

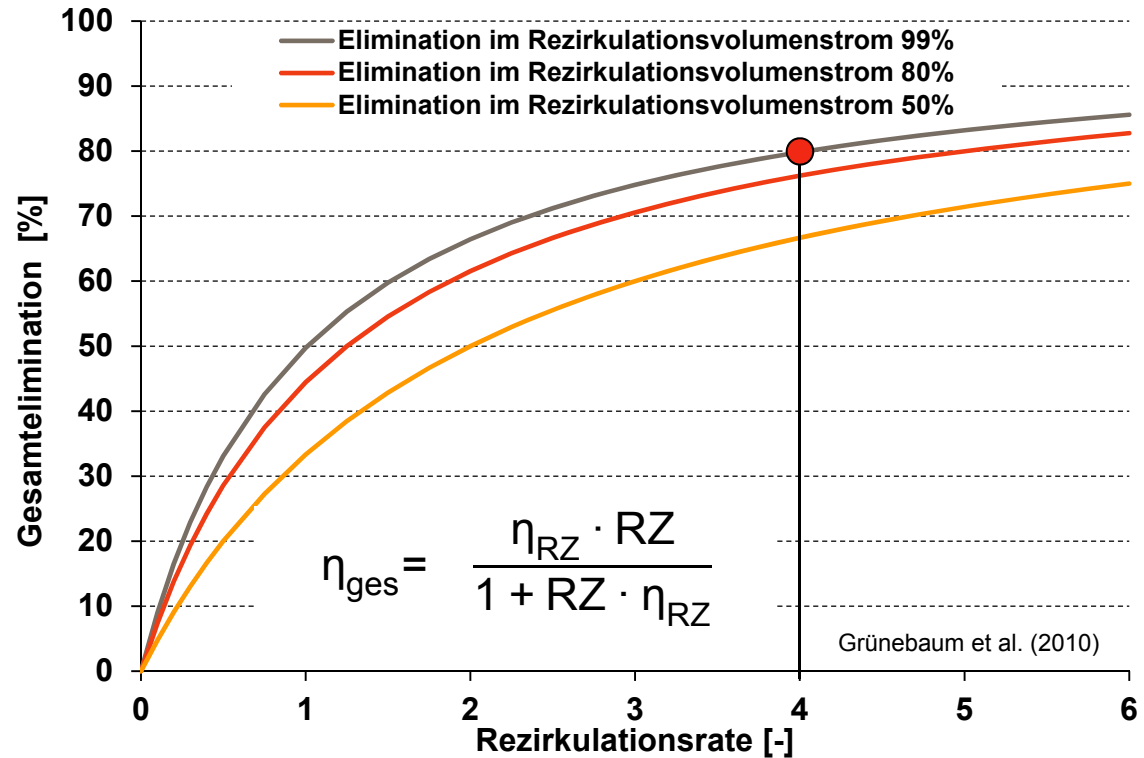
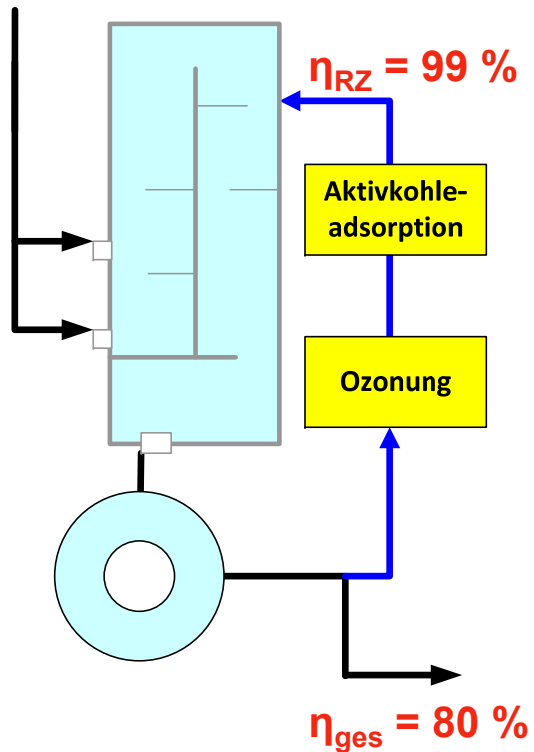
**Elimination organischer
Mikroverunreinigungen mittels
oxidativer und adsorptiver Verfahren
im dynamischen Rezirkulationsbetrieb**

