



Aktueller Stand und Ausblick bei der Behandlung PFAS-belasteter Wässer

2. Workshop zur PFAS-Sanierung des Netzwerks PerFluSan

Karlsruhe, 18. Juni 2024

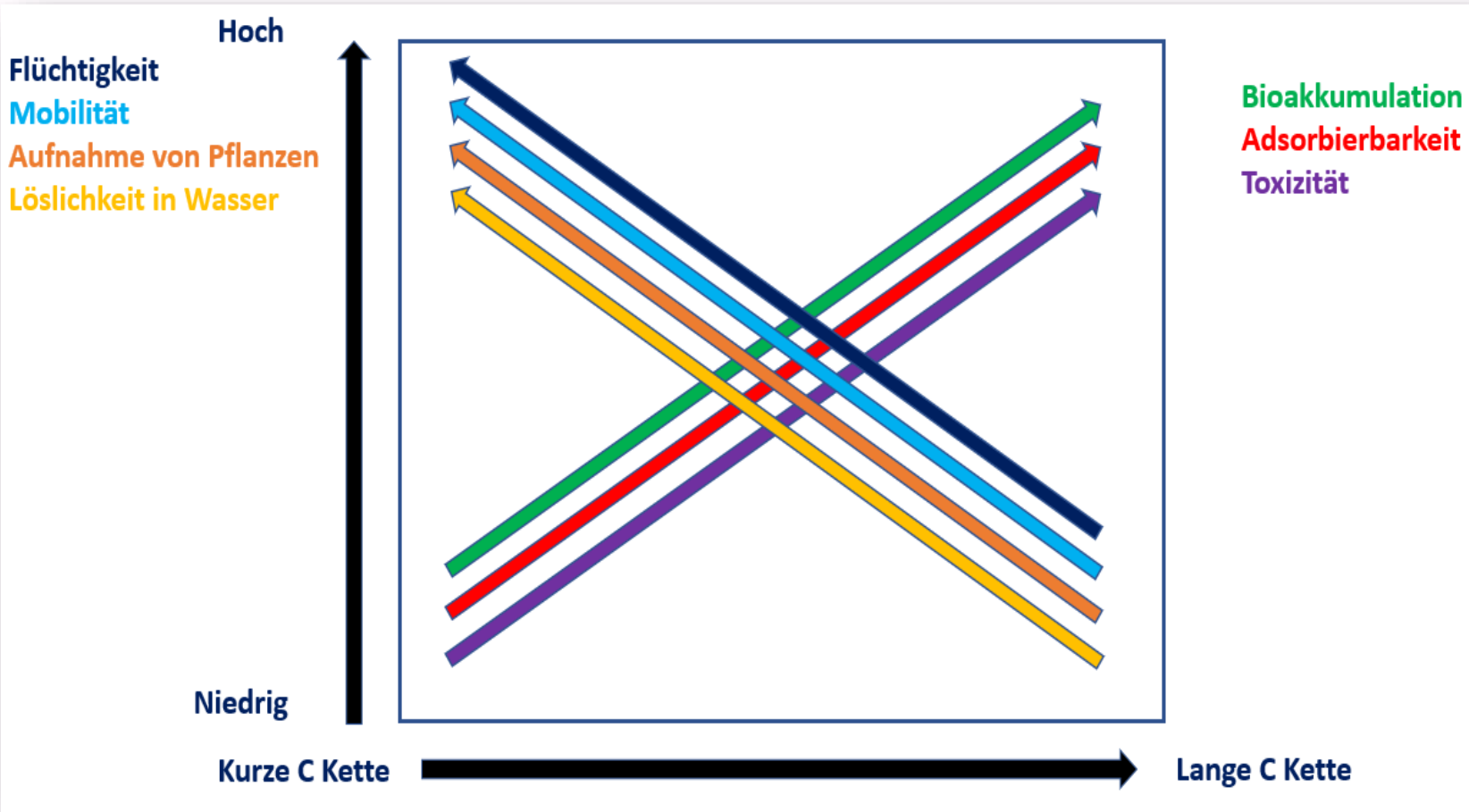
Inhalte

- 1** Einführung
- 2** Kriterien für die Verfahrensauswahl
- 3** Praxiserprobte Verfahren zur Behandlung PFAS-belasteter (Grund-)Wässer
- 4** Aufkommende Technologien und Verfahrenskombinationen

PFAS - Charakterisitik

- Stoffgruppe mit mehr als 10.000 Einzelsubstanzen
- organische Verbindungen anthropogenen Ursprungs
- besonders persistent infolge der stabilen Fluor-Kohlenstoff-Bindung (hohe Beständigkeit gegenüber chemischen, thermischen und biologischen Einflüssen)
- (bio-)akkumulieren in der Umwelt (Boden, Pflanze, Tier, Mensch)
- einige PFAS-Verbindungen weisen ein erhöhtes öko- und humantoxikologisches Gefährdungspotenzial auf bzw. sind bereits als cancerogene und mutagene Substanzen gelistet

PFAS - Stoffeigenschaften



- Unterschiedliche Adsorptionsneigung in Abhängigkeit der Kettenlänge

Simplifizierte Darstellung einiger Stoffeigenschaften
in Abhängigkeit der PFAS-Kettenlänge
(nach Klein & Holmes, 2019)

Beurteilung und Auswahl von Verfahren zur Behandlung von PFAS-belasteten Wässern

Verfahrenstechnische Kriterien:

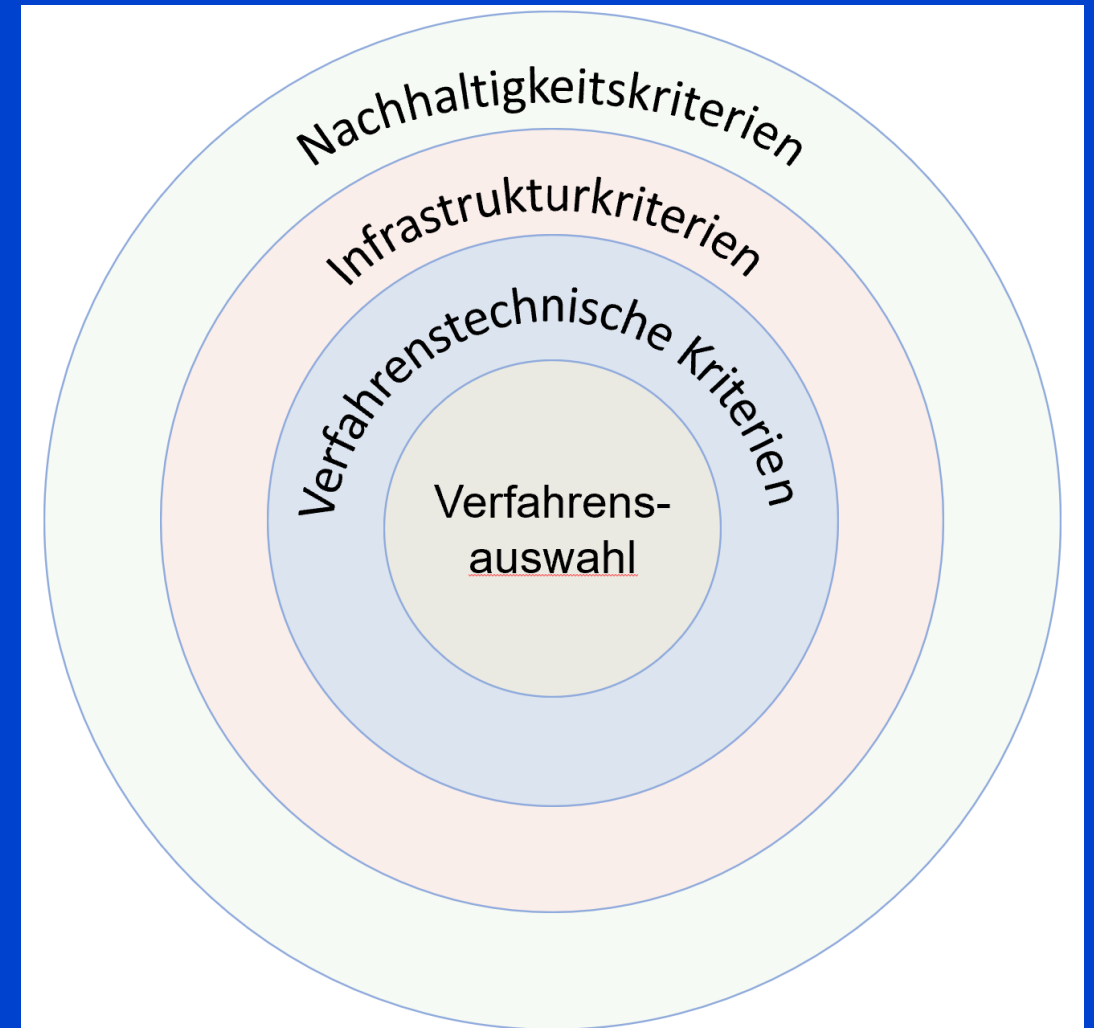
- verfahrenstechnische Eignung einschl. Sicherheit hinsichtlich ‚jederzeit zuverlässiger‘ Erreichung der Zielwerte
- CAPEX, OPEX einschl. langfristiger Kostenprognose

Infrastrukturkriterien:

- Energieanschluss, Aufstellung, Wasserzuführung u. -ableitung, ...

