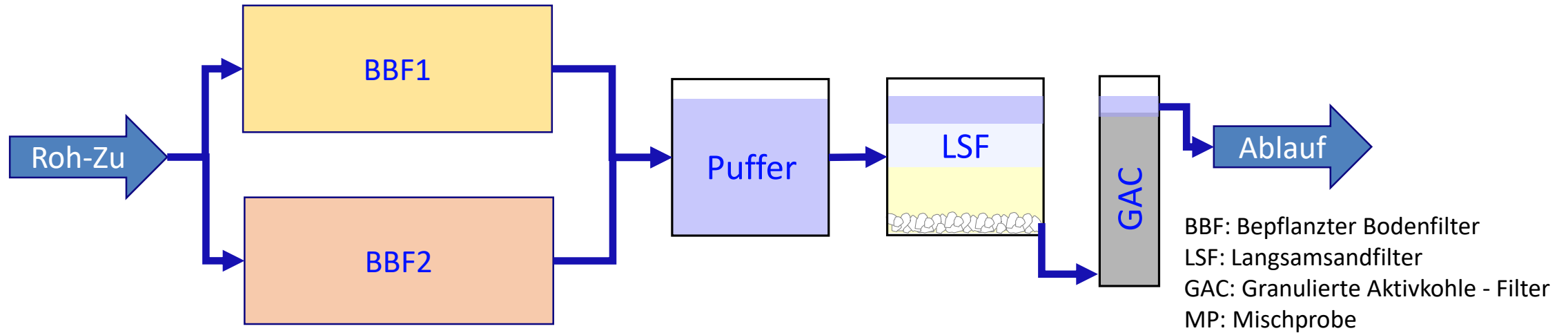
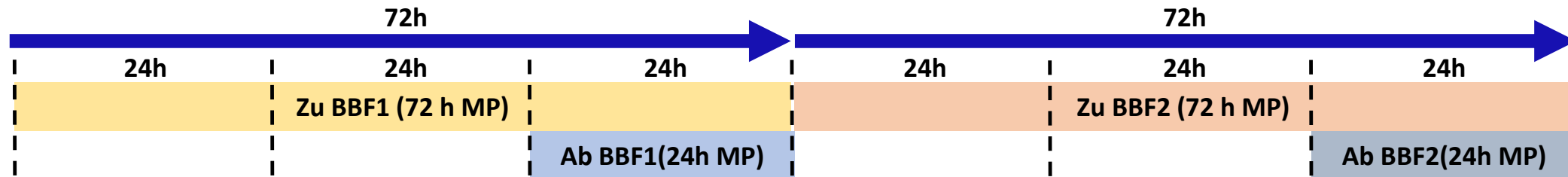


# Material und Methoden





# Material und Methoden



- Maximaler Zulauf  $\rightarrow 1.1 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow \text{HRT} \cong 4 \text{ d}$  bei  $1.1 \text{ m}^3/\text{d}$
- Rezirkulation  $\rightarrow R = 200 \%$
- Belüftungszeit pro Tag  $\rightarrow \text{AT} = 12 \text{ h/d}$

# Abwasserzusammensetzung im Zulauf

	<b>CSB</b> (Chemischer Sauerstoff Bedarf)	<b>TP</b> (Gesamt-Phosphor)	<b>TN</b> (Gesamt-Stickstoff)		<b>Spezifischer Wasserverbrauch</b>
Kommunales Abwasser *	800 mg/L	12 mg/L	73 mg/L	➔	150 L/(d PE)
Abwasser Campingplatz	1989 ± 773 mg/L	26 ± 12 mg/L	199 ± 47 mg/L	➔	60 L/(d PE)

➔ Sehr hohe Zulaufkonzentration im Gegensatz zu typischen kommunalen Rohabwasser

➔ Sehr geringer spezifischer Wasserverbrauch ➔ ca. 60 L/d

➔ CSB/BSB ≈ 3

# Effizienz Standardparameter 2022

Jahr 2022		CSB [mg/L]	P <sub>ges</sub> [mg/L]	TN [mg/L]	NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	N <sub>anorg.</sub> [mg/L]
BBF1	Mittelwert	66 ± 26	1,0 ± 0,7	79 ± 11	12 ± 22	48 ± 27	2 ± 2	62 ± 25
	Anzahl	10	10	9	11	10	10	10
	Effizienz [%]	97%	96%	60%	90%	-	-	47%
BBF2	Mittelwert	64 ± 33	1,0 ± 0,3	77 ± 32	11 ± 17	46 ± 28	6 ± 6	63 ± 26
	Anzahl	11	11	11	12	12	11	11
	Effizienz [%]	97%	98%	61%	90%	-	-	46%