Christopher Keyzers

Hintergrund

- ➔ **Weiterentwicklung analytischer Verfahren führt seit den 1990er Jahren zum Nachweis „neuer“ (Schad-)Stoffe**
- ➔ **Organische Mikroverunreinigungen sind u.a. Biozide, Arzneimittelwirkstoffe, Industrie- und Haushaltschemikalien**
 - liegen in Gewässern in wenigen ng/L bis mehreren µg/L vor
 - besitzen zum Teil ein ökotoxikologisches Risiko
- ➔ **Auf politischer/behördlicher Ebene werden Maßnahmen zur Reduzierung des Stoffeintrags diskutiert**
 - Kläranlagen gelten als naheliegender Ansatzpunkt zur Reduzierung
 - Landwirtschaft, Mischwasserbehandlung sind weitere Eintragspfade

Wirkungsweise dynamische Rezirkulation



➔ Gesamtelimination unter Vernachlässigung

- der Grundelimination der biologischen Stufe
- der Effekte der adsorptiven und/oder oxidativen Behandlung innerhalb der biologischen Stufe

Zielsetzungen

➔ Effizienz der Stoffelimination

- Dosierung (mg_{PAK}/L / mg_{O₃}/L)
 - Aktivkohle (5/0, 10/0, 15/0, 20/0)
 - Ozon (0/2, 0/5)
 - Aktivkohle und Ozon (5/2, 5/5, 10/2)

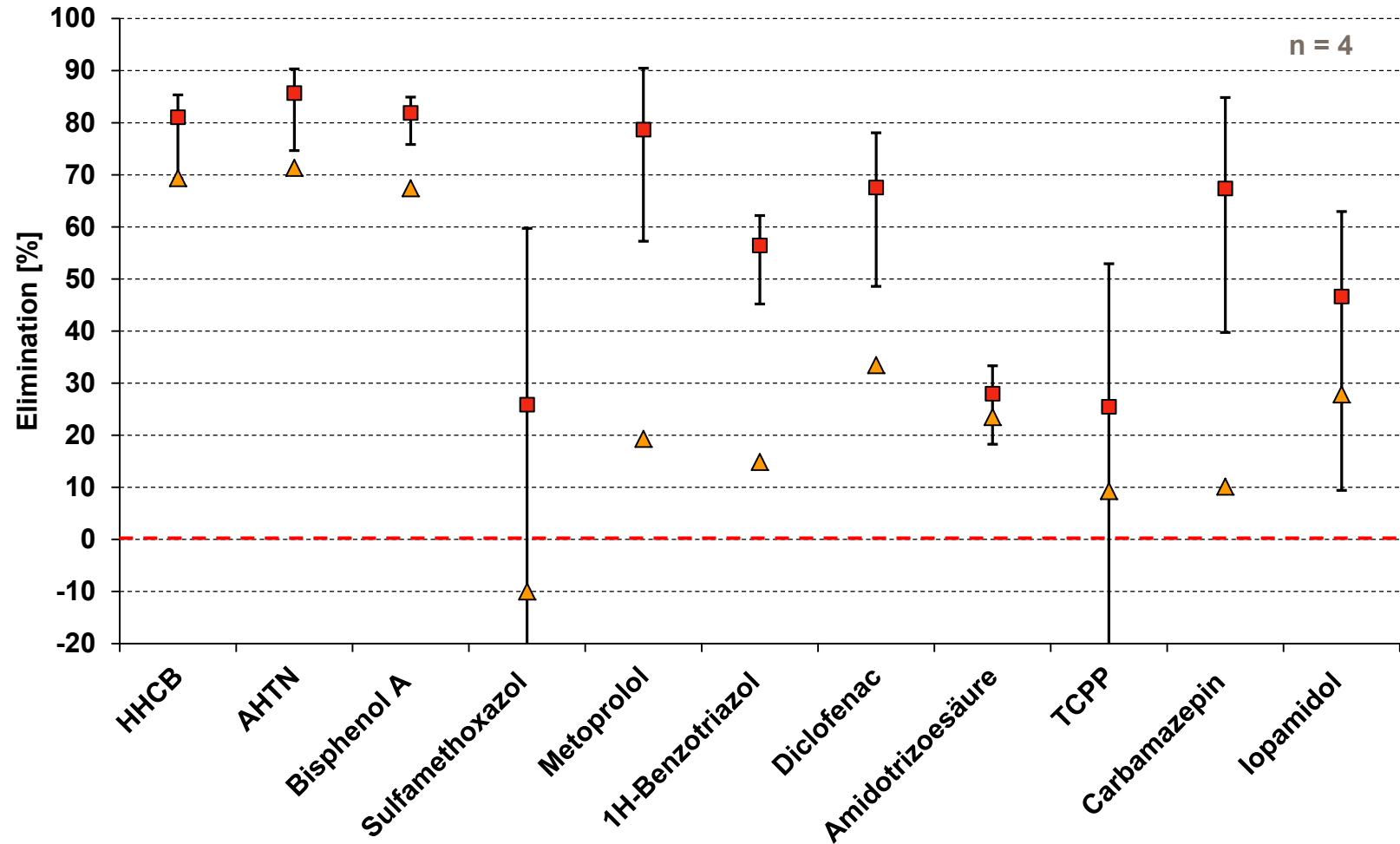
➔ Auswirkungen auf die biologische Reinigungsstufe