Nachhaltigkeitskriterien:

- Energieverbrauch / CO₂-Emission
- Verbrauch von Betriebsstoffen und Anfall sowie Entsorgung von Reststoffen



PFAS-Behandlungsverfahren

1

Adsorption an Aktivkohle (GAC)

2

Adsorption an modifizierten (Ionenaustauscher-)Harzen und sonstigen Materialien (IX)

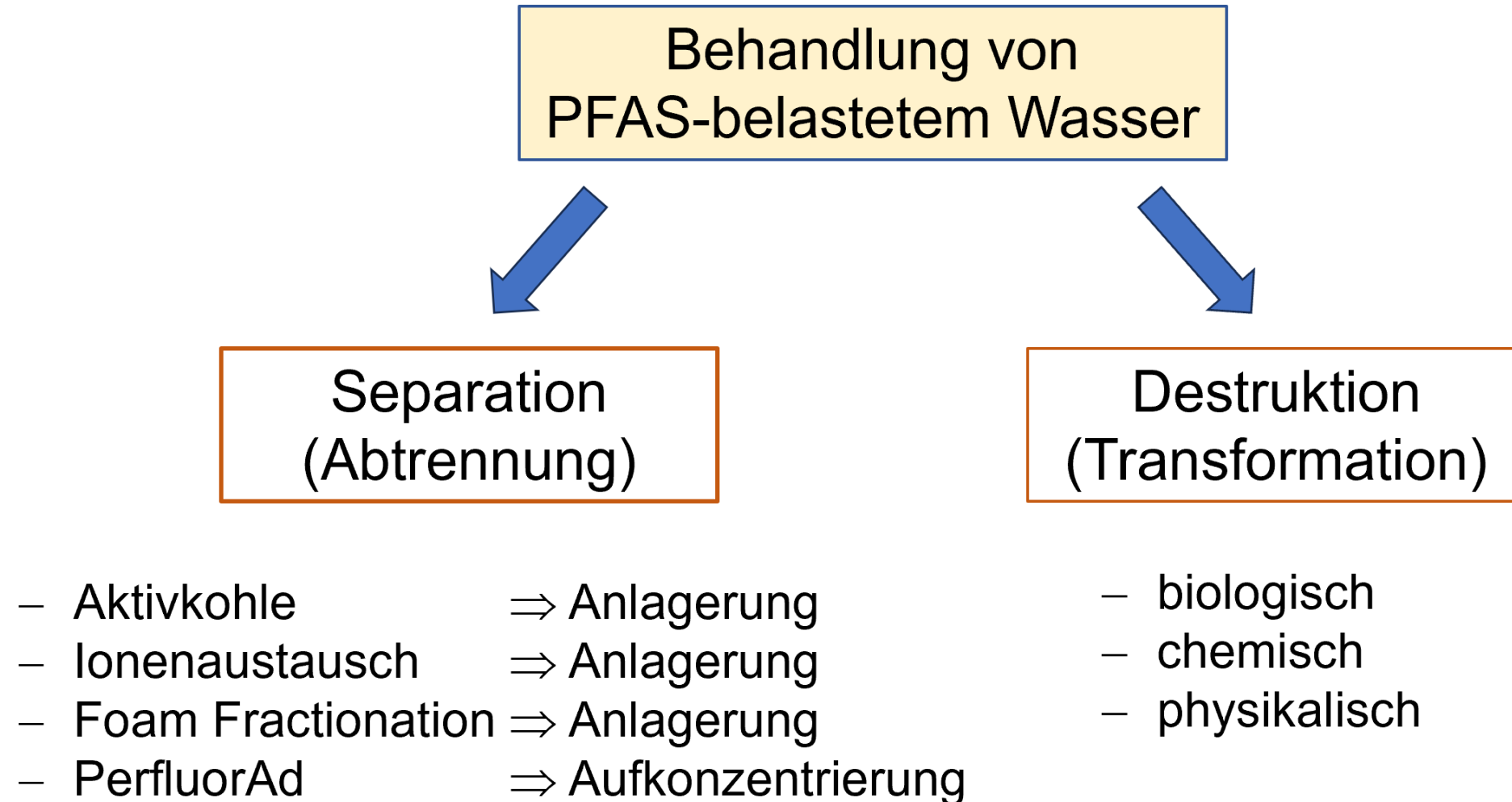
3

Fällung mit PerfluorAd

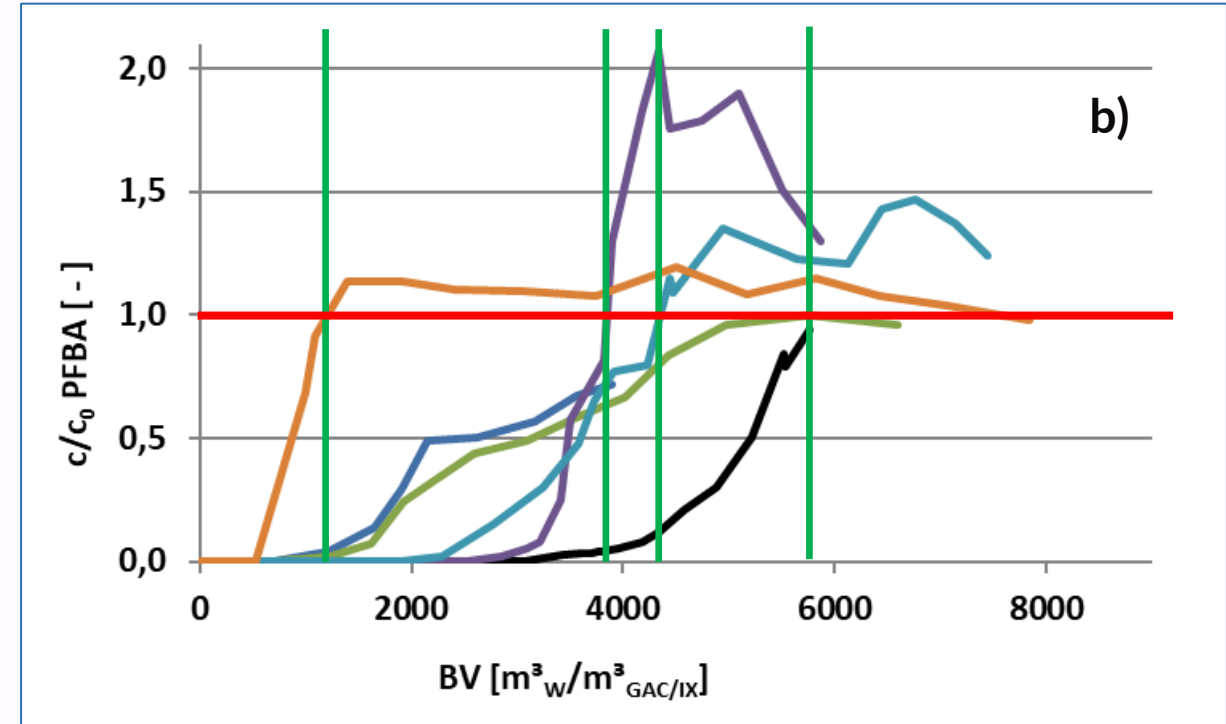
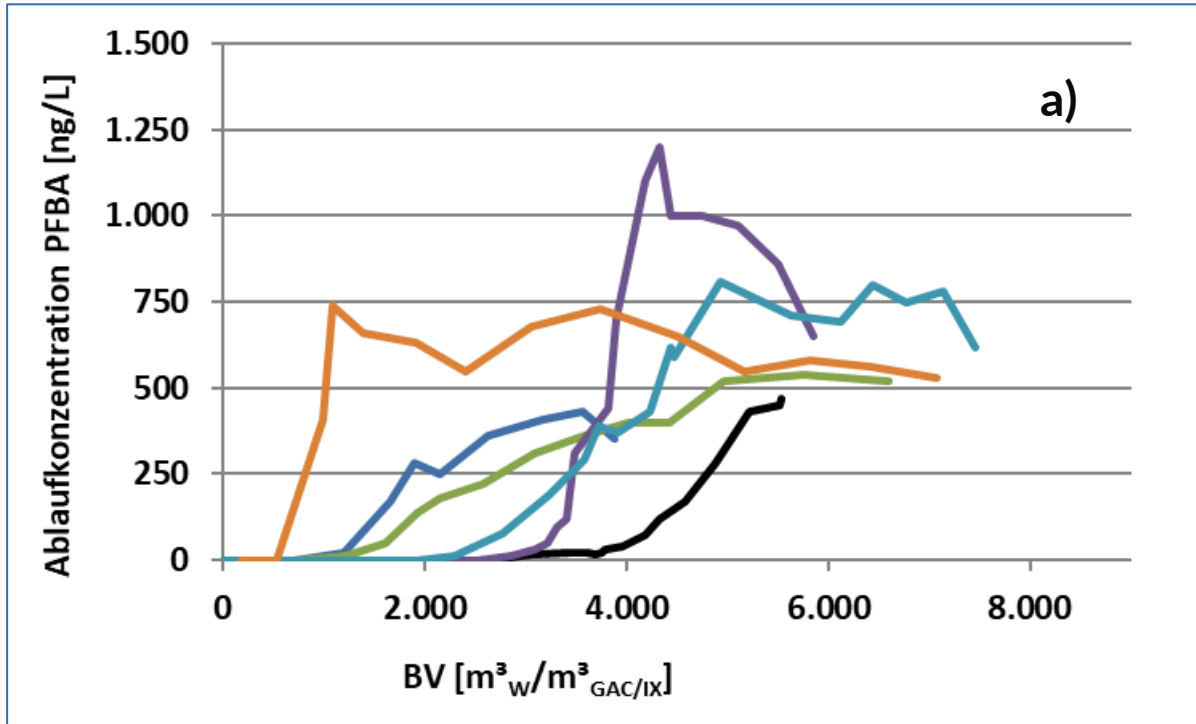
4

