

PFAS-Entfernung im Wasserwerk

Brigitte Haist-Gulde
20. Trinkwasserfachtagung, Donaueschingen 10.04.2025

- PFAS allgemein, gesetzliche Vorgaben
- Verfahren zur Entfernung von PFAS
- Entfernung von PFAS in Aktivkohlefiltern
 - Möglichkeiten und Grenzen
- Optimierungsmöglichkeiten

- Künstliche Stoffe, Einsatz in einer Vielzahl von Produkten
- Chemisch / thermisch sehr stabil
- Tensid-Eigenschaften
- Wasser-, Öl-, Fett-abweisend
- Kein biologischer Abbau
- „Stehen im Verdacht, krebserregend zu sein“
- Wasser-Schadensfälle:
 - Ruhr & Möhne (2006)
 - Brandbekämpfung (v. a. Flughäfen)
 - Mittelbaden (seit ca. 2015)



.....

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV)

TrinkwV

Ausfertigungsdatum: 20.06.2023

Vollzitat:

"Trinkwasserverordnung vom 20. Juni 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 159, S. 2)"

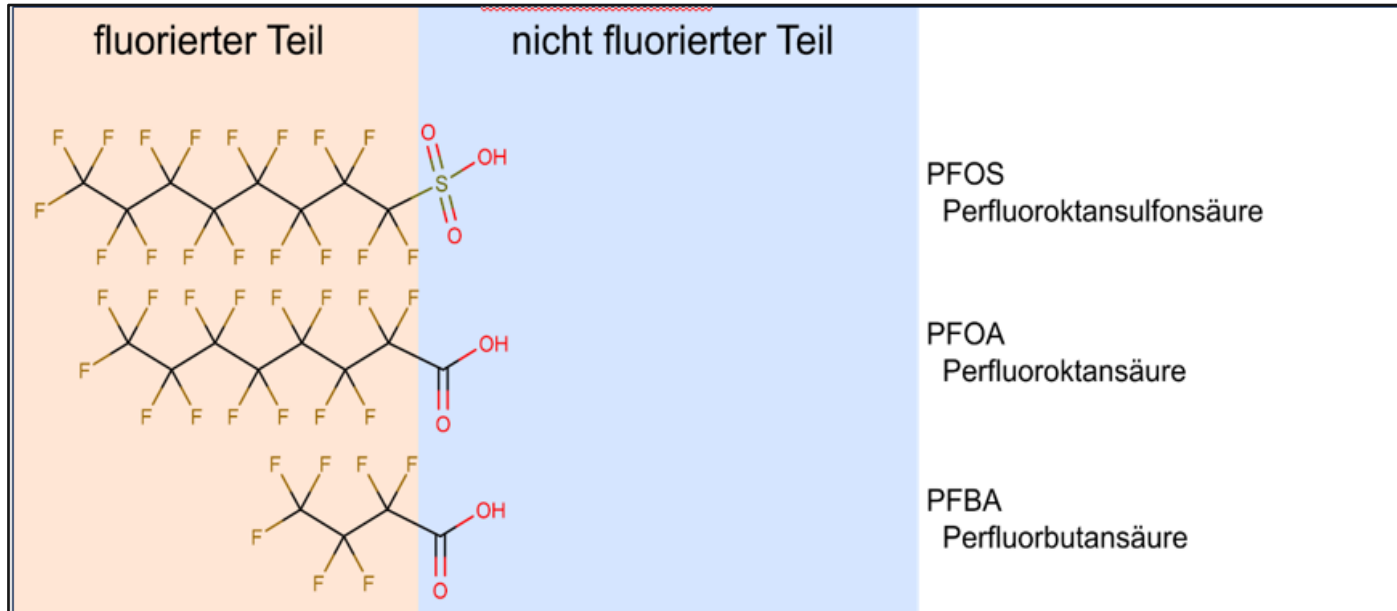
Ersetzt V 2126-13-1 v. 21.5.2001 I 959 (TrinkwV 2001)

Anlage 2 Teil I u.a.

Summe PFAS-20	0,00010 mg/L	Perfluorbutansäure (PFBA), Perfluorpentansäure (PFPeA), Perfluorhexansäure (PFHxA), Perfluorheptansäure (PFHpA), Perfluoroctansäure (PFOA), Perfluornonansäure (PFNA), Perfluordecansäure (PFDA), Perfluorundecansäure (PFUnDA), Perfluordodecansäure (PFDoDA), Perfluortridecansäure (PFTTrDA), Perfluorbutansulfonsäure(PFBS), Perfluor-pentansulfonsäure (PFPeS), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS), Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS, Perfluoroctansulfonsäure (PFOS), Perfluornonansulfonsäure (PFNS), Perfluor-decansulfonsäure (PFDS), Perfluorundecansulfonsäure, Perfluordodecansulfonsäure und Perfluortridecansulfonsäure.
Summe PFAS-4	0,000020 mg/L	Perfluoroctansäure (PFOA), Perfluornonansäure (PFNA), Perfluor-hexansulfonsäure (PFHxS) und Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)

Grenzwert
gilt ab 12.01.2026

Grenzwert
gilt ab 12.01.2028



- Unterschiede im nicht fluorierten Teil
- Unterschiede in der C- Kettenlänge

Wirksame Verfahren bei der Trinkwasseraufbereitung:

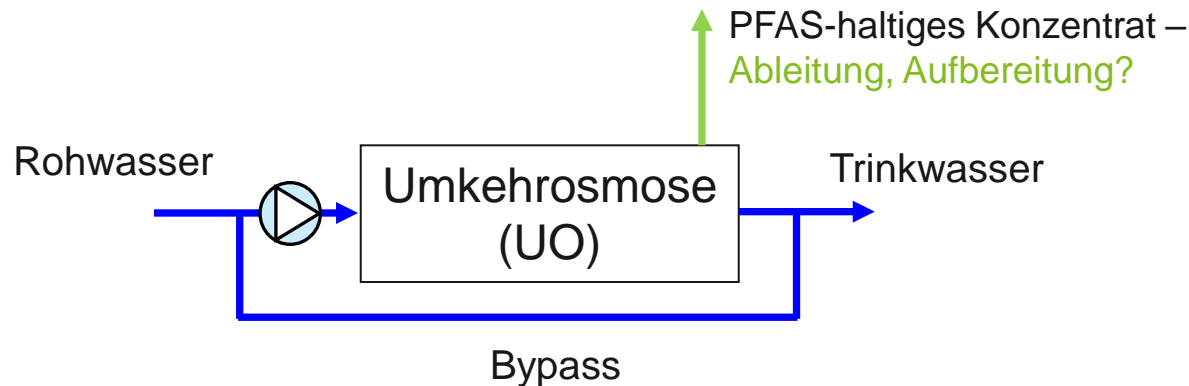
- Adsorptionsverfahren
 - Aktivkohle
 - (Ionenaustausch: keine Produkte in §20-Liste)
- Membranfiltration (Nanofiltration / Umkehrosmose / Kapillare Nanofiltration)

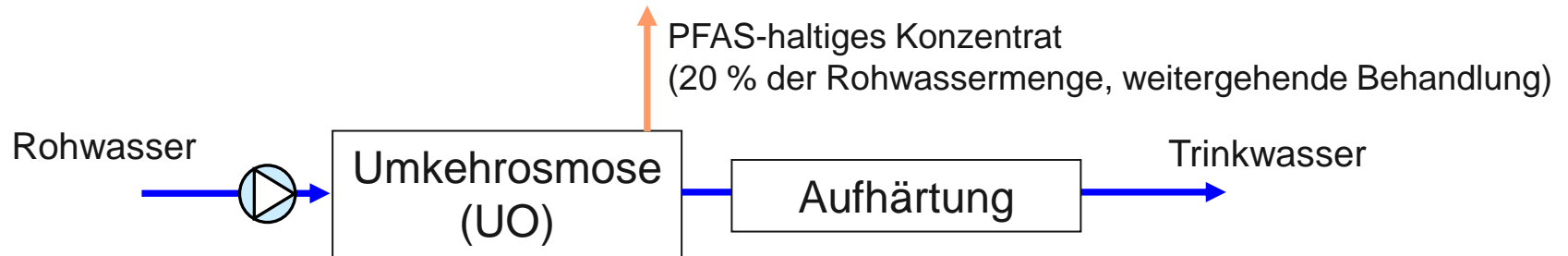
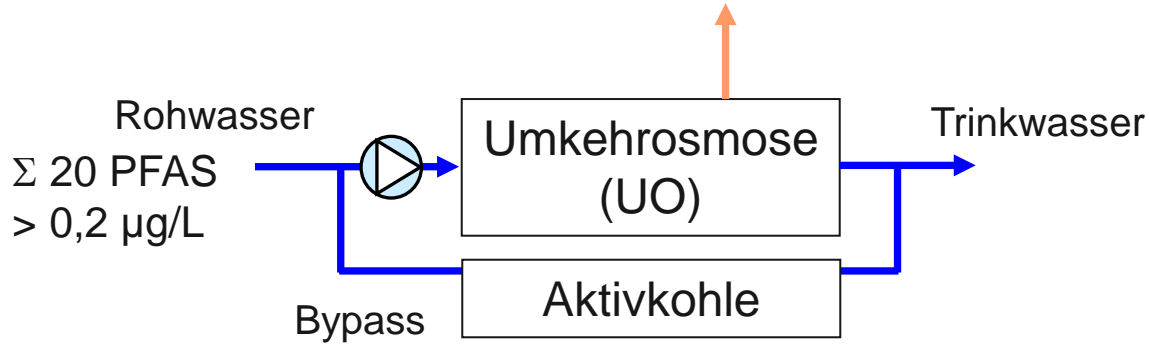
Verfahren bei der Abwasseraufbereitung, Altlastensanierung:

Adsorptionsverfahren: Aktivkohle, funktionalisierte Tonminerale.
Schaumfraktionierung....



- Umkehrosmose entfernt 100 % der PFAS
- Einsatz der UO zur Enthärtung: lediglich Teilstrombehandlung
- Anteil Bypass: z.B. 50 %
- Gesamtentfernung PFAS: 50 %





