

**Bericht über Technikumsversuche zur Behandlung von PFC-belasteten  
Wässern aus Rastatt und Baden-Baden**

**im Rahmen des Modellvorhabens zur PFC-Sanierung in Herbertingen, Landkreis  
Sigmaringen**

**der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH**

**Stand: 17.01.2017**

**Verfasser: Dipl.-Ing. MSc. Martin Cornelsen**

**Gliederung:**

1. Veranlassung
2. Beschreibung der standorttypischen PFC-Belastungen
  - 2a. PFC-Belastung „Löschwasserbrunnen Meier“
  - 2b. PFC-Belastung „Sandweiher GWM Y 12“
  - 2c. PFC-Belastung „Wasserwerk Förch“
3. Pilotiertes Verfahren und verwendete Versuchsanlage
4. Versuchsdurchführung und Ergebnisse
  - 4a. Ergebnisse „Löschwasserbrunnen Meier“
  - 4b. Ergebnisse „Sandweiher GWM Y 12“
  - 4c. Ergebnisse „Wasserwerk Förch“
5. Schlussfolgerungen
6. Zusammenfassung

## 1. Veranlassung

Im Rahmen des Modellvorhabens zur PFC-Sanierung in Herbertingen, Landkreis Sigmaringen, sollten ergänzend drei Wässer aus dem Raum Rastatt und Baden-Baden im Technikumsmaßstab mit dem PerfluorAd-Verfahren behandelt werden. Dieser Bericht dokumentiert die durchgeführten Versuche sowie die damit erhobenen Ergebnisse.

## 2. Beschreibung der standorttypischen PFC-Belastungen

Durch das Landratsamt Rastatt wurden drei verschiedene Wässer zur Verfügung gestellt, die für die Versuchsdurchführung - erfolgt in dem Technikum der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH in Essen (NRW) - verwendet wurden.

Die Wässer waren benannt mit den Bezeichnungen:

- a. Löschwasserbrunnen Meier
- b. Sandweiher GWM Y 12
- c. Wasserwerk Förch

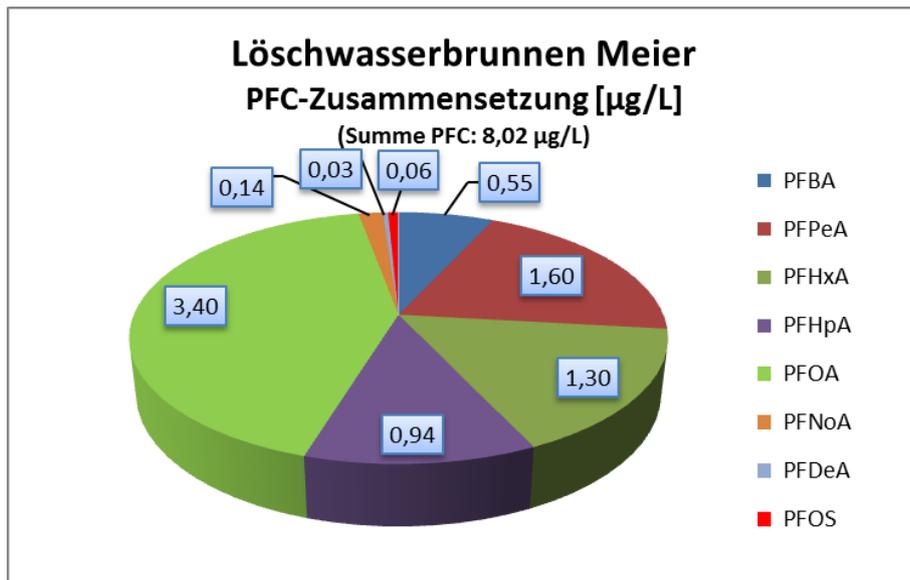
Die Rohwässer wurden durch die Cornelsen Umwelttechnologie GmbH auf PFC untersucht. Die Ergebnisse stellen unterschiedliche Charakteristika der einzelnen Wässer dar.

### 2a. PFC-Belastung „Löschwasserbrunnen Meier“

PFC-Zusammensetzung	[µg/L]
PFBA	0,55
PFPeA	1,60
PFHxA	1,30
PFHpA	0,94
PFOA	3,40
PFNoA	0,14
PFDeA	0,03
PFOS	0,06
<b>Summe PFC</b>	<b>8,02</b>

**Abbildung 1: PFC-Zusammensetzung des Rohwassers aus dem Löschwasserbrunnen Meier  
(tabellarische Darstellung)**

Die Belastung wird dominiert durch die Anteile der Fluorcarbonate. Als Fluorsulfonsäure tritt lediglich PFOS mit 0,06 µg/L auf. Die Hauptkontaminante war PFOA mit 3,40 µg/L. Die extrem schwer aus wässrigen Medien zu entfernenden PFC-Einzerverbindungen PFBA, PFPeA und PFHxA bilden eine Summe von 3,45 µg/L, was ca. 43% der Gesamtbelastung ausmacht, die mit 8,02 µg/L festgestellt wurde.



