

## **Modellvorhaben Herbertingen – Ent- fernung von perfluorierten Verbin- dungen in Aktivkohlefiltern mit und ohne Vorbehandlung mit PerfluorAd**

**Auftraggeber**      **Landratsamt Sigmaringen**

**Auftragnehmer**    **DVGW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe**

**Bearbeiter**        **Dr. Ing. Brigitte Haist-Gulde**  
**Dr. Ing. Kathrin Schmidt**  
**Manuel Sauter**  
**Dr. Frank Sacher**  
**Prof. Dr. Andreas Tiehm**

**Karlsruhe, August 2017**

## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung .....	3
2	Betrieb einer Pilotanlage.....	4
2.1	Pilotanlage .....	4
2.2	Anlagenbetrieb, Filterparameter .....	5
2.3	Eingesetzte Aktivkohlesorten.....	6
2.4	Probenahmestellen, analytische Parameter, Messprogramm.....	7
2.5	Aufbereitungsziele- Gesetzliche Vorgaben.....	9
3	Ziele der Untersuchungen .....	11
4	Rohwasserbeschaffenheit .....	12
5	Ergebnisse des Pilotversuchs.....	14
5.1	Einfluss der Vorbehandlung auf die Wasserbeschaffenheit.....	14
5.2	Durchbruchverhalten der summarischen Parameter TOC und AOF in Aktivkohlefiltern.....	18
5.3	Durchbruchverhalten der PFC in Aktivkohlefiltern.....	19
5.3.1	Durchbruchverhalten der PFC-Einzelstoffe.....	19
5.3.2	Vergleich unterschiedlicher Aktivkohlen .....	21
5.3.3	Vergleich des Durchbruchverhaltens mit und ohne PerfluorAd-Vor- behandlung.....	23
5.3.4	Vergleich des Durchbruchverhaltens bei unterschiedlichen Schütthöhen.....	24
5.3.5	Auswirkung des wechselweise umschaltbaren Betriebs auf den PFC- Durchbruch .....	25
6	Zusammenfassende Ergebnisdarstellung und Kostenbetrachtung ..	27
7	Vergleich der Ergebnisse mit weiteren Pilotversuchen .....	30
8	Zusammenfassung und Folgerungen .....	32
9	Literatur .....	35

## 1 Veranlassung

Die am Standort [REDACTED] in Herbertingen vorliegende Grundwasserkontamination mit per- und polyfluorierten Verbindungen (PFC) ist Gegenstand des Baden-Württembergischen Modellvorhabens PFC-Grundwassersanierung.

In einer 1. Projektphase wurden verschiedene Verfahren zur Entfernung von PFC aus Grundwässern in Laborversuchen bzw. kleintechnischen Versuchen geprüft und bewertet. Danach erscheinen die beiden Verfahren „Aktivkohlefiltration“ und das von der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH entwickelte Verfahren „Einsatz von PerflourAd mit nachgeschalteter Aktivkohlefiltration“ für die vorliegende Aufgabenstellung am besten geeignet. In einer 2. Projektphase sollten die Machbarkeit dieser beiden Verfahren durch den Betrieb einer Pilotanlage unter Standortbedingungen geprüft und die dabei resultierenden Kosten ermittelt werden.

In diesem Zusammenhang wurde das DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe mit Datum vom 15.03.2016 und 27.02.2017 mit der technisch-wissenschaftlichen Begleitung des Betriebs der Pilotanlage incl. der Auswertung und Bewertung der Ergebnisse zum Durchbruchverhalten von PFC sowie der Durchführung sämtlicher analytischer Leistungen während der Betriebsphase beauftragt.

## 2 Betrieb einer Pilotanlage

### 2.1 Pilotanlage

Am Standort [REDACTED] in Herbertingen wurde durch die Cornelsen Umwelttechnologie GmbH eine Pilotanlage errichtet und im Zeitraum vom 14.07.2016 bis 22.12.2016 betrieben. Die Pilotanlage wurde zweistraßig (Linie A und Linie B) ausgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der Versuchsanlage incl. Fotodokumentation ist dem Abschlussbericht der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH [1] zu entnehmen. Nachfolgend werden lediglich die Aufbereitungslinien schematisch dargestellt und kurz beschrieben.

Das geförderte Brunnenwasser wird belüftet. Danach erfolgen die Aufteilung des Wasserstroms und eine separate Aufbereitung der beiden Teilströme über die Aufbereitungslinien A und B.

#### Linie A: Aktivkohlefiltration (Abbildung 1)

Zur Enteisung bzw. zur Abscheidung partikulärer Wasserinhaltsstoffe wird das belüftete Brunnenwasser zunächst über Quarzsand filtriert. Der Filterablauf wird der Aktivkohlefilterstufe zugeführt. Diese besteht aus drei Aktivkohlefilterstraßen im Parallelbetrieb, in denen im Versuchsbetrieb unterschiedliche Aktivkohleprodukte eingesetzt wurden.

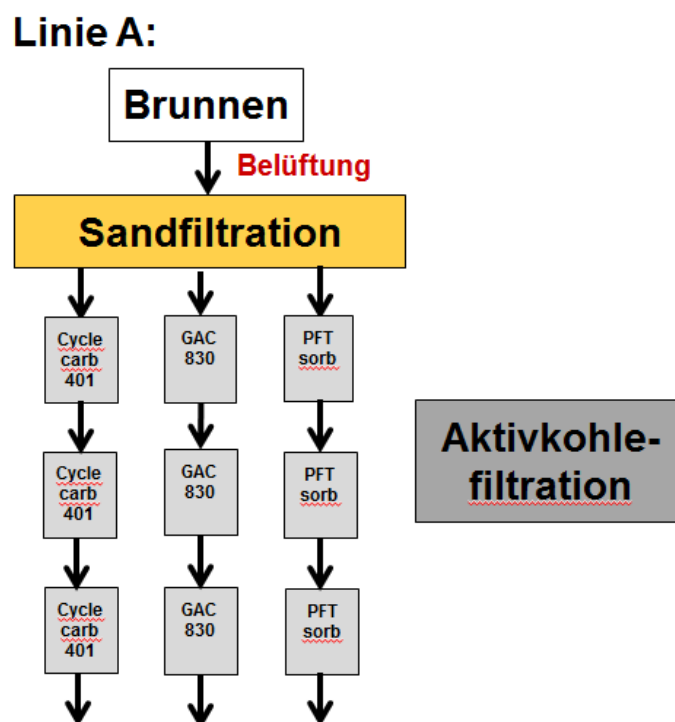
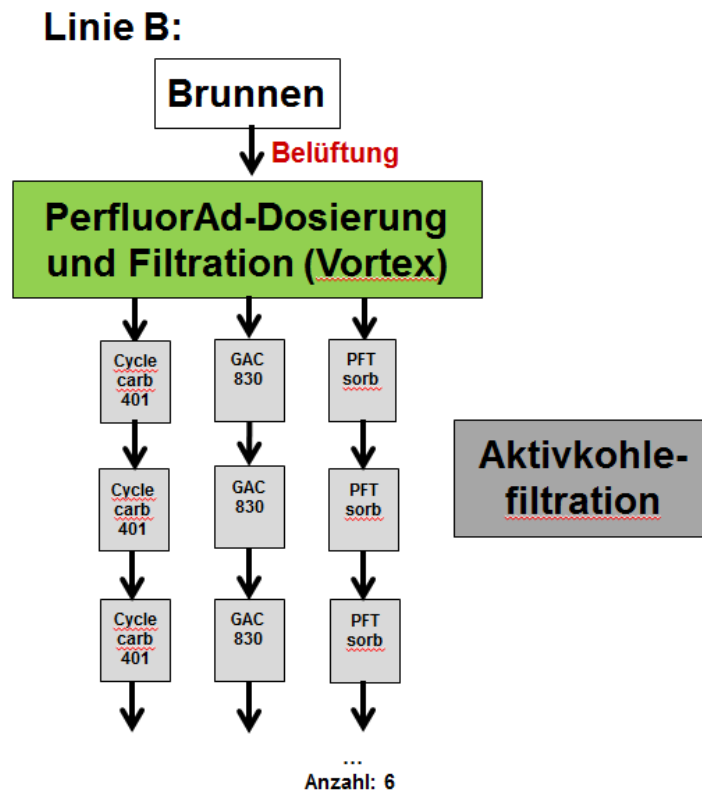


Abbildung 1: Aufbereitungsschema der Linie A- Pilotanlage Herbertingen

**Linie B: PerfluorAd mit nachgeschalteter Aktivkohlefiltration (Abbildung 2).**

Dem belüfteten Brunnenwasser wird PerfluorAd zudosiert. Dem Fällungsprozess ist eine Filterstufe (Vortex) nachgeschaltet. Das Filtrat wird einer Aktivkohlefilterstufe zugeführt, die baugleich mit der entsprechenden Stufe in Linie A ausgeführt ist. Lediglich bei der dritten Aktivkohlefilterstraße werden sechs Aktivkohlefilter mit PFTsorb in Reihe betrieben.



**Abbildung 2: Aufbereitungsschema der Linie B- Pilotanlage Herbertingen**

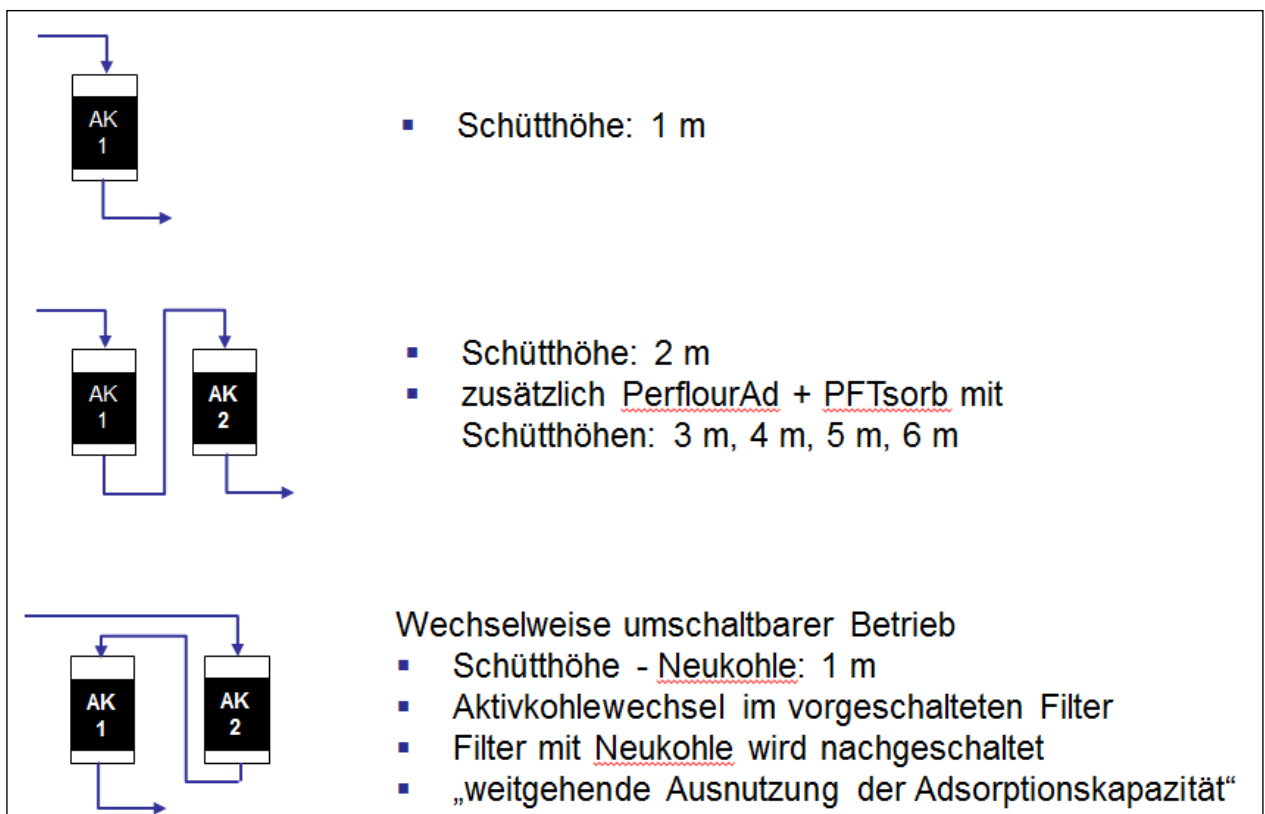
Die Abläufe sämtlicher Aktivkohlefilter aus den Linien A und B werden abschließend über zwei in Reihe geschaltete Filterkessel, die mit Aktivkohle Epibon A befüllt sind - sogenannte Polizeifilter- zur vollständigen Entfernung der PFC adsorptiv behandelt.

## 2.2 Anlagenbetrieb, Filterparameter

Sämtliche Aktivkohlefilter wurden mit einer Filtergeschwindigkeit von 4,5 m/h betrieben. In jedem Filter betrug die Schütthöhe der Aktivkohle 1 m (Aktivkohlevolumen: 19,75 L). Durch die Reihenschaltung von jeweils zwei Filtern bzw. in einer Aufbereitungsstraße von sechs Filtern konnte der Einfluss unterschiedlicher Schütthöhen (1 m und 2 m bzw. 3 m, 4 m, 5 m, 6 m) auf den erreichbaren spezifischen Durchsatz ermittelt werden.

In fünf der Aktivkohlefilterstraßen wurde ein wechselweise umschaltbarer Betrieb realisiert. Dafür wurden im Zeitraum vom 14.07.2016 bis 12.10.2016 in jeder Aktivkohlefilterstraße lediglich Filter 1 und Filter 2 in Reihenschaltung beaufschlagt. Nach Erreichen eines Wertes von 1 für die Quotientensumme der Konzentrationen an PFC im Ablauf des nachge-

schalteten Aktivkohlefilters 2 (Aufbereitungsstraße mit GAC 830) wurden die Aktivkohlefilter 1 umfahren, die Aktivkohlefilter 2 als vorgeschaltete Filter und die jeweils dritten Aktivkohlefilter als nachgeschaltete Filter betrieben. Durch diese Fahrweise der Filter sollte geprüft werden, ob der während der ersten Betriebsphase nachgeschaltete Aktivkohlefilter im umgeschalteten Betrieb als Vorfilter weitergehend beladen und damit eine höhere Ausnutzung der Aktivkohle erreicht werden kann. Somit können durch die Pilotierung insgesamt die in Abbildung 3 zusammengestellten Fahrweisen bewertet werden.



**Abbildung 3: Übersicht über die Betriebsweisen der Aktivkohlefilter**

Weitere Betriebsdaten bzw. detaillierte Angaben zum Betrieb sind dem Bericht der Cornelissen Umwelttechnologie GmbH [1] zu entnehmen.

## 2.3 Eingesetzte Aktivkohlesorten

In der 1. Pilotphase wurden vergleichende Untersuchungen zur Bewertung der Adsorptionseigenschaften von PFC und des summarischen Parameters AOF an verschiedenen Aktivkohlesorten in Batchversuchen durchgeführt [2]. Dabei wies die Aktivkohle Cyclecarb 401 sowohl für die PFC als auch für den Summenparameter AOF die günstigsten Adsorptionseigenschaften auf, gefolgt von den Aktivkohlesorten Epibon A und GAC 830.

Aufgrund ihrer schlechten Benetzbarkeit wurde die Aktivkohlesorte Epibon A jedoch nicht in den Pilotversuchen eingesetzt. Neben den Aktivkohlen Cyclecarb 401 und GAC 830

wurde zusätzlich die Aktivkohle PFTsorb verwendet, da sie Bestandteil des von der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH entwickelten Verfahrens ist. Einige allgemeinen Merkmale der eingesetzten Aktivkohlen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

**Tabelle 1: Merkmale der eingesetzten Aktivkohlen**

<b>Handelsbezeichnung der Kornaktivkohlen-</b>	<b>Merkmale</b>
Cyclecarb 401	<ul style="list-style-type: none"> <li>– „Poolkohle“- Reaktivte</li> <li>– Rohstoffbasis: Steinkohle agglomeriert</li> <li>– Höchster Aktivierungsgrad</li> <li>– Körnung: 8x40 mesh</li> <li>– Einsatzbereiche: Abwasserbehandlung, Altlastsanierung</li> </ul>
GAC 830	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rohstoffbasis: Steinkohle agglomeriert – Herkunft USA</li> <li>– Körnung: 8x30 mesh</li> <li>– Einsatzbereich: Trinkwasseraufbereitung</li> </ul>
PFTsorb	<ul style="list-style-type: none"> <li>– „Poolkohle“- Reaktivte</li> <li>– Rohstoffbasis: Steinkohle</li> <li>– Körnung: 8x40 mesh</li> <li>– Einsatzbereiche: Abwasserbehandlung, Altlastensanierung</li> </ul>

## 2.4 Probenahmestellen, analytische Parameter, Messprogramm

Eine Übersicht der Probenahmestellen, an denen während des Pilotbetriebs Proben entnommen wurden, geht aus Tabelle 2 hervor.

Das Wasser aus sämtlichen Probenahmestellen wurde auf per- und polyfluorierte Verbindungen (PFC) untersucht. Der Untersuchungsumfang umfasste folgende 20 Einzelsubstanzen: Perfluorbutanoat (PFBA), Perfluorpentanoat (PFPA), Perfluorhexanoat (PFHxA), Perfluorheptanoat (PFHpA), Perfluoroctanoat (PFOA), Perfluornonanoat (PFNA), Perfluordecanoat (PFDA), Perfluorundecanoat (PFUnA), Perfluordodecanoat (PFDoA), Perfluorbutansulfonat (PFBS), Perfluorpentansulfonat (PFPeS), Perfluorhexansulfonat (PFHxS), Perfluorheptansulfonat (PFHpS), Perfluoroctansulfonat (PFOS), Perfluordecansulfonat (PFDS), Perfluoroctansulfonsäureamid (PFOSA), 7H-Dodecafluorheptanoat (HPFHpA), 2H,2H-Perfluordecanoat (H<sub>2</sub>PFDA), 2H,2H,3H,3H-Perfluorundecanoat (H<sub>4</sub>PFUnA) und 1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonat (H<sub>4</sub>PFOS).

An ausgewählten Probenahmestellen wurden zusätzlich summarische Parameter (TOC/DOC und AOF) sowie der Gehalt an Eisen bestimmt.

**Tabelle 2: Überblick über die Probenahmestellen – Pilotanlage Herbertingen**

Probenahmestelle	Bezeichnung
Brunnen	Brunnen
<b>Linie A</b>	
nach Belüftung	nach Belüftung
nach Sandfilter	nach Sandfilter
<b>Aktivkohlefilterstraßen (ohne Perfluoradstufe)</b>	
Ablauf Aktivkohlefilter 1 mit Cyclecarb 401(Schütthöhe: 1m)	SA 1/1
Ablauf Aktivkohlefilter 2 mit Cyclecarb 401(Schütthöhe: 2m)	SA 1/2
Ablauf Aktivkohlefilter 3 mit Cyclecarb 401(Schütthöhe: 3m)	SA 1/3
Ablauf Aktivkohlefilter 1 mit GAC 830 (Schütthöhe: 1m)	SA 1/4
Ablauf Aktivkohlefilter 2 mit GAC 830 (Schütthöhe: 2m)	SA 1/5
Ablauf Aktivkohlefilter 3 mit GAC 830 (Schütthöhe: 3m)	SA 1/6
Ablauf Aktivkohlefilter 1 mit PFTsorb (Schütthöhe: 1m)	SA 2/1
Ablauf Aktivkohlefilter 2 mit PFTsorb (Schütthöhe: 2m)	SA 2/2
Ablauf Aktivkohlefilter 3 mit PFTsorb (Schütthöhe: 3m)	SA 2/3
<b>Linie B</b>	
Ablauf Vortex-Filter	Vortex
<b>Aktivkohlefilterstraßen (mit Perfluoradstufe)</b>	
Ablauf Aktivkohlefilter 1 mit Cyclecarb 401(Schütthöhe: 1m)	SA 3/1
Ablauf Aktivkohlefilter 2 mit Cyclecarb 401(Schütthöhe: 2m)	SA 3/2
Ablauf Aktivkohlefilter 3 mit Cyclecarb 401(Schütthöhe: 3m)	SA 3/3
Ablauf Aktivkohlefilter 1 mit GAC 830 (Schütthöhe: 1m)	SA 3/4
Ablauf Aktivkohlefilter 2 mit GAC 830 (Schütthöhe: 2m)	SA 3/5
Ablauf Aktivkohlefilter 3 mit GAC 830 (Schütthöhe: 3m)	SA 3/6
Ablauf Aktivkohlefilter 1 mit PFTsorb (Schütthöhe: 1m)	SA 4/1
Ablauf Aktivkohlefilter 2 mit PFTsorb (Schütthöhe: 2m)	SA 4/2
Ablauf Aktivkohlefilter 3 mit PFTsorb (Schütthöhe: 3m)	SA 4/3
Ablauf Aktivkohlefilter 4 mit PFTsorb (Schütthöhe: 4m)	SA 4/4
Ablauf Aktivkohlefilter 5 mit PFTsorb (Schütthöhe: 5m)	SA 4/5
Ablauf Aktivkohlefilter 6 mit PFTsorb (Schütthöhe: 6m)	SA 4/6
<b>Sicherheitsstufe</b>	
Aktivkohlefilter 1	AKF1
Aktivkohlefilter 2	AKF2

Vor der Inbetriebnahme der Pilotanlage erfolgte eine Einfahrphase durch die Cornelsen Umwelttechnologie GmbH. Dabei wurde die optimale Zugabemenge an PerfluorAd festgelegt. Die hierbei ermittelten Daten werden nachfolgend nicht diskutiert, sind jedoch in der Anlage – Prüfberichte enthalten.



Basierend auf aktuellen Analyseergebnissen wurden das Messprogramm und die Untersuchungshäufigkeit während der Betriebsphase regelmäßig -- angepasst. Weiterhin wurden auf Wunsch der Projektpartner ergänzende Proben untersucht. Sämtliche Untersuchungsbefunde sind in der Anlage – Prüfberichte zusammengestellt.

Bei der nachfolgenden Datenauswertung und der Bewertung der Versuche werden primär die Ergebnisse der PFC-Untersuchungen herangezogen. Für diese Substanzklasse ist die Untersuchungshäufigkeit für die einzelnen Probenahmestellen in Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tabelle 3: Überblick über die Probenahmestellen und Probenahmetermine für die PFC-Untersuchungen**

Messprogramm PFC Probenahmestelle	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	01.08.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	25.08.16	01.09.16	08.09.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16	22.12.16		
Brunnen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
nach Belüftung	x	x	x	x		x																						
nach Sandfilter	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
SA 1/1	x	x	x	x		x	x		x	x					x													
SA 1/2		x	x	x				x				x	x	x	x											x		
SA 1/3																x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
SA 1/4	x	x	x	x		x	x		x	x					x													
SA 1/5		x	x	x				x				x	x	x	x											x		
SA 1/6																x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
SA 2/1	x	x	x	x	x	x									x													
SA 2/2	x	x	x	x		x		x		x		x		x	x											x		
SA 2/3																x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Vortex	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
SA 3/1	x	x	x	x		x	x	x							x													
SA 3/2	x	x	x	x				x				x	x	x	x	x		x								x		
SA 3/3																x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	
SA 3/4	x	x	x	x		x	x			x					x													
SA 3/5	x	x	x	x				x				x	x	x	x	x		x								x		
SA 3/6																x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
SA 4/1	x	x	x	x	x	x	x			x					x											x		
SA 4/2	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	
SA 4/3		x		x	x								x	x	x	x	x		x			x		x	x	x	x	
SA 4/4		x		x												x			x			x				x		
SA 4/5																x			x			x				x		
SA 4/6																x			x			x				x		
AKF1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
AKF2																											x	x

## 2.5 Aufbereitungsziele- Gesetzliche Vorgaben

Für perfluorierte Verbindungen in Grund- und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten wurden vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg vorläufige Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) festgelegt

[3]. Die darin für die Einzelverbindungen aufgelisteten Werte sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Weiterhin ist für die Bewertung des gemeinsamen Auftretens mehrerer PFC die Quotientensumme anhand der Additionsregel heranzuziehen. Hierfür gilt ein Bewertungsindex von  $\leq 1$ , der nicht überschritten werden darf.