## Optimierung:

- Optimierung der Belüftung (Kapazitätserweiterung, Belüftungszeit, Verlegung der Belüftung in die Nachtstunden)
- Optimierung der Rezirkulation
- Verbesserung der Kohlenstoffverfügbarkeit:
  - **BBF1:** Erhöhung des eingestauten Filtervolumens
  - **BBF2:** Erweiterung durch vorgeschaltete Konditionierung

# Effizienz Standardparameter 2023

Jahr 2023		CSB [mg/L]	P <sub>ges</sub> [mg/L]	TN [mg/L]	NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	N <sub>anorg.</sub> [mg/L]
BBF1	Mittelwert	42 ± 22	1,1 ± 0,8	37 ± 18	6 ± 6	21 ± 13	0,4 ± 0,2	27 ± 12
	Anzahl	14	13	14	14	14	13	14
	Effizienz [%]	98%	96%	81%	95%	-	-	77%
BBF2	Mittelwert	58 ± 18	1,5 ± 0,9	29 ± 8	7 ± 7	16 ± 10	0,3 ± 0,3	23 ± 9
	Anzahl	13	12	13	13	13	13	13
	Effizienz [%]	97%	94%	85%	94%	-	-	78%



## Optimierung:

→ Finetuning der Belüftung

→ Eisen-III-Chlorid Dosierung zur Optimierung des Phosphorrückhalts

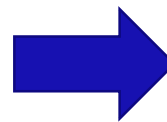
# Effizienz Standardparameter 2024

Jahr 2023		CSB [mg/L]	P <sub>ges</sub> [mg/L]	TN [mg/L]	NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	N <sub>anorg.</sub> [mg/L]
BBF1	Mittelwert	56 ± 15	0,6 ± 0,3	21 ± 8	11 ± 7	7 ± 4	0,2 ± 0,2	18 ± 7
	Anzahl	10	9	10	11	11	10	10
	Effizienz [%]	<b>97%</b>	<b>98%</b>	<b>89%</b>	<b>90%</b>	-	-	<b>83%</b>
BBF2	Mittelwert	68 ± 29	1,4 ± 0,9	20 ± 8	10 ± 6	7 ± 4	0,1 ± 0,1	17 ± 9
	Anzahl	5	6	6	6	6	5	5
	Effizienz [%]	<b>97%</b>	<b>95%</b>	<b>90%</b>	<b>91%</b>	-	-	<b>85%</b>



## Qualitätsziel chemische Parameter

- CSB < 75 mg/L
- BSB<sub>5</sub> < 15 mg/L
- NH<sub>4</sub>-N < 10 mg/L
- N<sub>anorg.</sub> < 25 mg/L
- TP < 2 mg/L



**Erreicht!**

Quelle:  
DWA (2019): DWA Arbeitsblatt A-221: Grundsätze für die Verwendung von Kleinkläranlagen.