Foam Fractionation (FF)

Einordnung von Verfahren zur Behandlung von PFAS-belasteten Wässern



Einflüsse durch Adsorbiermaterial



— GAC 1 — GAC 2 — GAC 3 — GAC 4 — GAC 5 — IX 0

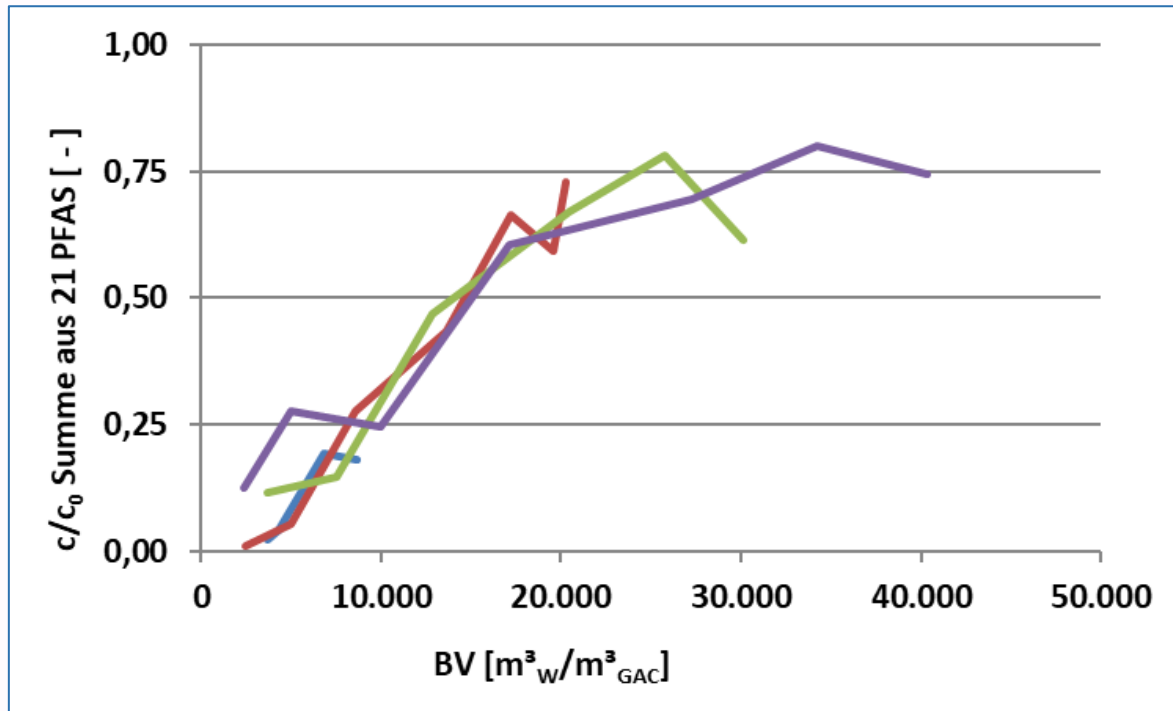
Säulendurchmesser	[cm]	15,4
Anströmfläche	[cm ²]	186
Schütthöhe	[m]	3,0
Volumen Adsorber	[L]	56
Volumenstrom	[L/h]	200
Filtergeschwindigkeit	[m/h]	11
Aufenthaltszeit	[min.]	17

Durchbruchverhalten verschiedener Adsorbentien für PFBA in BV
a) Ablaufkonzentration PFBA [ng/l] sowie b) relative Konzentration c/c_0 PFBA [-]
bei einer Rohwasserkonzentration von 570 ng/l PFBA (Mittelwert)

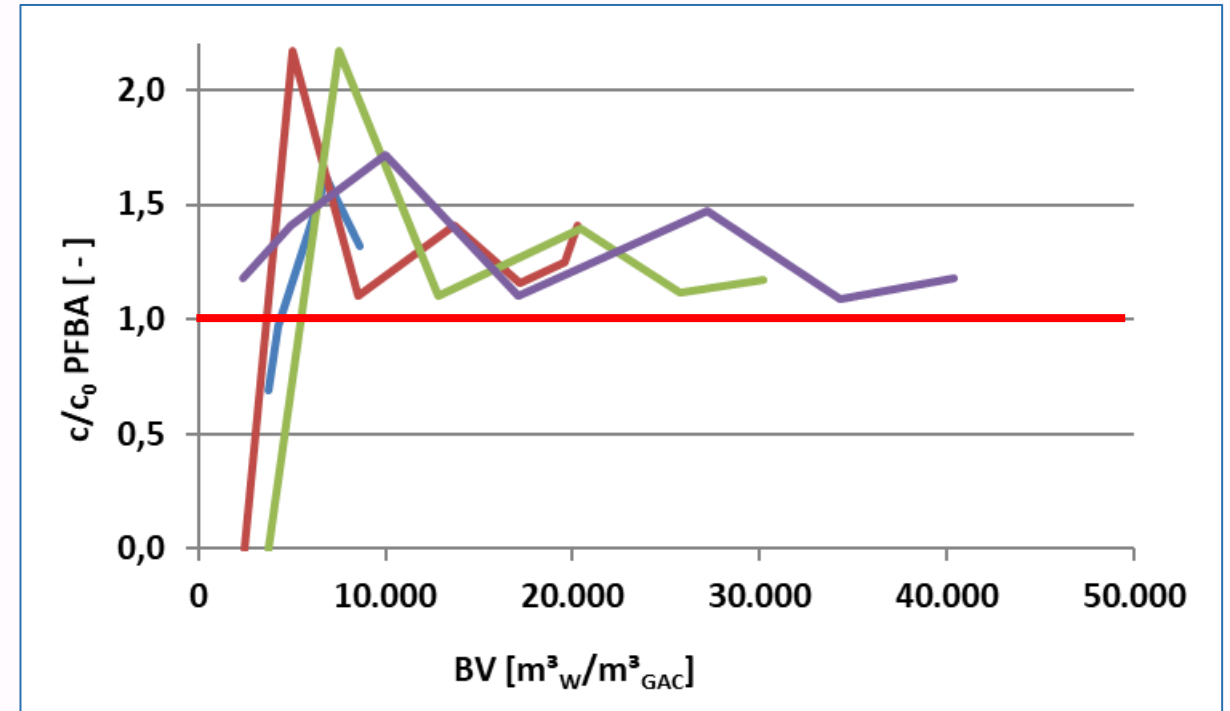
Filtermanagement

Durchbruchverhalten der GAC 1 nach 1,0 m Schütthöhe bei verschiedenen Filtergeschwindigkeiten