**Tabelle 4: Vorläufige GFS-Werte für Grundwasser und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten [3]**

	Vorläufiger GFS-Wert in $\mu\text{g/L}$
PFOS	0,3
PFOA	0,3
H <sub>4</sub> PFOS	0,3
PFNoA	0,3
PFDA	0,3
PFHpS	0,3
PFHpA	0,3
PFHxS	0,3
PFHxA	1,0
PFPeS	1,0
PFPeA	3,0
PFBS	3,0
PFBA	7,0
Weitere PFC (werden in Quotientensumme nicht berücksichtigt)	1,0

Diese GFS-Werte sowie der Wert für die Quotientensumme von 1 wurden bei der Versuchsauswertung zugrunde gelegt. Sofern die Konzentration eines Einzelstoffes unter seiner Bestimmungsgrenze lag, wurde für die Berechnung der Quotientensumme eine Konzentration in Höhe der halben Bestimmungsgrenze eingesetzt.

### 3 Ziele der Untersuchungen

Nach den Ergebnissen der Laborversuche in der ersten Projektphase erscheint eine Entfernung von PFC aus dem Grundwasser am Standort [REDACTED] Herbertingen sowohl mit dem Verfahren der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH (PerfluorAd –Dosierung mit nachgeschalteter Aktivkohlefiltration) als auch mit der Aktivkohlefiltration möglich. Bei der Kombination beider Verfahren soll durch die Vorbehandlung mit PerfluorAd eine partielle Entfernung von PFC erreicht und dadurch die Laufzeit der Aktivkohlefilter verlängert werden.

Durch den Pilotbetrieb sollte unter den am Standort Herbertingen vorliegenden Verhältnissen der erreichbare spezifische Durchsatz in den Aktivkohlefiltern mit und ohne Dosierung von PerfluorAd ermittelt werden. Aus diesen Daten lassen sich die Betriebskosten für beide Verfahren ermitteln und vergleichen. Durch den Parallelbetrieb von Filterstraßen mit unterschiedlichen Aktivkohletypen können die eingesetzten Aktivkohlen hinsichtlich ihrer Adsorptionseigenschaften für PFC vergleichend bewertet werden. Durch die Möglichkeit der Reihenschaltung von Filtern sowie ihrem wechselseitig umschaltbaren Betrieb können weiterhin Vorgaben hinsichtlich des optimalen Anlagendesigns abgeleitet werden.

## 4 Rohwasserbeschaffenheit

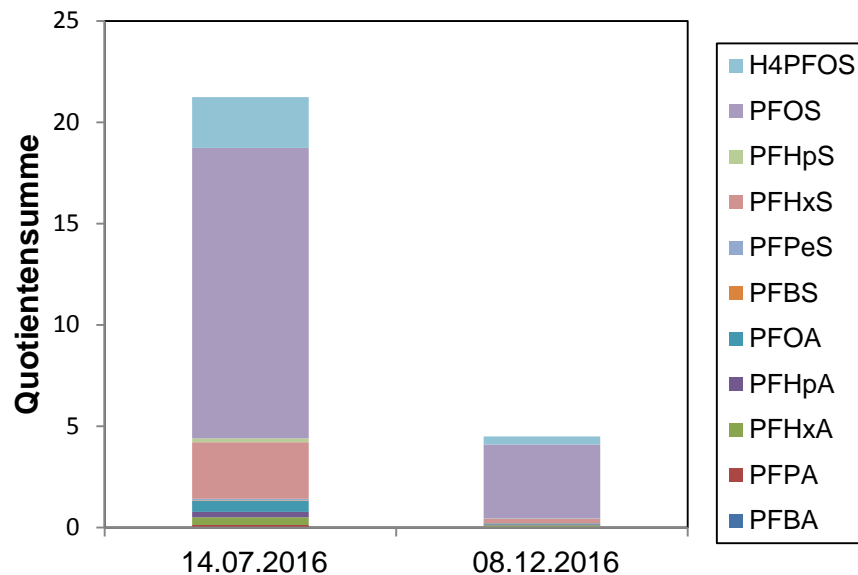
Für das Rohwasser (Brunnen [REDACTED] Herbertingen) sind die Konzentrationen für die einzelnen PFC, Eisen sowie die summarischen Parameter AOF und TOC für drei Zeitpunkte während des Pilotbetriebs in Tabelle 5 zusammengestellt. Sowohl die Konzentrationen der PFC und die Werte für den summarischen Parameter AOF als auch die Anzahl der nachzuweisenden Einzelstoffe nahmen während des Untersuchungszeitraums ab. Während zu Beginn des Pilotbetriebs die Summenkonzentration der PFC ca. 7 µg/L betrug, lag bei Versuchsende lediglich noch eine Summenkonzentration von ca. 1 µg/L vor. Die deutlich höchste Konzentration bei den Einzelstoffen wurde stets für die Verbindung PFOS ermittelt.

Das Rohwasser enthält vergleichsweise hohe Mengen an Eisen. Weiterhin auffällig ist der hohe TOC-Gehalt von ca. 20 mg/L.

**Tabelle 5: Beschaffenheit des Rohwassers – Brunnen [REDACTED] Herbertingen**

Datum		21.07.16	01.09.16	22.12.16
PFBA	µg/L	<b>0,097</b>	<b>0,040</b>	<b>0,017</b>
PFPA	µg/L	<b>0,340</b>	<b>0,160</b>	<b>0,057</b>
PFHxA	µg/L	<b>0,330</b>	<b>0,140</b>	<b>0,052</b>
PFHpA	µg/L	<b>0,120</b>	<b>0,032</b>	<b>0,011</b>
PFOA	µg/L	<b>0,160</b>	<b>0,061</b>	<b>0,011</b>
PFNA	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFDA	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFUnA	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFDoA	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFBS	µg/L	<b>0,091</b>	<b>0,033</b>	< 0,01
PFPeS	µg/L	<b>0,058</b>	<b>0,021</b>	< 0,01
PFHxS	µg/L	<b>0,790</b>	<b>0,260</b>	<b>0,043</b>
PFHpS	µg/L	<b>0,055</b>	<b>0,019</b>	< 0,010
PFOS	µg/L	<b>4,2</b>	<b>3,2</b>	<b>0,9</b>
PFDS	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFOSA	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
HPFHpA	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
H <sub>2</sub> PFDA	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
H <sub>4</sub> PFUnA	µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
H <sub>4</sub> PFOS	µg/L	<b>0,720</b>	<b>0,370</b>	<b>0,089</b>
<b>Summe PFC</b>	µg/L	<b>6,96</b>	<b>4,34</b>	<b>1,18</b>
<b>Quotientensumme</b>		20,7	13,4	3,6
Fe	mg/L	2,66	4,19	2,66*
AOF	µg/L	7,7	7	2,4*
TOC	mg/L	18	19	19*
* 15.12.2016				

Die Abnahme der PFC-Belastung im Brunnenwasser zeigt sich auch deutlich bei der Bewertung über den Wert für die Quotientensumme (Abbildung 4). Zu Beginn des Pilotversuchs lag im Rohwasser ein Wert von 21, gegen Versuchsende ein Wert unter 5 vor. Gegen Versuchsende wurde der Wert für die Quotientensumme nahezu ausschließlich durch PFOS bestimmt.



**Abbildung 4: PFC-Belastung des Rohwassers – Brunnen [redacted] Herberlingen anhand des Wertes der Quotientensumme zu Beginn und gegen Ende des Pilotbetriebs**

Somit lagen über die Dauer des Pilotbetriebs keine konstanten Versuchsbedingungen vor.

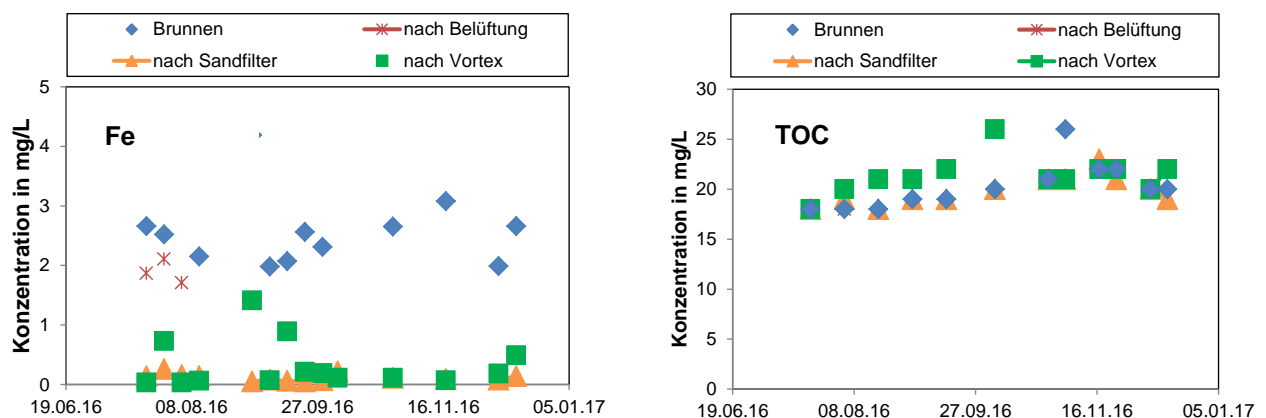
## 5 Ergebnisse des Pilotversuchs

### 5.1 Einfluss der Vorbehandlung auf die Wasserbeschaffenheit

Wie in Kapitel 2.1 dargestellt wird das Rohwasser zunächst belüftet. Anschließend erfolgt bei Linie A die Filtration über Quarzsand zur Entfernung von Eisen und partikulären Wasserinhaltsstoffen. Bei Linie B erfolgt die Zugabe von PerfluorAd mit anschließender Sedimentation und Filtration (Vortex).

Eine weitgehende Enteisung des Brunnenwassers wird durch die Filtration über Quarzsand (nach Sandfilter) in der Aufbereitungslinie A erreicht (Abbildung 5). Der Ablauf des Sandfilters enthält lediglich geringe Konzentrationen an Eisen. Im Ablauf des Vortex-Filters (Linie B) werden demgegenüber zeitweise höhere Konzentrationen an Eisen festgestellt.

Durch die Belüftung und die Sandfiltration wird die TOC-Konzentration des Wassers nicht verändert (Abbildung 5). Im Wasser nach Vortex ist gegenüber dem Brunnenwasser sogar ein geringfügig höherer TOC-Gehalt festzustellen, der durch die Zugabe von PerfluorAd bedingt ist.



**Abbildung 5: Fe - und TOC - Gehalte in den Wässern aus dem Brunnen, nach Belüftung, nach Sandfilter und nach Vortex**

Durch die Vorbehandlung des Rohwassers über Belüftung und Sandfiltration wird erwartungsgemäß die Konzentration der PFC – im Rahmen der analytischen Genauigkeit – nicht verringert (Abbildungen 6 bis 8).

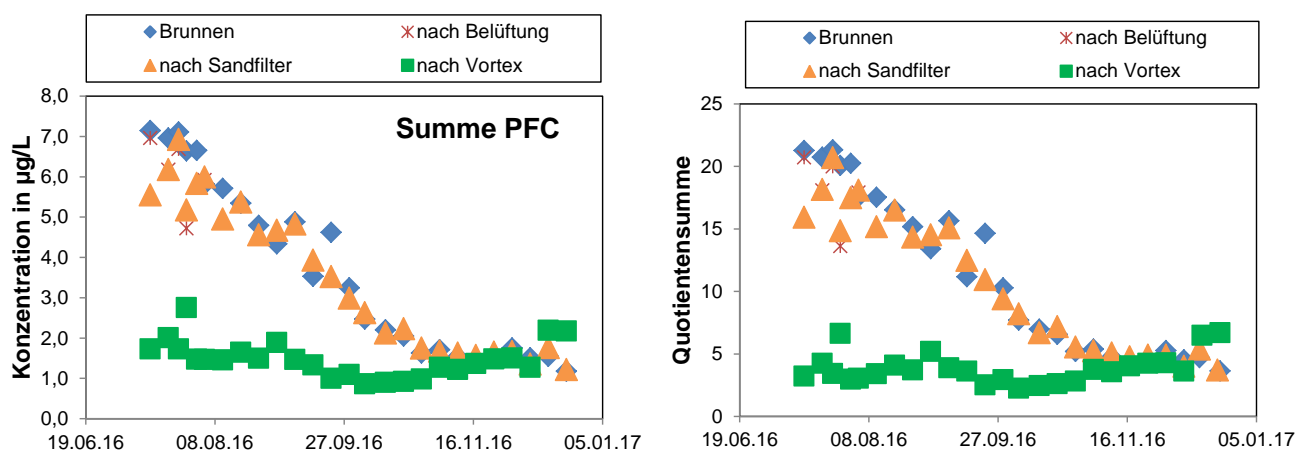
Ziel der PerfluorAd - Anwendung ist, wie im Bericht der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH [1] ausgeführt, die Entfernung der PFC. Im vorliegenden Fall wurden in der „PerfluorAd-Stufe“ die per- und polyfluorierten Verbindungen zu Beginn der Pilotierungsphase von einer Konzentration Summenkonzentration von ca. 7 µg/L auf eine Konzentration an der Entnahmestelle nach Vortex von ca. 2 µg/L verringert (Abbildung 6). Entsprechend wird der Wert für die Quotientensumme von ca. 21 auf 3 gesenkt.

Insbesondere länger-kettige Sulfonsäuren aus der Gruppe der PFC, wie beispielsweise PFHxS, PFHpS und PFOS werden durch die Anwendung von PerfluorAd weitgehend entfernt (Abbildung 7), während die Konzentrationen der kurzkettigen Sulfonsäuren sowie der Carbonsäuren praktisch unverändert bleiben (Abbildung 8).

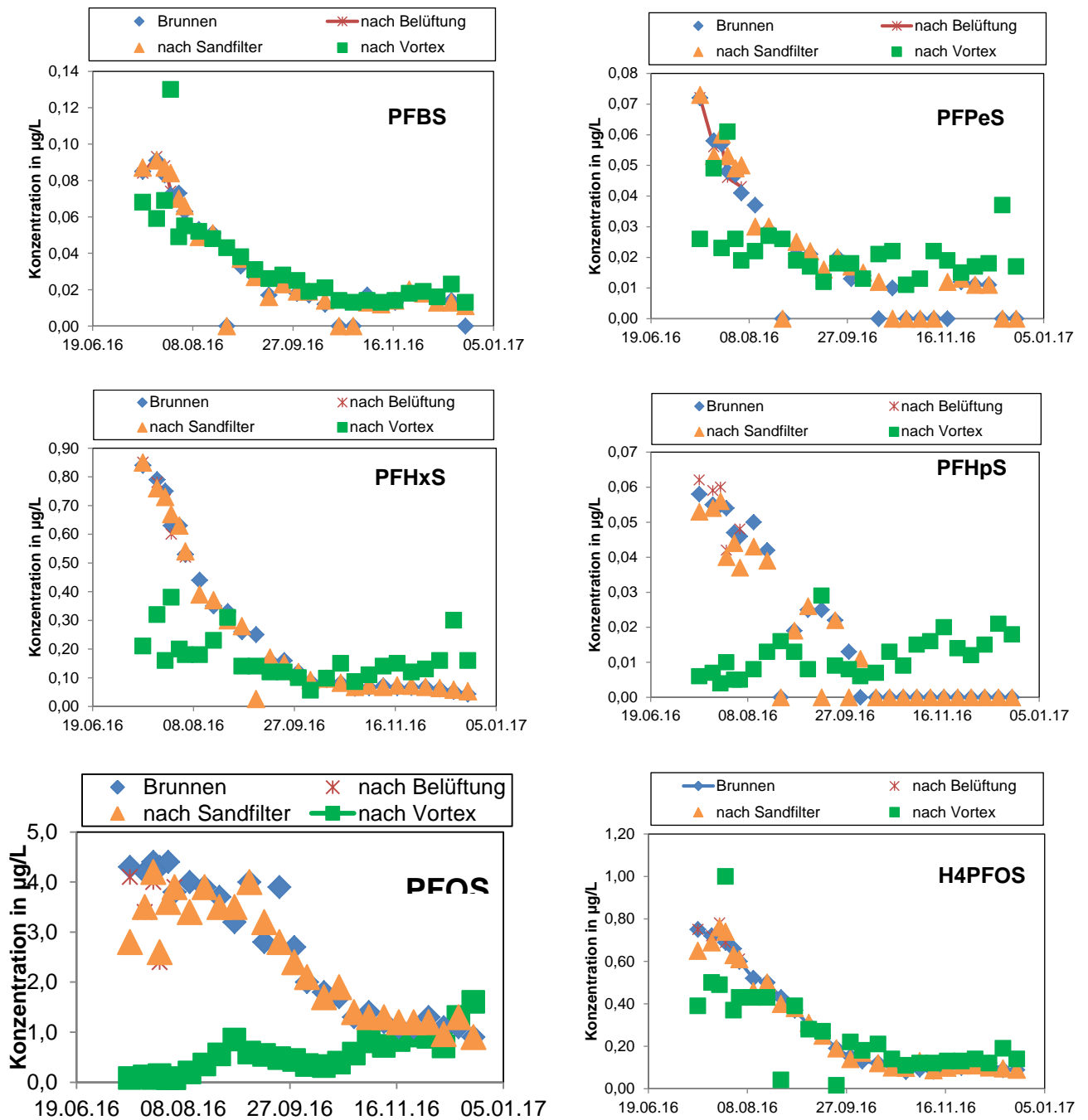
Hinsichtlich des Summenparameters AOF ist ebenfalls nur eine geringe Elimination festzustellen (Abbildung 8).

Gegen Ende der Pilotierungsphase, d. h. nach einer Betriebszeit von nahezu einem halben Jahr, zeigte die „PerfluorAd-Stufe“ keine Entfernung der PFC mehr. Dieser Effekt wurde im Bericht der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH [1] weitergehend diskutiert und auf die niedrigen Temperaturen in den Wintermonaten, die sich mit der Temperatur ändernde Viskosität des Fällungsmittels und der dadurch bedingten Verringerung der Dosiermenge zurückgeführt.

Insgesamt betrachtet erfolgte unter den am Standort Herbertingen vorliegenden Randbedingungen durch die „PerfluorAd-Stufe“ insbesondere eine Verringerung der Konzentrationen für die perfluorierten Verbindungen PFPeS, PFHxS, PFHpS und PFOS.

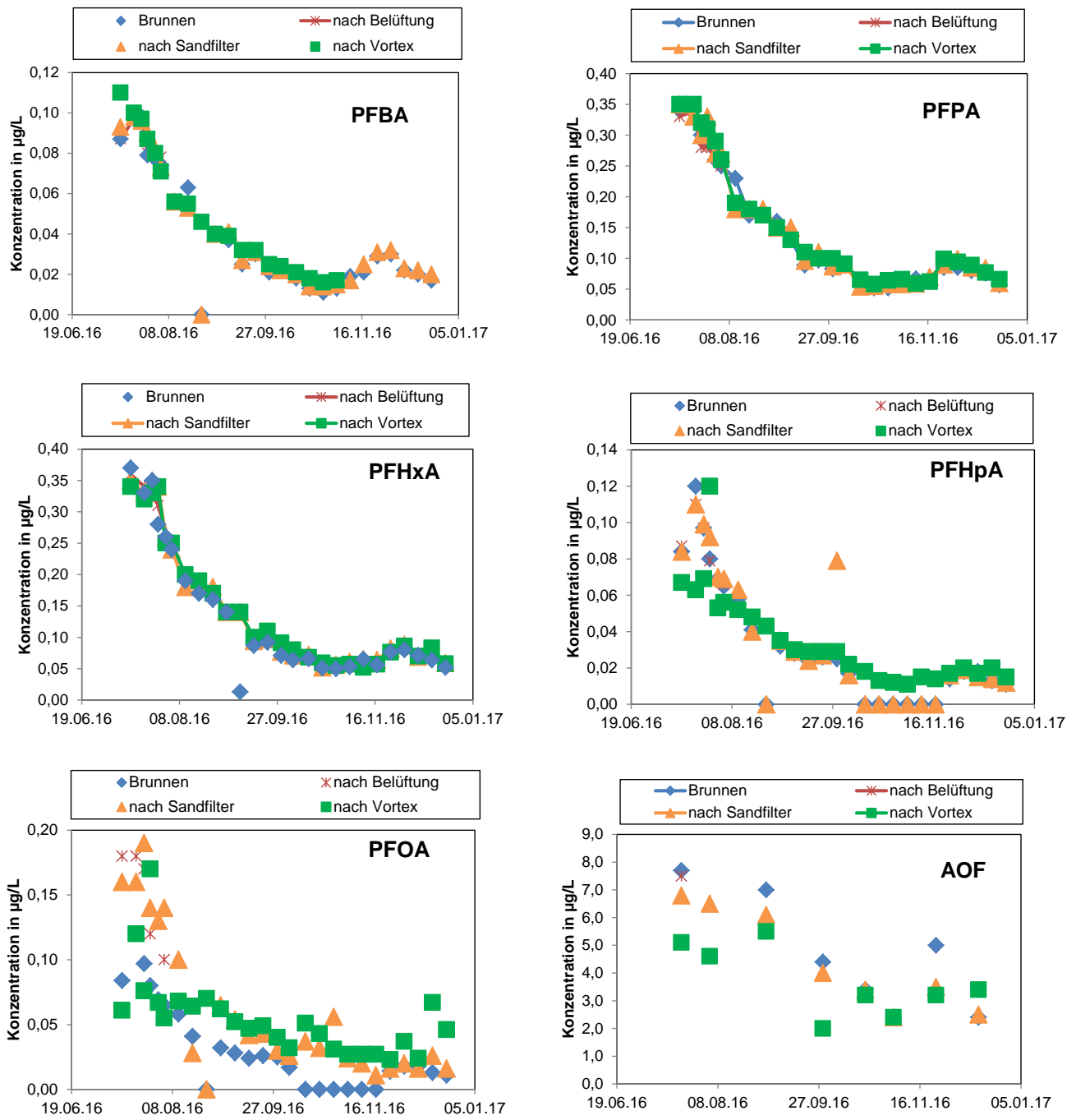


**Abbildung 6: PFC--Gehalte und Wert für die Quotientensumme in den Wässern aus dem Brunnen, nach Belüftung, nach Sandfilter und nach Vortex**



**Abbildung 7: Gehalte der perfluorierten Sulfonsäuren in den Wässern aus dem Brunnen, nach Belüftung, nach Sandfilter und nach Vortex**

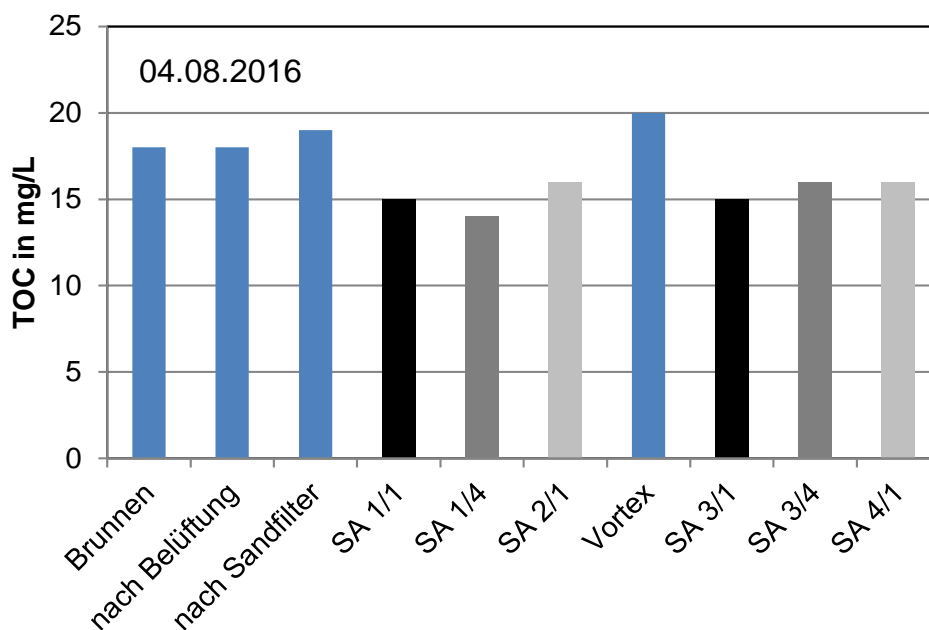




**Abbildung 8:** Gehalte der perfluorierten Carbonsäuren sowie des AOF in den Wässern aus dem Brunnen, nach Belüftung, nach Sandfilter und nach Vortex

## 5.2 Durchbruchverhalten der summarischen Parameter TOC und AOF in Aktivkohlefiltern

Wie die Ergebnisse der Adsorptionsversuche zeigen, weist ein hoher Anteil der über den summarischen Parameter TOC erfassbaren Substanzen am Standort Herbertingen eine geringe Adsorbierbarkeit an Aktivkohle auf. Bereits nach einer Filterlaufzeit von ca. 3 Wochen, entsprechend einem spezifischen Durchsatz von ca. 2.000 BV in den vorgeschalteten Aktivkohlefiltern jeder Aufbereitungsstraße (Bezeichnung.../1), liegt diesbezüglich für den TOC ein ca. 80%-iger Durchbruch vor (Abbildung 9). Dennoch werden 20% des TOC entsprechend einer Konzentration um 4 mg/L noch weiterhin adsorbiert. Im Vergleich zur Summenkonzentration an PFC im Bereich von 1 bis 7 µg/L liegt, liegt die Konzentration der über den TOC erfassten Substanzen um einen Faktor 1000 höher. Somit ist davon auszugehen, dass bedingt durch die konkurrierende Adsorption von natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffen und PFC die maximal erreichbare Adsorptionskapazität der Aktivkohle für PFC gegenüber dem Einzelstoffsystem deutlich geringer ist.