# Bewertung: Spurenstoffentfernung

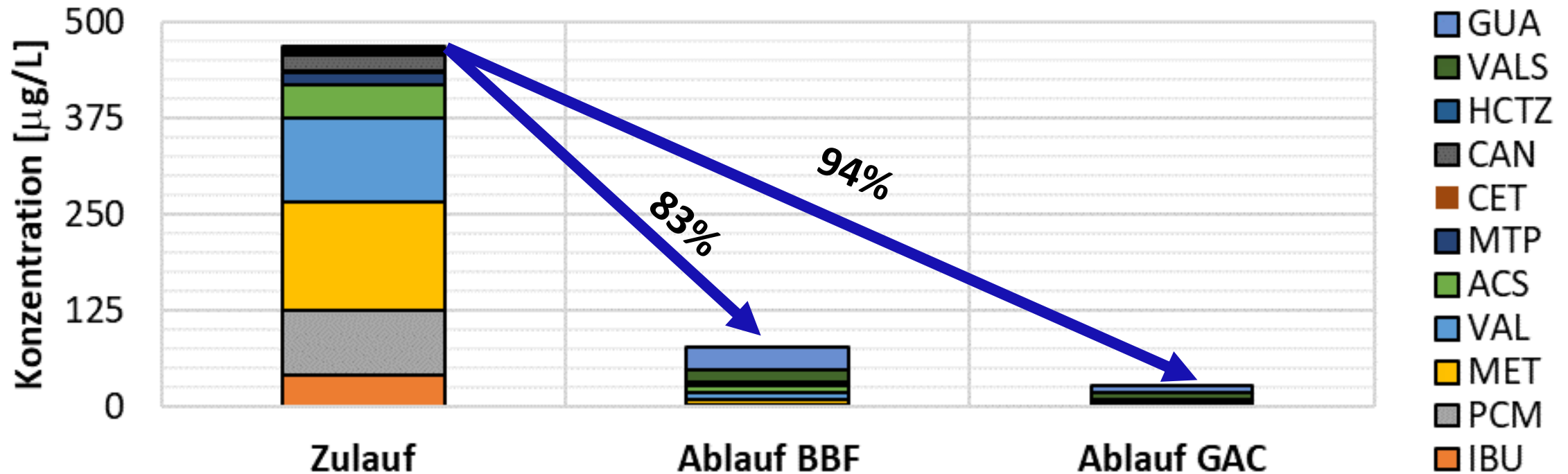
Spurenstoffe	Gruppe	Abkürzung	Abbaubarkeit	KARL
Metformin	Antidiabetikum	MET	> 70	
Valsartan	Antihypertensivum	VAL	> 70	
Paracetamol	Schmerzmittel	PCM	> 70	
Ibuprofen	Schmerzmittel	IBU	> 70	
Acesulfam	Süßungsmittel	ACS	<70 >30	
Metoprolol	Betablocker	MTP	<70 >30	X
Cetirizin	Antihistaminika	CET	<70 >30	
<del>Bezafibrat</del>	<del>Lipidsenker</del>	<del>BZF</del>	<del>&lt;70 &gt;30</del>	
<del>Carbamazepin</del>	<del>Antiepileptikum</del>	<del>CBZ</del>	<del>&lt;70 &gt;30</del>	<del>Y</del>
Candesartan	Blutdrucksenker	CAN	< 30	X
Hydrochlorothiazid	Blutdrucksenker	HCTZ	< 30	X
Valsartansäure	Antihypertensivum	VALS	< 30	
<del>Diclofenac</del>	<del>Schmerzmittel</del>	<del>DCF</del>	<del>&lt; 30</del>	<del>X</del>
<del>Ibuprofen</del>	<del>Blutdrucksenker</del>	<del>IBU</del>	<del>&lt; 30</del>	<del>X</del>
Guanylharnstoff	Haupttransformations-produkt von Metformin	GUA	< 30	

## Auswahl der Spurenstoffe auf Basis:

- Vorkommen und biologische Abbaubarkeit in kommunalen Kläranlagen
- Ergänzung durch Transformationsprodukte Guanylharnstoff (Metformin) und Valsartansäure (Valsartan)