➔ Verfahrensvergleich und Bewertung

Aktivkohlezugabe – Elimination

$Q_{d,Ver.-Str.} = 8.701 - 12.092 \text{ m}^3/\text{d}$ $RZ = 1,1 - 1,5$ $m_{PAK} = 66 - 80 \text{ kg}/\text{d}$

▲ Mittelwert Referenzstraße ■ Mittelwert Versuchsstraße (5 mgPAK/L)

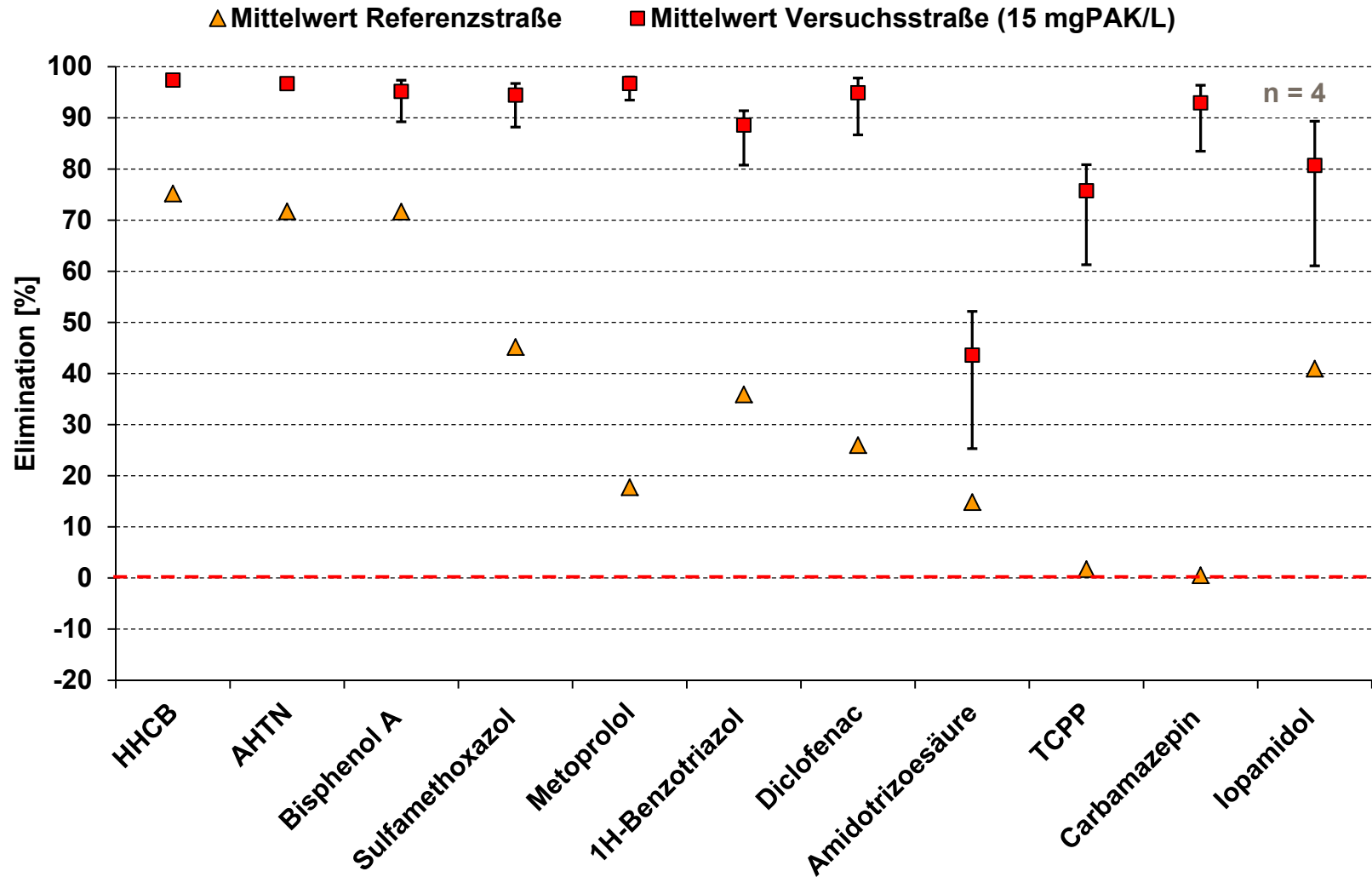


Aktivkohlezugabe – Elimination

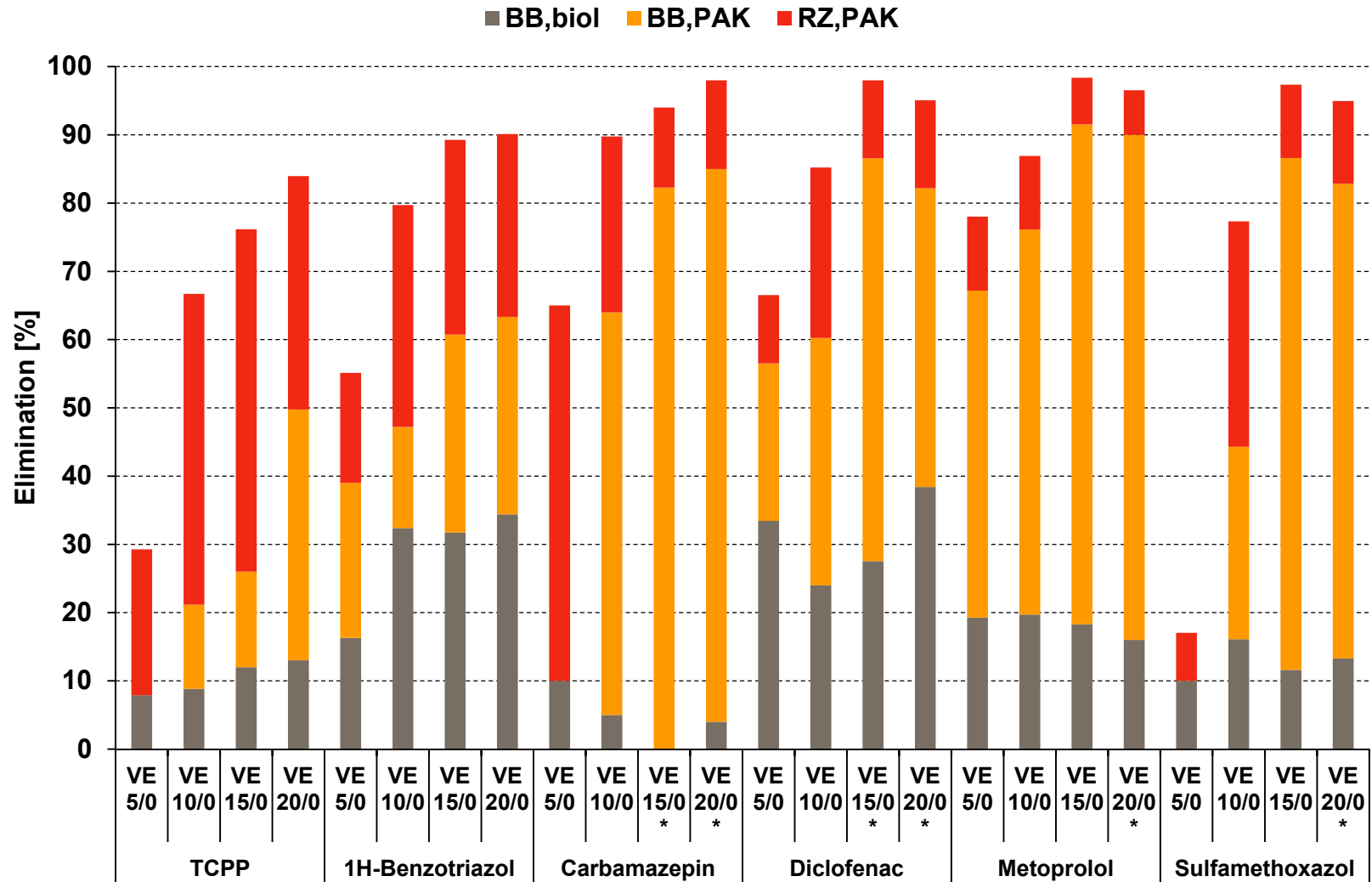
$Q_{d,Ver.-Str.} = 4.310 - 5.033 \text{ m}^3/\text{d}$