**Abbildung 9: TOC-Gehalte in den Wässern aus dem Brunnen und nach den einzelnen Aufbereitungsstufen**

Hinsichtlich des Parameters AOF wird während des Pilotbetriebs lediglich ein partieller Durchbruch bis in den Ablauf der ersten Aktivkohlefilterstufen festgestellt (Tabelle 6).

**Tabelle 6: AOF-Gehalte in den Wässern aus dem Brunnen sowie den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstraßen**

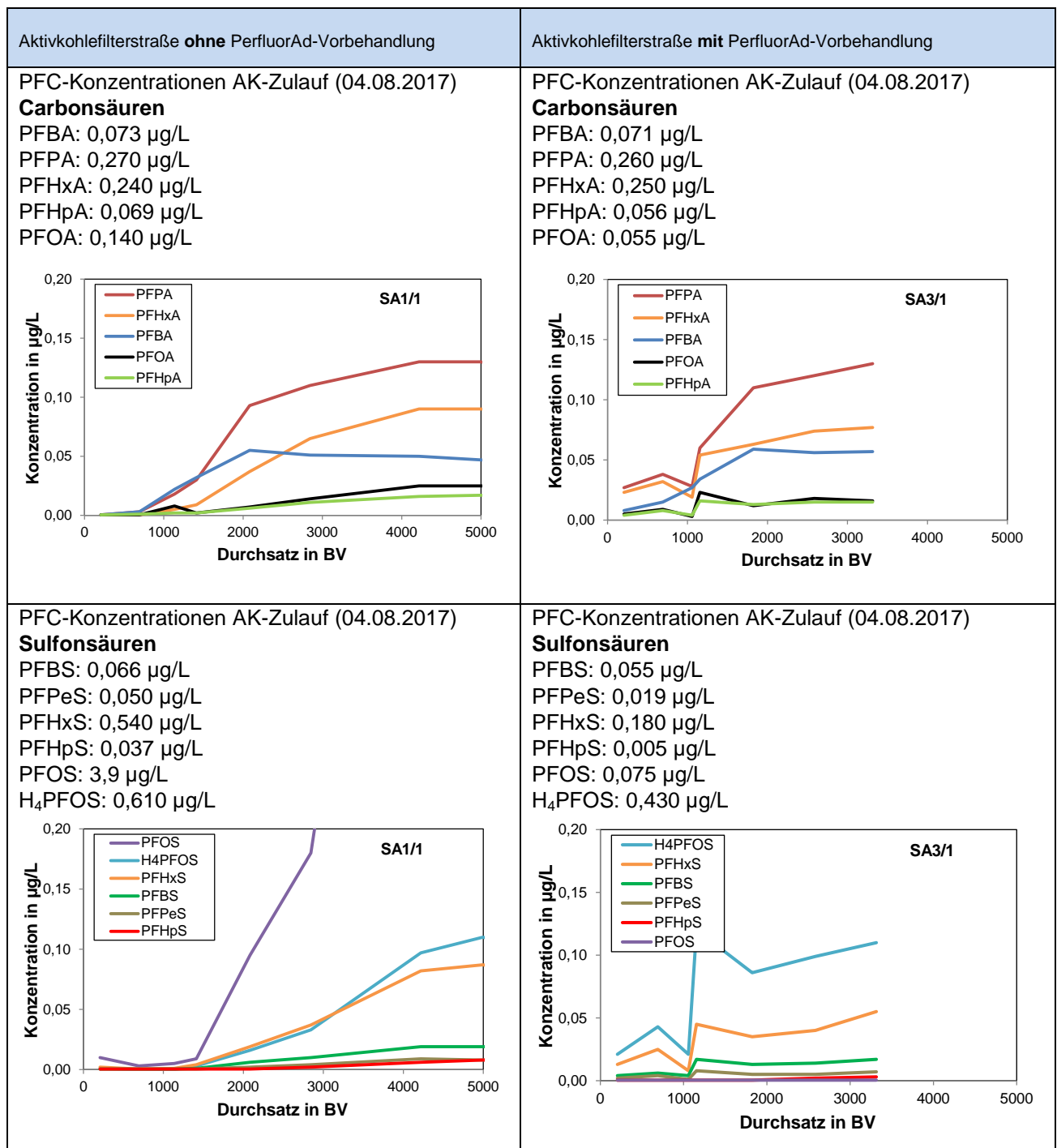
AOF in µg/L	21.07.16	04.08.16	01.09.16	29.09.16	20.10.16	03.11.16	24.11.16	15.12.16
Brunnen	7,7		7	4,4	3,4	2,4	5	2,4
Ablauf Aktivkohlefilter 1.Stufe								
SA1/1	< 1	< 1	2,1					
SA1/4	< 1	< 1	2					
SA2/1	< 1	< 1						
SA3/1	< 1	< 1						
SA3/4	< 1	< 1	1,5					
SA4/1	< 1	< 1	1,0					
Ablauf Aktivkohlefilter 2.Stufe								
SA1/2	< 1			< 1				
SA1/5	< 1			< 1				
SA2/2	< 1			< 1				
SA3/2	< 1			< 1				
SA3/5	< 1			< 1				
SA4/2	< 1			< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ablauf Aktivkohlefilter weitere Stufen								
SA4/4	< 1					< 1	< 1	< 1
SA4/5						< 1	< 1	< 1
SA4/6						1,0	< 1	< 1

### 5.3 Durchbruchverhalten der PFC in Aktivkohlefiltern

In den Abläufen sämtlicher Aktivkohlefilter wurden in regelmäßigen Abständen die Konzentrationen der PFC ermittelt. Ausgewählte Proben wurden weiterhin auf die summarischen Parameter AOF und TOC untersucht. Insgesamt liegen pro Aktivkohlefilterablauf 21 Durchbruchkurven (für 17 PFC-Einzelstoffe, die Summe der PFC-Konzentrationen, den Wert der Quotientensumme, AOF und TOC) vor. Aufgrund dieser Vielzahl an Daten (insgesamt 334 Durchbruchkurven) werden nachfolgend lediglich ausgewählte Durchbruchkurven exemplarisch dargestellt. In die Auswertung bzw. die Ableitung von Folgerungen fließen jedoch alle ermittelten Durchbruchkurven ein. Sämtliche Messdaten für die einzelnen Probenahmestellen sowie die Durchbruchkurven in Schütthöhen von 1 m und 2 m sind in den Anlagen tabellarisch bzw. grafisch dargestellt.

#### 5.3.1 Durchbruchverhalten der PFC-Einzelstoffe

Die Durchbruchkurven der PFC-Einzelkomponenten sind für die fluorierten Carbonsäuren und die fluorierten Sulfonsäuren in Abbildung 10 am Beispiel der vorgeschalteten Aktivkohlefilter (Bezeichnung .../1) und bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401 für die Aufbereitungslinien A und B – mit und ohne PerfluorAd-Vorbehandlung – dargestellt. Aufgetragen sind jeweils die Ablaufkonzentrationen über dem spezifischen Durchsatz in Bettvolumen BV (m<sup>3</sup> behandeltes Wasser/ m<sup>3</sup> Aktivkohle).



**Abbildung 10: Durchbruchkurven der PFC in den vorgeschalteten Aktivkohlefiltern bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401 mit und ohne PerfluorAd-Vorbehandlung**

Die Carbonsäuren zeigen in den beiden Aufbereitungslinien erwartungsgemäß ein ähnliches Durchbruchsverhalten, da die Konzentrationen der Carbonsäuren durch den Einsatz von PerfluorAd nicht signifikant verändert werden (siehe Kapitel 5.1). PFBA ist an Aktivkohle schlecht adsorbierbar und bereits nach spezifischen Durchsätzen von unter 1.000 BV in den Filterabläufen nachzuweisen. Aufgrund der vergleichsweise hohen Konzentra-

tionen in den Filterzuläufen, ist für PFPA und PFHxA ebenfalls ein früher Durchbruch festzustellen. PFHpA und PFOA liegen nur in geringen Konzentrationen im Zulauf zu den Aktivkohlefiltern vor und sind besser an Aktivkohle adsorbierbar. Daher ist für diese beiden Substanzen ein deutlich langsamerer Abstieg der Konzentrationen in den Aktivkohlefilterabläufen zu beobachten.

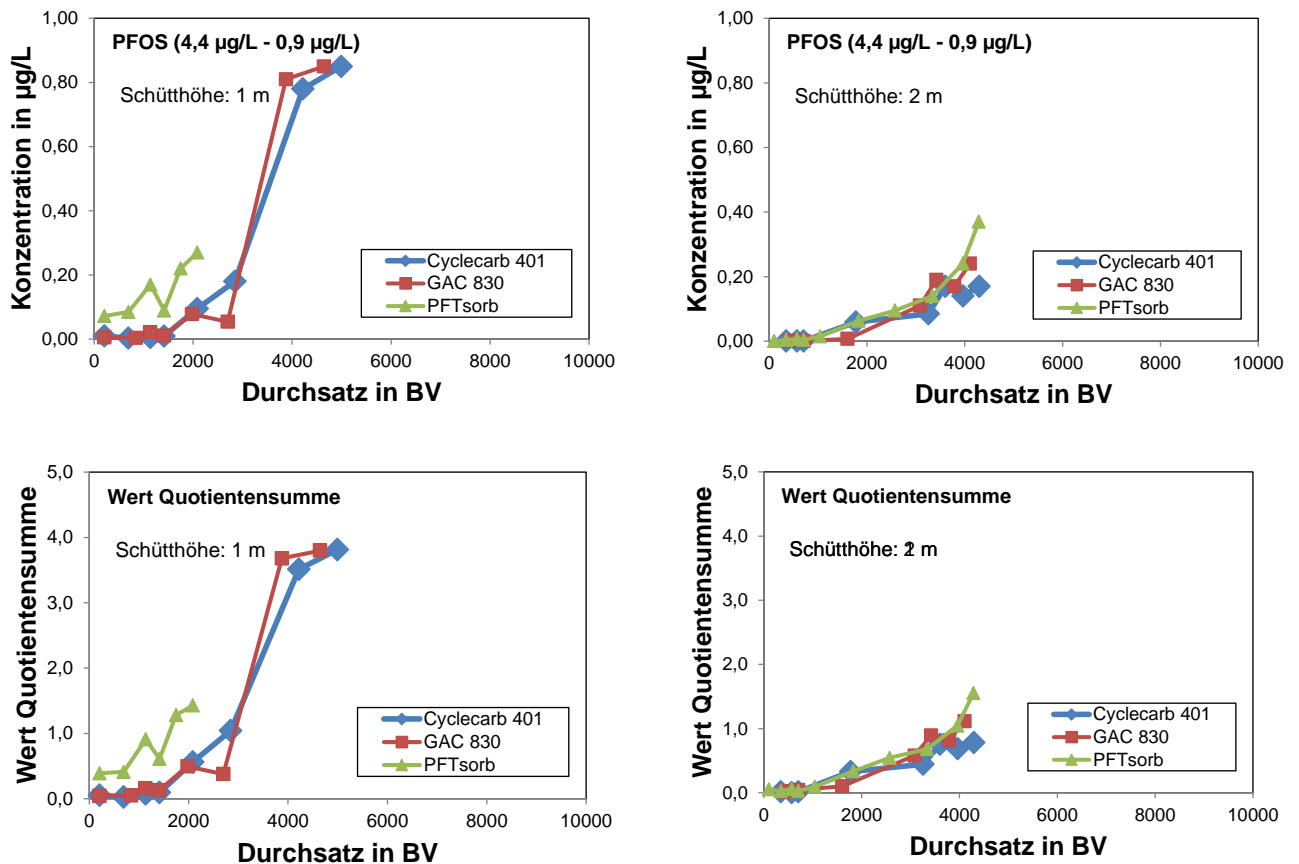
Hinsichtlich des Durchbruchsverhaltens der Sulfonsäuren zeigen sich bei den beiden Aufbereitungsstraßen Unterschiede, wie dies auch zu erwarten war. Die Konzentration von PFOS wird, wie in Kapitel 5.1 dargestellt, durch den Einsatz von PerfluorAd deutlich verringert. Entsprechend der geringeren Zulaufkonzentration in der Aufbereitungslinie mit Dosierung von PerfluorAd (SA3/1) wird PFOS in dieser Filterstufe über die Betriebsdauer bis zu einem spezifischen Durchsatz von 3.000 BV vollständig zurückgehalten. Demgegenüber ist bei der Filterstufe ohne PerfluorAd (SA1/1) aufgrund der hohen Zulaufkonzentration ein früherer und steil verlaufender Durchbruch bereits bei einem spezifischen Durchsatz von ca. 1.500 BV zu beobachten.

Die Abfolge des Durchbruchsverhaltens der PFC-Einzelkomponenten ist bei den drei eingesetzten Aktivkohlesorten in beiden Aufbereitungslinien weitgehend identisch.

### **5.3.2 Vergleich unterschiedlicher Aktivkohlen**

Das Durchbruchsverhalten der PFC an unterschiedlichen Aktivkohlesorten in der Aufbereitungslinie A (ohne Vorbehandlung mit PerfluorAd) geht beispielhaft für PFOS sowie für den Wert der Quotientensumme für Schütthöhen an Aktivkohle von 1 m und 2 m aus Abbildung 11 hervor. Während für die beiden Aktivkohlesorten GAC 830 und Cyclecarb 401 ein ähnliches Adsorptionsverhalten der PFC festzustellen ist, wird bei Einsatz von PFTsorb nach einer Schütthöhe von 1 m ein früherer Durchbruch beobachtet. Nach einer Schütthöhe von 2 m liegt jedoch bei sämtlichen Aktivkohletypen ein ähnliches Durchbruchsverhalten vor. Dies deutet auf etwas ungünstigere kinetische Eigenschaften der Aktivkohle PFTsorb hin. Dies wirkt bei geringen Aktivkohleschüttungen nachteilig auf das Durchbruchsverhalten der Spurenstoffe aus.

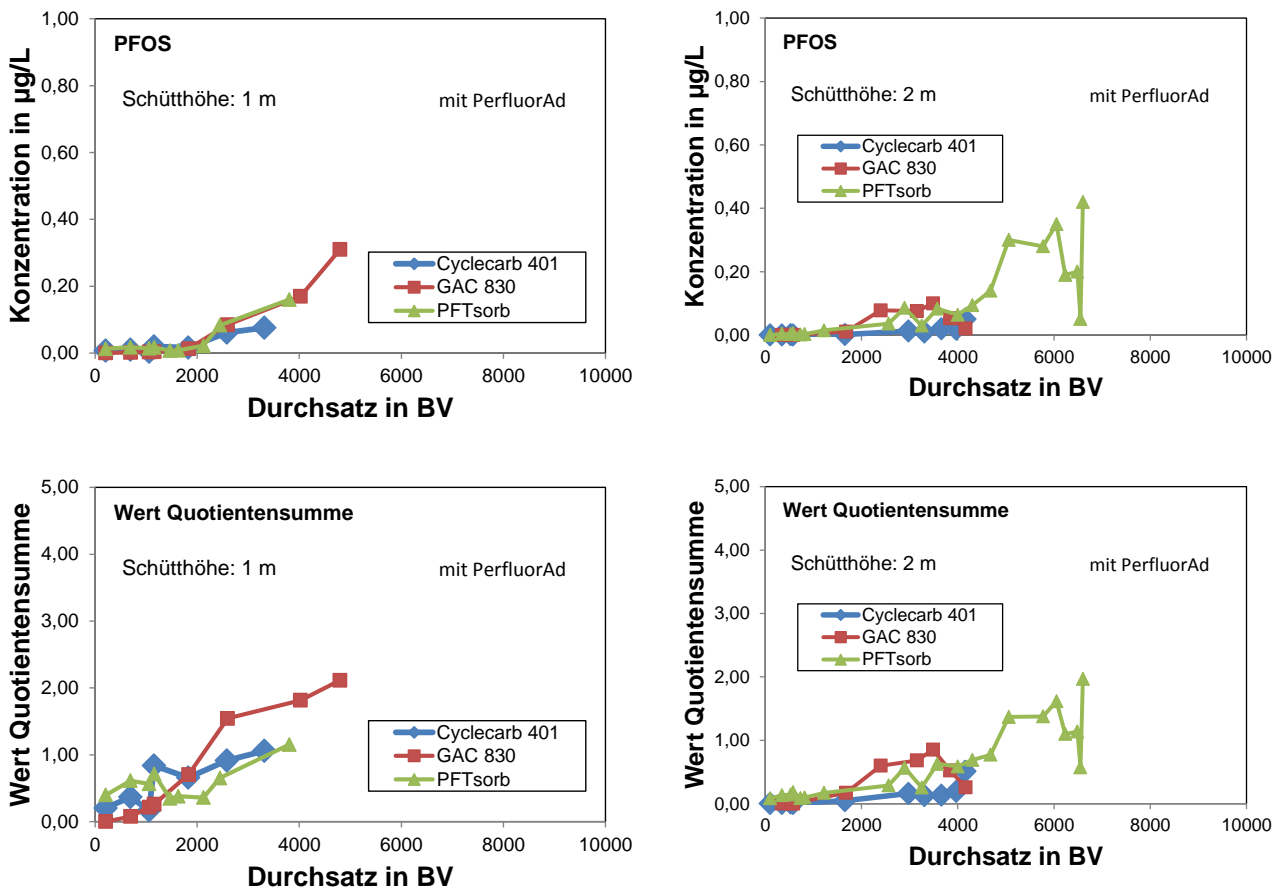
Ein ähnliches Verhalten wird auch bei den weiteren PFC-Einzelstoffen sowie dem Wert für die Quotientensumme beobachtet. Der höchste spezifische Durchsatz bis zum Erreichen des Wertes 1 für die Quotientensumme liegt bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401 vor.



**Abbildung 11: Durchbruchkurven von PFOS und dem Wert der Quotientensumme an verschiedenen Aktivkohlen nach Schütthöhen von 1 m und 2 m (ohne PerfluorAd-Vorbehandlung – Linie A)**

Wie in Kapitel 5.1 ausgeführt, werden die PFC-Einzelstoffe durch den Einsatz von PerfluorAd in unterschiedlichem Maße eliminiert. Bei einer Schütthöhe von 1 m weist die Aktivkohle GAC 830 hinsichtlich des Parameters Wert Quotientensumme die ungünstigsten Adsorptionseigenschaften auf.

In der Aufbereitungslinie B mit PerfluorAd-Vorbehandlung wird bei einer Schütthöhe von 2 m bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401 die längste Filterlaufzeit erreicht (Abbildung 12).



**Abbildung 12: Durchbruchkurven von PFOS und dem Wert der Quotientensumme an verschiedenen Aktivkohlen nach Schütthöhen von 1 m und 2 m (mit PerfluorAd-Vorbehandlung)**

Insgesamt betrachtet sind die bei den eingesetzten Aktivkohlesorten resultierenden Unterschiede bezüglich des Durchbruchverhaltens der PFC als gering zu bewerten.

### 5.3.3 Vergleich des Durchbruchverhaltens mit und ohne PerfluorAd-Vorbehandlung

Durch die Vorbehandlung des Wassers mit PerfluorAd werden die Konzentrationen kurz-kettiger Vertreter der PFC, wie beispielsweise PFBA, nicht verändert. Entsprechend sind für diese Stoffe in den Aktivkohlefilterstufen mit und ohne PerfluorAd-Anwendung keine signifikanten Unterschiede zu erkennen (Abbildung 13).

Demgegenüber erfolgt durch die Vorbehandlung des Wassers mit PerfluorAd eine deutliche Verringerung der Konzentrationen von Verbindungen wie beispielsweise PFOS. Dadurch bedingt wird in den Aktivkohlefiltern in Linie B – mit PerfluorAd-Behandlung- ein späterer Durchbruch für den Einzelstoff und entsprechend für die Summe der PFC sowie den Wert für die Quotientensumme festgestellt (Abbildung 13).