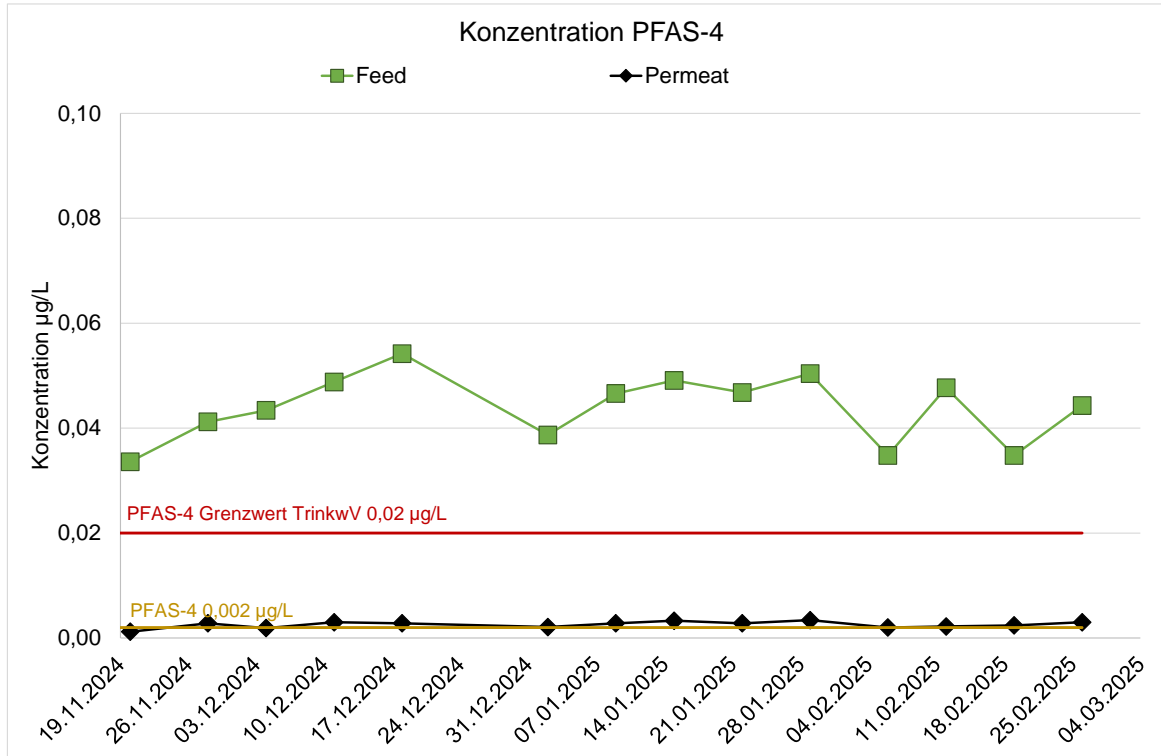
Forschung

Vorteile

- Spülbare Membran
- Entfernung partikulärer Wasserinhaltsstoffe
- Selektiver Ionenrückhalt
- Keine Nachbehandlung (Aufhärtung) erforderlich
- Energiebedarf
- Vermutlich AS-freier Betrieb möglich
- PFAS-Rückhalt wurde in Pilotversuchen bestätigt

Nachteile

- Ggf. Konzentratbehandlung
- Keine großtechnische Erfahrung
- Ggf. Chemikalieneinsatz erforderlich
- Energiebedarf je nach Betriebseinstellung

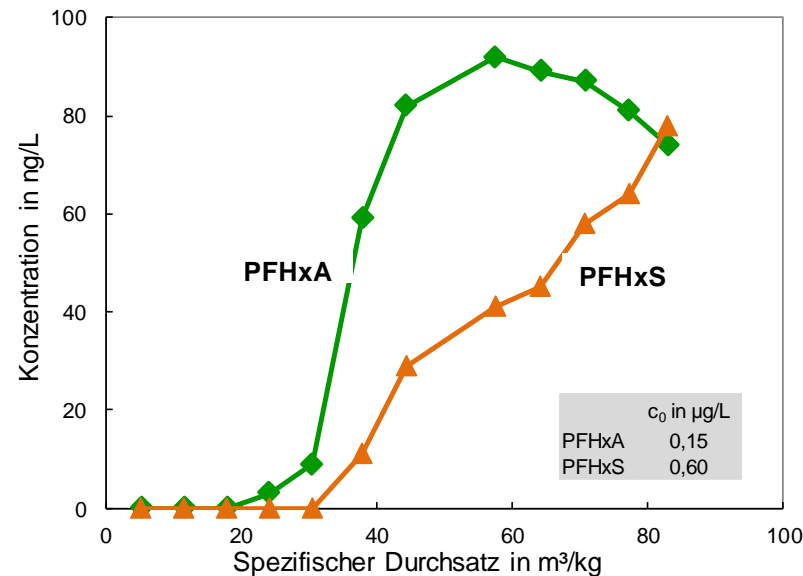
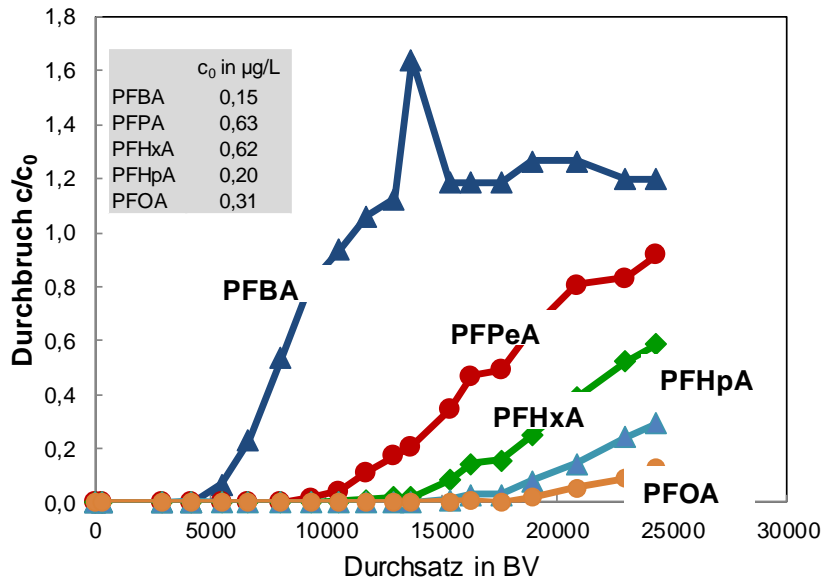


Rückhalt PFAS-4 während des Betriebs der Pilotanlage

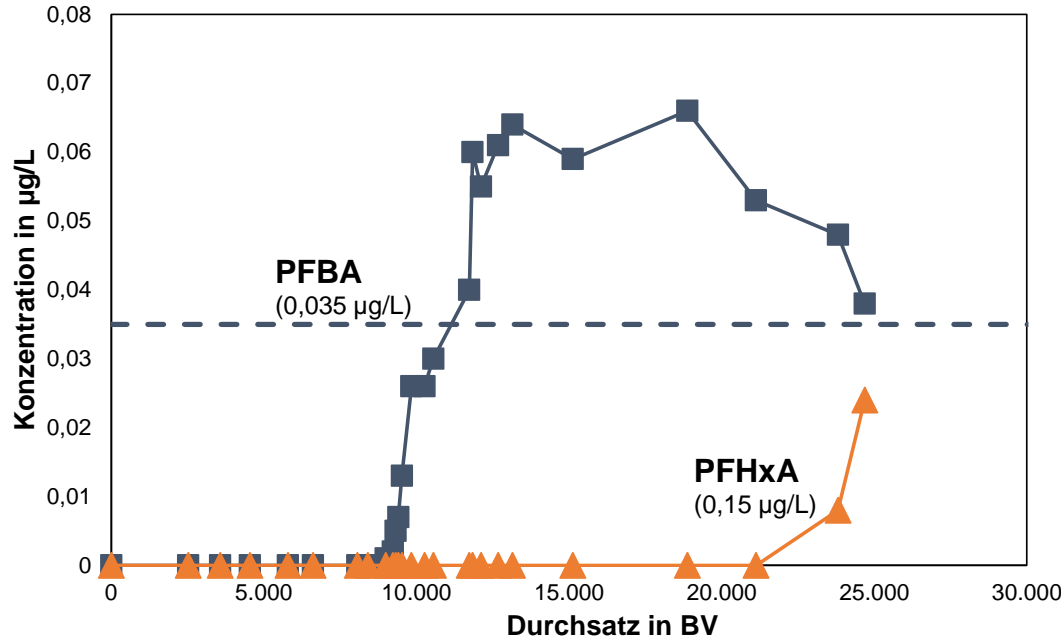
Betriebsbedingungen Pilotanlage: Membrantyp dNF40 NX Filtration, Ausbeute 70-85%, Flux 20-25 L/m²/h, Druck ca. 3-5 bar, crossflow 0,1-0,3 m/s, Filtrationsdauer 60-240 min, teilw. chem. unterstützte Spülungen Säure/Lauge