$RZ = 2,3 - 3,1$

$m_{PAK} = 158 - 209 \text{ kg}/\text{d}$



Aktivkohlezugabe – Elimination



Aktivkohlezugabe – Elimination

➔ Bewertung mittels volumenproportionaler Aktivkohlezugabe ($c_{PAK,RZ}$) nicht hinreichend, da

- die Verweilzeit der Aktivkohle in der Adsorptionsstufe der Verweilzeit des Wassers entspricht und
- die Verweilzeit der Aktivkohle im Belebungsbecken dem Schlammalter der biologischen Stufe entspricht

➔ Bewertung mittels spezifischer Aktivkohlezugabe ($c_{PAK,spez}$) unter Einbeziehung

- der Aktivkohlemenge ($RZ \cdot c_{PAK,RZ}$)
- der DOC-Konzentration im Rezirkulationsstrom ($c_{DOC,RZ}$)

➔ spezifische Aktivkohlezugabe:

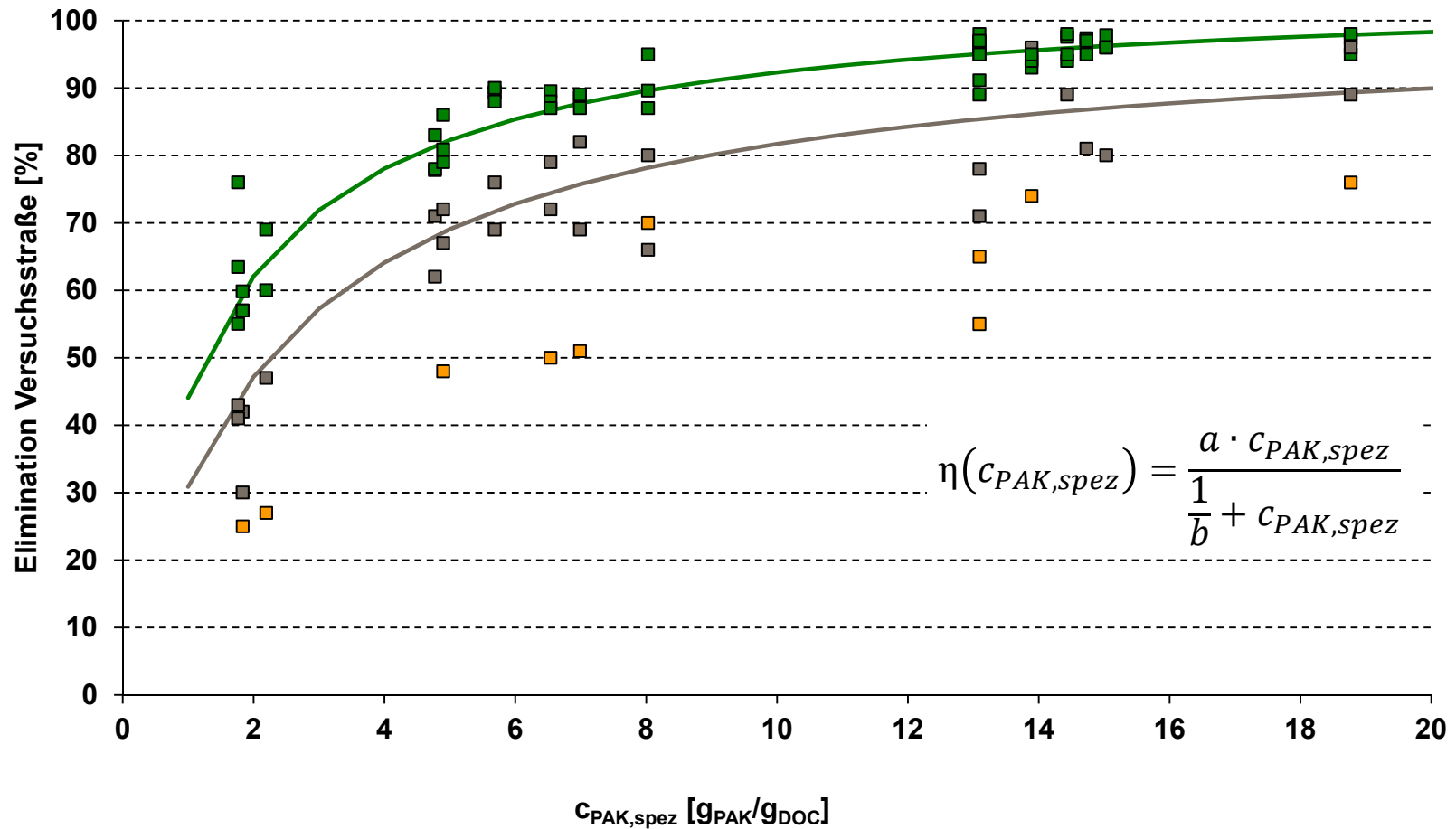
$$c_{PAK,spez} = RZ \cdot c_{PAK,RZ} / c_{DOC,RZ} \quad [g_{PAK}/g_{DOC}]$$