Summe PFAS

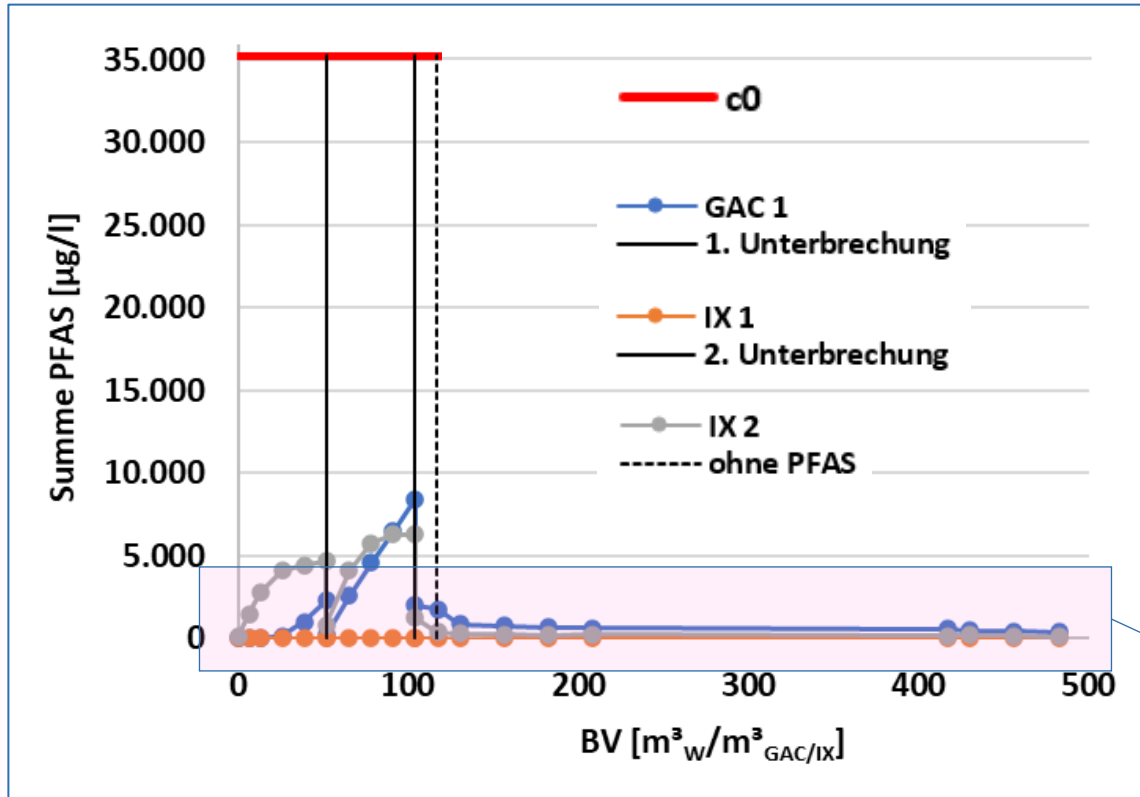


PFBA

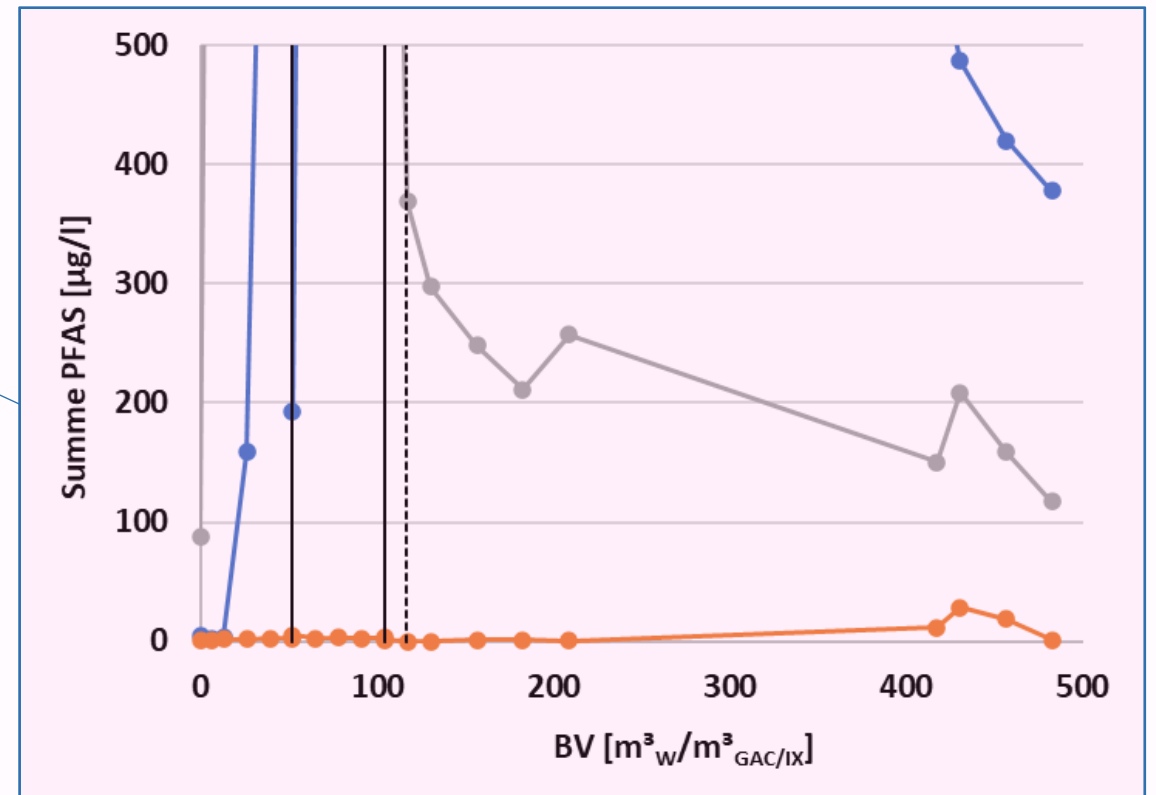


— Vf = 4,0 m/h — Vf = 8,0 m/h — Vf = 12,0 m/h — Vf = 16,0 m/h

Einfluss sich ändernder Rohwasserqualität



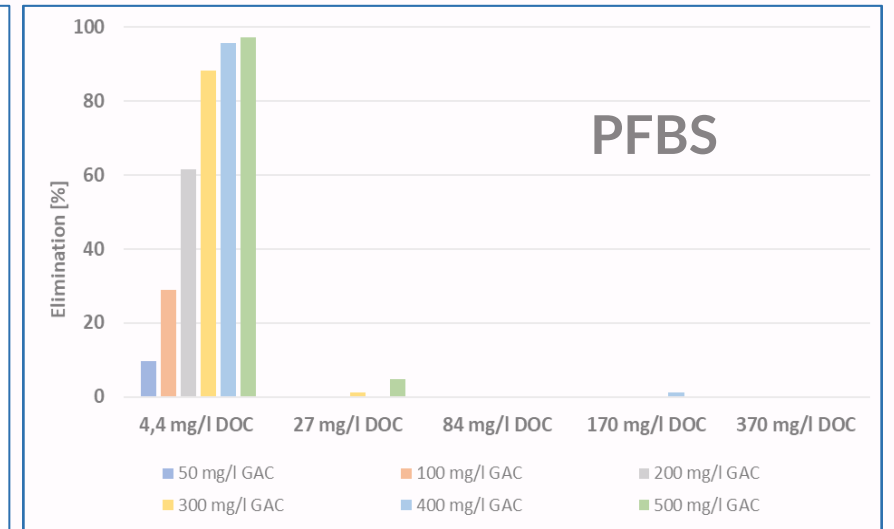
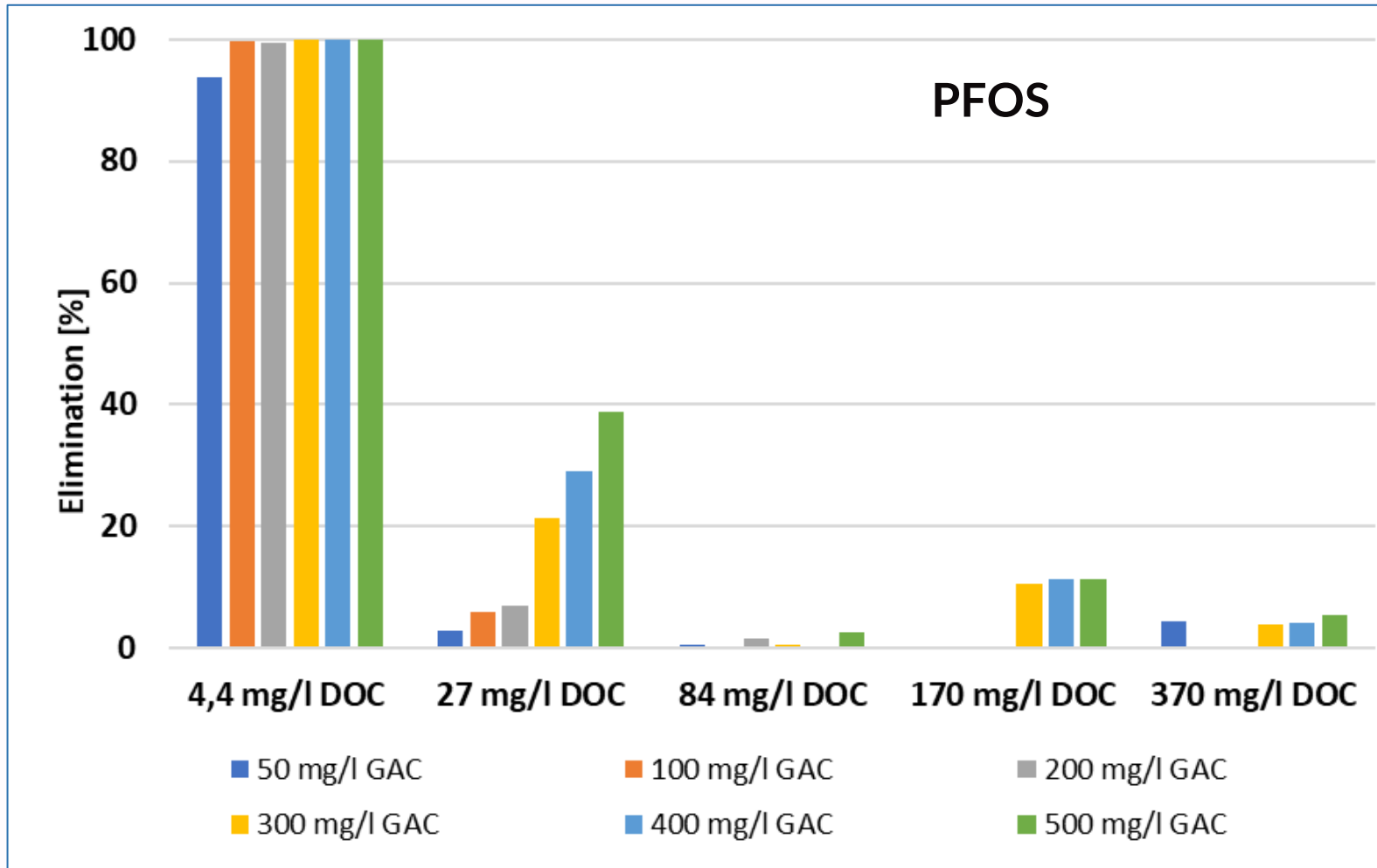
Durchbruchverhalten verschiedener Adsorbentien für **Summe PFAS**



Säulendurchmesser	[cm]	5,4
Anströmfläche	[cm ²]	22,9
Schütthöhe	[cm]	100
Volumen Adsorber	[L]	2,3
Volumenstrom	[L/h]	30
Filtergeschwindigkeit	[m/h]	13,3
Aufenthaltszeit	[min]	5