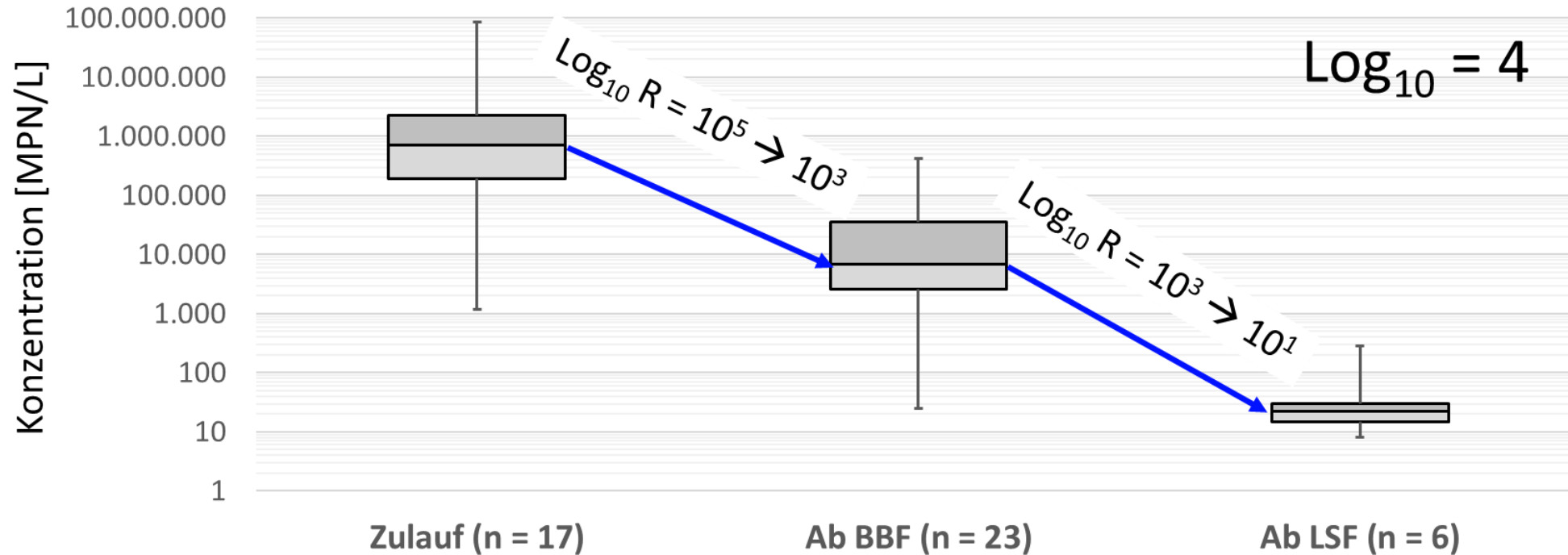
Quelle: [https://koms-bw.de/wp-content/uploads/jet-form-builder/3fc6ae40bfc04ae4123761055e6\[...\].bericht-KomS\\_Vergleichsmessungen-zur-Spurenstoffelimination.pdf](https://koms-bw.de/wp-content/uploads/jet-form-builder/3fc6ae40bfc04ae4123761055e6[...].bericht-KomS_Vergleichsmessungen-zur-Spurenstoffelimination.pdf)

# Bewertung: Spurenstoffentfernung



Guanylharnstoff (GUA), Valsartansäure (VALS), Hydrochlorothiazid (HCTZ), Candesartan (CAN), Cetirizin (CET), Metoprolol (MTP), Acesulfam (ACS), Valsartan (VAL), Metformin (MET), Paracetamol (PCM), Ibuprofen (IBU)

# Bewertung: *E. coli* Entfernung

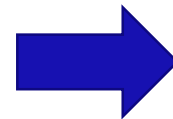


## Internes Qualitätsziele Mikrobiologie

• (B) *E. coli* < 100 MPN /100 mL

• (C) *E. coli* < 1000 MPN /100 mL

• (D) *E. coli* < 10000 MPN /100 mL



**Erreicht!**

Quelle:

EU 2020/741 (2020): Mindestanforderungen an die Qualität des aufbereiteten Wassers  
entsprechend Verordnung (EU) 2020/741