Aktivkohlezugabe – Elimination

gute Elimination: Metoprolol, Diclofenac, 1H-Benzotriazol, Carbamazepin

mäßige Elimination: Sulfamethoxazol, TCP, Iopamidol

schlechte Elimination: Amidotrizoesäure

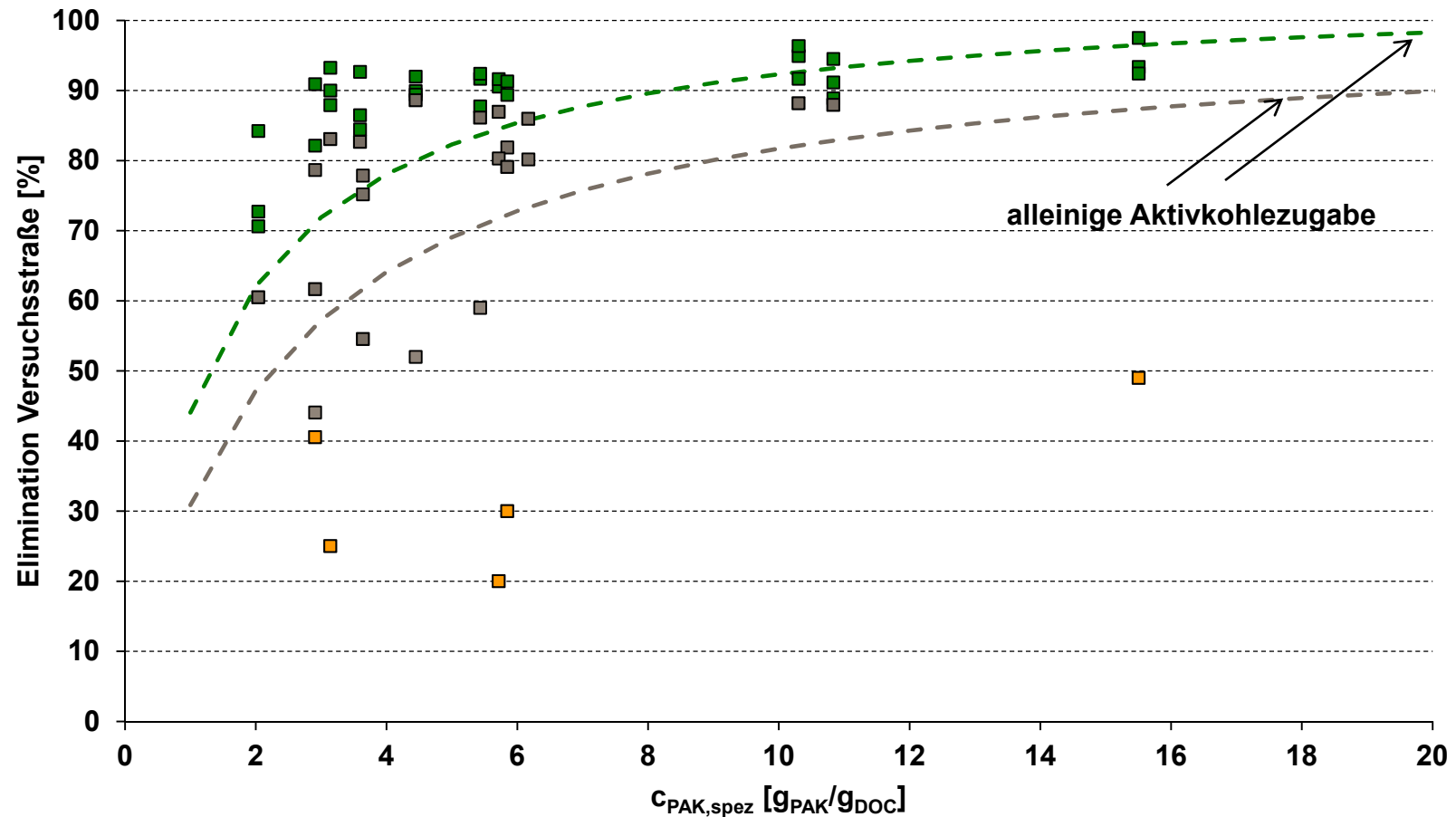


Aktivkohlezugabe und Ozonung – Elimination

gute Elimination: Diclofenac, Carbamazepin, Metoprolol, 1H-Benzotriazol

mäßige Elimination: TCPP, Sulfamethoxazol, Iopamidol

schlechte Elimination: Amidotrizoesäure



Auswirkungen auf die biologische Reinigungsstufe

➔ CSB- und DOC-Ablaufkonzentrationen

- | | | |
|---------------------------------|--|---|
| ▪ Referenzstraße: | $\emptyset_{\text{CSB}} = 24 \text{ mg/L}$ | $\emptyset_{\text{DOC}} = 6,0 \text{ mg/L}$ |