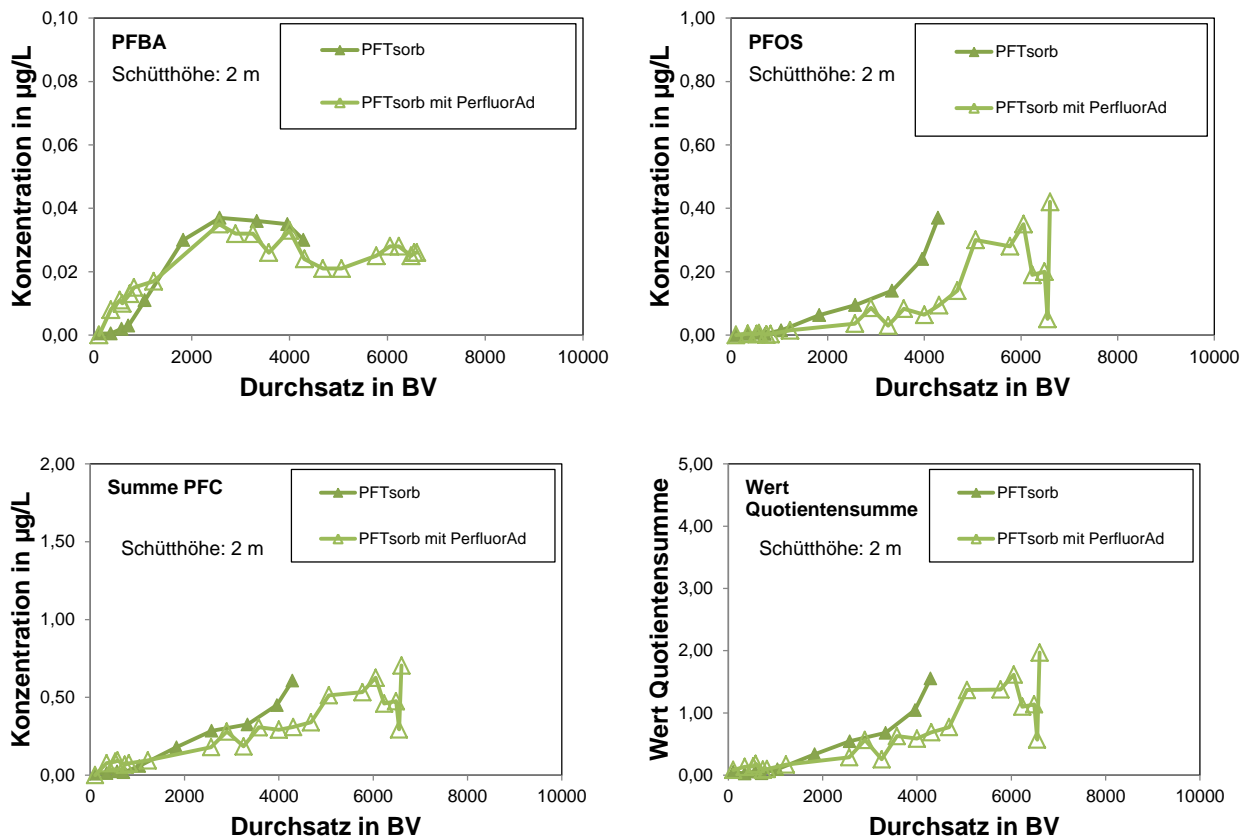


Abbildung 13: Durchbruchkurven von PFBA und PFOS in Aktivkohlefiltern mit und ohne PerfluorAd-Vorbehandlung (Aktivkohle: PFTsorb)

### 5.3.4 Vergleich des Durchbruchverhaltens bei unterschiedlichen Schütthöhen

Unabhängig von dem PFC-Einzelstoff, der eingesetzten Aktivkohlesorte oder der Vorbehandlung erfolgt stets ein späterer Durchbruch bei einer Schütthöhe von 2 m gegenüber einer Schütthöhe von 1 m (Abbildung 14). Bei einer Bewertung der Aufbereitungsleistung anhand des spezifischen Durchsatzes bei Erreichen des Wertes 1 für die Quotientensumme kann bei dem dargestellten Beispiel der Aktivkohle PFTsorb (ohne Vorbehandlung mit PerfluorAd) bei Verdopplung der Schütthöhe von 1 m auf 2 m die Filterlaufzeit ebenfalls verdoppelt werden. Bei der Aufbereitungsstraße mit Reihenschaltung von sechs Aktivkohlefiltern (PFTsorb mit PerfluorAd) ist tendenziell ein späterer Durchbruch und somit eine bessere Ausnutzung der Aktivkohle mit zunehmender Schütthöhe bis 6 m zu erkennen.

In diesem Zusammenhang ist jedoch darauf hinzuweisen, dass im vorliegenden Fall eine Erhöhung des spezifischen Durchsatzes auch aus der mit zunehmender Filterlaufzeit abnehmenden Zulaufkonzentration resultiert. Somit lassen sich keine absoluten Zahlen über die absolute Laufzeitverlängerung beispielsweise durch Verdopplung der Schütthöhe (bei konstanter Rohwasserbelastung) ableiten.



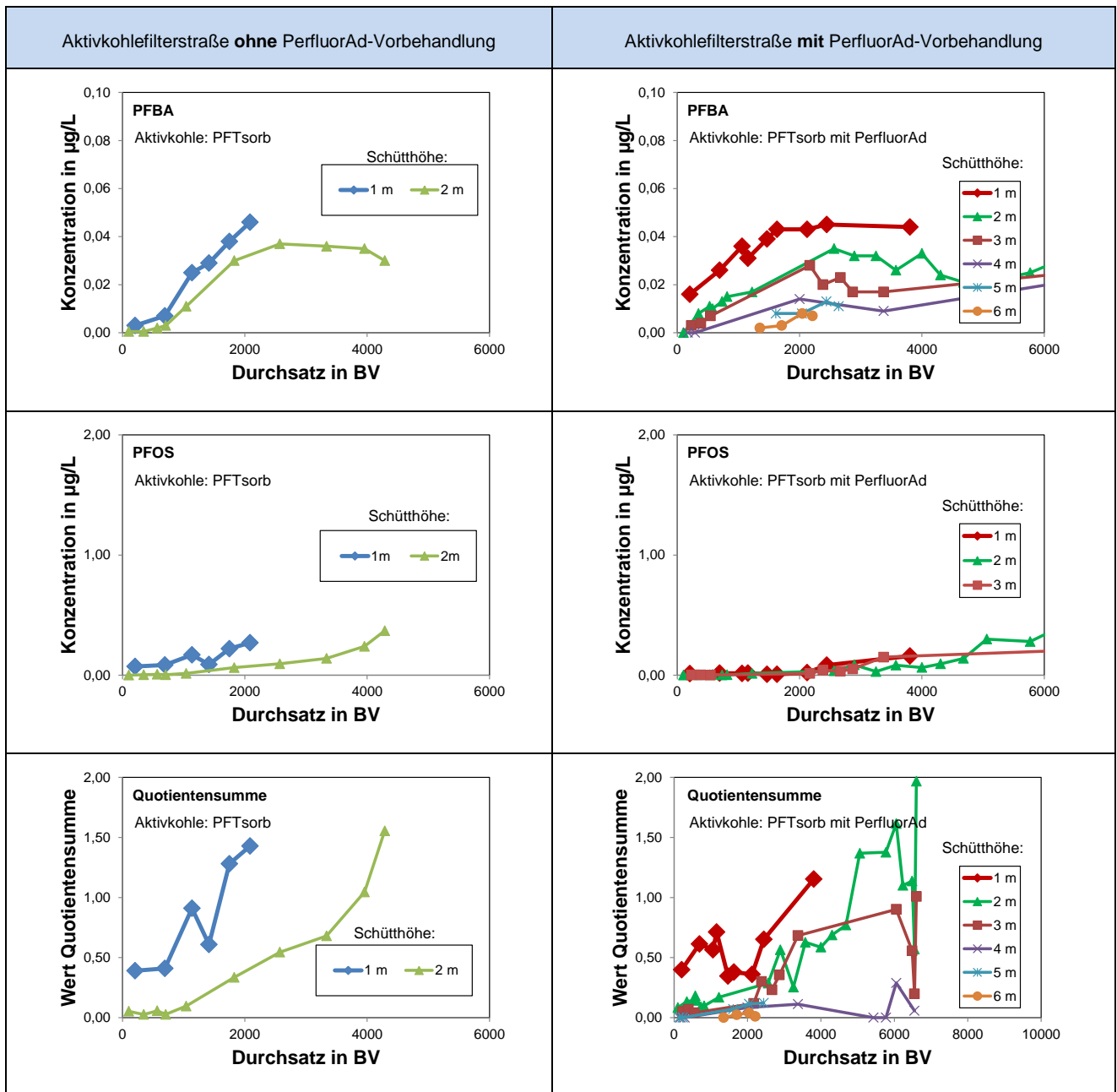


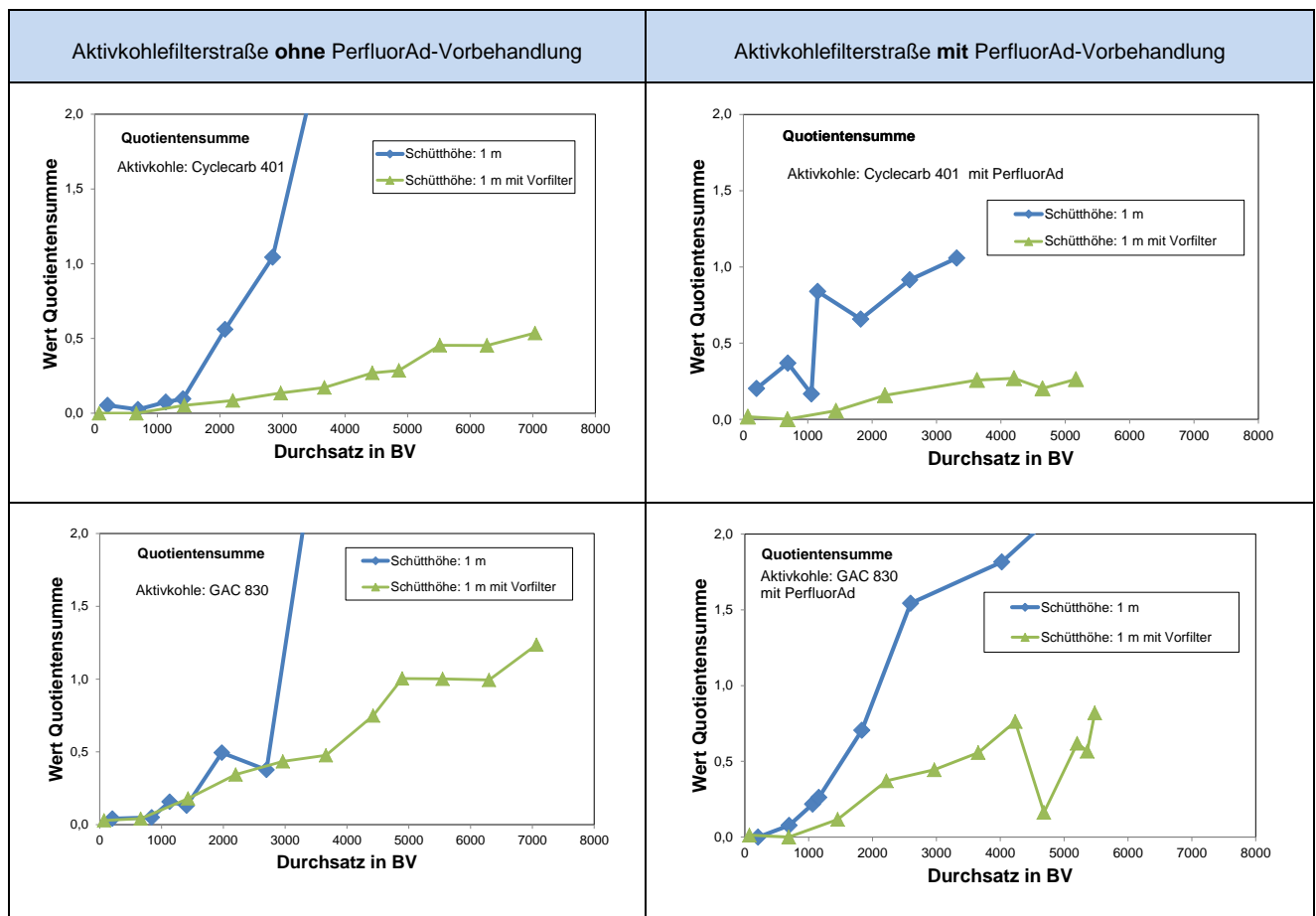
Abbildung 14: Durchbruchkurven von PFBA, PFOS und den Wert der Quotientensumme in Aktivkohlefiltern mit unterschiedlicher Schütthöhe mit und ohne PerfluorAd-Vorbehandlung

### 5.3.5 Auswirkung des wechselweise umschaltbaren Betriebs auf den PFC-Durchbruch

In einigen Anwendungsfällen wird eine weitergehende Ausnutzung der Adsorptionskapazität von Aktivkohlen bei zwei Aktivkohlefiltern in Reihenschaltung dadurch erreicht, dass bei Schadstoffdurchbruch im nachgeschalteten Filter die Aktivkohle lediglich im vorgeschalteten Filter ausgetauscht wird. Danach wird der teilbeladene Filter als Vorfilter betrieben.

Durch diese Fahrweise soll erreicht werden, dass die teilbeladene Aktivkohle weitergehend beladen wird.

Bei der Versuchsanlage wurde der wechselweise umschaltbare Betrieb bei fünf Aufbereitungsstraßen durchgeführt. Wie bereits in Kapitel 2.2 dargestellt, wurden bei Erreichen eines Wertes von 1 für die Quotientensumme im nachgeschalteten Filter (Aktivkohlefilterstraße mit GAC 830) sämtliche vorgeschalteten Filter umfahren, jeweils die 2. Aktivkohlefilterstufe mit den Zuläufen zur Aktivkohlefilterstufe beaufschlagt und die 3. Aktivkohlefilterstufen mit Frischkohle nachgeschaltet. Wie die Ergebnisse zeigen, tritt mit einem vorgeschalteten teilbeladenen Filter (mit Vorfilter) gegenüber dem Aktivkohlefilter ohne Vorfilter stets ein deutlich späterer Durchbruch ein (Abbildung 15). Analog zu den Ausführungen in Kapitel 5.3.4 kann diese Laufzeitverlängerung jedoch ebenfalls – zumindest zum Teil – durch die abnehmende Zulaufkonzentration bedingt sein.



**Abbildung 15: Durchbruchkurven für den Wert Quotientensumme in Aktivkohlefiltern mit unterschiedlicher Schütthöhe sowie im wechselweisen umschaltbaren Betrieb mit Vorfilter**

## 6 Zusammenfassende Ergebnisdarstellung und Kostenbetrachtung

Abhängig von der Aktivkohlesorte, der Schütthöhe an Aktivkohle, dem Anlagenbetrieb sowie der Vorbehandlung (mit oder ohne PerfluorAd) wird der maximale zulässige Wert von 1 für die Quotientensumme bei spezifischen Durchsätzen zwischen 1.600 BV und > 12.000 BV erreicht (Tabelle 7). Der höchste spezifische Durchsatz resultiert bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401 bei Vorbehandlung mit PerfluorAd im wechselweise umschaltbaren Betrieb.

**Tabelle 7: Spezifische Durchsätze in Bettvolumina BV bei Erreichen eines Wertes von 1 für die Quotientensumme Q**

ohne PerfluorAd	Schütthöhe		
	1 m	2 m	1 m (mit Vorfilter - wechselweise umschaltbarer Betrieb)
Aktivkohle	<b>erreichte BV (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) bei Q = 1</b>		
Cyclecarb 401	2.800	5.000*	12.000*
GAC 830	3.000	4.000	5.500
PFTsorb	1.600	3.900	8000*
mit PerfluorAd	Schütthöhe		
	1 m	2 m	1 m (mit Vorfilter - wechselweise umschaltbarer Betrieb)
Aktivkohle	<b>erreichte BV (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) bei Q = 1</b>		
Cyclecarb 401	3.000	> 10.000*	> 12.000*
GAC 830	2.100	5.000*	6.000*
PFTsorb	3.400	4.800	3 m: 4.800

\* extrapolierte Werte

Wie bereits in Kapitel. 5 erwähnt, resultieren bei einer Schütthöhe von 2 m höhere spezifische Durchsätze als bei einer Schütthöhe von 1 m und im wechselweise umschaltbaren Betrieb insgesamt die höchsten spezifischen Durchsätze. Ein derartiger Zusammenhang wurde bereits in Aktivkohlefiltern zur Entfernung von PSM-Wirkstoffen und pharmazeutischen Wirkstoffen oder leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen festgestellt [4]. Im vorliegenden Fall sank jedoch mit zunehmender Filterlaufzeit die PFC-Belastung im Rohwasser. Eine geringere Zulaufkonzentration ist gleichzusetzen mit einem höheren spezifischen Durchsatz bis zum Erreichen der maximal zulässigen Ablaufkonzentration. Somit kann der Effekt der Filterdimensionierungsparameter sowie der Betriebsweise auf den erreichbaren spezifischen Durchsatz aus den vorliegenden Daten nicht eindeutig bewertet werden.

Unter Annahme von folgenden Kosten für die Aktivkohle, die auf Herstellerangaben basieren

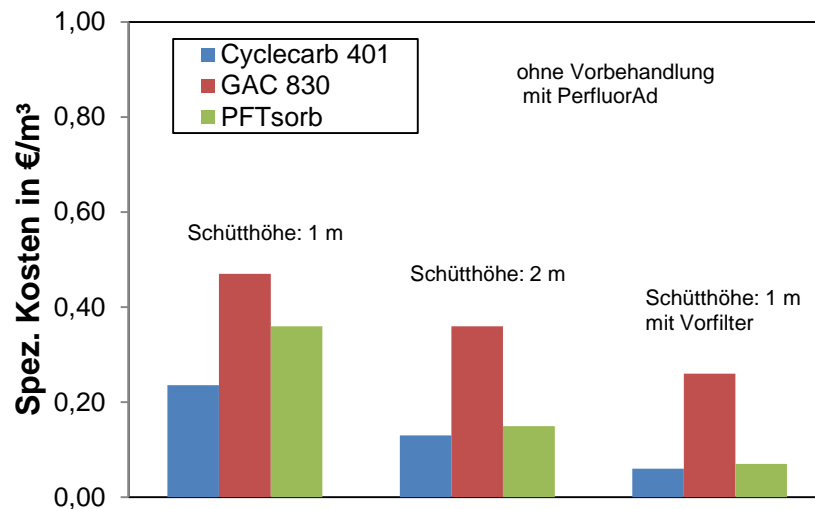
- Cyclecarb 401: 660 €/m<sup>3</sup>
- GAC 830: 1.420 €/m<sup>3</sup>
- PFTsorb: 575 €/m<sup>3</sup>

resultieren bei den in Tabelle 7 zusammengestellten erreichten spezifischen Durchsätzen spezifische Aktivkohlekosten (Aktivkohlekosten pro m<sup>3</sup> Wasser) zwischen < 0,055 €/m<sup>3</sup> und 0,68 €/m<sup>3</sup> (Tabelle 8). Die bei den einzelnen Filterläufen signifikant unterschiedlichen spezifischen Kosten sind in den Abbildungen 16 und 17 in grafischer Darstellung verdeutlicht.

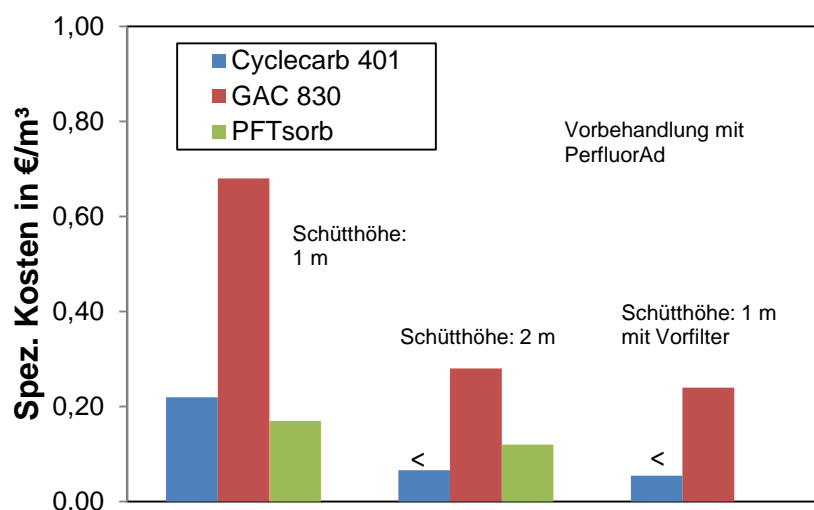
**Tabelle 8: Spezifische Aktivkohlekosten bis zum Erreichen des Wertes 1 für die Quotientensumme in den Aufbereitungslinien mit und ohne PerfluorAd-Dosierung**

ohne PerfluorAd	Schütthöhe		
	1 m	2 m	1 m (mit Vorfilter - wechselweise umschaltbarer Betrieb)
Aktivkohle	<b>Kosten in € pro m<sup>3</sup> Wasser</b>		
Cyclecarb 401	0,24	0,13	0,06
GAC 830	0,47	0,36	0,26
PFTsorb	0,36	0,15	0,07
mit PerfluorAd	Schütthöhe		
	1 m	2 m	1 m (mit Vorfilter - wechselweise umschaltbarer Betrieb)
Aktivkohle	<b>Kosten in € pro m<sup>3</sup> Wasser</b>		
Cyclecarb 401	0,22	< 0,066	< 0,055
GAC 830	0,68	0,28	0,24
PFTsorb	0,17	0,12	3 m: 0,12

Aufgrund der vergleichsweise hohen Kosten für die Aktivkohle GAC 830, bei der es sich um eine hochwertige Aktivkohle zur Trinkwasseraufbereitung handelt, resultieren die höchsten Kosten bei Einsatz dieser Aktivkohle mit und ohne Vorbehandlung mit PerfluorAd. Im Gegensatz dazu resultieren die niedrigsten Kosten stets bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401. Mit < 0,055 €/m<sup>3</sup> liegen hierbei insgesamt die geringsten spezifischen Kosten in der Aktivkohlefilterstraße mit PerfluorAd-Vorbehandlung und bei wechselweise umschaltbarem Betrieb (mit Vorfilter) vor. Die spezifischen Kosten bei Einsatz der Aktivkohle PFTsorb liegen stets zwischen den beiden o.g. Aktivkohlesorten.



**Abbildung 16:** Spezifische Aktivkohlekosten bis zum Erreichen des Wertes 1 für die Quotientensumme in der Aufbereitungslinie ohne PerfluorAd-Dosierung



**Abbildung 17:** Spezifische Aktivkohlekosten bis zum Erreichen des Wertes 1 für die Quotientensumme in der Aufbereitungslinie mit PerfluorAd-Dosierung

Nach den Angaben im Bericht der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH [1] sind für den Einsatz von PerfluorAd Kosten in Höhe von ca. 0,04 €/m³ behandeltes Wasser anzusetzen. In diesem Wert sind auch die Anlagenkosten für die PerfluorAd-Dosierung enthalten. Somit liegen die spezifischen Kosten bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401 und einem Aktivkohlefilter mit einer Schütthöhe von 2 m mit PerfluorAd-Dosierung bei ca. 0,11 €/m³. Im Vergleich dazu werden ohne die Vorbehandlung mit PerfluorAd und einem Aktivkohlefilter mit einer Schütthöhe von 2 m Kosten in Höhe von 0,13 €/m³ berechnet. Für diesen spezifischen Anwendungsfall ergeben sich also durch Kombination des PerfluorAd-Verfahrens mit der Aktivkohlefiltration kostenmäßige Vorteile gegenüber der reinen Behandlung mit Aktivkohle.

## 7 Vergleich der Ergebnisse mit weiteren Pilotversuchen

Bislang werden zur Reinigung PFC-haltiger Wässer bei Sanierungen in Deutschland in den meisten Fällen Aktivkohlefilter eingesetzt. Bei der Trinkwasseraufbereitung liegen umfangreiche Erfahrungen zur adsorptiven Entfernung von PFC vor. Zudem wurden in verschiedenen Forschungsvorhaben, die in jüngster Zeit durchgeführt wurden, wichtige Erkenntnisse zur Entfernung von PFC mittels Aktivkohle gewonnen.

Die Wirksamkeit von Adsorptionsverfahren zur Entfernung von PFC hängt wesentlich von den im belasteten Wasser vorliegenden Einzelkomponenten, deren Konzentration sowie dem Aufbereitungsziel ab. Weiterhin ist die Konzentration und Adsorbierbarkeit der organischen Hintergrundmatrix von Bedeutung, da die maximal erreichbare Adsorptionskapazität der Aktivkohle für organische Spurenstoffe durch die konkurrierende Adsorption mit den natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffen deutlich verringert werden kann [4]. Weiterhin kann eine Kapazitätsabnahme der Aktivkohle für organische Spurenstoffe auch aufgrund einer irreversiblen Adsorption von Huminstoffen (Aktivkohle-Fouling) resultieren.