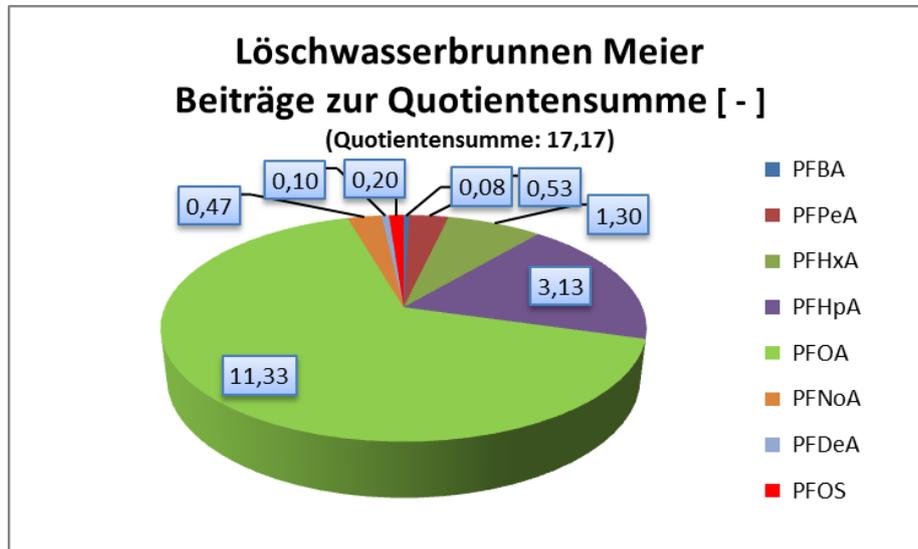
**Abbildung 2: PFC-Zusammensetzung des Rohwassers aus dem Löschwasserbrunnen Meier (grafische Darstellung der PFC-Einzersubstanzen)**

Aus der PFC-Belastung ergibt sich bei Anwendung der Additionsregel<sup>1</sup> eine Quotientensumme von 17,15 [-]. Die Beiträge der PFC-Einzerverbindungen an der Quotientensumme sind in der nachfolgenden tabellarischen Darstellung aufgetragen.

Beiträge zur Quotientensumme	[-]
PFBA	0,08
PFPeA	0,53
PFHxA	1,30
PFHpA	3,13
PFOA	11,33
PFNoA	0,47
PFDeA	0,10
PFOS	0,20
<b>Quotientensumme</b>	<b>17,15</b>

<sup>1</sup> Erlass des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg über „Vorläufige GFS-Werte PFC für das Grundwasser und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten“ vom 17.06.2015

**Abbildung 3: Beiträge der PFC-Einzelverbindungen an der Quotientensumme des Rohwassers aus dem Löschwasserbrunnen Meier (tabellarische Darstellung)**



**Abbildung 4: Beiträge der PFC-Einzelverbindungen an der Quotientensumme des Rohwassers aus dem Löschwasserbrunnen Meier (grafische Darstellung)**

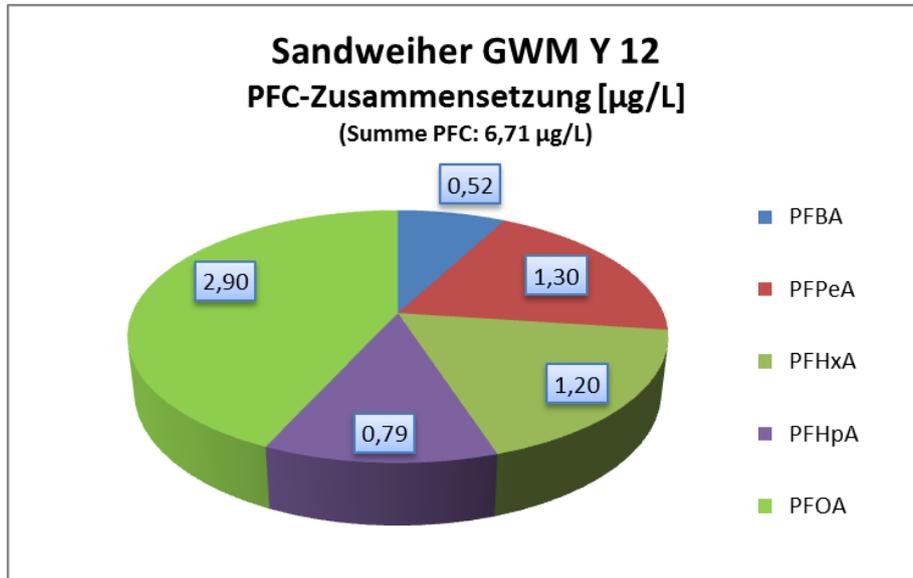
In der Quotientensumme von 17,17 dominiert der Beitrag von PFOA mit einem Anteil von 11,33 (entspricht ca. 66% der Quotientensumme).

## 2b. PFC-Belastung „Sandweiher GWM Y 12“

Die PFC-Belastung der Wasserprobe „Sandweiher GWM Y 12“ war, bezogen auf die Summe der PFC, mit 6,71 µg/L etwas geringer konzentriert als der Löschwasserbrunnen Meier. PFOA stellte jedoch ebenfalls die Hauptkontaminante dar (2,90 µg/L). Das Verhältnis der Summe von PFBA, PFPeA und PFHxA (3,02 µg/L) zu der Konzentration von PFOA von ca. 1:1 entsprach ungefähr dem Wert, der sich auch bei dem Löschwasserbrunnen Meier zeigt. Die beiden Wässer können somit als ähnlich in der PFC-Verteilung, jedoch leicht unterschiedlich bei der PFC-Konzentration beschrieben werden.