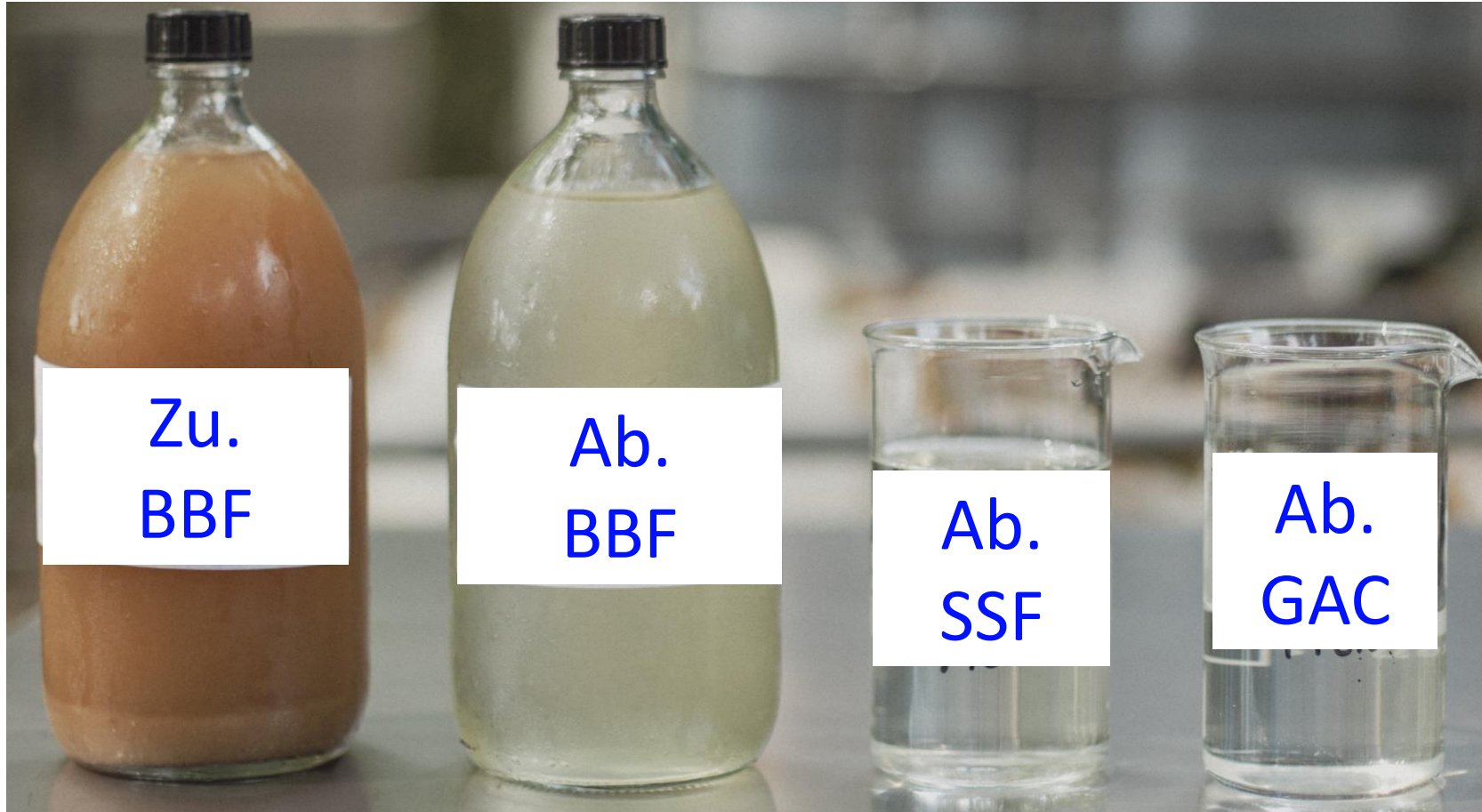


# Fazit

- Sehr hohe Effizienz bezüglich CSB, TSS, BSB<sub>5</sub>, TP > 90 %
- Steigerung der Denitrifikationsleistung (> 80 %)
- N<sub>anorg</sub> Konzentration < 25 mg/L trotz hoher TN-Zulaufkonzentrationen (TN = 199 mg/L)
- Hohe Effizienz bezüglich der Spurenstoffelimination
  - BBF ≥ 83 %
  - GAC ≥ 96 %
- Hoher Rückhalt an *E. coli*
  - BBF →  $\text{Log}_{10} = 2$  → (D) *E. coli* < 10000 MPN/100 mL
  - LSF →  $\text{Log}_{10} = 2$  → (B) *E. coli* < 100 MPN/100 mL



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## Vielen Dank an alle Projektbeteiligten

Heribert Rustige, Klaas Kenda, Carl Trebesius, Jeannette Jährig, Jonas Hunsicker, Ulf Miehe, Linus Neubert, Lea Wantzen, Celine Cera, Sophie Wulf, Yanrong Liu, Laura Jirjan, Qiuyue Liu, Deira Linke, Sarah Gross, Angèle Bienassis