Gegenüber den Pilotversuchen am Standort Flughafen Nürnberg (PFC-Gehalt im Grundwasser: mehrere 100 µg/L [5]) ist am Standort Herbertingen (PFC-Gehalt im Grundwasser: 1 – 7 µg/L) die PFC-Belastung geringer. Am Standort Herbertingen liegt jedoch eine höhere organische Hintergrundbelastung (TOC-Konzentration: ca. 20 mg/L) vor.

Am Standort Flughafen Nürnberg wurden Aktivkohlefilterversuche mit der Aktivkohle Aquasorb 5000 (Schütthöhe: bis zu 1 m) durchgeführt und das Durchbruchverhalten der PFC-Einzelkomponenten sowie der Summe an kurz- und langkettigen PFC ermittelt. Eine entsprechende Auswertung der Versuche bis zum Erreichen eines Wertes 1 für die Quotientensumme, wie im vorliegenden Fall am Standort Herbertingen, erfolgte dabei nicht. Ein beginnender PFC-Durchbruch wurde bei einem spezifischen Durchsatz von ca. 5 m<sup>3</sup>/kg festgestellt. Ein Vergleich mit den Versuchsergebnissen am Standort Herbertingen für eine Schütthöhe von 1 m (Tabelle 7) zeigt, dass am Standort Herbertingen mit 1.600 BV bis 3.000 BV (bei Erreichen eines Wertes von 1 für die Quotientensumme) spezifische Durchsätze (ca. 3,5 bis 6,5 m<sup>3</sup>/kg) in einer ähnlichen Größenordnung erreicht wurden.

Aufgrund der geringeren Konzentration der PFC am Standort Herbertingen gegenüber dem Standort Flughafen Nürnberg konnten allerdings zunächst höhere spezifische Durchsätze erwartet werden. Neben den unterschiedlichen Aktivkohlen bei den Pilotierungen wirken sich jedoch auch andere Aspekte auf das Adsorptionsverhalten der PFC aus. Die Untersuchungen am Standort Herbertingen zeigen, dass deutlich höhere spezifische Durchsätze bei höheren Aktivkohleschüttungen (2 m bis 6 m) erreicht wurden. Dies kann damit begründet werden, dass - aufgrund adsorptionskinetischer Vorgänge - für die Ausbildung der Massenübergangszone eine höhere Schütthöhe als 1 m erforderlich ist. Dieser Umstand sollte bei der großtechnischen Umsetzung von Aktivkohlefilteranlagen berücksichtigt werden.

Sowohl am Standort Nürnberg Flughafen als auch am Standort Herbertingen ist aufgrund der vorliegenden PFC-Belastungen der Durchbruch der langkettigen Vertreter der PFC entscheidend für die Laufzeit der Aktivkohlefilter. Somit ist der Einsatz offenporiger Aktivkohlen, zu denen sowohl die Aquasorb 5000 auf Rohstoffbasis Braunkohle als auch die sogenannten „Poolkohlen“, die bei den Versuchen in Herbertingen eingesetzt wurden, zu bevorzugen.

In Pilotversuchen im Raum Rastatt bei einer PFC-Konzentration im Grundwasser um 1 µg/L [6] konnten demgegenüber Aktivkohlefilter bis zu ca. 25.000 BV betrieben werden, bis im Ablauf ein Wert von 1 für die Quotientensumme erreicht wurde. An diesem Standort lag jedoch mit einem TOC um 1 mg/L keine erhöhte organische Hintergrundbelastung vor.

Insgesamt betrachtet ist erwartungsgemäß bei hoher organischer Hintergrundbelastung sowie vergleichsweise hohen PFC-Konzentrationen ein hoher Aktivkohlebedarf für die Entfernung der PFC erforderlich.

## 8 Zusammenfassung und Folgerungen

Am Standort Herbertingen wurde eine Pilotanlage betrieben, wobei sowohl das Verfahren der Aktivkohlefiltration als auch das von der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH entwickelte Verfahren (PerfluorAd-Dosierung mit nachgeschalteter Aktivkohlefiltration) zum Einsatz kamen. Ziel der Untersuchungen war es, die Machbarkeit beider Verfahren zu prüfen, die Betriebsmittelkosten zu ermitteln und zu vergleichen.

In einer Pilotanlage wurden Aufbereitungslinien mit Aktivkohlefiltern mit und ohne Vorbehandlung mit PerfluorAd-Dosierung parallel mit einer Filtergeschwindigkeit von 4,5 m/h betrieben. Die Pilotanlage war modular aufgebaut, sodass die Aufbereitungsleistung für Schütthöhen an Aktivkohle von 1 m und 2 m (in einer Aufbereitungsstraße auch 3 m, 4 m, 5 m und 6 m) ermittelt werden konnte. Weiterhin konnten die Aktivkohlefilter wechselweise umschaltbar betrieben werden. Somit konnten Aussagen über das zu wählende Anlagen-design und den Anlagenbetrieb abgeleitet werden.

Das am Standort Herbertingen geförderte Grundwasser ist mit einem TOC um 20 mg/L stark huminstoffhaltig. Dies stellt eine besondere Herausforderung beim Einsatz von Adsorptionsverfahren dar, da die natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffe mit den zu entfernenden PFC-Verbindungen um die Adsorptionsplätze konkurrieren und somit die Adsorptionskapazität für die Störstoffe verringert wird.

Die Summenkonzentration der PFC im geförderten Grundwasser und somit im Zulauf zur Pilotanlage nahm während des Versuchszeitraums von 7 µg/L auf 1 µg/L ab. Somit lagen keine konstanten Versuchsbedingungen vor. Die Hauptkontaminante der PFC war stets PFOS mit Konzentrationen zwischen 4,2 und 0,9 µg/L.

Durch die Vorbehandlung des Wassers mit PerfluorAd (mit nachgeschalteter Filtration) konnte eine deutliche Verringerung der Konzentrationen insbesondere der längerkettigen Vertreter der perfluorierten Sulfonsäuren erreicht werden. Die Konzentrationen kurzkettiger PFC sowie der perfluorierten Carbonsäuren wurden hingegen nicht signifikant verringert. Somit lag im Zulauf der Aktivkohlefilterstufe der Aufbereitungsstraße mit PerfluorAd-Vorbehandlung eine um ca. 60 % geringere PFC-Summenkonzentration im Vergleich zur Aufbereitungslinie ohne PerfluorAd-Vorbehandlung vor.

Die Bewertung der Aufbereitungsleistung der beiden Verfahren mit unterschiedlichen Aktivkohlen sowie verschiedenen Anlagenparametern erfolgte anhand der spezifischen Beaufschlagung in Bettvolumina (BV) bis zum Erreichen des Wertes 1 für die Quotientensumme im Ablauf der Aktivkohlefilter und den dabei resultierenden Betriebsmittelkosten (Aktivkohle + PerfluorAd).

In den Aktivkohlefiltern kamen drei unterschiedliche Aktivkohlen auf Rohstoffbasis Steinkohle zum Einsatz. Bei zwei der Aktivkohlen (Cyclecarb 401 und PFTsorb) handelt es sich um sogenannte Poolkohlen, d. h. Aktivkohlen aus anderen Anwendungen, die vom Hersteller zurückgenommen und reaktiviert wurden. Bei der Aktivkohle Cyclecarb 401 handelt



es um eine Poolkohle mit dem höchsten Aktivierungsgrad. Diese Aktivkohlen sind vergleichsweise kostengünstig und werden insbesondere für den Einsatz im Altlastenbereich angeboten. Die dritte Aktivkohle (GAC 830) ist eine hochwertige Aktivkohle, die auch zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt wird. Entsprechend sind die Kosten im Vergleich zu den Poolkohlen um ca. einen Faktor 2,5 höher.

In den Aktivkohlefilterstraßen mit und ohne PerfluorAd-Vorbehandlung wurden die höchsten spezifischen Durchsätze bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401 erreicht. Die geringsten spezifischen Durchsätze resultierten bei Einsatz der Aktivkohle PFTsorb.

Bei einer Schütthöhe von 2 m wurde gegenüber der Schütthöhe von 1 m, abhängig von der Aktivkohlesorte, ein um den Faktor 1,3 bis 3,3 höherer spezifischer Durchsatz erreicht. Auch wenn die PFC-Ausgangskonzentration während der Versuchsphase abnahm, erscheint hier – analog zu den aus dem Trinkwasserbereich für PSM-Wirkstoffe vorliegenden Erfahrungen – eine Mindestschütthöhe an Aktivkohle im Bereich von 2 m vorteilhaft hinsichtlich der Ausnutzung der Adsorptionskapazität der Aktivkohle.

Durch die PerfluorAd-Vorbehandlung konnten in den nachgeschalteten Aktivkohlefilterstufen bei einer Schütthöhe von 2 m, abhängig von der Aktivkohlesorte, gegenüber den Aktivkohlefiltern ohne eine solche Vorbehandlung um den Faktor 1,2 bis > 2 höhere spezifische Durchsätze erreicht werden.

Durch den wechselweise umschaltbaren Betrieb der Aktivkohlefilter resultierte eine weitergehende Steigerung des spezifischen Durchsatzes. Die Reihenschaltung mehrerer Filter mit wechselweise umschaltbarem Betrieb erfordert jedoch einen vergleichsweise hohen Aufwand bei der Verrohrung der Filter, sodass abhängig von der Aufbereitungskapazität die Anlagenkosten ermittelt und mit den Anlagenkosten einstufiger Aktivkohlefilteranlagen mit Schütthöhen von mindestens 2 m) verglichen werden sollten.

Bei den Aktivkohlefilterstraßen mit einer Schütthöhe von 2 m wurde insgesamt betrachtet der höchste spezifische Durchsatz (> 10.000 BV) bis zum Erreichen des Wertes 1 für die Quotientensumme bei Einsatz der Aktivkohle Cyclecarb 401 und Vorbehandlung des Wassers mit PerfluorAd festgestellt. Auch unter diesen Bedingungen ist der erreichte spezifische Durchsatz bzw. die Aktivkohlefilterlaufzeit als vergleichsweise gering zu bewerten. Unter Berücksichtigung der Kosten für den Einsatz von PerfluorAd (0,04 €/m<sup>3</sup>) resultieren hierbei Betriebsmittelkosten von 0,11 € pro m<sup>3</sup> aufbereitetes Wasser.

Mit beiden Verfahren (Aktivkohlefiltration mit und ohne PerfluorAd-Vorbehandlung) gelang eine Abreinigung auf den vorgegebenen Wert von 1 für die Quotientensumme. Die Vorbehandlung des Wassers mit PerfluorAd vor der Aktivkohlefilterstufe ist nach den Versuchsergebnissen im vorliegenden Fall mit der Hauptkontaminante PFOS das betriebswirtschaftlichere Verfahren.

Aufgrund der nicht konstanten Versuchsbedingungen hinsichtlich der PFC-Belastung ist bei hohen PFC-Konzentrationen, wie sie zu Beginn des Versuches vorlagen, von höheren

spezifischen Kosten bzw. bei geringeren Konzentrationen über längere Zeit, wie gegen Versuchsende, von geringeren spezifischen Kosten auszugehen.

Bei den Versuchen wurde ebenfalls das Verhalten der über den summarischen Parameter AOF erfassbaren Substanzen ermittelt. Während des Pilotbetriebs wurde lediglich ein partieller Durchbruch nach Schütthöhen von 1 m festgestellt. Der Parameter AOF eignet sich somit im vorliegenden Fall zur Überwachung einer Aktivkohlefilterstufe bzw. zur Festlegung des Zeitpunktes für den Austausch der Aktivkohle nicht.

Aufgrund der fehlenden Erfahrungen bezüglich Schwankungen in der Produktqualität von Poolkohlen und somit deren Sorptionsleistung ist zu empfehlen, die in Großanlagen eingesetzten Aktivkohletypen im Rahmen einer Wareneingangskontrolle über die üblicherweise herangezogenen Laborparameter zur Produktspezifikation zu charakterisieren. Entsprechende Daten wurden für ein Rückstellmuster der für die Pilotversuche eingesetzten Aktivkohlen Cyclecarb 401 und GAC 830 ermittelt (s. Anlage 3).

Bei dem am Standort Herbertingen geförderten Wasser handelt es sich um ein eisenhaltiges Grundwasser. Durch die Voraufbereitung (Belüftung und Sandfiltration) konnte Eisen weitgehend eliminiert werden, sodass eine Spülung der Aktivkohlefilter während des Pilotbetriebs nicht erforderlich war. Entsprechende Einrichtungen sind bei der Realisierung der Großanlage ebenfalls vorzusehen.

## 9 Literatur

- [1] Cornelsen, M.: Abschlussbericht über Phasen 1 und 2 im Modellvorhaben PFC-Sanierung in Herbertingen, Landkreis Sigmaringen der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH: Eignungsprüfung von Sanierungsverfahren mit PFC-verunreinigtem Grundwasser-Modellstandort Herbertingen“. 30.05.2017
- [2] Schmidt K. et al: Modellvorhaben Herbertingen – Laborversuche zur Auswahl geeigneter Sorptionsmaterialien zur PFC-Entfernung mit wissenschaftlicher Bewertung. Bericht vom 16.09.2015.
- [3] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Vorläufige GFS-Werte für PFC für das Grund- und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten. 17.06.2015
- [4] Haist-Gulde, B.: Adsorption an Aktivkohle. Wasseraufbereitung – Grundlagen und Verfahren. DVGW Lehr- und Handbuch Wasserversorgung Band 6. 2017. S. 207 – 240
- [5] Entwicklung von Aufbereitungsverfahren für PFC-haltige Grundwässer am Beispiel des Flughafens Nürnberg. Kurztitel: Löschschaum – Abschlussbericht. Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU.
- [6] Haist-Gulde, B.: bislang unveröffentlichte Ergebnisse- TZW Karlsruhe

Karlsruhe, den 22.08.2017



i.V. Dr. Frank Sacher



i.A. Dr. Ing. Brigitte Haist-Gulde

## **Anlagen**

**Anlagen 1: Messwerte an den einzelnen Probenahmestellen**

**Anlagen 2: Durchbruchskurven**

**Anlage 3: Charakteristische Parameterwerte der Aktivkohlen Cyclecarb 401 und GAC 830**

## Anlagen 1: Messwerte an den einzelnen Probenahmestellen

Brunnen	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	01.08.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	25.08.16	01.09.16
PFBA µg/L	0,087	0,097	0,098	0,079	0,077	0,074	0,056	0,063	< 0,01	0,040
PFPA µg/L	0,340	0,340	0,300	0,290	0,260	0,250	0,230	0,170	0,170	0,160
PFHxA µg/L	0,370	0,330	0,350	0,280	0,260	0,240	0,190	0,170	0,160	0,140
PFHpA µg/L	0,084	0,120	0,097	0,080	0,069	0,065	0,058	0,041	< 0,010	0,032
PFOA µg/L	0,160	0,160	0,180	0,120	0,130	0,100	0,079	0,030	< 0,010	0,061
PFBS µg/L	0,085	0,091	0,083	0,072	0,073	0,063	0,053	0,051	< 0,010	0,033
PFPeS µg/L	0,072	0,058	0,057	0,048	0,047	0,041	0,037	0,029	< 0,010	0,021
PFHxS µg/L	0,840	0,790	0,750	0,630	0,630	0,530	0,440	0,350	0,330	0,260
PFHpS µg/L	0,058	0,055	0,055	0,054	0,047	0,046	0,050	0,042	< 0,010	0,019
PFOS µg/L	4,3	4,2	4,4	4,3	4,4	3,8	4,0	3,9	3,7	3,2
H4PFOS µg/L	0,750	0,720	0,740	0,690	0,660	0,600	0,520	0,500	0,430	0,370
Summe PFC µg/L	7,15	6,96	7,11	6,64	6,65	5,81	5,71	5,35	4,79	4,34
Fe mg/L		2,66		2,52		8,77	2,15			4,19
Fe gelöst mg/L						1,98				
AOF µg/L		7,7								7
DOC/TOC mg/L		18				18		18		19

Brunnen	08.09.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16
PFBA µg/L	0,037	0,025	0,030	0,021	0,022	0,018	0,013	0,011	0,013	0,019
PFPA µg/L	0,130	0,089	0,097	0,083	0,091	0,060	0,052	0,052	0,059	0,067
PFHxA µg/L	0,013	0,087	0,092	0,071	0,064	0,066	0,051	0,050	0,053	0,065
PFHpA µg/L	0,028	0,024	0,026	0,025	0,017	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFOA µg/L	0,053	0,040	0,043	0,032	0,025	0,031	0,033	0,070	0,014	0,017
PFBS µg/L	0,027	0,017	0,023	0,018	0,017	0,012	< 0,010	< 0,010	0,017	0,012
PFPeS µg/L	0,021	0,013	0,020	0,013	0,014	< BG	0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFHxS µg/L	0,250	0,160	0,160	0,120	0,087	0,093	0,081	0,063	0,065	0,071
PFHpS µg/L	0,025	0,025	0,022	0,013	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFOS µg/L	4,0	2,8	3,9	2,7	2,0	1,8	1,7	1,3	1,4	1,2
H4PFOS µg/L	0,300	0,250	0,190	0,150	0,130	0,120	0,110	0,081	0,092	0,082
Summe PFC µg/L	4,88	3,53	4,60	3,25	2,47	2,20	2,05	1,63	1,71	1,53
Fe mg/L	1,98	2,07	2,56	2,31	38,6			2,65		
Fe gelöst mg/L										
AOF µg/L				4,4			3,4		2,4	
DOC/TOC mg/L		19			20			21	26	

Brunnen	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16	22.12.16
PFBA µg/L	0,021	0,029	0,030	0,022	0,020	0,017
PFPA µg/L	0,066	0,085	0,085	0,080	0,076	0,057
PFHxA µg/L	0,056	0,076	0,080	0,071	0,064	0,052
PFHpA µg/L	< 0,010	0,014	0,018	0,018	0,013	0,011
PFOA µg/L	0,012	0,016	0,021	0,011	0,029	0,011
PFBS µg/L	0,013	0,019	0,018	0,014	0,014	< 0,01
PFPeS µg/L	< 0,010	0,012	0,011	0,011	< 0,010	< 0,01
PFHxS µg/L	0,065	0,066	0,067	0,061	0,052	0,043
PFHpS µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFOS µg/L	1,1	1,1	1,3	1,1	1,1	0,9
H4PFOS µg/L	0,098	0,100	0,120	0,120	0,090	0,089
Summe PFC µg/L	1,43	1,52	1,75	1,51	1,46	1,18
Fe mg/L	3,08			1,99	2,66	
Fe gelöst mg/L						
AOF µg/L		5			2,4	
DOC/TOC mg/L	22	22		20	20	

nach Belüftung	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	04.08.16
PFBA µg/L	0,087	0,097	0,095	0,08	0,078
PFPA µg/L	0,33	0,34	0,28	0,28	0,25
PFHxA µg/L	0,36	0,34	0,34	0,31	0,24
PFHpA µg/L	0,087	0,11	0,097	0,079	0,066
PFOA µg/L	0,18	0,18	0,17	0,12	0,10
PFBS µg/L	0,084	0,093	0,088	0,074	0,061
PFPeS µg/L	0,072	0,056	0,057	0,046	0,043
PFHxS µg/L	0,85	0,78	0,72	0,6	0,52
PFHpS µg/L	0,062	0,059	0,060	0,042	0,048
PFOS µg/L	4,1	3,4	4,0	2,4	3,9
H4PFOS µg/L	0,75	0,72	0,78	0,69	0,61
Summe PFC µg/L	6,96	6,18	6,69	4,72	5,92
Fe mg/L		1,87		2,11	1,71
Fe gelöst mg/L					0,67
AOF µg/L		7,5			
DOC/TOC mg/L		18			18

nach Sandfilter	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	01.08.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	25.08.16	01.09.16
PFBA µg/L	0,093	0,098	0,096	0,090	0,082	0,073	0,056	0,053	< 0,010	0,040
PFPA µg/L	0,350	0,330	0,300	0,330	0,270	0,270	0,180	0,180	0,180	0,150
PFHxA µg/L	0,350	0,330	0,350	0,340	0,260	0,240	0,180	0,180	0,180	0,140
PFHpA µg/L	0,084	0,110	0,099	0,092	0,070	0,069	0,063	0,040	< 0,010	0,035
PFOA µg/L	0,160	0,160	0,190	0,140	0,130	0,140	0,100	0,028	< 0,010	0,065
PFBS µg/L	0,087	0,091	0,087	0,084	0,070	0,066	0,049	0,051	< 0,010	0,037
PFPeS µg/L	0,073	0,053	0,060	0,053	0,049	0,050	0,030	0,030	< 0,010	0,025
PFHxS µg/L	0,850	0,760	0,730	0,670	0,630	0,540	0,390	0,370	0,300	0,280
PFHpS µg/L	0,053	0,054	0,056	0,040	0,044	0,037	0,043	0,039	< 0,010	0,019
PFOS µg/L	2,8	3,5	4,2	2,6	3,6	3,9	3,4	3,9	3,5	3,5
H4PFOS µg/L	0,650	0,690	0,760	0,740	0,630	0,610	0,460	0,500	0,400	0,380
Summe PFC µg/L	5,55	6,18	6,93	5,18	5,84	6,00	4,95	5,37	4,56	4,67
Fe mg/L		0,14		0,26		0,16	0,14			0,05
Fe gelöst mg/L						0,02				
AOF µg/L		6,8				6,5				6,1
DOC/TOC mg/L		18				19		18		19

nach Sandfilter	08.09.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16
PFBA µg/L	0,041	0,027	0,031	0,024	0,022	0,020	0,014	0,014	0,015	0,017
PFPA µg/L	0,150	0,096	0,110	0,087	0,090	0,054	0,055	0,058	0,058	0,059
PFHxA µg/L	0,140	0,094	0,097	0,077	0,071	0,072	0,052	0,056	0,061	0,065
PFHpA µg/L	0,029	0,024	0,027	0,079	0,016	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFOA µg/L	0,054	0,042	0,043	0,030	0,026	0,037	0,032	0,056	0,024	0,020
PFBS µg/L	0,027	0,016	0,023	0,019	0,019	0,014	< 0,010	< 0,010	0,013	0,012
PFPeS µg/L	0,022	0,016	0,020	0,017	0,015	0,012	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFHxS µg/L	0,026	0,170	0,150	0,120	0,092	0,097	0,082	0,068	0,073	0,068
PFHpS µg/L	0,026	< 0,010	0,022	< 0,010	0,011	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFOS µg/L	4,0	3,200	2,800	2,400	2,100	1,700	1,900	1,400	1,300	1,300
H4PFOS µg/L	0,310	0,250	0,190	0,140	0,170	0,120	0,100	0,098	0,130	0,087
Summe PFC µg/L	4,83	3,94	3,51	2,99	2,63	2,13	2,24	1,75	1,67	1,63
Fe mg/L	0,08	0,06	0,05	0,07	0,22			0,11		
Fe gelöst mg/L										
AOF µg/L				4			3,4		2,4	
DOC/TOC mg/L		19			20			21	21	

nach Sandfilter	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16	22.12.16
PFBA µg/L	0,025	0,031	0,032	0,023	0,022	0,020
PFPA µg/L	0,070	0,090	0,099	0,085	0,084	0,060
PFHxA µg/L	0,064	0,082	0,088	0,069	0,077	0,059
PFHpA µg/L	< 0,010	0,016	0,019	0,015	0,014	0,012
PFOA µg/L	0,011	0,016	0,020	0,016	0,026	0,016
PFBS µg/L	0,014	0,020	0,018	0,013	0,013	0,011
PFPeS µg/L	0,012	0,013	0,011	0,011	< 0,01	< 0,010
PFHxS µg/L	0,073	0,072	0,068	0,064	0,058	0,053
PFHpS µg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
PFOS µg/L	1,200	1,200	1,200	0,960	1,300	0,900
H4PFOS µg/L	0,099	0,110	0,110	0,100	0,096	0,090
Summe PFC µg/L	1,57	1,65	1,67	1,36	1,69	1,22
Fe mg/L	0,09			0,08	0,14	
Fe gelöst mg/L						
AOF µg/L		3,5			2,5	
DOC/TOC mg/L	23	21		20	19	