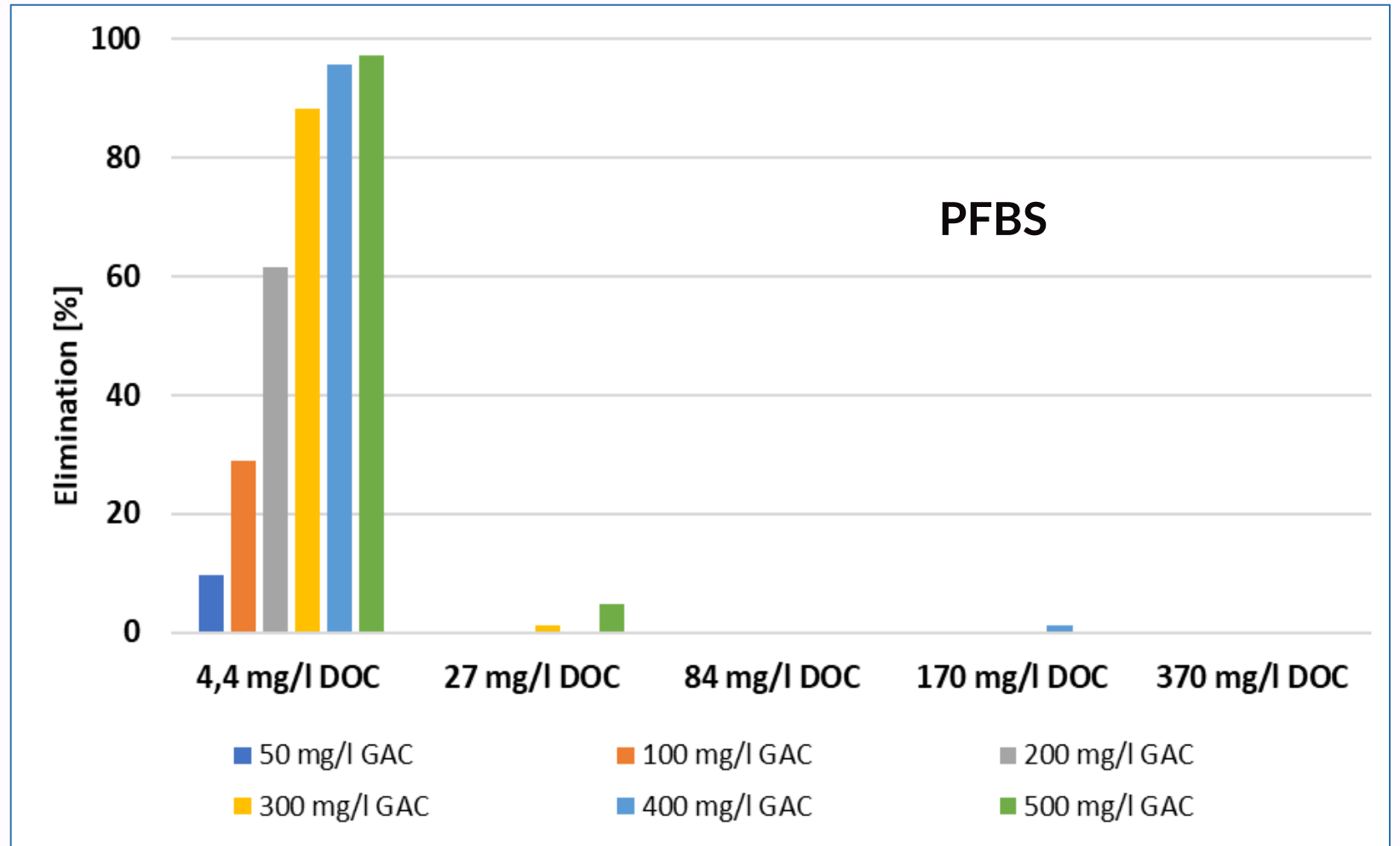
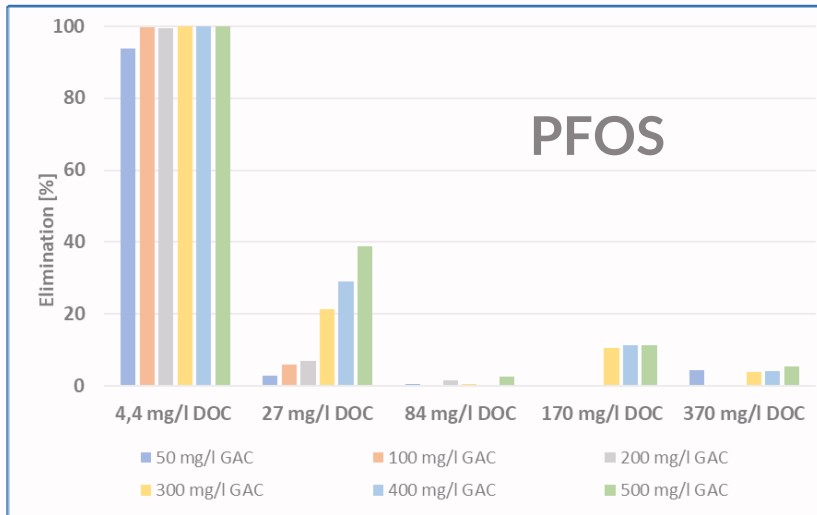
Einfluss der organischen Hintergrundbelastung

Eliminationen für PFAS-Einzelsubstanzen bei Einsatz unterschiedlicher Mengen vermahlener GAC und unterschiedlichen DOC-Hintergrundbelastungen



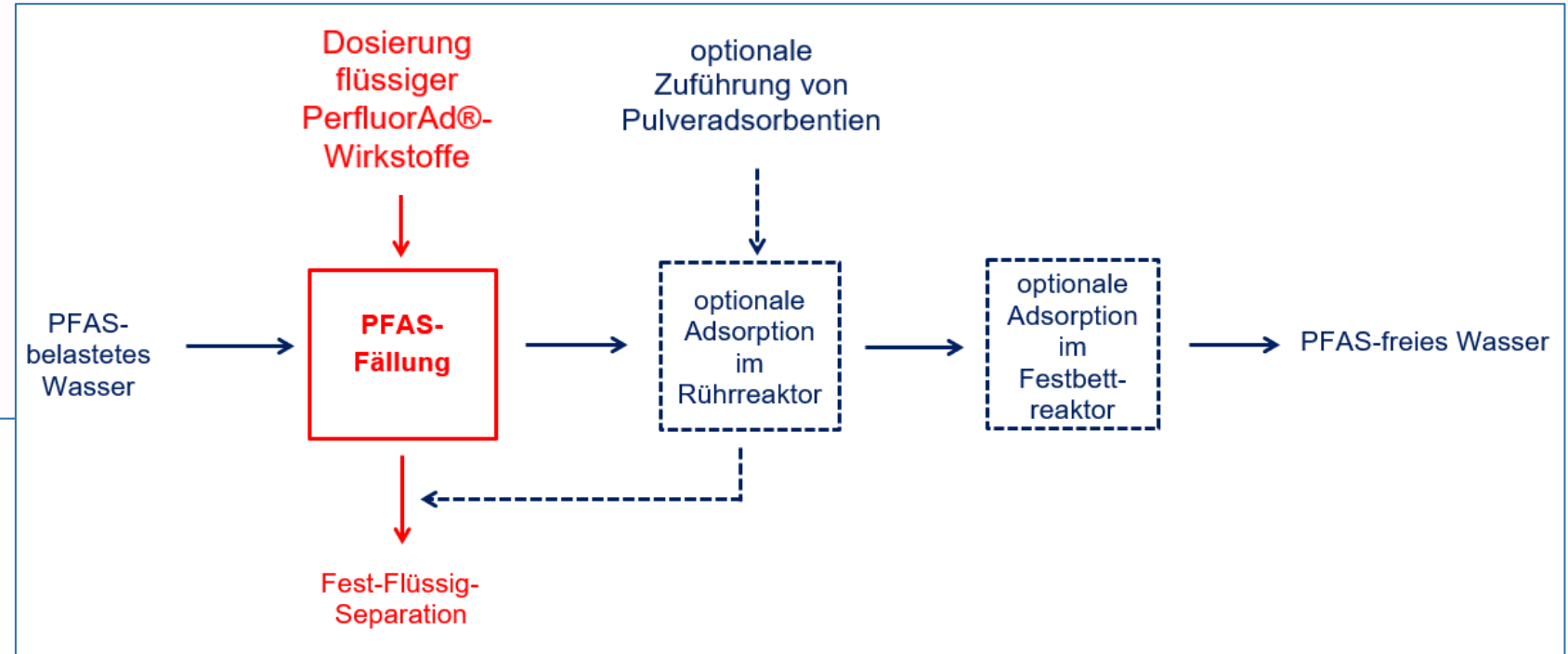
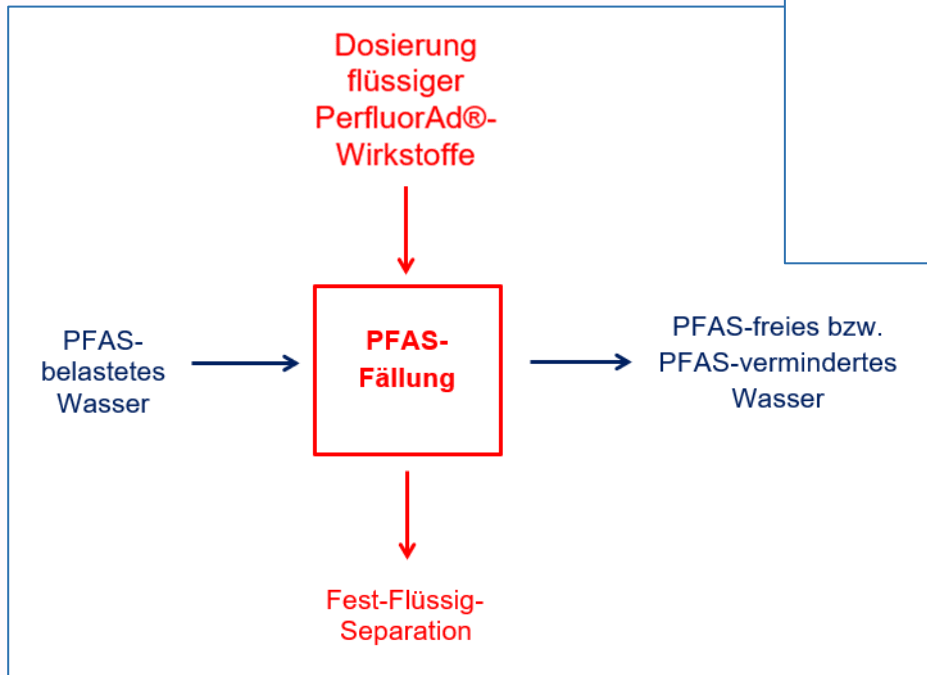
Einfluss der organischen Hintergrundbelastung