- Einhaltung des Grenzwertes für PFAS-4 von 0,02 µg/L gem. TrinkwV gegeben

- im Aktivkohlefilter (Pilotmaßstab)



- Adsorbierbarkeit steigt mit der Kettenlänge
- Sulfonsäuren sind besser adsorbierbar als Carbonsäuren
- PFAS-4 sind vergleichsweise gut adsorbierbar



Chromatografieeffekt

Verdrängung gering adsorbierbarer Substanzen

Ablaufkonzentration kann höher als die Zulaufkonzentration sein

BV	Filterlaufzeit		Aktivkohlekosten pro m ³ Wasser
	d	Monate	€/m ³
8.000	83	2,8	0,17
10.000	104	3,5	0,14
15.000	156	5,2	0,09
20.000	208	6,9	0,07
30.000	313	10,4	0,05
50.000	521	17,4	0,03

Annahmen

Schütthöhe 2 m
 Filtergeschw. 8 m/h

Betrieb 24 / 7

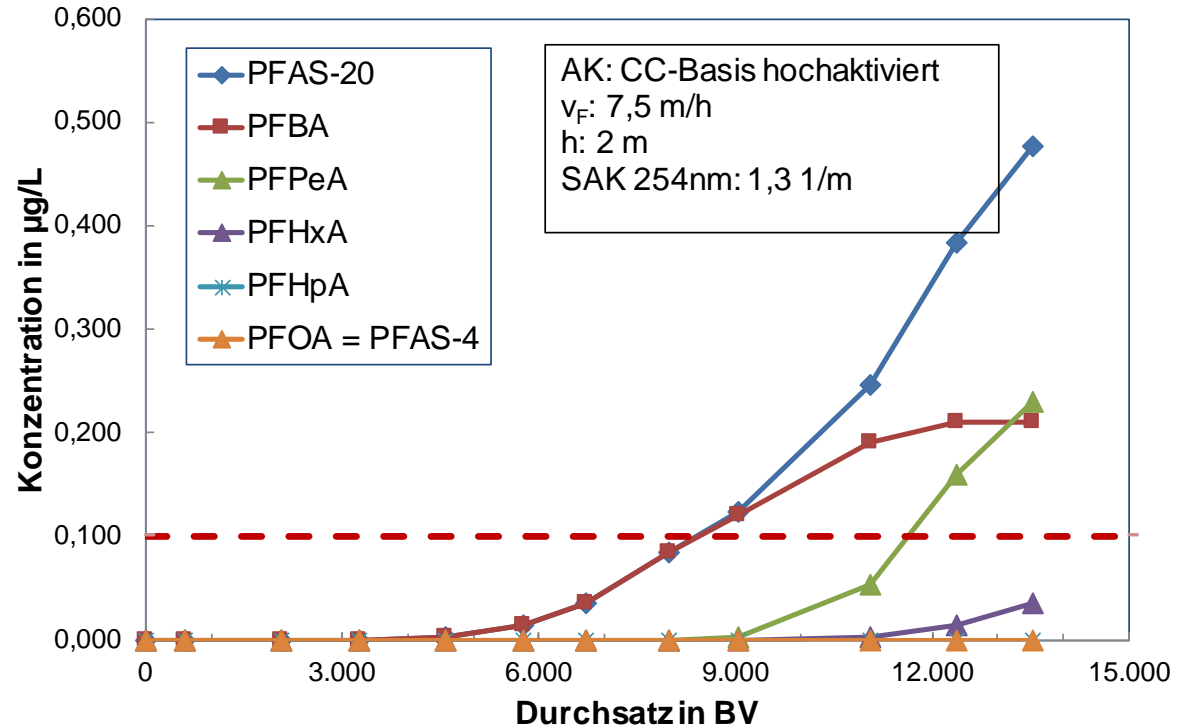
AK-Kosten 1.350 € / m³

m³ mit Aktivkohle behandeltes Wasser
 pro m³ Aktivkohle

Die erreichbaren spezifischen Durchsätze sind abhängig

- vom PFAS-Spektrum und den Konzentrationen der Einzelkomponenten
- von der organischen Hintergrundmatrix
- von der eingesetzten Aktivkohletype

PFAS.Belastung		
PFBA	µg/L	0,15
PFPeA	µg/L	0,63
PFHxA	µg/L	0,62
PFHpA	µg/L	0,20
PFOA	µg/L	0,31
PFAS-20	µg/L	1,90
PFAS-4		0,31