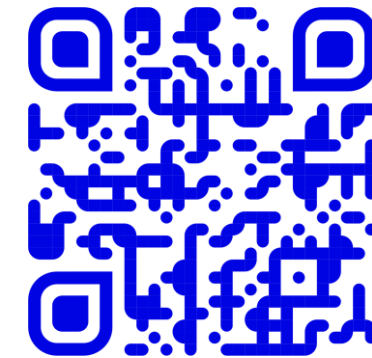
Förderkennzeichen: 02WQ1596B



**AKUT**  
Partner

**KWVB**

# KWVB



**Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH**  
**Grunewaldstraße 61-62, 10825 Berlin**



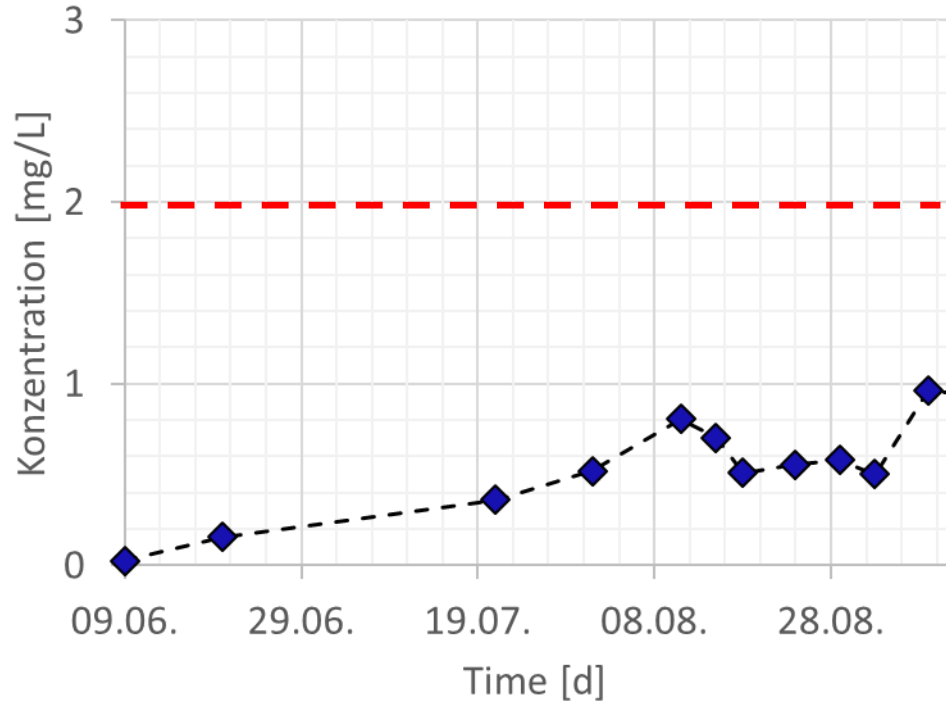
[www.kompetenz-wasser.de](http://www.kompetenz-wasser.de)



[@Kompetenzzentrum Wasser Berlin](https://www.linkedin.com/company/kompetenzzentrum-wasser-berlin)