Eliminationen für PFAS-Einzelsubstanzen bei Einsatz unterschiedlicher Mengen vermahlener GAC und unterschiedlichen DOC-Hintergrundbelastungen



PFAS-Fällung mit PerfluorAd - Verfahrensprinzip

Anwendungsprinzip des PerfluorAd-Prozesses als solitäre Methode



Anwendungsprinzip des PerfluorAd-Prozesses in der Kombination mit einer Nachreinigung (beispielhaft dargestellt durch eine nachgeschaltete PAC- und/oder GAC-Anwendung)

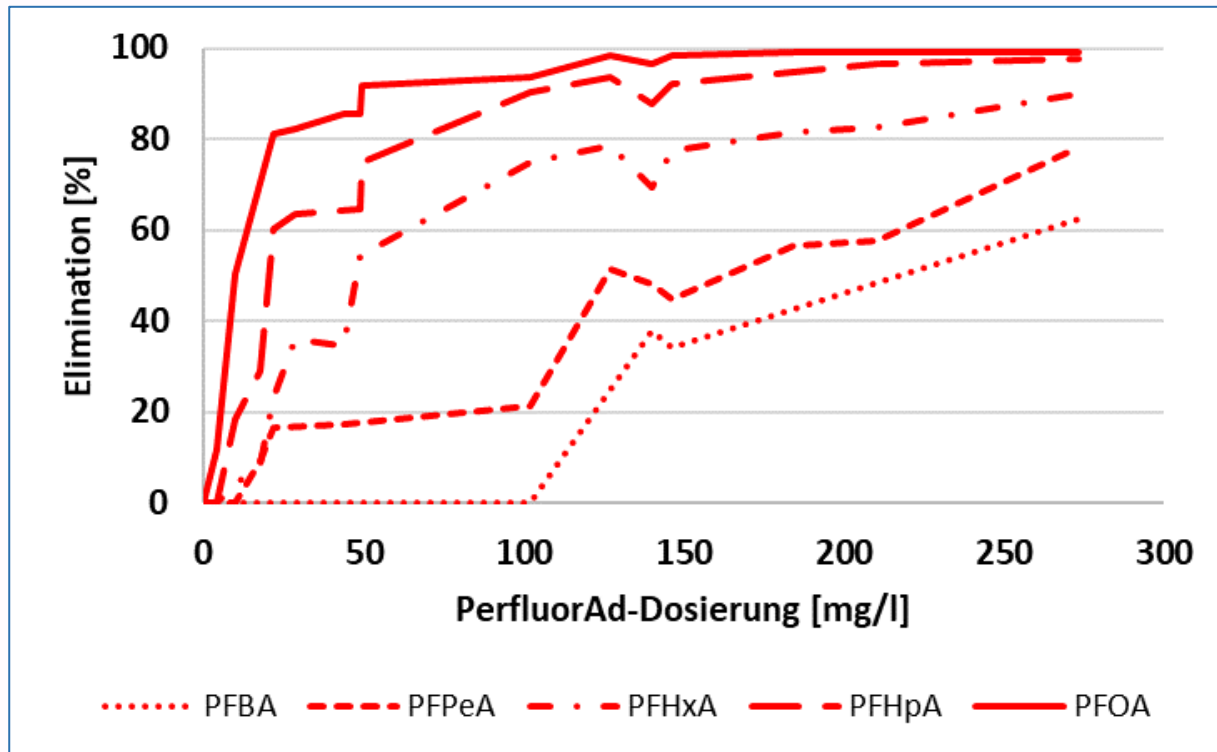
Präzipitatbildung während des Fällungsvorgangs



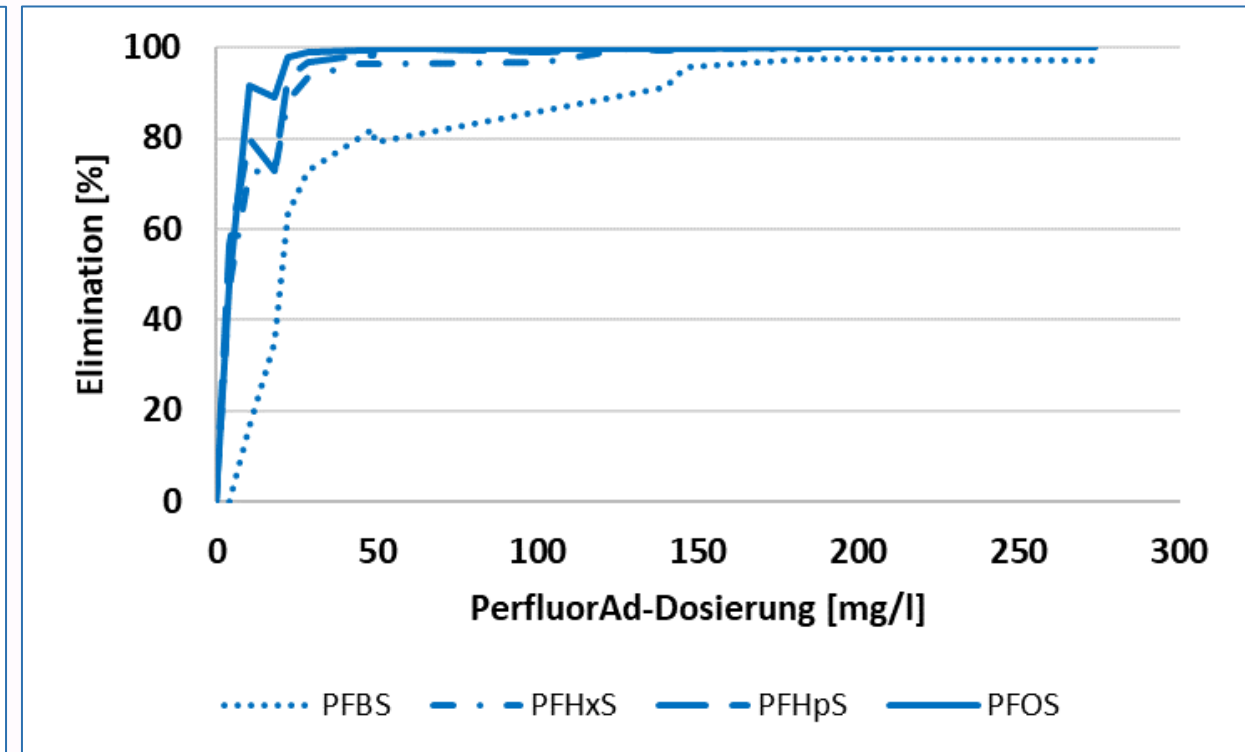
Nachweis der Wirksamkeit - schwach belastete Wässer

Eliminationen für PFAS-Substanzen bei unterschiedlichen PerfluorAd-Dosierungen
(Grundwasser)