SA1/1	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	25.08.16	01.09.16	05.10.16
Zählerstand m³	4,067	13,662	22,421	27,883	41,127	56,153		83,337	98,582	169,700
PFBA µg/L	< 0,001	0,003	0,022	0,032	0,055	0,051		0,05	0,047	0,027
PFPA µg/L	< 0,001	0,003	0,018	0,03	0,093	0,110		0,130	0,130	0,094
PFHxA µg/L	< 0,001	< 0,001	0,005	0,009	0,037	0,065		0,09	0,09	0,07
PFHpA µg/L	< 0,001	0,001	0,002	0,002	0,006	0,011		0,016	0,017	0,015
PFOA µg/L	< 0,001	< 0,001	0,008	0,002	0,007	0,014		0,025	0,025	0,019
PFBS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,006	0,01		0,019	0,019	0,014
PFPeS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,004		0,009	0,008	0,01
PFHxS µg/L	0,002	< 0,001	0,001	0,004	0,019	0,037		0,082	0,087	0,055
PFHpS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002		0,006	0,008	0,008
PFOS µg/L	0,01	0,003	0,005	0,009	0,095	0,18		0,78	0,85	1
H4PFOS µg/L	0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	0,016	0,033		0,097	0,11	0,07
Summe PFC µg/L	0,01	0,01	0,06	0,09	0,34	0,52		1,30	1,39	1,38
AOF µg/L		< BG			< BG				2,1	
DOC/TOC mg/L		6			15		16			

SA1/2	21.07.16	25.07.16	28.07.16	18.08.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	15.12.16
Zählerstand m³	13,662	22,421	27,883	70,068	128,695	142,174	156,600	169,700	
PFBA µg/L	< 0,001	0,004	0,006	0,033	0,037	0,039	0,035	0,031	0,025
PFPA µg/L	< 0,001	0,003	0,005	0,032	0,064	0,069	0,076	0,078	0,079
PFHxA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,016	0,029	0,034	0,037	0,04	0,064
PFHpA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,004	0,005	0,006	0,007	0,013
PFOA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,004	0,006	0,005	0,007	0,017
PFBS µg/L	< 0,001	< 0,001	0,006	0,003	0,004	0,005	0,007	0,007	0,011
PFPeS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,006
PFHxS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,009	0,01	0,012	0,013	0,011	0,032
PFHpS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001	0,002	0,003
PFOS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,059	0,085	0,17	0,14	0,17	0,36
H4PFOS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,017	0,011	0,011	0,018	0,014	0,047
Summe PFC µg/L	0,00	0,01	0,02	0,17	0,25	0,36	0,34	0,37	0,66
AOF µg/L	< BG						< BG		< BG
DOC/TOC mg/L	1,2			13	17			23	19

SA1/3	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16
Zählerstand m³	1,4	13,2	28,3	43,6	58,7	72,5	87,6	96,0	108,9	123,8
PFBA µg/L	<0,001	0,010	0,011	0,015	0,022	0,025	0,028	0,030	0,028	0,027
PFPA µg/L	<0,001	0,002	0,013	0,025	0,036	0,044	0,059	0,062	0,074	0,07
PFHxA µg/L	<0,001	0,001	0,005	0,01	0,017	0,021	0,032	0,037	0,043	0,045
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,004	0,005	0,011	0,006
PFOA µg/L	<0,001	0,003	0,004	<0,001	0,002	0,002	0,004	0,004	0,005	0,007
PFBS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,004	0,004	0,007	0,006
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,004	0,007	0,007	0,01	0,01
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFOS µg/L	<0,001	0,004	0,006	0,015	0,022	0,028	0,042	0,043	0,072	0,074
H4PFOS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,006	0,007	0,015	0,013
Summe PFC µg/L	0,00	0,02	0,04	0,07	0,11	0,13	0,19	0,20	0,27	0,26
AOF µg/L		< BG		< BG			< BG			< BG
DOC/TOC mg/L			15	18		20	19		19	18

SA1/3	22.12.16
Zählerstand m³	139,0
PFBA µg/L	0,024
PFPA µg/L	0,065
PFHxA µg/L	0,045
PFHpA µg/L	0,007
PFOA µg/L	0,007
PFBS µg/L	0,007
PFPeS µg/L	0,003
PFHxS µg/L	0,013
PFHpS µg/L	<0,001
PFOS µg/L	0,093
H4PFOS µg/L	0,018
Summe PFC µg/L	0,28
AOF µg/L	
DOC/TOC mg/L	

SA1/4	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	25.08.16	01.09.16	05.10.16
Zählerstand m³	4,050	16,605	22,323	27,760	39,035	53,304		76,591	91,73	162,2
PFBA µg/L	<0,001	0,006	0,030	0,038	0,054	0,054		0,052	0,049	0,03
PFPA µg/L	<0,001	<0,001	0,031	0,049	0,095	0,089		0,14	0,14	0,1
PFHxA µg/L	<0,001	0,002	0,014	0,016	0,040	0,044		0,090	0,095	0,075
PFHpA µg/L	<0,001	0,002	0,003	0,003	0,006	0,006		0,017	0,017	0,014
PFOA µg/L	<0,001	<0,001	0,003	0,004	0,008	0,006		0,025	0,027	0,018
PFBS µg/L	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,006	0,006		0,018	0,02	0,013
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002		0,009	0,009	0,009
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,016	0,011		0,086	0,085	0,048
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		0,007	< BG	0,007
PFOS µg/L	<0,001	0,004	0,022	0,011	0,078	0,054		0,81	0,85	0,81
H4PFOS µg/L	0,004	<0,001	0,004	0,004	0,014	0,009		0,11	0,11	0,065
Summe PFC µg/L	0,00	0,01	0,11	0,13	0,32	0,28		1,36	1,40	1,19
AOF µg/L		< BG			< BG				2	
DOC/TOC mg/L		8,8			14		16			



SA1/5	21.07.16	25.07.16	28.07.16	18.08.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	15.12.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	16,605	22,323	27,760	63,361	121,772	135,142	149,545	162,2	
PFBA µg/L	<0,001	0,002	0,004	0,038	0,039	0,040	0,037	0,033	0,026
PFPA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,039	0,082	0,092	0,092	0,091	0,084
PFHxA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,01	0,044	0,052	0,055	0,058	0,072
PFHpA µg/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,007	0,007	0,009	0,014
PFOA µg/L	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,006	0,008	0,007	0,009	0,015
PFBS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,006	0,007	0,007	0,008	0,013
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,008
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,013	0,016	0,015	0,017	0,041
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,002	0,005
PFOS µg/L	<0,001	0,001	<0,001	0,007	0,11	0,19	0,17	0,24	0,67
H4PFOS µg/L	<0,001	<0,001	0,009	0,011	0,014	0,016	0,015	0,026	0,073
Summe PFC µg/L	0,00	0,01	0,01	0,11	0,32	0,43	0,41	0,50	1,02
AOF µg/L	< BG						< BG		1,3
DOC/TOC mg/L	2,4			13	17			21	19

SA1/6	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	1,4	13,11	28,23	43,47	58,529	72,295	87,383	96,658	109,571	124,417
PFBA µg/L	<0,001	0,007	0,015	0,017	0,021	0,024	0,029	0,029	0,028	0,027
PFPA µg/L	<0,001	0,009	0,032	0,037	0,048	0,05	0,066	0,064	0,081	0,071
PFHxA µg/L	<0,001	0,004	0,015	0,022	0,031	0,035	0,048	0,047	0,054	0,055
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,004	0,007	0,008	0,01	0,01
PFOA µg/L	<0,001	0,003	0,006	0,004	0,004	0,004	0,007	0,007	0,008	0,009
PFBS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,004	0,006	0,006	0,007	0,007
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001	0,002	0,005	0,008	0,009	0,014	0,016	0,02	0,018
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,002	0,002
PFOS µg/L	0,005	0,004	0,035	0,074	0,087	0,095	0,15	0,22	0,2	0,2
H4PFOS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,011	0,012	0,02	0,025	0,032	0,03
Summe PFC µg/L	0,01	0,03	0,11	0,17	0,22	0,24	0,35	0,43	0,45	0,43
AOF µg/L		< BG		< BG			< BG			< BG
DOC/TOC mg/L			16	18		19	20		19	18

SA1/6	22.12.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	139,564
PFBA µg/L	0,024
PFPA µg/L	0,066
PFHxA µg/L	0,053
PFHpA µg/L	0,009
PFOA µg/L	0,011
PFBS µg/L	0,008
PFPeS µg/L	0,005
PFHxS µg/L	0,024
PFHpS µg/L	0,002
PFOS µg/L	0,26
H4PFOS µg/L	0,038
Summe PFC µg/L	0,50
AOF µg/L	
DOC/TOC mg/L	

SA2/1	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	01.08.16	04.08.16	18.08.16	05.10.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	4,078	13,676	22,440	27,905	34,508	41,164		169,380
PFBA µg/L	0,003	0,007	0,025	0,029	0,038	0,046		0,029
PFPA µg/L	0,009	0,012	0,041	0,05	0,076	0,095		0,09
PFHxA µg/L	0,009	0,01	0,032	0,031	0,054	0,056		0,071
PFHpA µg/L	0,002	0,003	0,007	0,006	0,011	0,012		0,015
PFOA µg/L	0,002	<0,001	0,012	0,008	0,016	0,015		0,019
PFBS µg/L	0,001	0,002	0,004	0,004	0,007	0,008		0,013
PFPeS µg/L	0,001	0,001	0,003	0,002	0,004	0,005		0,01
PFHxS µg/L	0,018	0,013	0,030	0,027	0,046	0,044		0,055
PFHpS µg/L	0,001	<0,001	0,002	0,002	0,003	0,003		0,008
PFOS µg/L	0,072	0,085	0,17	0,089	0,22	0,27		1,2
H4PFOS µg/L	0,017	0,015	0,035	0,033	0,06	0,053		0,078
Summe PFC µg/L	0,14	0,15	0,36	0,28	0,54	0,61		1,59
AOF µg/L		< BG				< BG		
DOC/TOC mg/L		13				16	17	

SA2/2	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	04.08.16	18.08.16	01.09.16	15.09.16	29.09.16	05.10.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	4,078	13,676	22,440	27,905	41,164	72,169	101,636	131,781	156,327	169,380
PFBA µg/L	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,011	0,03	0,037	0,036	0,035	0,030
PFPA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,013	0,034	0,063	0,063	0,07	0,076
PFHxA µg/L	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,005	0,019	0,032	0,034	0,043	0,046
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,004	0,006	0,007	0,008
PFOA µg/L	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	0,003	<0,001	0,006	0,007	0,007	0,01
PFBS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,003	0,005	0,006
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,003	0,004
PFHxS µg/L	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,007	0,01	0,011	0,015	0,018
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,003
PFOS µg/L	0,009	0,004	0,007	0,004	0,015	0,063	0,095	0,14	0,24	0,37
H4PFOS µg/L	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,003	0,016	0,029	0,02	0,02	0,032
Summe PFC µg/L	0,00	0,00	0,02	0,01	0,05	0,17	0,28	0,32	0,45	0,60
AOF µg/L		< BG							< BG	
DOC/TOC mg/L		8,6			14	16		18		22

SA2/2	15.12.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	
PFBA µg/L	0,023
PFPA µg/L	0,072
PFHxA µg/L	0,057
PFHpA µg/L	0,011
PFOA µg/L	0,014
PFBS µg/L	0,01
PFPeS µg/L	0,007
PFHxS µg/L	0,037
PFHpS µg/L	0,004
PFOS µg/L	0,71
H4PFOS µg/L	0,065
Summe PFC µg/L	1,01
AOF µg/L	1,9
DOC/TOC mg/L	19

SA2/3	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16
Zählerstand m³	1,38	13,18	28,38	43,68	58,79	72,61	87,75	97,06	110,02	124,92
PFBA µg/L	<0,001	0,003	0,008	0,012	0,017	0,018	0,022	0,023	0,023	0,022
PFPA µg/L	<0,001	0,004	0,013	0,021	0,028	0,03	0,043	0,043	0,054	0,049
PFHxA µg/L	<0,001	0,003	0,007	0,012	0,018	0,018	0,026	0,031	0,033	0,034
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,004	0,006	0,008	0,005
PFOA µg/L	<0,001	0,002	0,005	0,004	0,002	0,002	0,005	0,006	0,005	0,007
PFBS µg/L	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001	0,001	0,004	0,005	0,005	0,009	0,011	0,013	0,013
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001
PFOS µg/L	0,002	0,013	0,027	0,066	0,069	0,082	0,13	0,19	0,17	0,17
H4PFOS µg/L	<0,001	0,015	0,003	0,006	0,008	0,01	0,016	0,021	0,023	0,028
Summe PFC µg/L	0,00	0,04	0,06	0,13	0,15	0,17	0,26	0,34	0,34	0,34
AOF µg/L		< BG		< BG			<BG			< BG
DOC/TOC mg/L			17	18		20	19		19	19

SA2/3	22.12.16
Zählerstand m³	140,12
PFBA µg/L	0,021
PFPA µg/L	0,047
PFHxA µg/L	0,034
PFHpA µg/L	0,006
PFOA µg/L	0,007
PFBS µg/L	0,004
PFPeS µg/L	0,003
PFHxS µg/L	0,014
PFHpS µg/L	<0,001
PFOS µg/L	0,18
H4PFOS µg/L	0,024
Summe PFC µg/L	0,34
AOF µg/L	
DOC/TOC mg/L	

Vortex	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	01.08.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	25.08.16	01.09.16
PFBA µg/L	0,11	0,1	0,097	0,087	0,08	0,071	0,056	0,055	0,046	0,04
PFPA µg/L	0,35	0,35	0,32	0,31	0,29	0,260	0,19	0,18	0,17	0,15
PFHxA µg/L	0,34	0,32	0,33	0,34	0,25	0,25	0,2	0,19	0,17	0,14
PFHpA µg/L	0,067	0,063	0,069	0,12	0,053	0,056	0,052	0,048	0,043	0,035
PFOA µg/L	0,061	0,12	0,076	0,17	0,067	0,055	0,068	0,064	0,07	0,062
PFBS µg/L	0,068	0,059	0,069	0,13	0,049	0,055	0,052	0,048	0,043	0,038
PFPeS µg/L	0,026	0,049	0,023	0,061	0,026	0,019	0,022	0,027	0,026	0,019
PFHxS µg/L	0,21	0,32	0,16	0,38	0,2	0,18	0,18	0,23	0,31	0,14
PFHpS µg/L	0,006	0,007	0,004	0,01	0,005	0,005	0,008	0,013	0,016	0,013
PFOS µg/L	0,078	0,11	0,080	0,140	0,074	0,075	0,19	0,35	0,55	0,85
H4PFOS µg/L	0,39	0,5	0,49	1	0,37	0,43	0,43	0,43	0,041	0,39
Summe PFC µg/L	1,71	2,00	1,72	2,75	1,46	1,46	1,45	1,64	1,49	1,88
Fe mg/L		0,03		0,73		0,03	0,06			1,41
Fe gelöst mg/L						0,01				
AOF µg/L		5,1				4,6				5,5
DOC/TOC mg/L		18				20		21		21

Vortex	08.09.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16
PFBA µg/L	0,039	0,032	0,032	0,025	0,024	0,021	0,018	0,016	0,017	0,018
PFPA µg/L	0,13	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06
PFHxA µg/L	0,14	0,1	0,11	0,091	0,08	0,068	0,059	0,055	0,057	0,052
PFHpA µg/L	0,03	0,029	0,029	0,029	0,022	0,018	0,013	0,012	0,011	0,015
PFOA µg/L	0,052	0,047	0,049	0,04	0,032	0,051	0,043	0,031	0,027	0,027
PFBS µg/L	0,031	0,026	0,028	0,025	0,019	0,021	0,014	0,013	0,014	0,013
PFPeS µg/L	0,017	0,012	0,018	0,018	0,013	0,021	0,022	0,011	0,013	0,022
PFHxS µg/L	0,14	0,12	0,12	0,1	0,056	0,098	0,15	0,086	0,11	0,14
PFHpS µg/L	0,008	0,029	0,009	0,008	0,006	0,007	0,013	0,009	0,015	0,016
PFOS µg/L	0,59	0,54	0,48	0,44	0,34	0,32	0,39	0,57	0,81	0,72
H4PFOS µg/L	0,28	0,27	0,016	0,22	0,18	0,21	0,14	0,11	0,12	0,12
Summe PFC µg/L	1,46	1,32	0,99	1,10	0,86	0,90	0,92	0,98	1,26	1,20
Fe mg/L	0,07	0,89	0,21	0,19	0,11			0,11		
Fe gelöst mg/L										
AOF µg/L				2			3,2		2,4	
DOC/TOC mg/L		22			26			21	21	

Vortex	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16	22.12.16
PFBA µg/L	0,02	0,029	0,029	0,023	0,024	0,019
PFPA µg/L	0,06	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07
PFHxA µg/L	0,057	0,076	0,086	0,07	0,083	0,058
PFHpA µg/L	0,014	0,017	0,02	0,017	0,02	0,015
PFOA µg/L	0,027	0,023	0,037	0,024	0,067	0,046
PFBS µg/L	0,014	0,018	0,019	0,016	0,023	0,013
PFPeS µg/L	0,019	0,015	0,017	0,018	0,037	0,017
PFHxS µg/L	0,15	0,12	0,13	0,16	0,3	0,16
PFHpS µg/L	0,02	0,014	0,012	0,015	0,021	0,018
PFOS µg/L	0,84	0,93	0,90	0,71	1,30	1,60
H4PFOS µg/L	0,13	0,13	0,14	0,12	0,19	0,14
Summe PFC µg/L	1,35	1,47	1,48	1,26	2,14	2,15
Fe mg/L	0,07			0,18	0,49	
Fe gelöst mg/L						
AOF µg/L		3,2			3,4	
DOC/TOC mg/L	22	22		20	22	

SA3/1	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	05.10.16
Zählerstand m³	4,062	13,646	20,874	22,788	35,991	51,021	65,466	156,700
PFBA µg/L	0,008	0,015	0,027	0,034	0,059	0,056	0,057	0,026
PFPA µg/L	0,027	0,038	0,028	0,06	0,11	0,12	0,13	0,086
PFHxA µg/L	0,023	0,032	0,019	0,054	0,063	0,074	0,077	0,062
PFHpA µg/L	0,004	0,008	0,004	0,016	0,013	0,015	0,015	0,014
PFOA µg/L	0,005	0,009	0,003	0,023	0,012	0,018	0,016	0,017
PFBS µg/L	0,004	0,006	0,004	0,017	0,013	0,014	0,017	0,013
PFPeS µg/L	0,002	0,004	0,001	0,008	0,005	0,005	0,007	0,008
PFHxS µg/L	0,013	0,025	0,008	0,045	0,035	0,04	0,055	0,026
PFHpS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,003	0,003
PFOS µg/L	0,007	0,01	0,004	0,02	0,016	0,061	0,076	0,12
H4PFOS µg/L	0,021	0,043	0,021	0,12	0,086	0,099	0,11	0,072
Summe PFC µg/L	0,11	0,19	0,12	0,40	0,41	0,50	0,56	0,45
Fe mg/L					0,01			
Fe gelöst mg/L					< BG			
AOF µg/L		< BG			< BG			
DOC/TOC mg/L		6,7			15		17	

SA3/2	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	18.08.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	13.10.16
Zählerstand m³	4,062	13,646	20,874	22,788	65,466	117,543	130,698	144,600	156,700	164,156
PFBA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,055	0,048	0,025	0,025	0,023	0,026
PFPA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,041	0,097	0,048	0,043	0,057	0,06
PFHxA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,006	0,034	0,023	0,014	0,028	0,039
PFHpA µg/L	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	0,004	0,002	0,005	0,004
PFOA µg/L	< 0,001	< 0,001	0,002	0,002	< 0,001	0,003	0,003	< 0,001	0,005	0,016
PFBS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	0,005	0,003	0,002	0,006	0,007
PFPeS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001	0,002	0,005
PFHxS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,004	0,004	0,001	0,004	0,02
PFHpS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PFOS µg/L	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001	0,002	0,013	0,009	0,02	0,018	0,05
H4PFOS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	< BG	0,004	0,007	0,009	0,042
Summe PFC µg/L	< 0,001	0,001	0,001	0,00	0,11	0,21	0,12	0,11	0,16	0,27
AOF µg/L		< BG						< BG		
DOC/TOC mg/L		1,1			13	18			23	

SA3/2	27.10.16	15.12.16
Zählerstand m³	191,2	
PFBA µg/L	0,017	0,025
PFPA µg/L	0,053	0,071
PFHxA µg/L	0,036	0,052
PFHpA µg/L	0,003	0,011
PFOA µg/L	0,017	0,026
PFBS µg/L	0,006	0,011
PFPeS µg/L	0,004	0,014
PFHxS µg/L	0,029	0,088
PFHpS µg/L	0,002	0,004
PFOS µg/L	0,16	0,15
H4PFOS µg/L	0,031	0,041
Summe PFC µg/L	0,36	0,49
AOF µg/L		<BG
DOC/TOC mg/L	20	20

SA3/3	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16	22.12.16
Zählerstand m³	1,40	13,55	28,45	43,45	71,67	83,03	91,77	102,02	105,08	107,39
PFBA µg/L	<0,001	0,002	0,009	0,013	0,018	0,021	0,022	0,022	0,02	0,02
PFPA µg/L	<0,001	<0,001	0,008	0,019	0,03	0,041	0,037	0,051	0,031	0,026
PFHxA µg/L	0,004	0,001	0,003	0,007	0,014	0,018	0,022	0,024	0,016	0,02
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,003	0,003	0,006	0,001	0,003
PFOA µg/L	<0,001	<0,001	0,004	0,002	0,002	0,003	0,006	0,004	0,003	0,006
PFBS µg/L	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002
PFHxS µg/L	0,002	<0,001	<0,001	0,003	0,008	0,007	0,008	0,013	0,006	0,012
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFOS µg/L	0,002	<0,001	0,011	0,036	0,053	0,053	0,028	0,035	0,012	0,036
H4PFOS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,005	0,004	0,004	0,007	< 0,001	0,006
Summe PFC µg/L	0,01	0,00	0,04	0,08	0,13	0,15	0,13	0,17	0,09	0,13
AOF µg/L		< BG		< BG		< BG			< BG	
DOC/TOC mg/L			15	19	20	20		19	17	

SA3/4	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	25.08.16	01.09.16	05.10.16
Zählerstand m³	4,084	13,719	20,986	22,909	36,193	51,271	66,388	79,481	94,785	164,360
PFBA µg/L	0,003	0,029	0,051	0,049	0,067	0,059		0,047	0,053	0,02
PFPA µg/L	<0,001	0,039	0,098	0,089	0,18	0,15		0,15	0,16	0,068
PFHxA µg/L	<0,001	0,016	0,054	0,046	0,12	0,13		0,11	0,12	0,052
PFHpA µg/L	<0,001	0,003	0,007	0,008	0,017	0,028		0,023	0,022	0,011
PFOA µg/L	<0,001	< 0,001	0,005	0,007	0,013	0,034		0,031	0,03	0,011
PFBS µg/L	<0,001	0,002	0,007	0,012	0,02	0,028		0,024	0,029	0,01
PFPeS µg/L	<0,001	< 0,001	0,001	0,002	0,005	0,009		0,011	0,01	0,005
PFHxS µg/L	<0,001	0,002	0,006	0,009	0,034	0,072		0,11	0,067	0,016
PFHpS µg/L	<0,001	< 0,001	< 0,001	<0,001	<0,001	0,002		0,005	0,005	0,001
PFOS µg/L	<0,001	0,002	0,003	0,004	0,013	0,085		0,170	0,310	0,096
H4PFOS µg/L	<0,001	0,006	0,015	0,024	0,074	0,18		0,15	0,14	0,043
Summe PFC µg/L	0,00	0,10	0,25	0,25	0,54	0,78		0,83	0,95	0,33
AOF µg/L		< BG			< BG				1,5	
DOC/TOC mg/L		11			16		17			