PFC-Zusammensetzung	[µg/L]
PFBA	0,52
PFPeA	1,30
PFHxA	1,20
PFHpA	0,79
PFOA	2,90
<b>Summe PFC:</b>	<b>6,71</b>

**Abbildung 5: PFC-Zusammensetzung des Rohwassers aus Sandweiher GWM Y 12**  
(tabellarische Darstellung)

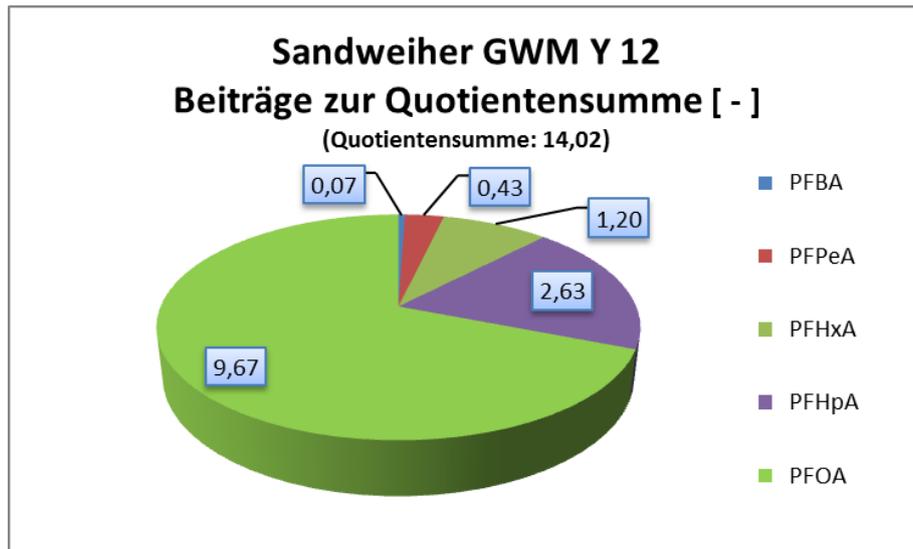


**Abbildung 6: PFC-Zusammensetzung des Rohwassers aus Sandweiher GWM Y 12**  
(grafische Darstellung der PFC-Einzelsubstanzen)

Die Ähnlichkeit der beiden Wässer bestätigte sich auch bei Betrachtung der Beiträge der PFC-Einzelverbindungen zur Quotientensumme bzw. der Quotientensumme. Die Quotientensumme errechnete sich mit 14,02 [ - ] und wich nur um ca. 3 Punkte von der mit 17,17 [ - ] ermittelten Quotientensumme des Löschwasserbrunnen Meier ab. Bei dem Wasser Sandweiher GWM Y 12 dominierte ebenfalls PFOA mit einem Beitrag von 9,67 an der Quotientensumme (entspricht ca. 69%).

Beiträge zur Quotientensumme	[ - ]
PFBA	0,07
PFPeA	0,43
PFHxA	1,20
PFHpA	2,63
PFOA	9,67
<b>Quotientensumme</b>	<b>14,02</b>

**Abbildung 7: Beiträge der PFC-Einzelverbindungen an der Quotientensumme**  
**des Rohwassers aus Sandweiher GWM Y 12 (tabellarische Darstellung)**



**Abbildung 8: Beiträge der PFC-Einzelverbindungen an der Quotientensumme des Rohwassers aus Sandweiher GWM Y 12 (grafische Darstellung)**

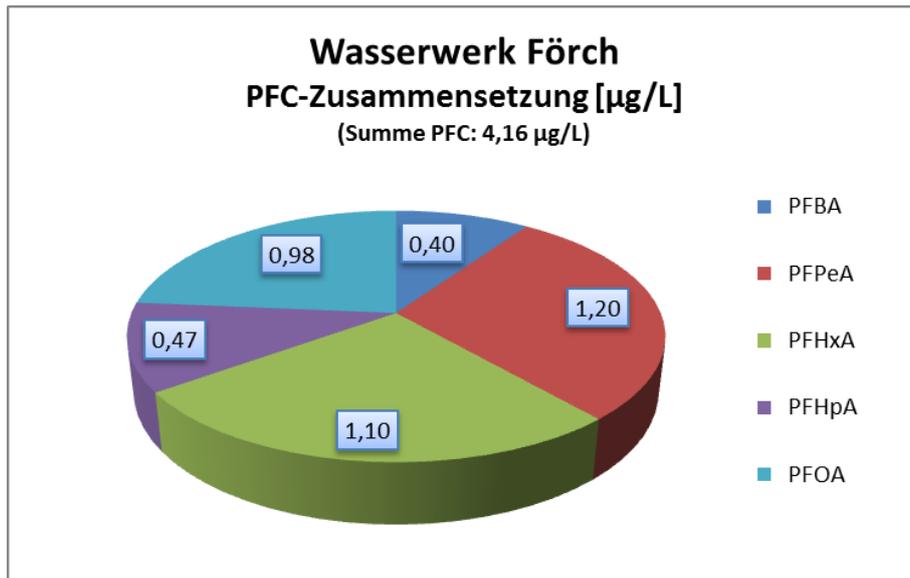
### 2c. PFC-Belastung „Wasserwerk Förch“

Die Probe des Wasserwerkes Förch ist in Relation zu den beiden vorgenannten Wässern mit 4,16 µg/L Summe PFC am geringsten belastet. Die PFC-Zusammensetzung unterscheidet sich ebenfalls von den beiden anderen Wässern. Insbesondere die PFOA-Konzentration mit 0,98 µg/L ist deutlich niedriger und macht lediglich einen Anteil von ca. 23,5% an der PFC-Gesamtbelastung aus.

PFC-Zusammensetzung	[µg/L]
PFBA	0,40
PFPeA	1,20
PFHxA	1,10
PFHpA	0,47
PFOA	0,98
<b>Summe PFC:</b>	<b>4,16</b>

**Abbildung 9: PFC-Zusammensetzung des Rohwassers aus dem Wasserwerk Förch (tabellarische Darstellung)**

In Abbildung 10 wird deutlich, dass bei dem Wasser des Wasserwerkes Förch der Anteil der schwer adsorbierbaren PFC-Verbindungen PFBA, PFPeA und PFHxA mit 2,70 µg/L ca. 65% der PFC-Gesamtbelastung ausmacht.