PFBA relevant
 GW-Überschreitung:
 nach 8.000 BV

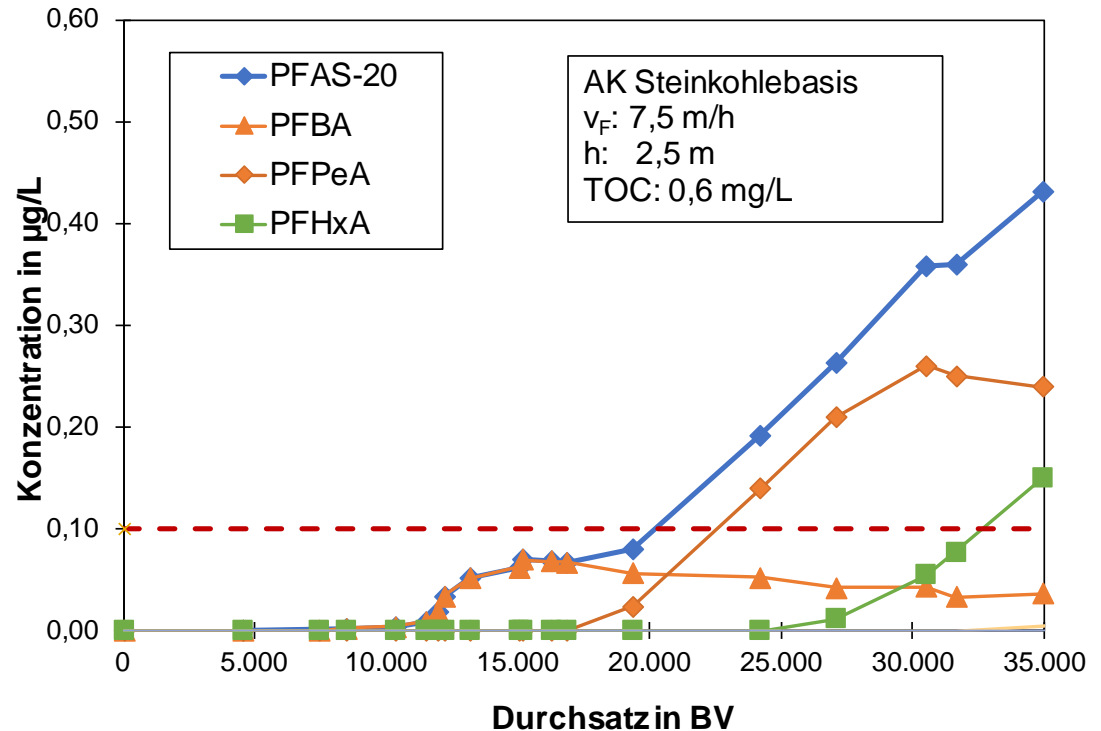


PFAS-Belastung

PFBA	µg/L	0,033
PFPeA	µg/L	0,144
PFHxA	µg/L	0,145
PFHpA	µg/L	0,048
PFOA	µg/L	0,134

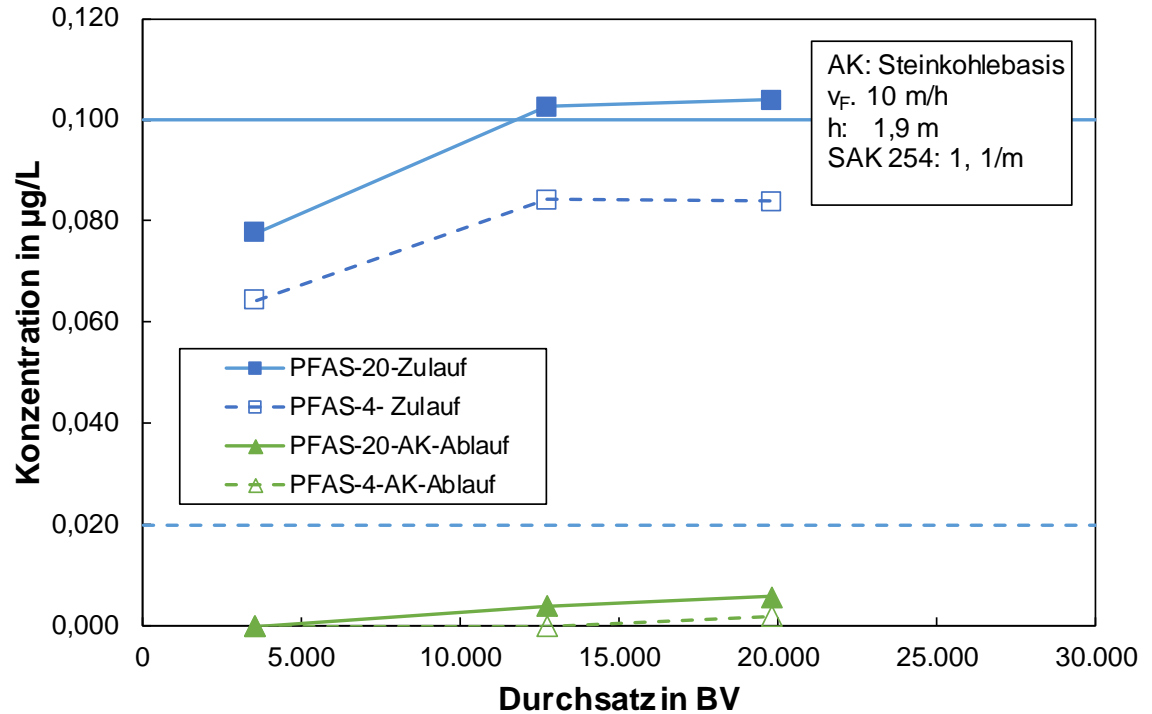
PFAS-20	µg/L	0,504
PFAS-4	µg/L	0,134

PFPeA relevant
GW-Überschreitung:
nach 20.000 BV



PFAS-4: noch vollständiger Rückhalt

PFAS.Belastung		
PFBA	µg/L	0,002
PFPeA	µg/L	0,002
...		
PFHxS	µg/L	0,047
PFOS	µg/L	0,021
PFAS-20	µg/L	0,10
PFAS-4	µg/L	0,08



PFHxS relevant
GW-Überschreitung:
nach > 30.000 BV?