SA3/5	21.07.16	25.07.16	28.07.16	18.08.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	15.12.16
Zählerstand m³	13,719	20,986	22,909	66,388	124,458	137,706	151,800	164,400	
PFBA µg/L	< 0,001	0,007	0,006	0,06	0,053	0,046	0,046	0,036	0,022
PFPA µg/L	< 0,001	< 0,001	0,003	0,095	0,14	0,12	0,16	0,12	0,066
PFHxA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,035	0,078	0,081	0,081	0,058	0,062
PFHpA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,004	0,01	0,013	0,015	0,005	0,015
PFOA µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,009	0,015	0,007	0,003	0,042
PFBS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,008	0,018	0,017	0,019	0,012	0,015
PFPeS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,004	0,007	0,006	0,004	0,023
PFHxS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,005	0,021	0,032	0,015	0,006	0,17
PFHpS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01	0,002	< 0,001	< 0,001	0,011
PFOS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,011	0,076	0,1	0,053	0,021	0,37
H4PFOS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,008	0,036	0,051	0,021	0,009	0,11
Summe PFC µg/L	0,00	0,01	0,01	0,23	0,46	0,48	0,42	0,27	0,91
AOF µg/L	< BG						< BG		1,6
DOC/TOC mg/L	4,1			15	18			19	21

SA3/6	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16
Zählerstand m³	1,42	13,62	28,72	43,82	58,61	72,19	83,63	92,49	102,81	105,90
PFBA µg/L	<0,001	0,004	0,009	0,009	0,013	0,015	0,019	0,015	0,02	0,019
PFPA µg/L	<0,001	0,004	0,02	0,021	0,03	0,032	0,047	0,024	0,054	0,045
PFHxA µg/L	<0,001	0,002	0,009	0,013	0,02	0,021	0,03	0,012	0,033	0,036
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,003	0,005	0,001	0,019	0,007
PFOA µg/L	<0,001	<0,001	0,006	0,005	0,005	0,005	0,007	0,002	0,008	0,018
PFBS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,003	0,004	0,002	0,005	0,006
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,003	<0,001	0,004	0,008
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001	0,003	0,007	0,014	0,016	0,018	0,004	0,029	0,05
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,003	<0,001	0,002	0,002
PFOS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
H4PFOS µg/L	<0,001	<0,001	0,003	0,009	0,013	0,013	0,019	0,004	0,025	0,028
Summe PFC µg/L	0,00	0,01	0,05	0,07	0,10	0,11	0,16	0,06	0,20	0,22
AOF µg/L		< BG		< BG			< BG			< BG
DOC/TOC mg/L			16	18		20	19		18	20

SA3/6	22.12.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	122,03
PFBA µg/L	0,017
PFPA µg/L	0,041
PFHxA µg/L	0,028
PFHpA µg/L	0,006
PFOA µg/L	0,015
PFBS µg/L	0,004
PFPeS µg/L	0,004
PFHxS µg/L	0,037
PFHpS µg/L	0,003
PFOS µg/L	0,17
H4PFOS µg/L	0,028
Summe PFC µg/L	0,03
AOF µg/L	
DOC/TOC mg/L	

SA4/1	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	01.08.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	01.09.16	15.09.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	4,070	13,675	20,920	22,837	28,964	32,225	41,919		75,161	
PFBA µg/L	0,016	0,026	0,036	0,031	0,039	0,043	0,043		0,044	
PFPA µg/L	0,052	0,064	0,076	0,06	0,071	0,081	0,059		0,110	
PFHxA µg/L	0,047	0,054	0,063	0,051	0,046	0,048	0,034		0,072	
PFHpA µg/L	0,008	0,011	0,013	0,016	0,008	0,009	0,007		0,013	
PFOA µg/L	0,007	0,017	0,011	0,02	0,008	0,008	0,007		0,018	
PFBS µg/L	0,007	0,01	0,012	0,014	0,006	0,007	0,005		0,011	
PFPeS µg/L	0,003	0,007	0,004	0,006	0,003	0,002	0,002		0,005	
PFHxS µg/L	0,024	0,039	0,023	0,035	0,017	0,018	0,012		0,031	
PFHpS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		0,003	
PFOS µg/L	0,013	0,017	0,014	0,017	0,007	0,008	0,022		0,160	
H4PFOS µg/L	0,046	0,073	0,078	0,1	0,04	0,045	0,041		0,084	
Summe PFC µg/L	0,22	0,32	0,33	0,35	0,25	0,27	0,23		0,55	
Fe mg/L						0,01				
Fe gelöst mg/L						< BG				
AOF µg/L		< BG				< BG			1	
DOC/TOC mg/L		13				16		18		20

SA4/1	05.10.16	15.12.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	141,212	
PFBA µg/L	0,027	0,026
PFPA µg/L	0,088	0,078
PFHxA µg/L	0,066	0,067
PFHpA µg/L	0,016	0,016
PFOA µg/L	0,02	0,041
PFBS µg/L	0,012	0,016
PFPeS µg/L	0,008	0,023
PFHxS µg/L	0,031	0,17
PFHpS µg/L	0,003	0,009
PFOS µg/L	0,18	0,26
H4PFOS µg/L	0,1	0,09
Summe PFC µg/L	0,55	0,80
Fe mg/L		
Fe gelöst mg/L		
AOF µg/L		1,3
DOC/TOC mg/L		21

SA4/2	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	01.08.16	04.08.16	18.08.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	4,070	13,675	20,920	22,837	28,964	32,225	48,276	101,235	114,376	128,400
PFBA µg/L	0,004	0,008	0,011	0,01	0,013	0,015	0,017	0,035	0,032	0,032
PFPA µg/L	0,012	0,018	0,021	0,018	0,02	0,023	0,018	0,048	0,052	0,062
PFHxA µg/L	0,012	0,014	0,017	0,014	0,013	0,014	0,014	0,022	0,039	0,027
PFHpA µg/L	0,002	0,003	0,004	0,005	0,002	0,002	0,003	0,004	0,008	0,005
PFOA µg/L	< 0,001	< 0,001	0,001	0,006	0,002	0,003	< 0,001	0,004	0,01	0,005
PFBS µg/L	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003
PFPeS µg/L	< 0,001	0,002	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	0,001
PFHxS µg/L	0,005	0,009	0,006	0,008	0,004	0,004	0,007	0,007	0,013	0,006
PFHpS µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,004	0,001	< 0,001
PFOS µg/L	0,003	0,004	0,003	0,006	0,002	0,003	0,015	0,036	0,086	0,03
H4PFOS µg/L	0,010	0,017	0,021	0,023	0,01	0,01	0,019	0,018	0,032	0,014
Summe PFC µg/L	0,00	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,10	0,18	0,28	0,19
AOF µg/L		< BG								< BG
DOC/TOC mg/L		8,9				14	15	18		

SA4/2	05.10.16	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	141,200	158,000	170,000	184,900	199,900	227,998	239,064	246,294	256,201	258,720
PFBA µg/L	0,026	0,033	0,024	0,021	0,021	0,025	0,028	0,028	0,025	0,026
PFPA µg/L	0,067	0,057	0,049	0,061	0,054	0,059	0,074	0,062	0,071	0,059
PFHxA µg/L	0,04	0,037	0,035	0,036	0,038	0,042	0,052	0,051	0,049	0,045
PFHpA µg/L	0,009	0,006	0,004	0,003	0,003	0,008	0,009	0,01	0,009	0,009
PFOA µg/L	0,01	0,016	0,017	0,015	0,013	0,012	0,013	0,018	0,012	0,017
PFBS µg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,007	0,006	0,007
PFPeS µg/L	0,003	0,004	0,005	0,003	0,004	0,006	0,005	0,006	0,006	0,01
PFHxS µg/L	0,011	0,018	0,033	0,022	0,03	0,042	0,037	0,037	0,046	0,062
PFHpS µg/L	0,001	< 0,001	0,003	0,002	0,004	0,005	0,005	0,003	0,004	0,002
PFOS µg/L	0,083	0,064	0,094	0,14	0,3	0,28	0,35	0,19	0,2	0,051
H4PFOS µg/L	0,053	0,052	0,04	0,032	0,041	0,044	0,044	0,047	0,045	0,006
Summe PFC µg/L	0,31	0,29	0,31	0,34	0,51	0,53	0,62	0,46	0,47	0,29
AOF µg/L			< BG		< BG		< BG			< BG
DOC/TOC mg/L	25			20	21	21	19		19	18

SA4/2	22.12.16
Zählerstand m <sup>3</sup>	260,727
PFBA µg/L	0,026
PFPA µg/L	0,057
PFHxA µg/L	0,04
PFHpA µg/L	0,009
PFOA µg/L	0,022
PFBS µg/L	0,006
PFPeS µg/L	0,007
PFHxS µg/L	0,059
PFHpS µg/L	0,007
PFOS µg/L	0,42
H4PFOS µg/L	0,052
Summe PFC µg/L	0,71
AOF µg/L	
DOC/TOC mg/L	



<b>SA4/3</b>	21.07.16	28.07.16	04.08.16	01.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	13.10.16	20.10.16	27.10.16
Zählerstand m³	13,675	22,837	32,225	75,161	114,376	128,400	141,200	158,000	170,000	
PFBA µg/L	0,003	0,004	0,007			0,028	0,02	0,023	0,017	
PFPA µg/L	0,006	0,007	0,011			0,031	0,04	0,03	0,027	
PFHxA µg/L	0,005	0,006	0,006			0,013	0,022	0,017	0,018	
PFHpA µg/L	0,001	0,002	0,001			0,003	0,005	<0,001	<0,001	
PFOA µg/L	< 0,001	0,002	<0,001			0,002	0,005	0,006	0,009	
PFBS µg/L	< 0,001	0,004	<0,001			0,001	0,002	0,002	0,002	
PFPeS µg/L	< 0,001	<0,001	<0,001			<0,001	0,002	0,001	0,002	
PFHxS µg/L	0,003	0,003	0,002			0,002	0,005	0,006	0,016	
PFHpS µg/L	< 0,001	<0,001	<0,001			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
PFOS µg/L	0,002	0,002	0,00			0,014	0,042	0,032	0,052	
H4PFOS µg/L	0,007	0,009	0,005			0,006	0,021	0,016	0,02	
Summe PFC µg/L	0,03	0,04	0,03			0,10	0,16	0,13	0,16	
AOF µg/L	< BG					<BG			< BG	
DOC/TOC mg/L	6			20	19		20			19

<b>SA4/3</b>	03.11.16	17.11.16	24.11.16	08.12.16	15.12.16	22.12.16
Zählerstand m³	199,900	227,998	239,064	256,201	258,720	260,727
PFBA µg/L	0,017		0,024	0,022	0,022	0,023
PFPA µg/L	0,033		0,051	0,049	0,036	0,04
PFHxA µg/L	0,02		0,03	0,027	0,022	0,024
PFHpA µg/L	0,002		0,005	0,005	0,004	0,005
PFOA µg/L	0,007		0,008	0,006	0,006	0,014
PFBS µg/L	0,003		0,005	0,003	0,003	0,003
PFPeS µg/L	0,002		0,003	0,002	0,003	0,004
PFHxS µg/L	0,014		0,017	0,021	0,018	0,03
PFHpS µg/L	0,002		0,002	0,002	<0,001	0,003
PFOS µg/L	0,15		0,2	0,095	0,017	0,21
H4PFOS µg/L	0,019		0,022	0,023	0,002	0,027
Summe PFC µg/L	0,27		0,37	0,26	0,13	0,38
AOF µg/L	< BG		< BG		< BG	
DOC/TOC mg/L	20	21	20	19	14	

<b>SA4/4</b>	21.07.16	28.07.16	01.09.16	13.10.16	27.10.16	03.11.16	17.11.16	24.11.16	08.12.16	15.12.16
Zählerstand m³	13,675	22,837	75,161	158,000		199,900	227,998	239,064	256,201	258,720
PFBA µg/L	< 0,001	< 0,001		0,014		0,009		0,02		0,018
PFPA µg/L	< 0,001	< 0,001		0,014		0,01		0,028		0,017
PFHxA µg/L	< 0,001	< 0,001		0,007		0,004		0,015		0,009
PFHpA µg/L	< 0,001	< 0,001		< 0,001		< 0,001		0,002		< 0,001
PFOA µg/L	< 0,001	< 0,001		0,003		< 0,001		0,004		0,001
PFBS µg/L	< 0,001	< 0,001		< 0,001		< 0,001		0,004		< 0,001
PFPeS µg/L	< 0,001	< 0,001		< 0,001		< 0,001		< 0,001		< 0,001
PFHxS µg/L	< 0,001	< 0,001		0,001		< 0,001		0,005		0,002
PFHpS µg/L	< 0,001	< 0,001		< 0,001		< 0,001		< 0,001		< 0,001
PFOS µg/L	< 0,001	< 0,001		0,007		0,029		0,055		0,006
H4PFOS µg/L	< 0,001	< 0,001		0,01		0,002		0,01		0,002
Summe PFC µg/L	0,00	0,00		0,06		0,05		0,14		0,06
AOF µg/L	< BG					< BG		< BG		< BG
DOC/TOC mg/L	3,2		19		19	19	20	20	19	11

<b>SA4/5</b>		13.10.16	27.10.16	03.11.16	17.11.16	24.11.16	08.12.16	15.12.16	22.12.16	15.09.16
Zählerstand	m <sup>3</sup>	158,000		199,900	227,998	239,064	256,201	258,720	260,727	101,235
PFBA	µg/L	0,008		0,008		0,013		0,011		
PFPA	µg/L	0,005		0,008		0,016		0,009		
PFHxA	µg/L	0,004		0,004		0,008		0,004		
PFHpA	µg/L	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		
PFOA	µg/L	0,001		0,002		0,001		<0,001		
PFBS	µg/L	0,004		<0,001		<0,001		<0,001		
PFPeS	µg/L	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		
PFHxS	µg/L	<0,001		0,001		0,002		<0,001		
PFHpS	µg/L	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		
PFOS	µg/L	0,003		0,028		0,028		0,002		
H4PFOS	µg/L	0,015		0,002		0,003		< 0,001		
Summe PFC	µg/L	0,04		0,053		0,07		0,03		
AOF	µg/L			< ^BG		< BG		< BG		
DOC/TOC	mg/L		18	18	19	18	17	9,8		

<b>SA4/6</b>		01.09.16	13.10.16	27.10.16	03.11.16	17.11.16	24.11.16	08.12.16	15.12.16
Zählerstand	m <sup>3</sup>	75,161	158,000		199,900	227,998	239,064	256,201	258,720
PFBA	µg/L		0,002		0,003		0,008		0,007
PFPA	µg/L		<0,001		0,002		0,006		0,003
PFHxA	µg/L		0,001		<0,001		0,003		0,002
PFHpA	µg/L		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001
PFOA	µg/L		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001
PFBS	µg/L		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001
PFPeS	µg/L		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001
PFHxS	µg/L		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001
PFHpS	µg/L		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001
PFOS	µg/L		<0,001		0,007		0,01		0,002
H4PFOS	µg/L		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001
Summe PFC	µg/L		0,003		0,012		0,027		0,014
AOF	µg/L				1		< BG		< BG
DOC/TOC	mg/L	16		16	17	18	17	17	9

<b>AKF1</b>	14.07.16	21.07.16	25.07.16	28.07.16	01.08.16	04.08.16	11.08.16	18.08.16	25.08.16	01.09.16
PFBA	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFPA	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHxA	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHpA	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFOA	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFBS	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFPeS	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHxS	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHpS	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFOS	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,001	0,001
H4PFOS	µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,002	0,002	<0,001
Summe PFC	µg/L	0	0	0	0,008	0,002	0	0,003	0,002	0,001
DOC/TOC	mg/L							5		

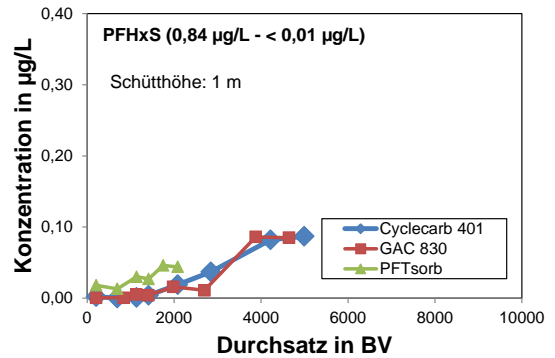
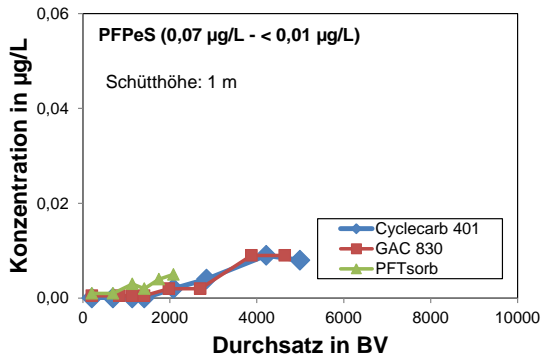
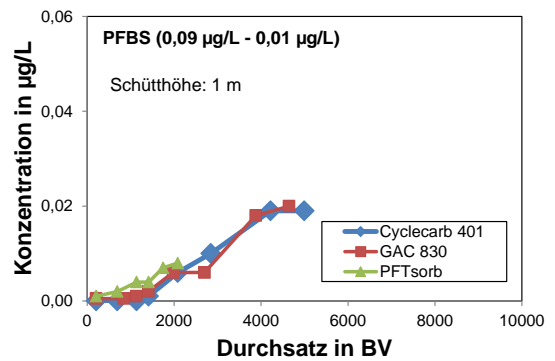
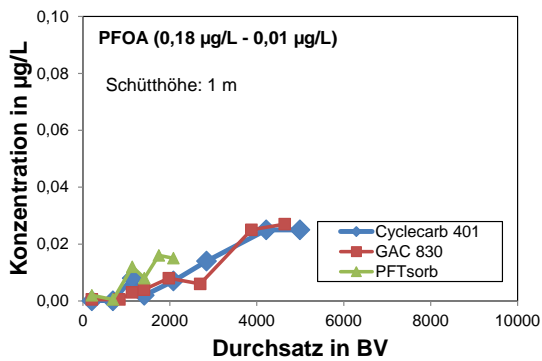
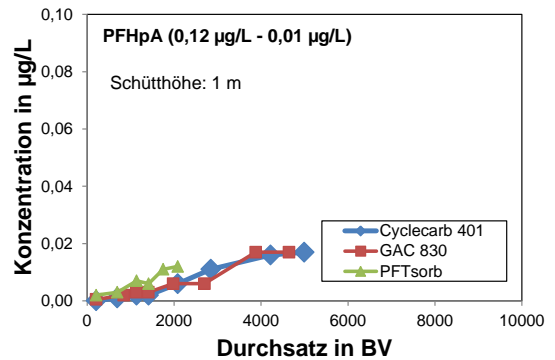
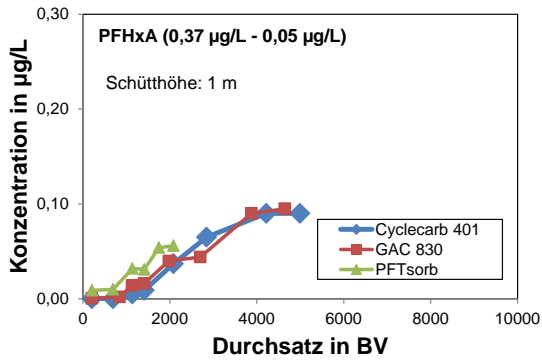
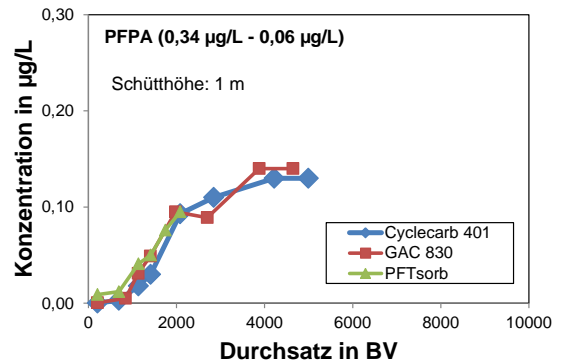
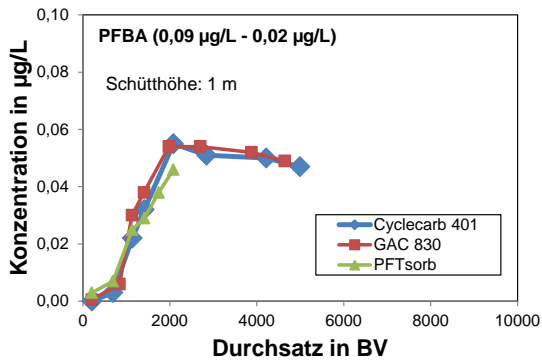
AKF1	08.09.16	15.09.16	22.09.16	29.09.16	05.10.16	13.10.16	20.10.16	27.10.16	03.11.16	10.11.16
PFBA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003
PFPA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHxA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFOA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,003	<0,001
PFBS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFOS µg/L	<0,001	<0,001	0,005	0,002	0,003	0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,003
H4PFOS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Summe PFC µg/L	0,000	0,000	0,005	0,006	0,006	0,003	0,001	0,005	0,007	0,006
DOC/TOC mg/L										

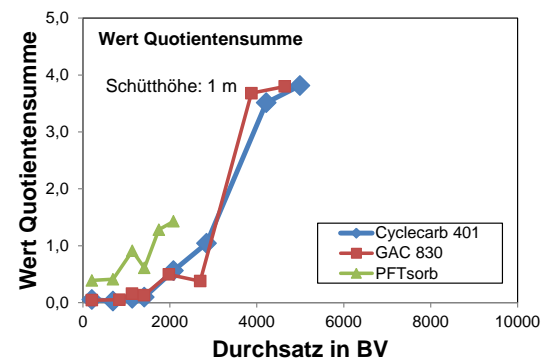
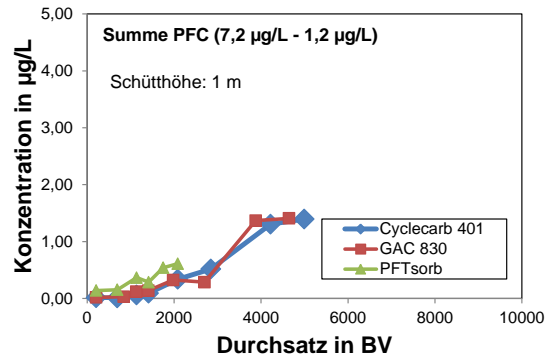
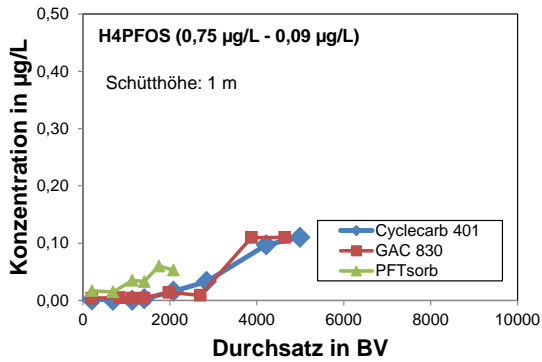
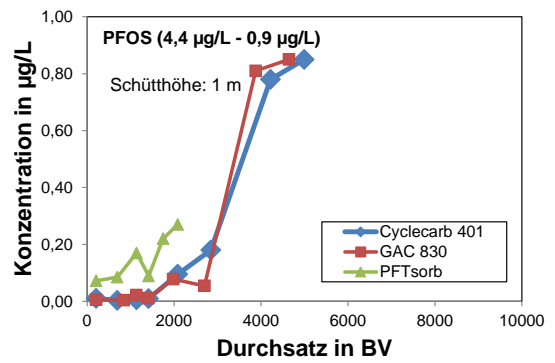
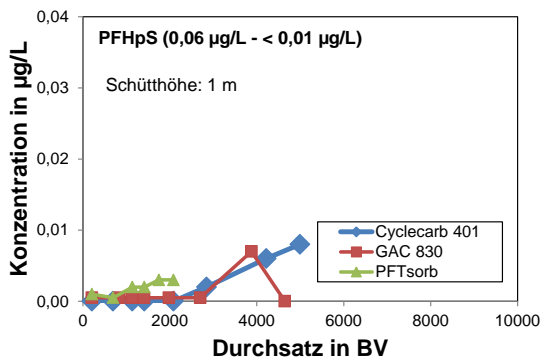
AKF1	17.11.16	24.11.16	01.12.16	08.12.16	15.12.16	22.12.16
PFBA µg/L	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
PFPA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHxA µg/L	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFOA µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFBS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PFOS µg/L	0,003	0,002	0,003	0,007	0,001	0,007
H4PFOS µg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
Summe PFC µg/L	0,006	0,007	0,006	0,01	0,003	
DOC/TOC mg/L					11	