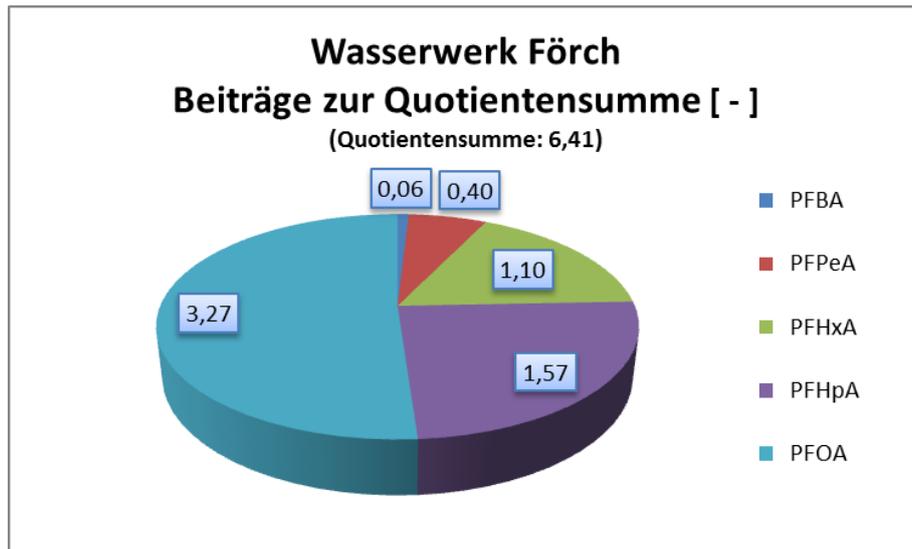
**Abbildung 10: PFC-Zusammensetzung des Rohwassers aus dem Wasserwerk Förch (grafische Darstellung der PFC-Einzelsubstanzen)**

Die Quotientensumme betrug beim Wasserwerk Förch 6,41 [ - ]. Der Anteil von PFOA betrug daran „nur“ ca. 51%.

Beiträge zur Quotientensumme	[ - ]
PFBA	0,06
PFPeA	0,40
PFHxA	1,10
PFHpA	1,57
PFOA	3,27
<b>Quotientensumme</b>	<b>6,41</b>

**Abbildung 11: Beiträge der PFC-Einzerverbindungen an der Quotientensumme des Rohwassers aus dem Wasserwerk Förch (tabellarische Darstellung)**

Die langkettigen Substanzen PFOA und PFHpA bilden in der Summe mit >75% dennoch den maßgeblichen Anteil an der Quotientensumme und bestimmen die Charakteristik dieses Wassers. Die Kurzketter PFBA, PFPeA und PFHxA mit einem Anteil an der Quotientensumme von weniger als 25% sind dementsprechend weniger dominant.



**Abbildung 12: Beiträge der PFC-Einzelverbindungen an der Quotientensumme des Rohwassers aus dem Wasserwerk Förch (grafische Darstellung)**

### 3. Pilotiertes Verfahren und verwendete Versuchsausrüstung

Die Cornelsen Umwelttechnologie GmbH beschäftigt sich seit dem Jahr 2006 - als in Brilon-Scharfenberg im Hochsauerlandkreis (NRW) in Deutschland erstmalig PFC als Schadensfall aufgetreten war - mit der Reinigung PFC-belasteter Wässer. Seit dem Jahr 2008 wurde nach den anfänglich mit Aktivkohle bearbeiteten Schadensfällen mit der Entwicklung eines eigenen Verfahrensansatzes begonnen, welcher zunächst in der Entwicklung eines Spezialadsorbens auf Basis eines nachwachsenden Rohstoffes (holzähnliche Materialien) beruhte, der eine chemisch modifizierte Oberfläche erhalten hat, die speziell auf die Adsorption von PFC ausgerichtet war. Dieses als PerfluorAd bezeichnete granuläre Material wurde durch das LfU Bayern im Rahmen eines Modellprojektes (Flughafen Nürnberg) getestet. Laut LfU-Bericht<sup>2</sup> wurden mit diesem Material sehr gute Ergebnisse erzielt (Zitat: „Nur mit dem speziell für die PFC-Adsorption entwickelten Material PA [Anmerkung: dieses ist das granuläre PerfluorAd-Material] wurde ein Rückhalt von PFBS, PFHxS und PFOS um mehr als 80% erreicht“). Weiterhin wurde das granuläre PerfluorAd-Material in einem von der Landeshauptstadt Düsseldorf und dem AAV NRW durchgeführten Projekt pilotiert, welches - wie im Zwischenbericht<sup>3</sup> dokumentiert wurde - zu gleichermaßen positiven Resultaten führte.