PFCA-Einzelsubstanzen



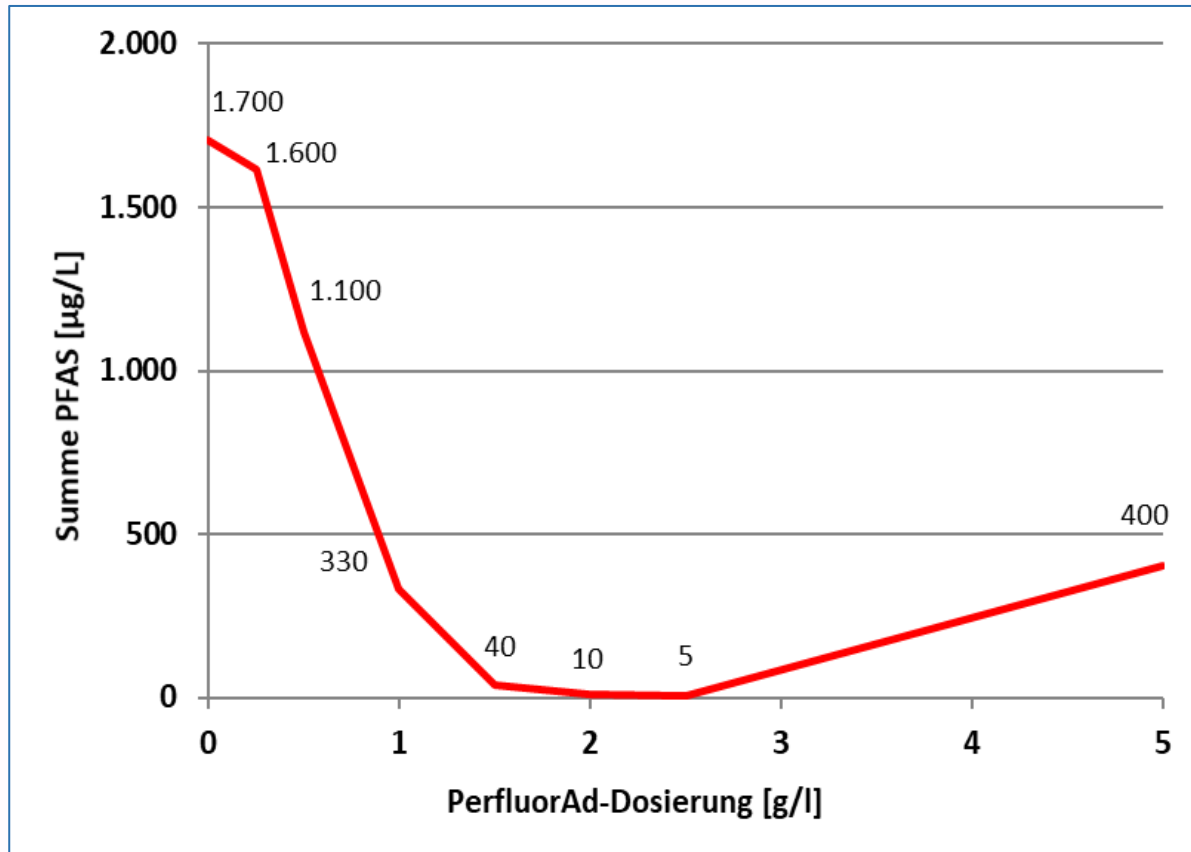
PFSA-Einzelsubstanzen



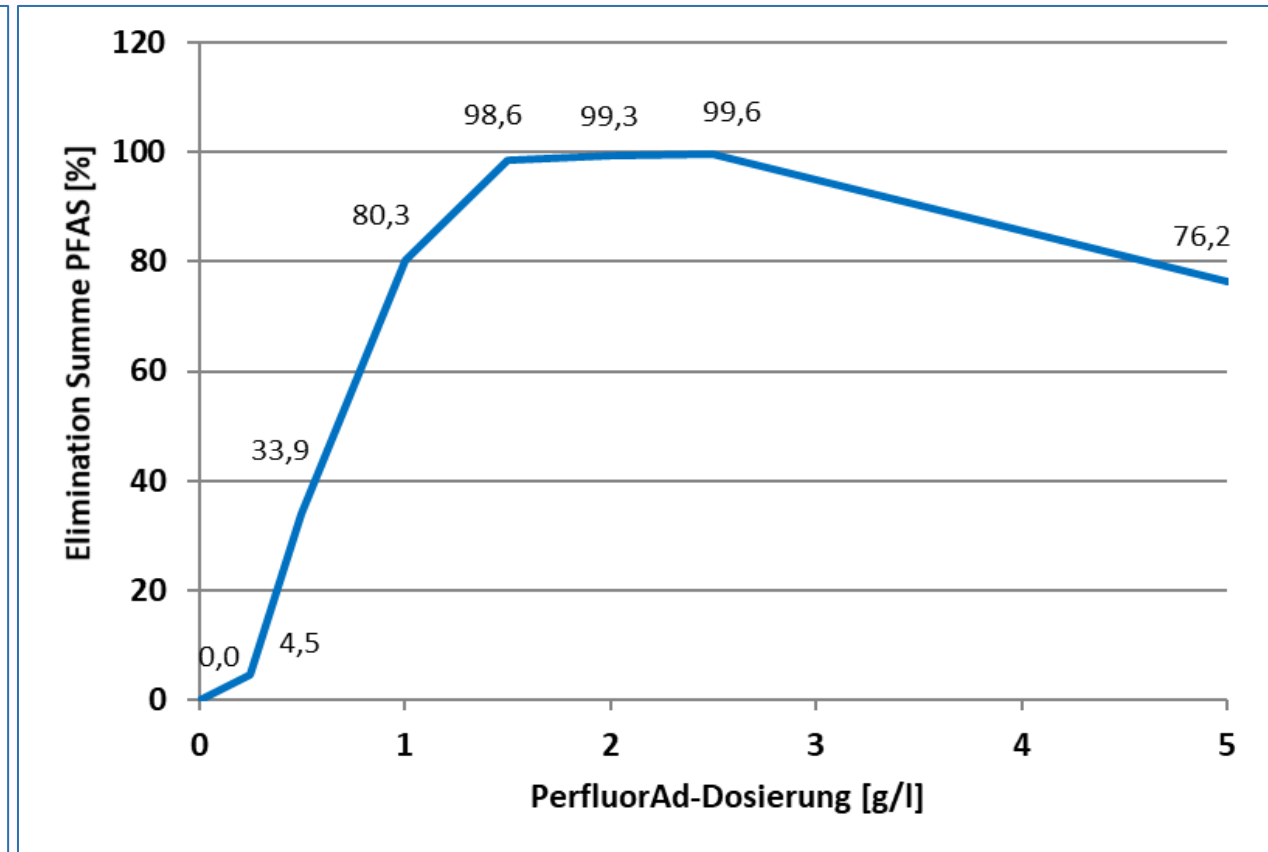
Nachweis der Wirksamkeit - hoch belastete Wässer

Wirksamkeit für Summe PFAS bei unterschiedlichen PerfluorAd-Dosierungen für Feuerlöschwasser (1% AFFF-Löschmittelkonzentrat in Wasser)