AKF2	15.12.16	22.12.16
PFBA µg/L	<0,001	<0,001
PFPA µg/L	<0,001	<0,001
PFHxA µg/L	<0,001	<0,001
PFHpA µg/L	<0,001	<0,001
PFOA µg/L	<0,001	<0,001
PFBS µg/L	<0,001	<0,001
PFPeS µg/L	<0,001	<0,001
PFHxS µg/L	<0,001	<0,001
PFHpS µg/L	<0,001	<0,001
PFOS µg/L	0,002	<0,001
H4PFOS µg/L	<0,001	<0,001
Summe PFC µg/L		
DOC/TOC mg/L	7,80	

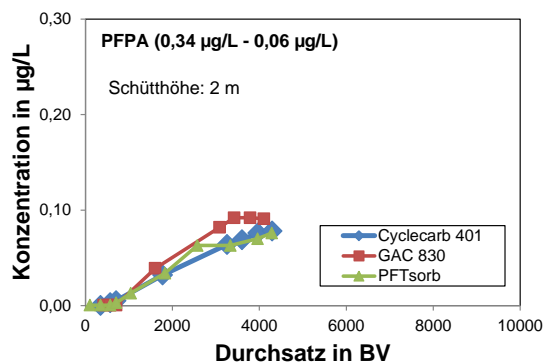
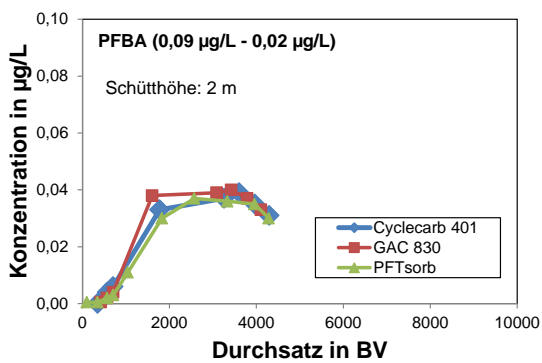
## Anlagen 2: Durchbruchkurven

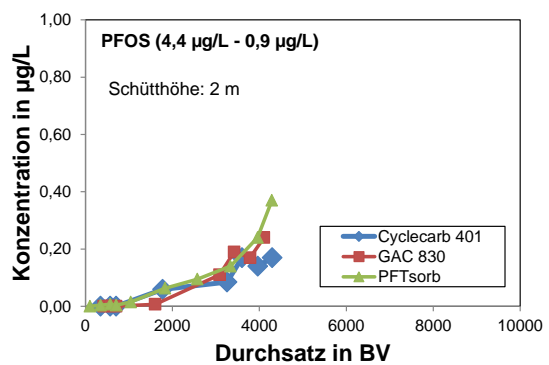
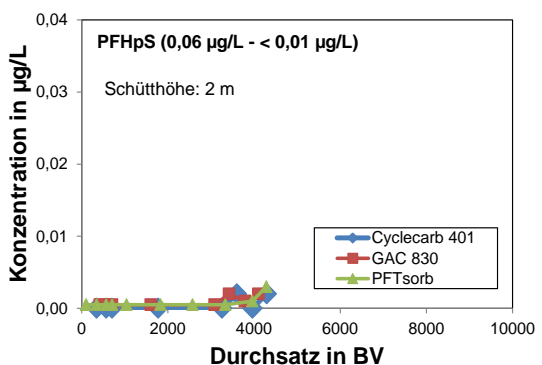
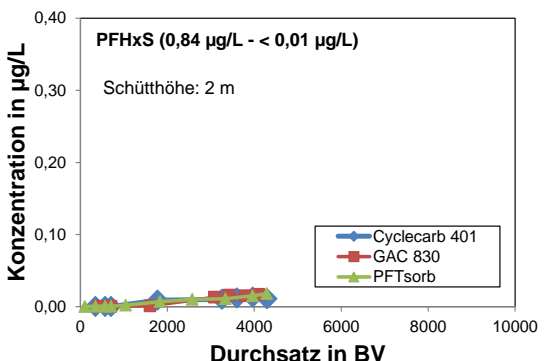
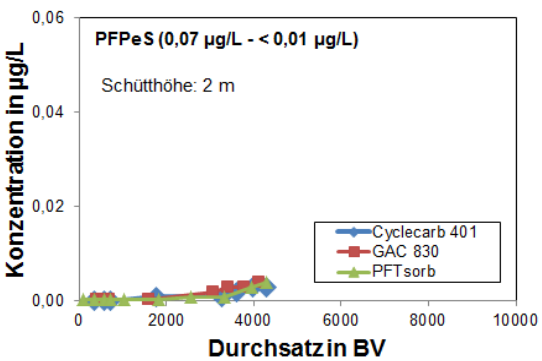
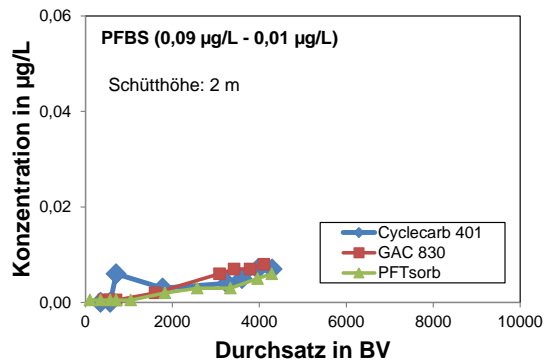
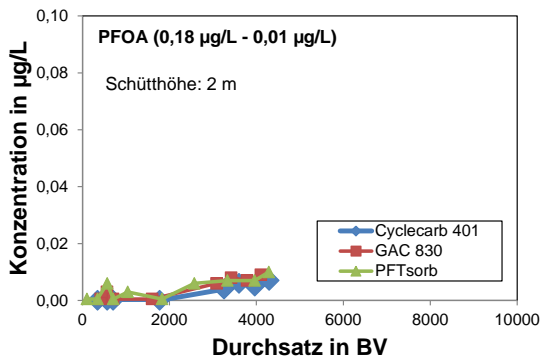
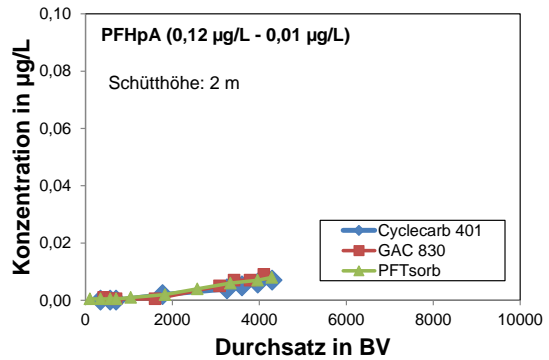
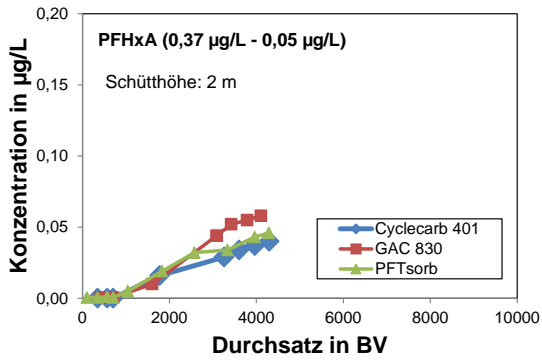
Durchbruchkurven an verschiedenen Aktivkohlen – Linie A – Schütthöhe: 1 m

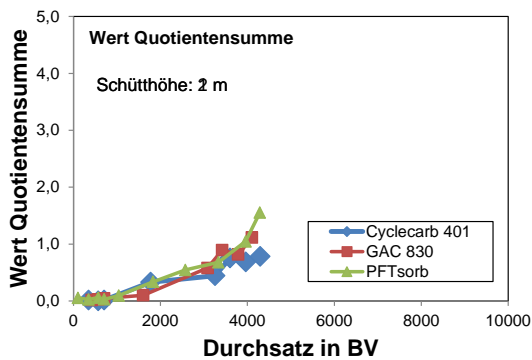
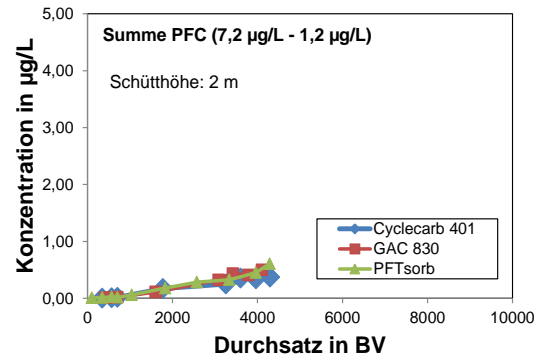
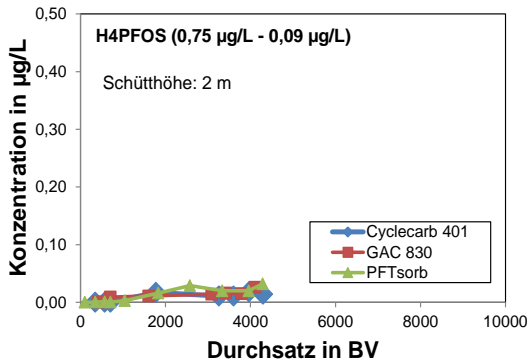




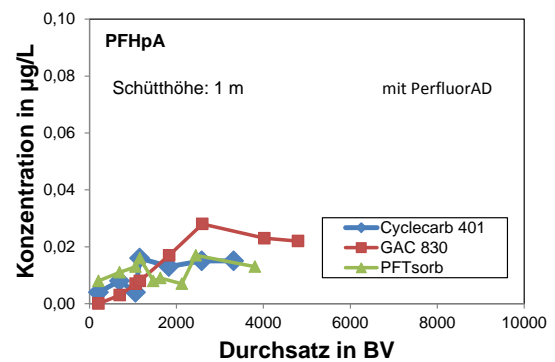
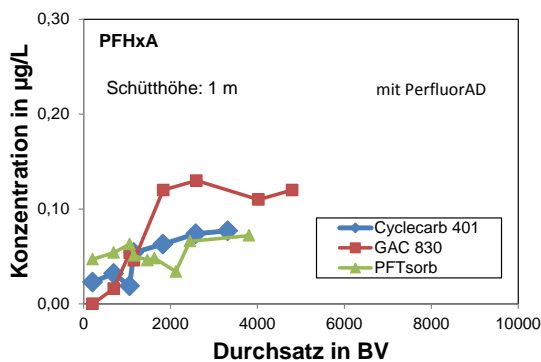
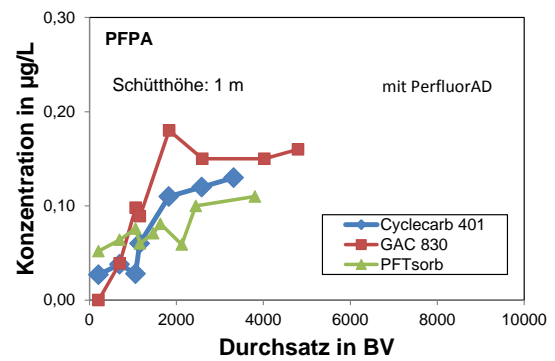
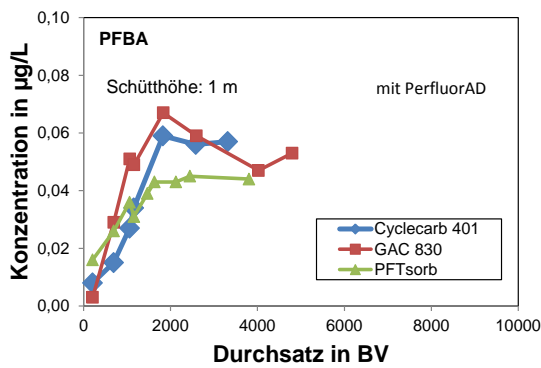
Durchbruchskurven an verschiedenen Aktivkohlen – Linie A – Schütthöhe: 2 m

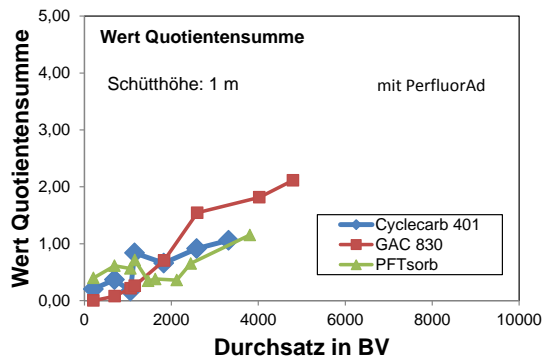
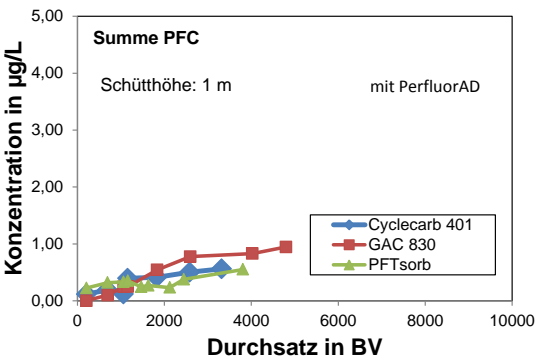
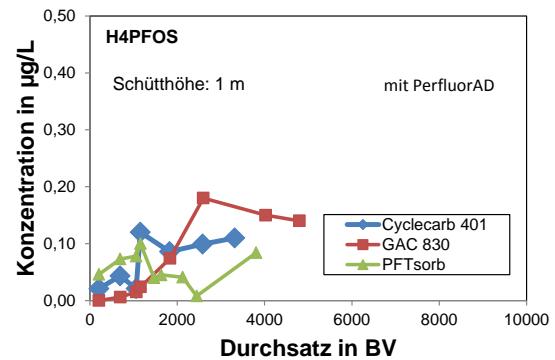
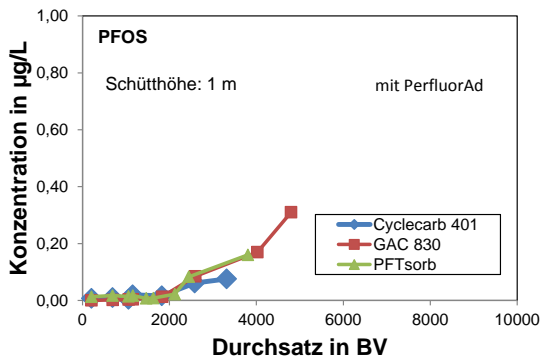
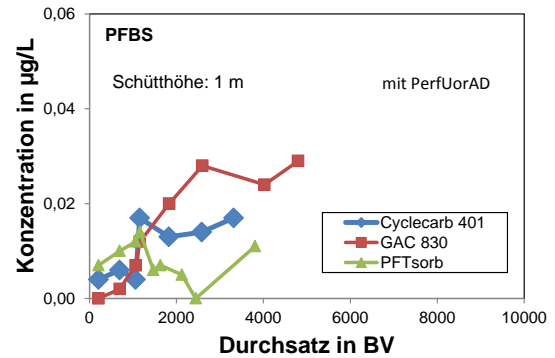
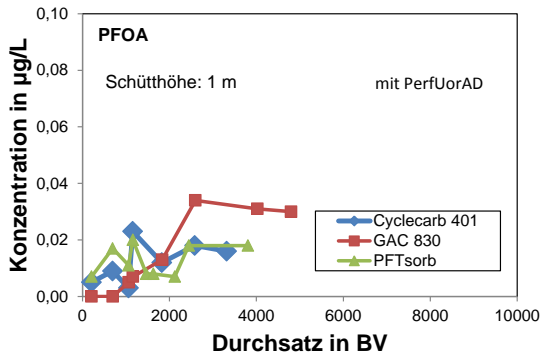




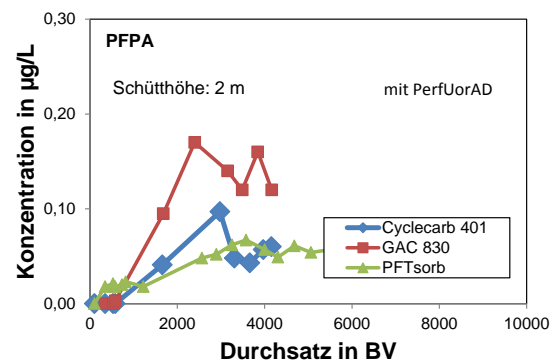
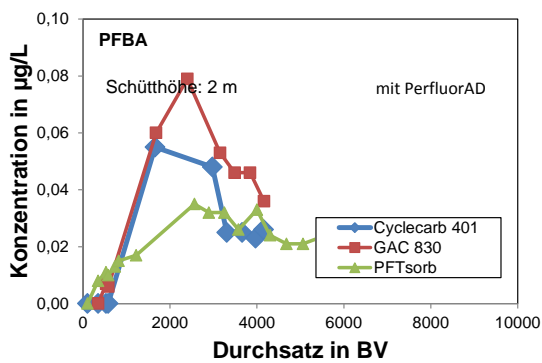


Durchbruchskurven an verschiedenen Aktivkohlen – Linie B – Schütthöhe: 1 m

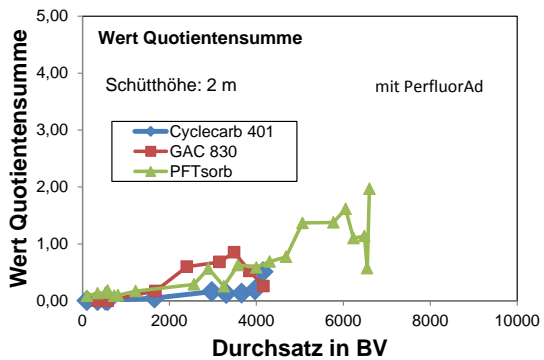
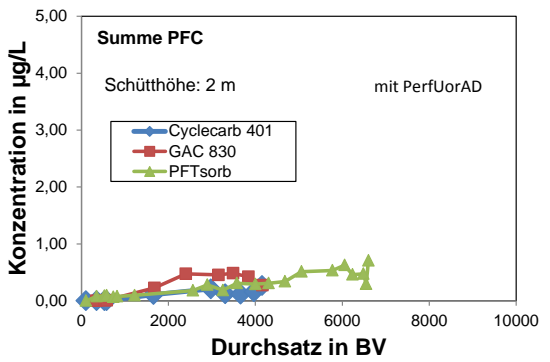
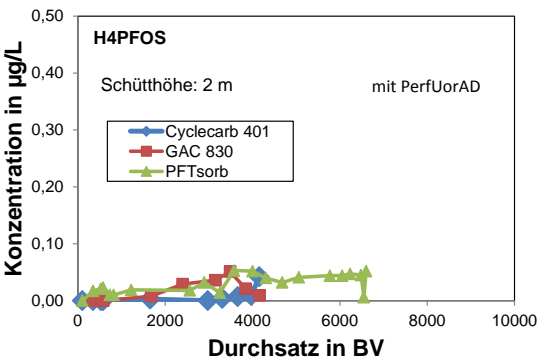
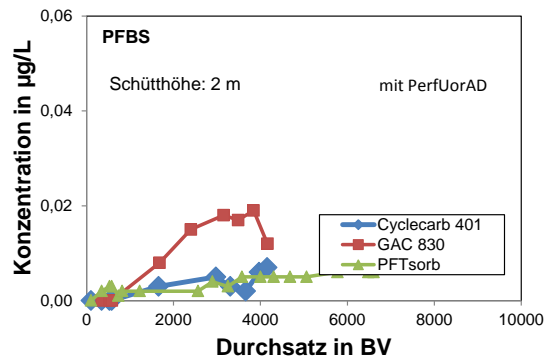
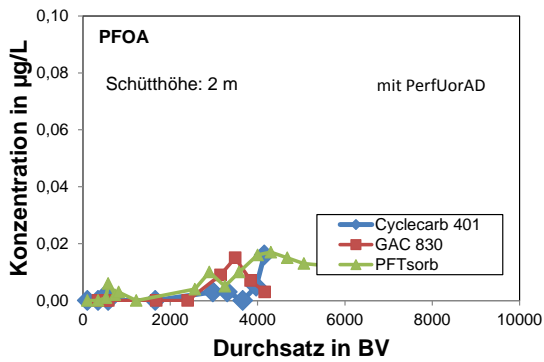
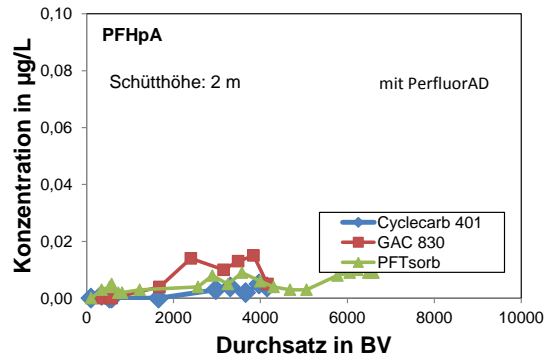
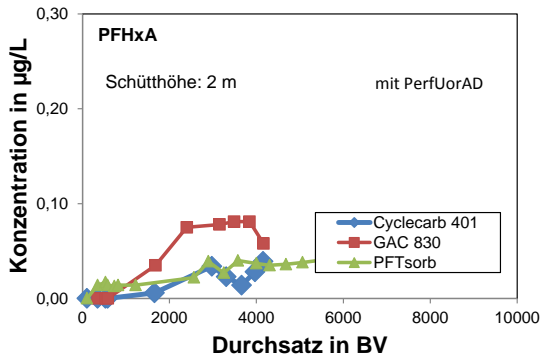




Durchbruchskurven an verschiedenen Aktivkohlen – Linie B – Schütthöhe: 2 m







**Anlage 3: Charakteristische Parameterwerte der Aktivkohlen Cyclecarb 401 und GAC 830**

**Messung TZW**

		<b>Cyclecarb 401</b>	<b>GAC 830</b>
Iodzahl	mg/g	1050	1050
Nitrobenzolzahl	mg/L	20	20
Schüttdichte	g/L	450	480
Rütteldichte	g/L	505	520
Asche	Gew.%	9,2	7,1