Die Cornelsen Umwelttechnologie GmbH entschied sich jedoch nicht für eine weitere Entwicklung dieses granulären Materials, sondern dazu, die positiven Eigenschaften des granulären Adsorbens auf

<sup>2</sup> Abschlussbericht - Entwicklung von Aufbereitungsverfahren für PFC-haltige Grundwässer am Beispiel des Flughafens Nürnberg; Bayerisches Landesamt für Umwelt, Gierig/Ulrich/Melzer (2014)

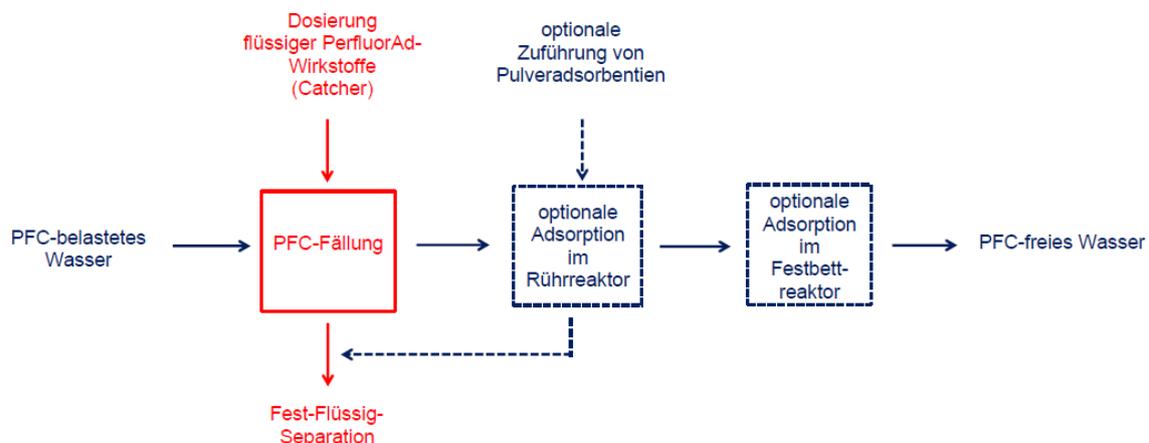
<sup>3</sup> Bericht über halbertechnische Pilotversuche zur Aufbereitung eines mit PFC belasteten Grundwassers in dem Projekt „Lager 61, Düsseldorf Gerresheim“; Cornelsen (2014)

ein Flüssigprodukt zu übertragen. Dieses Flüssigprodukt - ebenfalls unter dem Markennamen PerfluorAd erhältlich - wird mittels einer Dosierpumpe in einen Rührreaktor eingegeben. Im Unterschied zu einem konventionellen granulären (festen) Adsorbens wird durch das flüssige PerfluorAd keine Adsorption der gelösten PFC-Verbindungen an ein festes Adsorbens (i.d.R. Aktivkohle oder Ionenaustauscher) vollzogen, es wird vielmehr durch die Zuführung des Flüssigwirkstoffes im Rahmen einer Fällungsreaktion ein größtmögliches Maß der im Wasser vorhandenen PFC eliminiert. Eine Anwendung von Adsorbentien erfolgt lediglich zur Endreinigung bzw. Nachbehandlung des weitestgehend von PFC befreiten Wassers.

Das PerfluorAd-Wirkprinzip beruht auf einer Wechselwirkung zwischen den PFC-Molekülen und den PerfluorAd-Molekülen, welche zu einer Bildung von nicht kovalent gebundenen Addukten (Kationen- bzw. Anionen-Anlagerungskomplexe ohne Bildung neuer Moleküle) führt. Diese haben eine deutlich geringere Löslichkeit in Wasser als die PFC-Einzelverbindungen. Aus den Addukten wird durch die Bildung größerer Flockenaggregate und/oder Mizellen bzw. Vesikel - ggf. optimiert durch Mitfällungseffekte infolge von Metall-Oxiden/Hydroxiden und/oder Flockungshilfsmitteln - eine Abtrennung der PFC-Moleküle durch eine einfache Fest-Flüssig-Separation möglich, wie z.B. durch den Einsatz von Parallelplattenabscheidern und/oder mechanischen Filtern.

Bei den flüssigen PerfluorAd-Wirkstoffen handelt es sich um Esterverbindungen, die auf der Basis pflanzlicher Ölsäure beruhen und die biologisch abbaubar sind.

Das Ziel dieses Verfahrens ist, einen möglichst geringen Stoffeinsatz und dadurch auch einen möglichst niedrigen Reststoffanfall sicherzustellen. Zudem wird damit dem Sanierungsmarkt ein pragmatisch anwendbares Verfahren zur Verfügung gestellt, mit dem bei komplexen Wassersituationen (hohen PFC-Konzentrationen, hohen DOC-Hintergrundbelastungen, hohen anorganischen Querbelastungen [z.B. Eisen]) in nur einer wesentlichen Verfahrensstufe eine parallele Behandlung der Inhaltsstoffe erfolgen kann. Zudem wird der Verbrauch an Adsorbentmaterial (Aktivkohle, Ionenaustauscher, o.ä.) durch die Senkung der PFC-Konzentration deutlich reduziert.



**Abbildung 13: Prinzip des PerfluorAd-Verfahrens durch den Einsatz flüssiger Wirkstoffe; hier dargestellt in einer beispielhaften Kombination mit Adsorptionsverfahren**

Die Anwendbarkeit des PerfluorAd-Verfahrens wurde in den vergangenen Jahren in mehreren Studien, Pilotanwendungen und mittlerweile auch in großtechnischen PFC-Grundwassersanierungen nachgewiesen, so dass dem Sanierungsmarkt nun eine ausgereifte Technologie zur Verfügung steht. Es empfiehlt sich - und dieses trifft nicht nur für die PerfluorAd-Technologie, sondern für sämtliche Verfahren zur Reinigung PFC-belasteter Wässer zu - projektbezogen eine Validierung der Aufbereitungstechnologie durchzuführen, insbesondere, um für die jeweiligen Randbedingungen die aus den speziellen Verfahren resultierenden Betriebskosten sowie die technische Effizienz zu ermitteln.