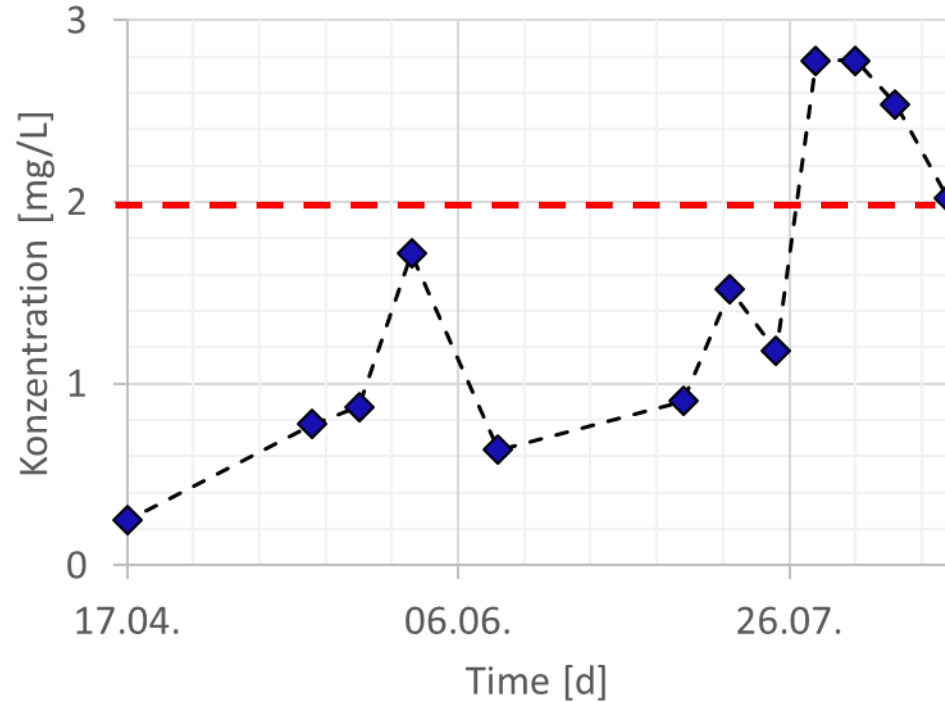
# Ergebnisse: TP- Entfernung

Saison 2022 BBF2



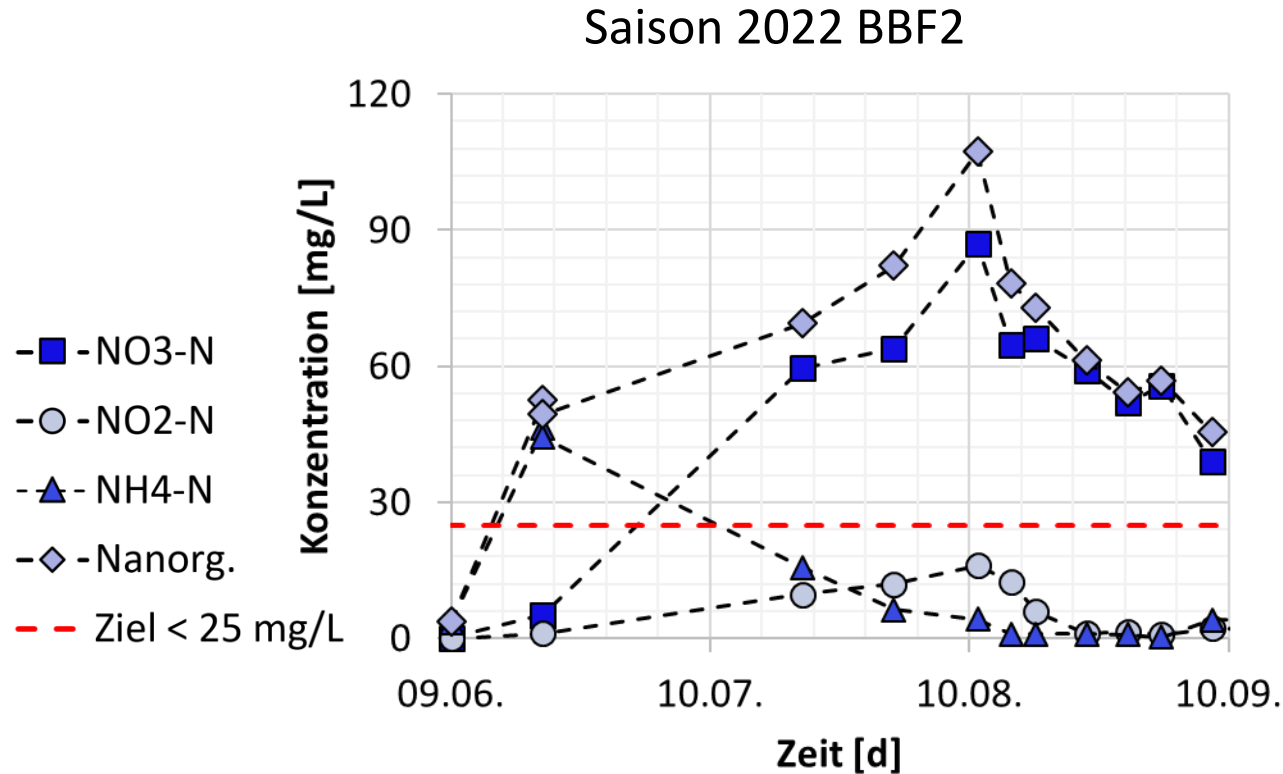
- Sehr guter P-Rückhalt
- Eisenhaltiger Blähton