Aktivkohleinsatz – PFAS-4

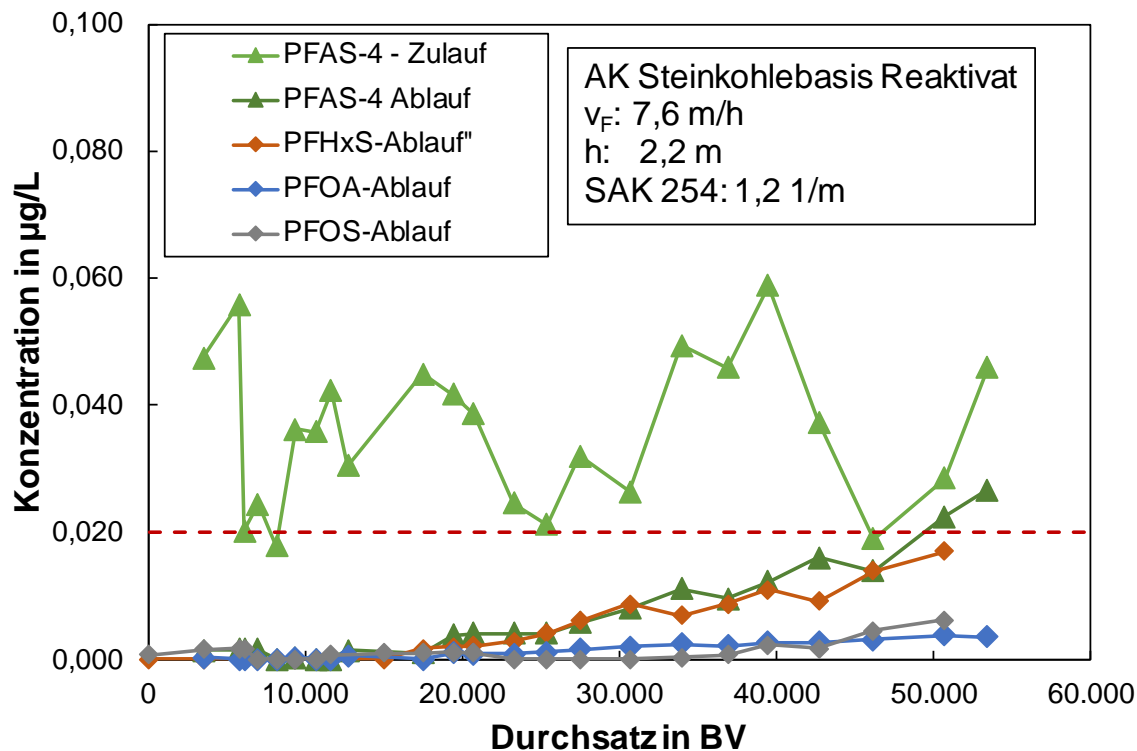
PFAS-Belastung

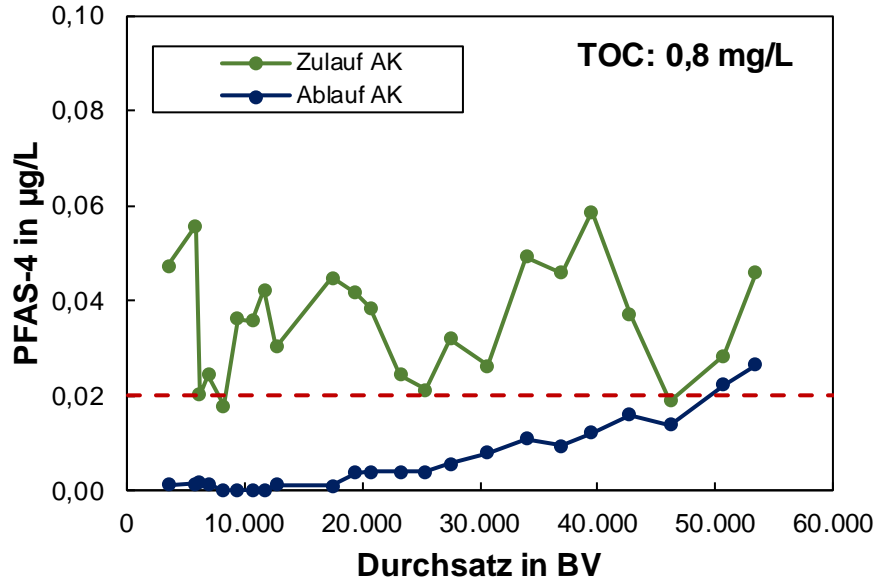
PFBA	µg/L	0,004
PFPeA	µg/L	0,003
PFHxA	µg/L	0,002
PFHpA	µg/L	0,002
PFOA	µg/L	0,003
PFBS	µg/L	0,011
PFPeS	µg/L	0,002
PFHxS	µg/L	0,020
PFHpS	µg/L	0,001
PFOS	µg/L	0,012