Im Rahmen der in diesem Bericht dokumentierten Technikumsversuche wurde das PerfluorAd-Verfahren getestet, welches auf dem zuvor erläuterten Prinzip der Fällung von gelösten PFC-Verbindungen beruht.

Die Versuche wurden in dem Technikum der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH in Essen (NRW) durchgeführt. Für die Durchführung wurde ein sog. Reihenrührgerät verwendet (siehe Abbildung 7). Die Versuche wurden mit jeweils 800 ml Probenvolumen durchgeführt. Die Zeit zwischen der Zuführung des jeweiligen Wirkstoffes und Beendigung des Versuches (sog. Reaktionszeit) betrug durchgängig 0,5 Stunden.



**Abb. 14: Reihenrührwerk für Technikumsversuche (sog. Batch-Versuche / Jar-Tests)**

#### 4. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Die maßgeblichen Zielsetzungen der Technikumsversuche waren folgende:

- **Überprüfung der Eignung des PerfluorAd-Verfahrens zur (Vor-)Behandlung der aus dem Raum Rastatt und Baden-Baden zur Verfügung gestellten Wässer**
- **Identifizierung des für einen guten Behandlungserfolg erforderlichen geringstmöglichen Wirkstoffeinsatzes**

Im Rahmen der durchgeführten und mit diesem Bericht dokumentierten Technikumsversuche wurden folgende Wirkstoffe betrachtet:

- a. **Flüssigwirkstoff PerfluorAd 1.5 D [Lieferant: Cornelsen]**
- b. **Flüssigwirkstoff PerfluorAd 3.0 [Lieferant: Cornelsen]**

Es gibt vielfältige Möglichkeiten zur Darstellung von Ergebnissen. In dieser Dokumentation werden nur eine Auswahl exemplarisch ausgewählter Kurven und Daten abgebildet, die einen ersten Eindruck über die erzielten Ergebnisse liefern sollen. Bei sämtlichen Diagrammen wurde auf der X-Achse die eingesetzte Wirkstoffmenge in mg/L aufgetragen. Auf den Y-Achsen der einzelnen Diagramme wurden folgende Parameter dargestellt:

- Konzentration Summe PFC [ $\mu\text{g/L}$ ]
- Eliminationsrate für Summe PFC [%]
- Entwicklung der Quotientensumme [ - ]
- Senkung der Quotientensumme [%]

##### 4a. Ergebnisse „Löschwasserbrunnen Meier“

Bei der analysierten PFC-Konzentration des Rohwassers von  $8,02 \mu\text{g/L}$  (bzw.  $7,58 \mu\text{g/L}$ ) konnte ein niedrigster Wert von  $3,27 \mu\text{g/L}$  für die Summe PFC nach einer Zugabe von  $7,5 \text{ mg/L}$  PerfluorAd 3.0 bestimmt werden (siehe Abb. 15). Dieses entspricht einer Eliminationsrate von 56,9% (siehe Abb. 16). Das angestrebte Minimalziel einer Reduzierung des Schadstoffgehaltes von um mindestens 50% konnte somit erreicht und sogar geringfügig übertroffen werden.

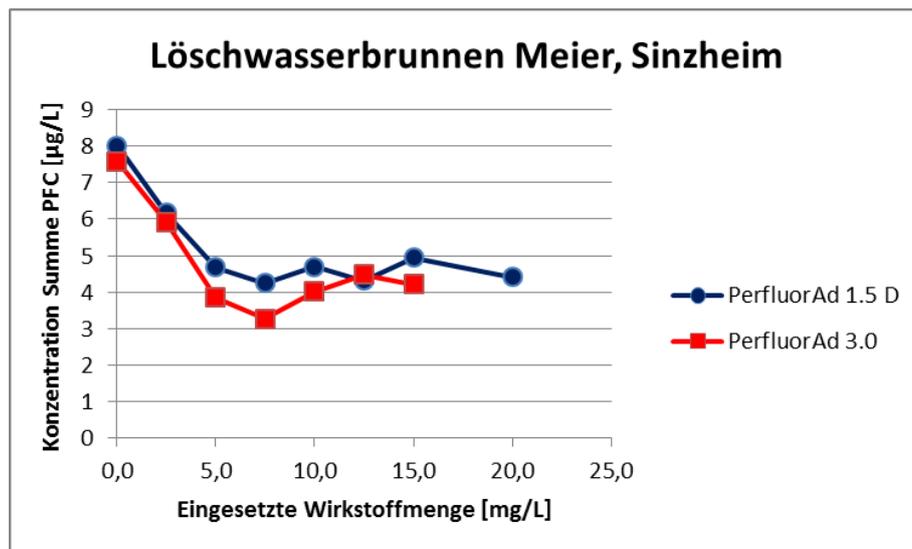


Abbildung 15: Senkung der PFC-Konzentration (Summe PFC) für Löschwasserbrunnen Meier