Saison 2023 BBF2

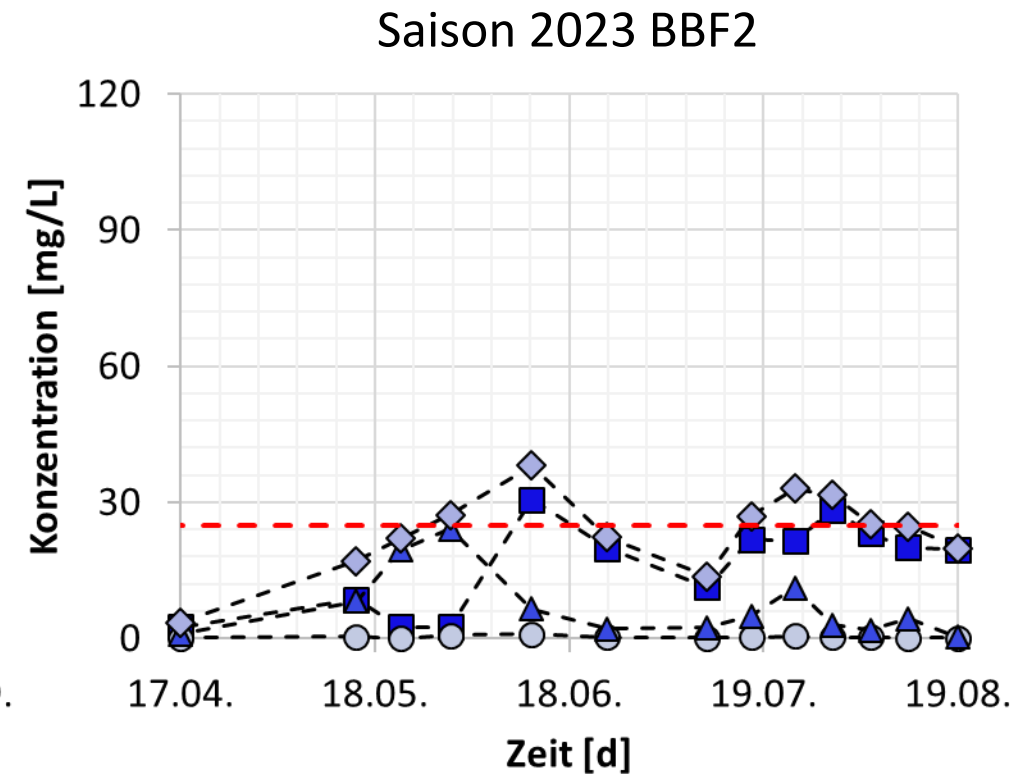


- Adsorptionskapazität im Blähton erreicht
- Aktive Eisen (III) – Chlorid Dosierung

# Ergebnisse: Optimierung der Stickstoffentfernung



- Zu hohe Belüftungszeit pro Tag (>12 h/d)
- Ungünstiges C:N-Verhältnis in der Denitrifikationsphase



- Optimiertes Belüftungsregime
- Erweiterung durch vorgeschalteten Konditionierungstank

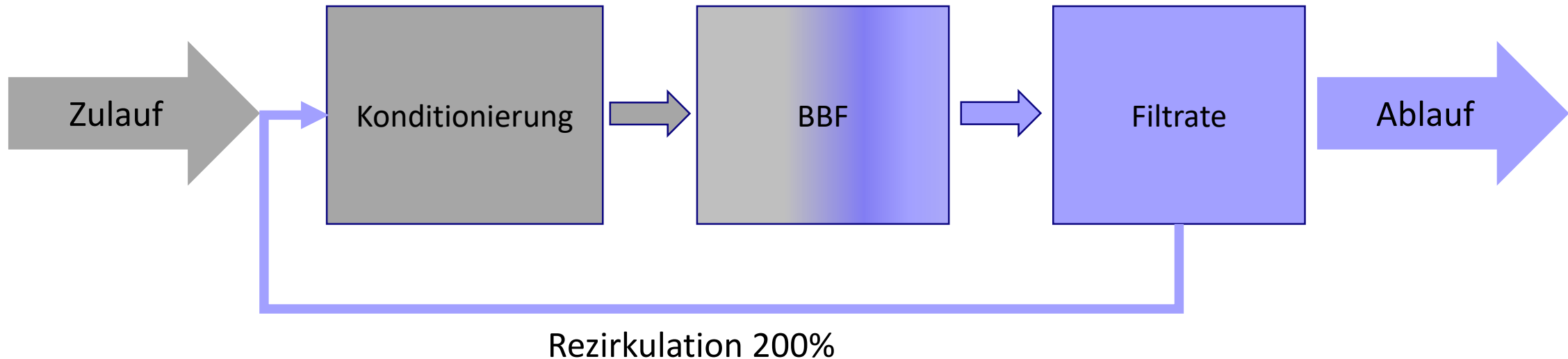
# Ergebnisse: Optimierung der Stickstoffentfernung

- **Vorgeschaltete Konditionierung**

- Verbesserung der Kohlenstoffverfügbarkeit durch zusätzliche Hydrolyse

- Zusätzliches Denitrifikationsvolumen

- HRT = 10,4 h bei  $Q_{\max} = 1,1 \text{ m}^3/\text{d}$  und  $R = 2,2 \text{ m}^3/\text{d}$



# Bewertung: Spurenstoffentfernung