PFAS-20 µg/L **0,06**

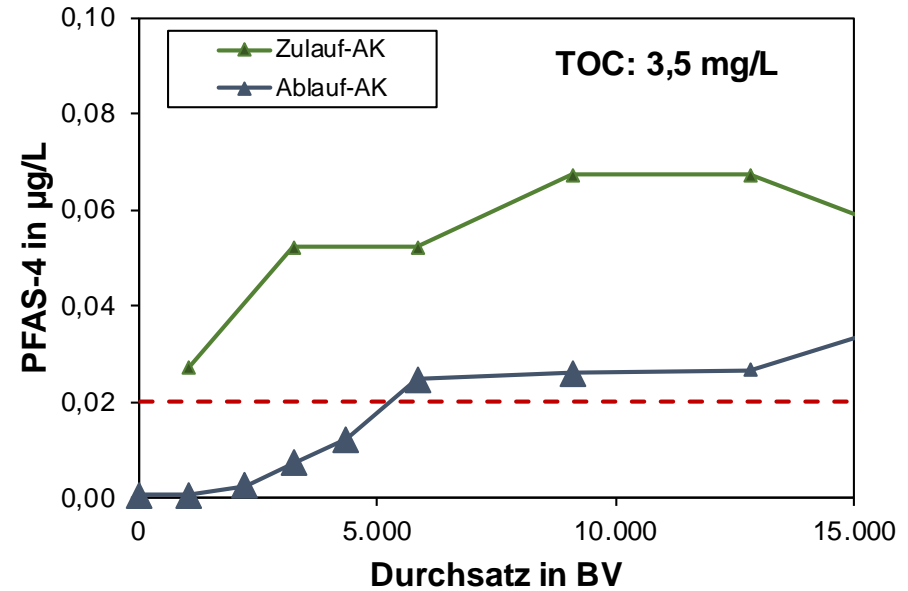
PFAS-4 µg/L **0,035**

PFHxS relevant
GW-Überschreitung:
ca. 50.000 BV





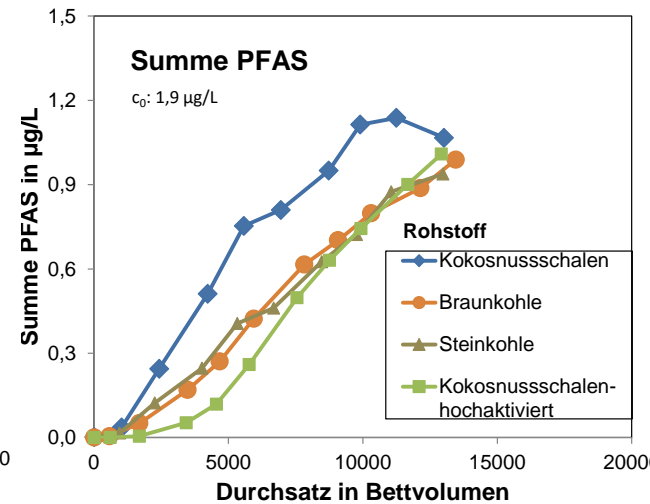
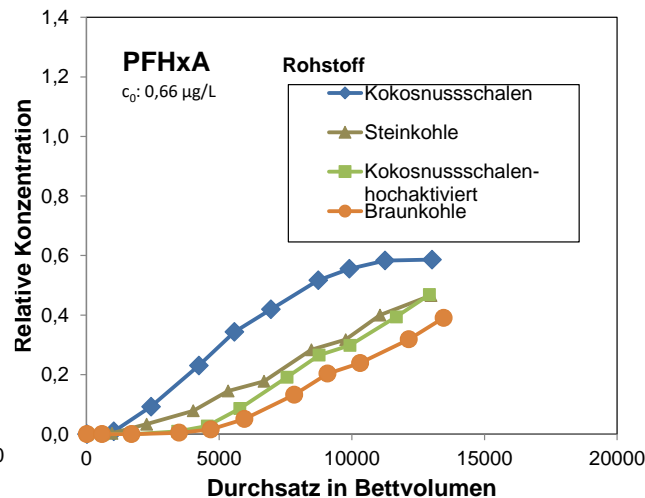
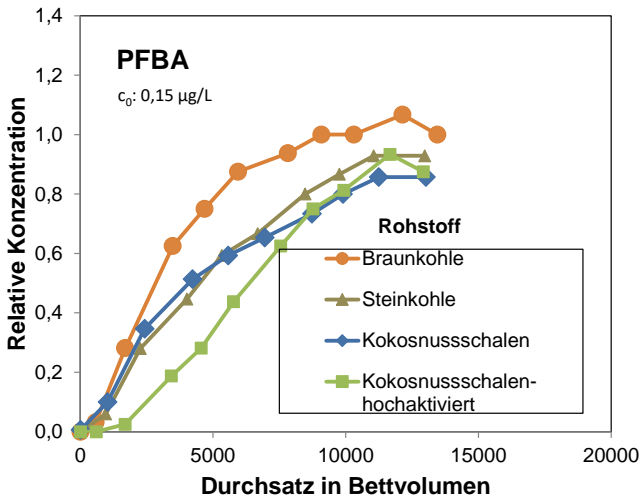
Erreichbarer spezifischer Durchsatz:
ca. 50.000 BV ✓



ca. 6.000 BV ☹

PFAS- Entfernung Aktivkohleauswahl

- im Kleinfilter (GCS) -Test



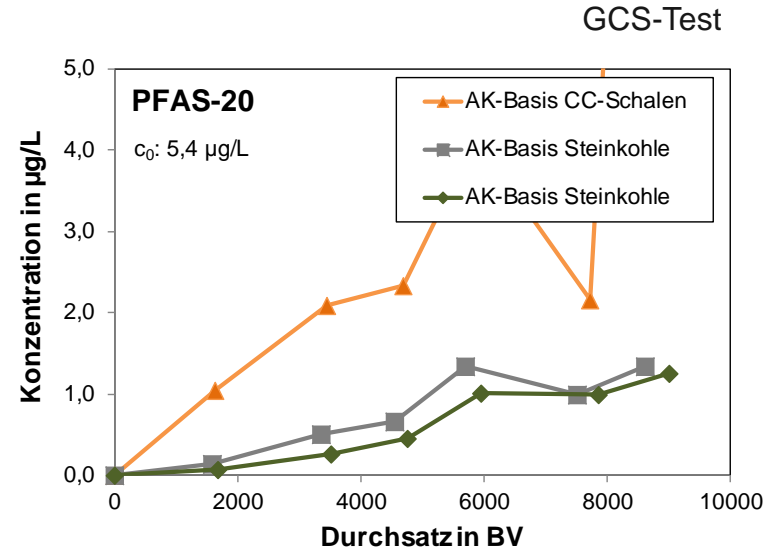
- für die Summe der PFAS (PFAS-20 oder PFAS-4)

PFAS- Entfernung Aktivkohleauswahl



Rohstoff	Rohstoffbedarf	CO ₂ -Fußabdruck	
	$t_{\text{Rohstoff}}/t_{\text{AK}}$	Frischkohle t/t_{AK}	Reaktivat t/t_{AK}
Steinkohle	3,5 - 5	11 - 18	2 - 3
Kokosnussschalen	10 - 13	5 - 7	1
Braunkohle	5 - 6,5	14 - 18	2 - 4

Literaturdaten



Thermische Reaktivierung von Aktivkohlen

- Wirbelschicht-; Etagenöfen, Drehrohr

Reaktivierbarkeit ist abhängig von

- Beladung im Betrieb (Laufzeit)
- Ablagerungen von z.B. Ca, Fe, Mn

Reaktivate

- weisen häufig eine höhere Adsorptionskapazität als Frischkohlen auf
- CC- Reaktivate können hinsichtlich PFAS-Entfernung mit SK-Frischkohlen vergleichbar sein
- sind kostengünstiger als Frischkohlen
- PFAS werden zerstört, keine Entsorgung der erschöpften Aktivkohlen