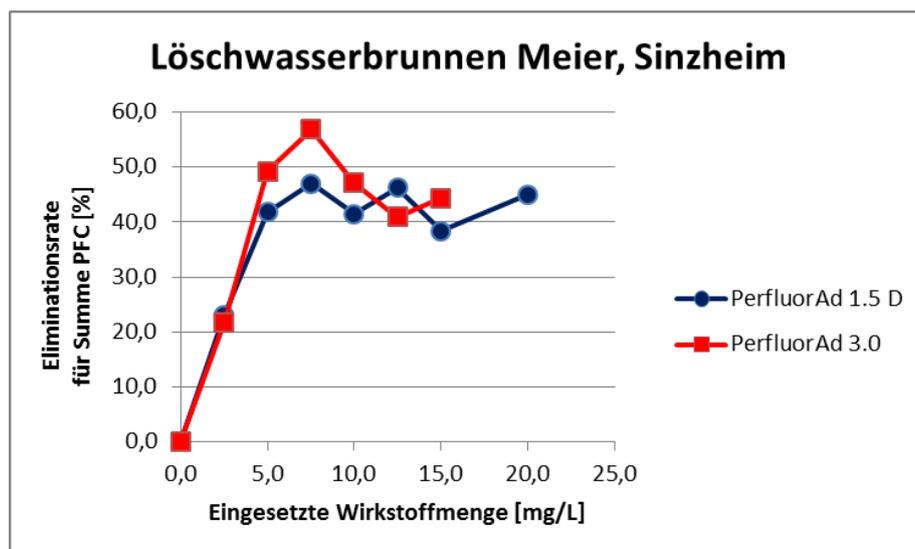


Abbildung 16: Eliminationsrate für Summe PFC für Löschwasserbrunnen Meier

Bei Betrachtung der Veränderung der Quotientensumme fällt die Effizienz der Behandlung noch positiver aus. Die Quotientensumme wurde mit 17,17 bzw. 16,86 [ - ] bestimmt. Bei dem Einsatz von 7,5 mg/L PerfluorAd 3.0 konnte eine Senkung der Quotientensumme auf 4,08 [ - ] beobachtet werden (siehe Abb. 17). Dieser Wert entspricht einer Senkung der Quotientensumme von 75,8% (siehe Abb. 18).

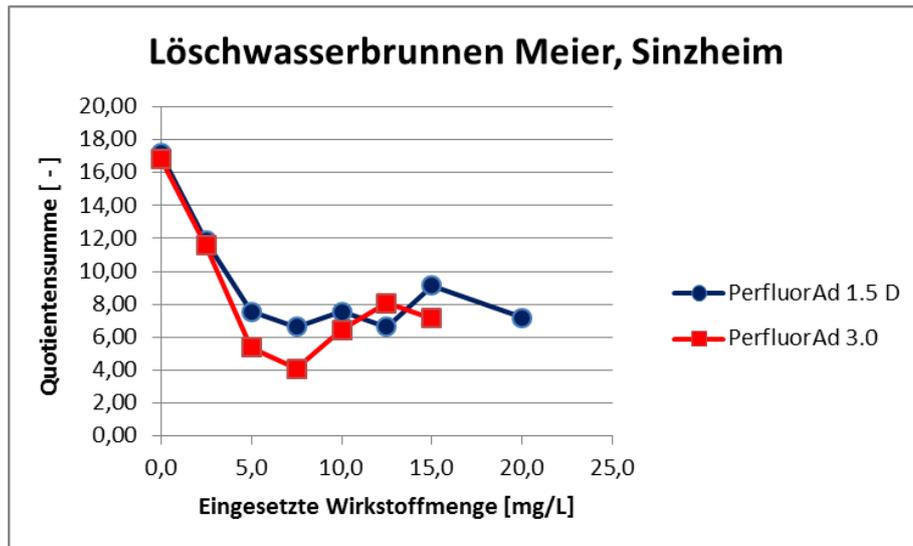


Abbildung 17: Senkung der Quotientensumme [-] für Löschwasserbrunnen Meier

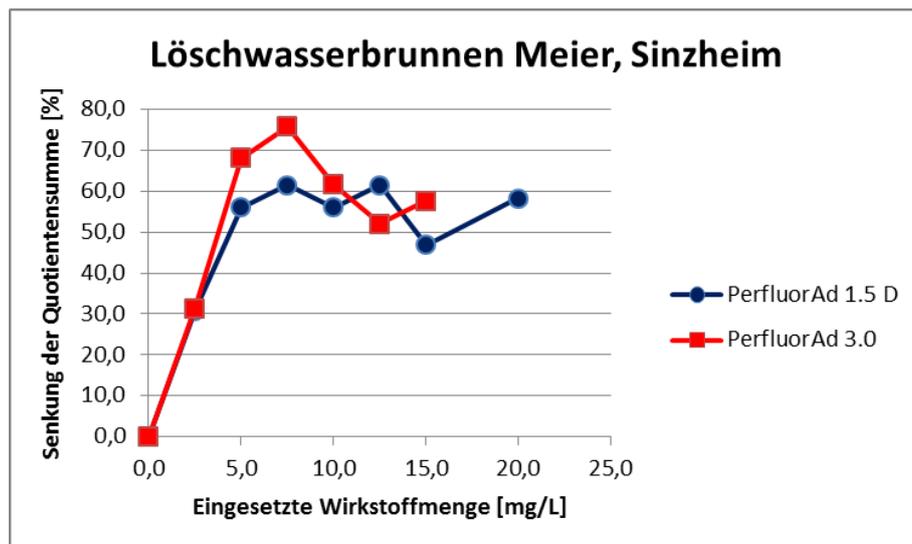


Abbildung 18: Senkung der Quotientensumme [%] für Löschwasserbrunnen Meier

#### 4b. Ergebnisse „Sandweiher GWM Y 12“

Das mit 7,38 bzw. 6,71 µg/L (Summe PFC) belastete Wasser aus Sandweiher GWM Y 12 ist geringfügig niedriger verunreinigt als das Wasser aus dem Löschwasserbrunnen Meier.

Bei einer Dosierung von 12,5 mg/L PerfluorAd 3.0 konnte ein minimaler Wert für die Summe PFC von 2,91 µg/L ermittelt werden (siehe Abb. 19). Dieser Wert entspricht einer Eliminationsrate für die Summe PFC von 60,6% (siehe Abb. 20).