Restkonzentration Summe PFAS in $\mu\text{g/l}$

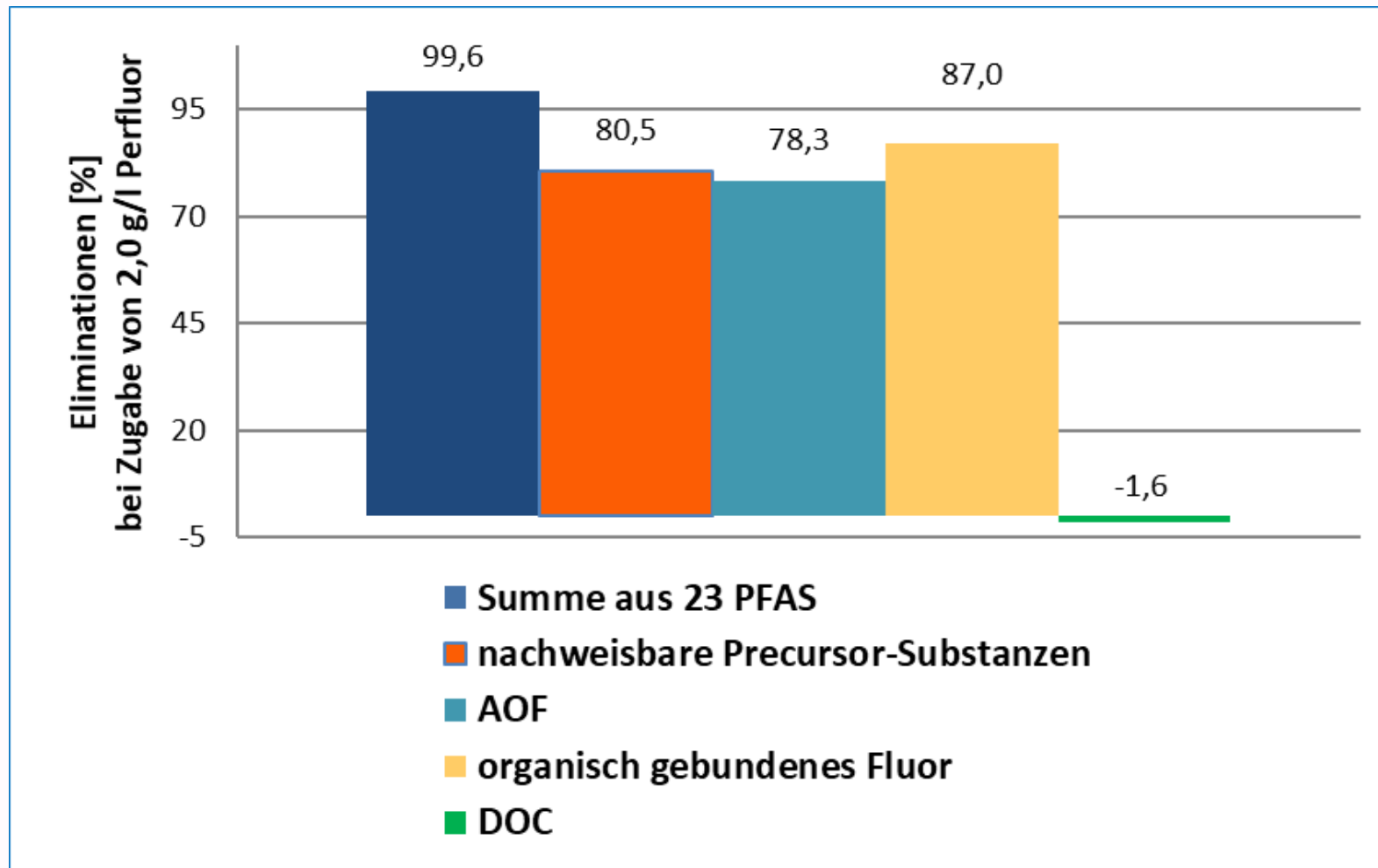


Elimination Summe PFAS in %



Nachweis der Wirksamkeit - hoch belastete Wässer

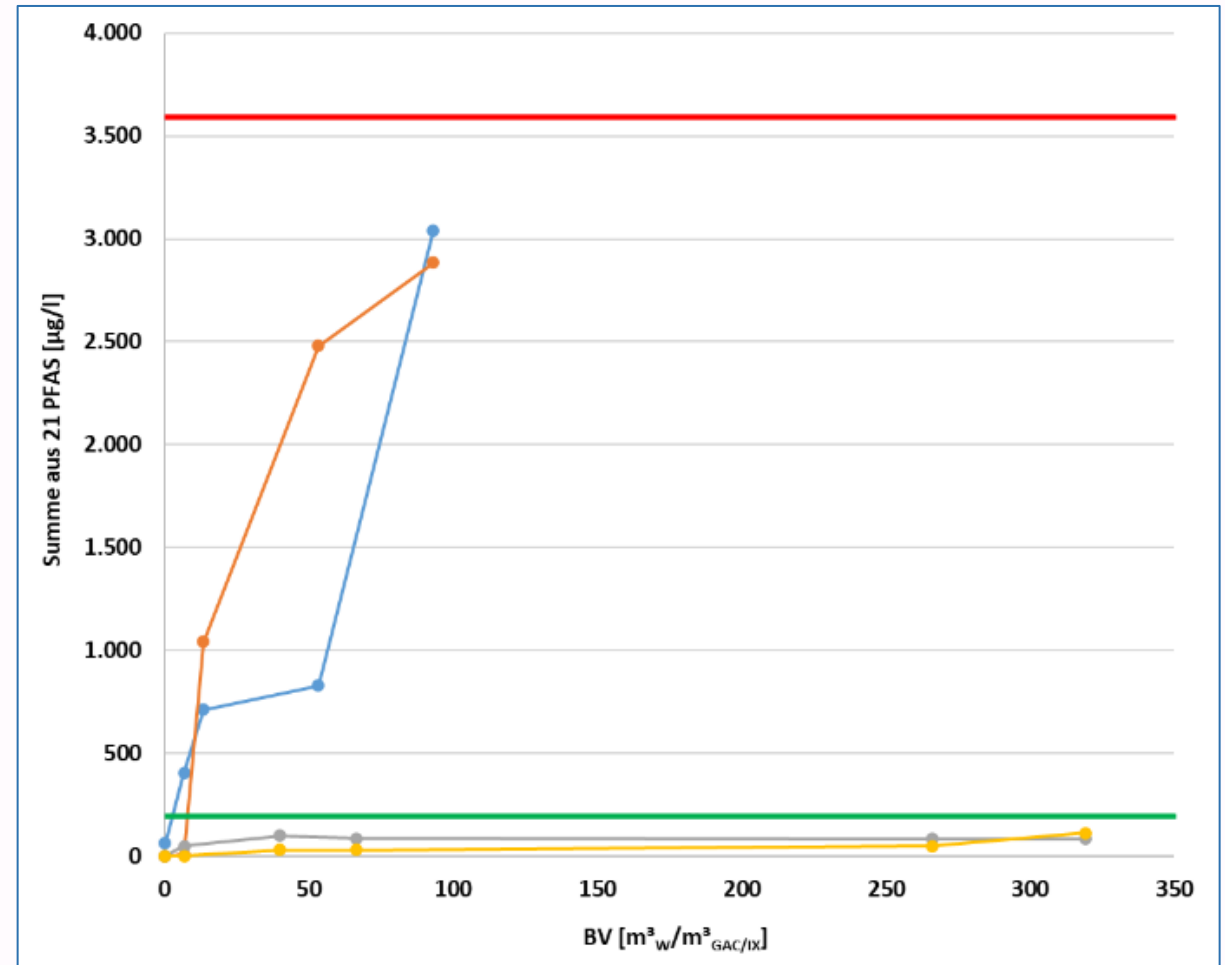
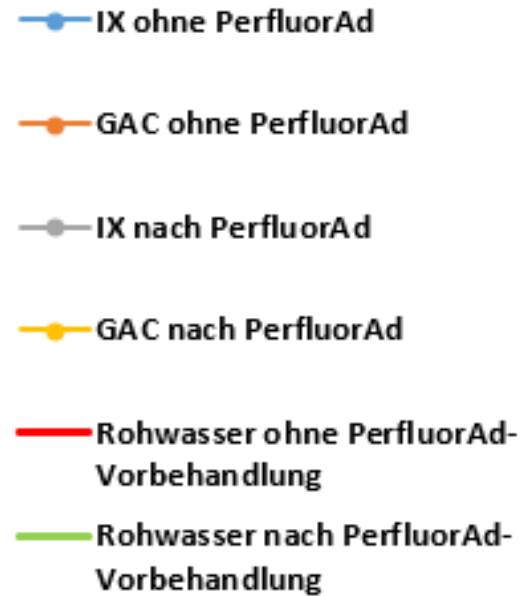
Elimination unterschiedlicher Parameter nach Dosierung von 2 g/l PerfluorAd in Feuerlöschwasser
(1% AFFF-Löschmittelkonzentrat in Wasser)



Kombination von PerfluorAd mit GAC u./od. IX

Durchbruchverhalten bei Aufbereitung eines Feuerlöschwassers (1% AFFF-Löschm.konz.)

Ablaufkonzentration **Summe aus 21 PFAS**



Säulendurchmesser	[cm]	5,4
Anströmfläche	[cm ²]	22,9
Schütthöhe	[cm]	100
Volumen Adsorber	[L]	2,3
Volumenstrom	[L/h]	30
Filtergeschwindigkeit	[m/h]	13,3
Aufenthaltszeit	[min.]	5

Prinzip Foam Fractionation am Beispiel SAFF 40

Herstellerangaben von Wirkungsgraden bezogen auf PFAS-Einzelstoffe

PFDA	ND
8:2 FTS	ND
4:2 FTS	ND
PFNA	ND
6:2 FTS	ND
PFOA	ND
PFOS	ND
PFOSA	ND
PFHpS	ND
PFHpA	86%
PFHxS	98%
PFHxA	20%
PFBS	9%
PFPeA	7%
PFBA	0%



Anwendungsbereiche & Einsatzgrenzen von Wasserbehandlungsverfahren

Verfahren	PFAS-Konzentration ($\mu\text{g/l}$)	Organischer Hintergrund (mg/l)	Neigung zu Schaumbildung	Anorganischer Hintergrund ¹⁾
GAC	0,X - ? (obere Grenze nicht unbegrenzt hoch)	Möglichst < 5 (?) (sehr relevante Randbedingung)	Nicht relevant	Vorhergehende Entfernung erforderlich
IX	0,X - ? (obere Grenze nicht unbegrenzt hoch)	Möglichst < 5 (?) (sehr relevante Randbedingung)	Nicht relevant	Vorhergehende Entfernung erforderlich
PerfluorAd	$\geq 10 - \infty$	Nicht relevant	Nicht relevant (reduziert sogar Schaumbildung)	Nicht relevant
Foam Fractionation	0,X - 100 (?)	Nicht relevant	Äußerst relevant	Vorhergehende Entfernung erforderlich

1) Insbesondere Fe, Mn, Turb., Solids

Global Warming Potential

PFAS Treatment Technologies for Water & Wastewater

PerfluorAd® – Sustainable by combined treatment

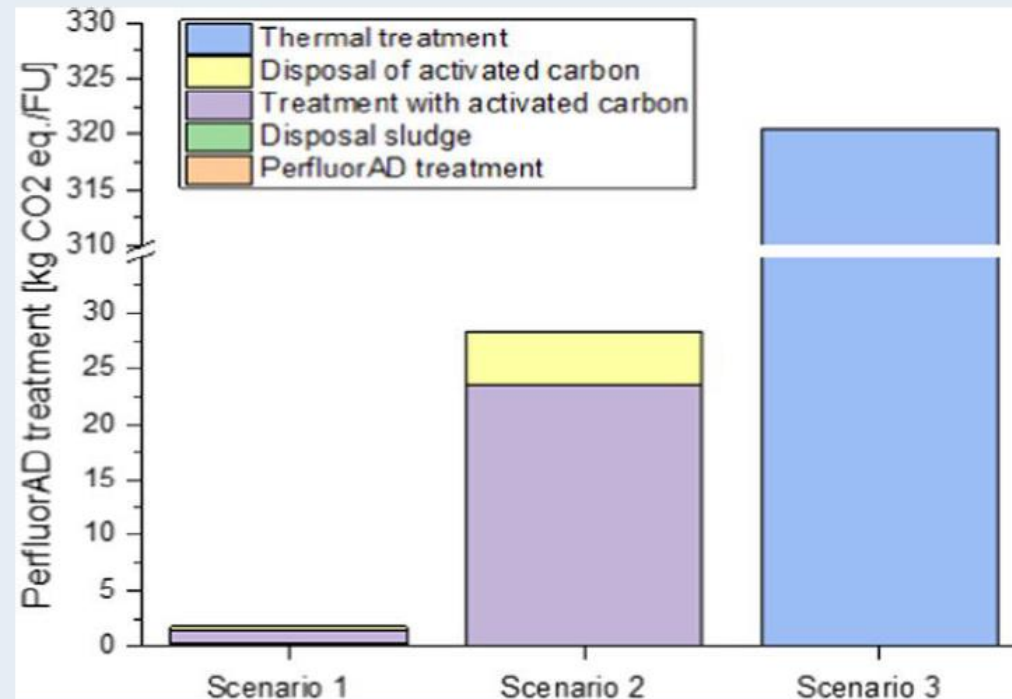
Global Warming Potential

Example:

Contribution to global warming by treating one cubic meter AFFF extinguishing water with a PFAS content of 2.3 mg/L (FU)



Source: <https://doi.org/10.1002/etc.4803>



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Dr.-Ing. Martin Cornelsen
Geschäftsführer | Cornelsen Group

 cornelsen@cornelsen.group

 +49 (0) 201 520 37 10

Cornelsen Umwelttechnologie GmbH
Graf-Beust-Allee 33
45141 Essen
Deutschland

Besuchen Sie uns!



[cornelsen.group](https://www.instagram.com/cornelsen.group)



[@CornelsenGroup](https://www.linkedin.com/company/CornelsenGroup)