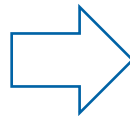


Foto: DonauCarbon

Fallbeispiel: Umstellung von Steinkohlen (SK) auf Kokosnussschalenkohlen (CC)

- als Frischkohlen sind nur SK-Produkte geeignet
 - Prüfen, ob der Einsatz von Reaktivaten möglich ist (Beladung, zeitlicher Ablauf, Aktivkohlemenge...)
- Vergleichende Bewertung von SK – und CC- Reaktivaten
- Ergänzung des Abbrandverlustes nach der Reaktivierung durch CC-Frischkohle

nach 5 bis 10 Reaktivierungen



CC-Reaktivat



Aktivkohle im Wasserwerk:

Wie Kokosnussschalen die Steinkohle ersetzen können

Aktivkohlen auf Rohstoffbasis Steinkohle und auf Rohstoffbasis Kokosnussschalen können in Wasserwerken aufgrund der unterschiedlichen Adsorptionseigenschaften nicht einfach gegeneinander ausgetauscht werden. Eine Umstellung von steinkohlebasierter Aktivkohle auf kokosnussschalenbasierte Aktivkohle wird bei den Wasserwerken der Wuppertaler WSW Energie & Wasser AG durch eine Änderung des Aktivkohlemanagements in Zusammenhang mit der thermischen Reaktivierung erreicht. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über den Umstellungsprozess.

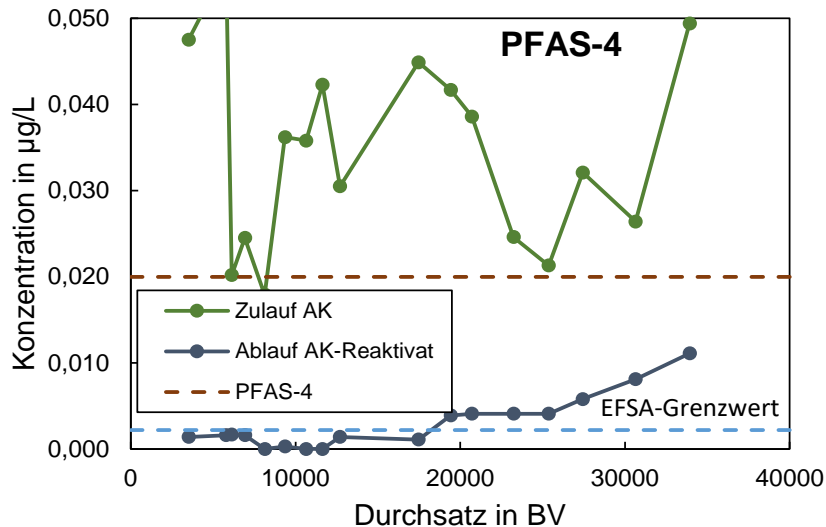
von: Markus Klemann (WSW Energie & Wasser AG) & Dr. Brigitte Haist-Gulde (TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser)

Optimierungsmöglichkeiten

- Aktivkohleauswahl
 - Rohstoff
 - Reaktivierbarkeit
- Optimaler zeitversetzter Aktivkohlewechsel in den Einzelfiltern
- Schütthöhe und Filtergeschwindigkeit optimieren

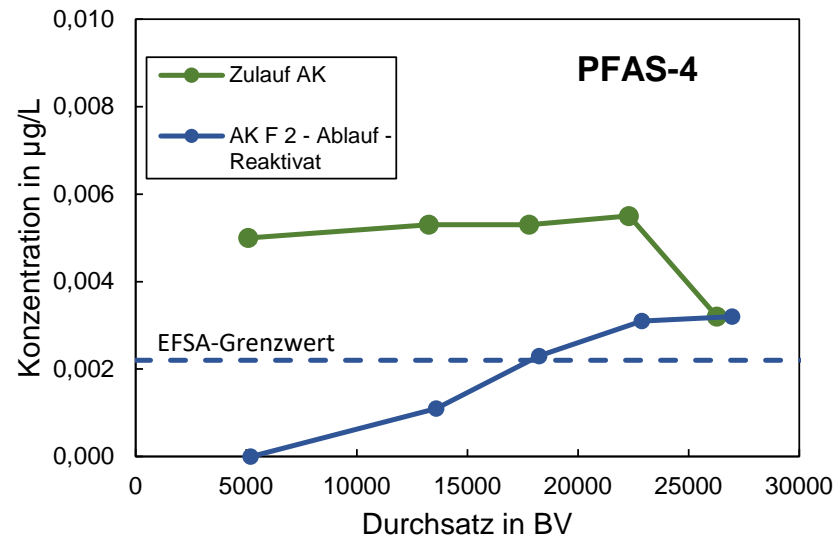
Verschärfung des Grenzwertes für PFAS-4 - Konsequenzen

Beispiel 1



Aktivkohlewechsel nach:
 derzeit: ca. 50.000 BV
 zukünftig? ca. 18.000 BV

Beispiel 2



keine Erfordernis
 ca. 18.000 BV

Ist Überwachung möglich?

- Bewertung der PFAS (Einzelsubstanzen) im Hinblick auf die Adsorbierbarkeit und die Konzentrationen → prinzipielle Eignung von Aktivkohle
- GCS-Test zur Aktivkohleauswahl (mit Berücksichtigung der prinzipiellen Möglichkeit der Reaktivierung der PFAS- beladenen Aktivkohle)
- Ggf. Pilotversuch zur Ermittlung der Filterlaufzeit und den daraus resultierenden Kosten
- Beachten: Grenzwert für PFAS-4 könnte weiter gesenkt werden

Machbarkeit

- „moderate“ Konzentrationen an kurzkettigen PFAS
- „moderate“ Konzentrationen an natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffen
- geeignete Aktivkohle

Grenzen

- höhere Konzentrationen an kurzkettigen PFAS
- hohe Konzentration längerkettiger PFAS
- hoher Huminstoffgehalt

Kontakt

Dr. Brigitte Haist-Gulde

Wasserversorgung /

Struktur- und Technologiekonzepte

Tel.: +49 721 9678-131

Brigitte.haist-gulde@tzw.de

FORSCHEN
BERATEN
PRÜFEN
www.tzw.de