| ▪ Aktivkohlezugabe: | $\emptyset_{\text{CSB}} = 20 \text{ mg/L}$ | $\emptyset_{\text{DOC}} = 3,9 \text{ mg/L}$ |
| ▪ Ozonung: | $\emptyset_{\text{CSB}} = 20 \text{ mg/L}$ | $\emptyset_{\text{DOC}} = 4,5 \text{ mg/L}$ |
| ▪ Aktivkohlezugabe und Ozonung: | $\emptyset_{\text{CSB}} = 20 \text{ mg/L}$ | $\emptyset_{\text{DOC}} = 3,7 \text{ mg/L}$ |

➔ Stickstoffelimination weitestgehend unbeeinflusst

➔ Aktivkohlezugabe führt zur „Beschwerung“ des belebten Schlamms

Verfahrenvergleich

➔ Spurenstoffelimination

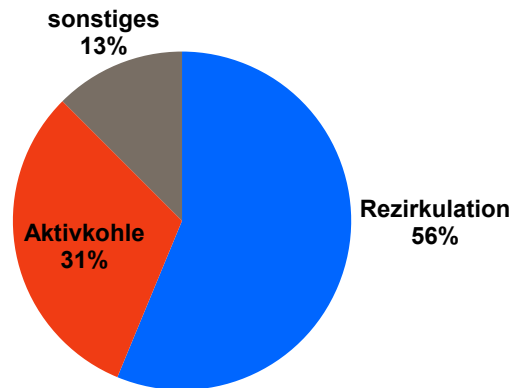
- Eindeutige Vorteile für die Aktivkohle- und die kombinierte Behandlung
- Adsorptive Stoffentnahme dominiert auch bei kombinierter Behandlung
- Ozonung erreicht merklich geringere Elimination

➔ Betriebsstabilität

- Alle Verfahren konnten stabil eingesetzt werden
- Konstante Beaufschlagung der Nachklärung mit $\approx Q_{\max}$
 - ➔ Erhöhung und Vergleichmäßigung der Schlamm Spiegelhöhe

Energiebedarf

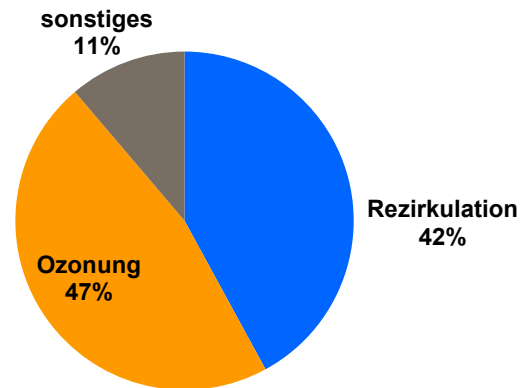
Aktivkohlezugabe



11,4 kWh/(E · a)

+ 33 %

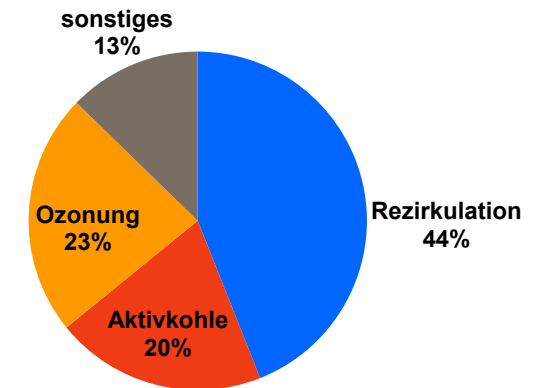
Ozonung 5 mg_{O₃}/L



22,4 kWh/(E · a)

+ 64 %

Kombination 2 mg_{O₃}/L



20,4 kWh/(E · a)

+ 54 %

**Unter Berücksichtigung eines Gesamtenergiebedarfs
von 35 kWh/(E · a) für konventionelle Kläranlagen der GK 4**

Behandlungskosten

➔ Modellbetrachtung anhand spezifischer Jahreskosten

- 25.000 Einwohner
- Jahresabwassermenge (JAM): 2,7 Mio. m³
- Jahresschmutzwassermenge (JSM): 1,7 Mio. m³
- Jahresfrischwasserverbrauch: 1,3 Mio. m³

	Dynamische Rezirkulation		AFSF	Ozonung
	Aktivkohle	Kombination		
Investitionen	1.325.000 €	1.692.000 €	2.500.000 €	2.350.000 €
spez. Jahreskosten (JAM)	0,12 €/m ³	0,15 €/m ³	0,13 €/m ³	0,12 €/m ³
spez. Jahreskosten (JSM)	0,18 €/m ³	0,24 €/m ³	0,20 €/m ³	0,19 €/m ³
spez. Jahreskosten (FWM)	0,24 €/m ³	0,31 €/m ³	0,26 €/m ³	0,25 €/m ³
Kosten der konventionellen Abwasserreinigung (DWA, 2014)				
spez. Jahreskosten (FWM)	2,11 €/m ³			
Kostensteigerung (FWM)	+ 11 %	+ 15 %	+ 12 %	+ 12 %

Zusammenfassung und Ausblick

➔ Eintrag organischer Spurenstoffe in die Umwelt unvermeidbar

➔ Aktivkohlezugabe im dynamischen Rezirkulationsbetrieb

- Einführung der spezifischen Dosiermenge ($c_{PAK, spez}$)
 - berücksichtigt hydraulische Effekte und zusätzliche Beladung im Belebungsbecken
 - ermöglicht Bewertung und Übertragbarkeit
- Einsatzbereiche der dynamischen Rezirkulation insbesondere für Anlagen
 - ohne existierende weitergehende Reinigungsstufe
 - mit beengten Platzverhältnissen / ungünstiger Baugrundbeschaffenheit
- Steigerung Energiebedarf bzw. Behandlungskosten um 33 % bzw. 11 %

➔ Forschungsbedarf

- Effizienz der Elimination: Dynamische Rezirkulation vs. simultane Aktivkohlezugabe
- Rückhalt von Feinstpartikeln/Einbindung in den belebten Schlamm