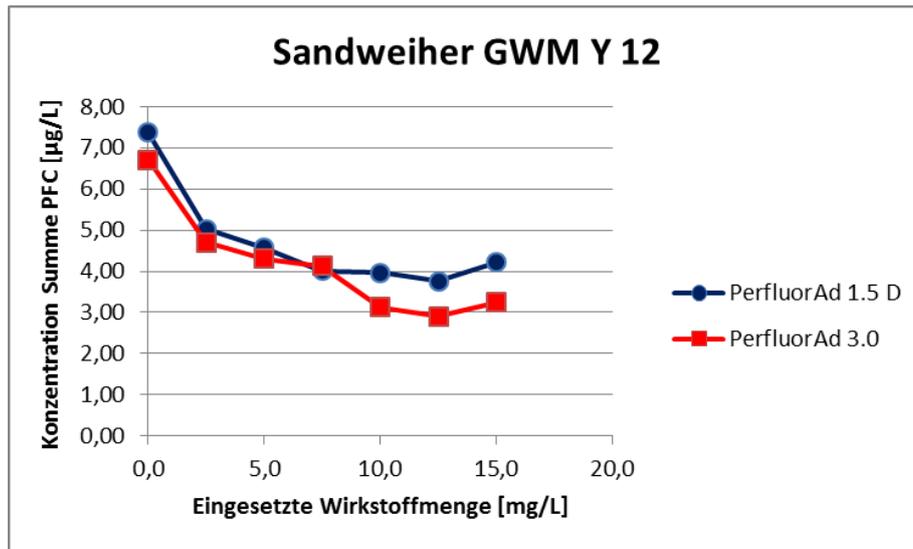


Abbildung 19: Senkung der PFC-Konzentration (Summe PFC) für Sandweiher GWM Y 12

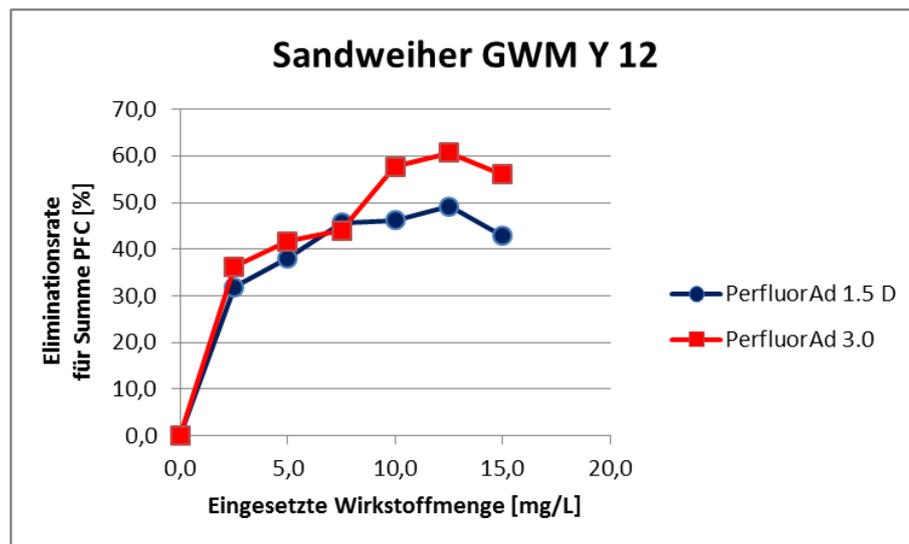


Abbildung 20: Eliminationsrate für Summe PFC für Sandweiher GWM Y 12

Betrachtet man die Quotientensumme, so ergibt sich für Sandweiher bei einer Dosierung von 12,5 mg/L PerfluorAd 3.0 eine Reduzierung von anfänglich 14,85 bzw. 14,02 [ - ] auf 3,44 (siehe Abb. 21), was einer Senkung von 75,4% entspricht (siehe Abb. 22).

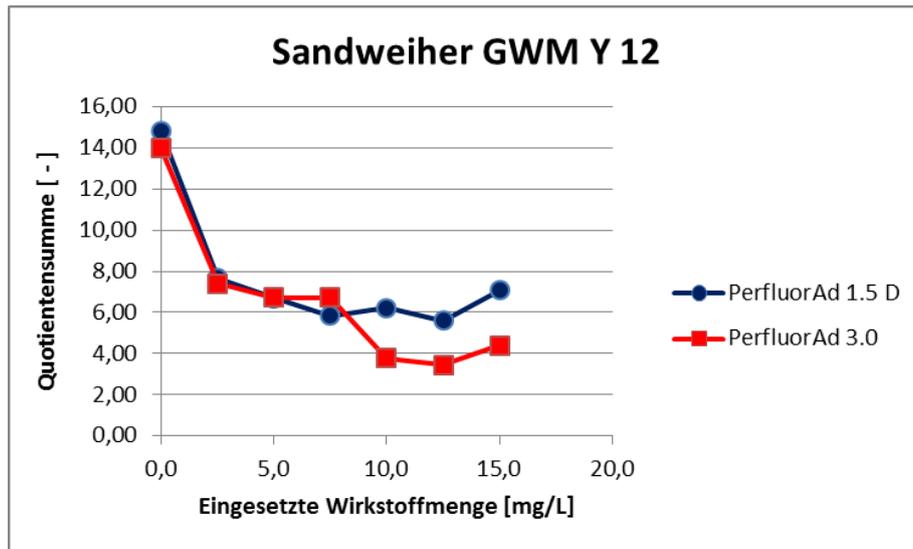


Abbildung 21: Senkung der Quotientensumme [- ] für Sandweiher GWM Y 12

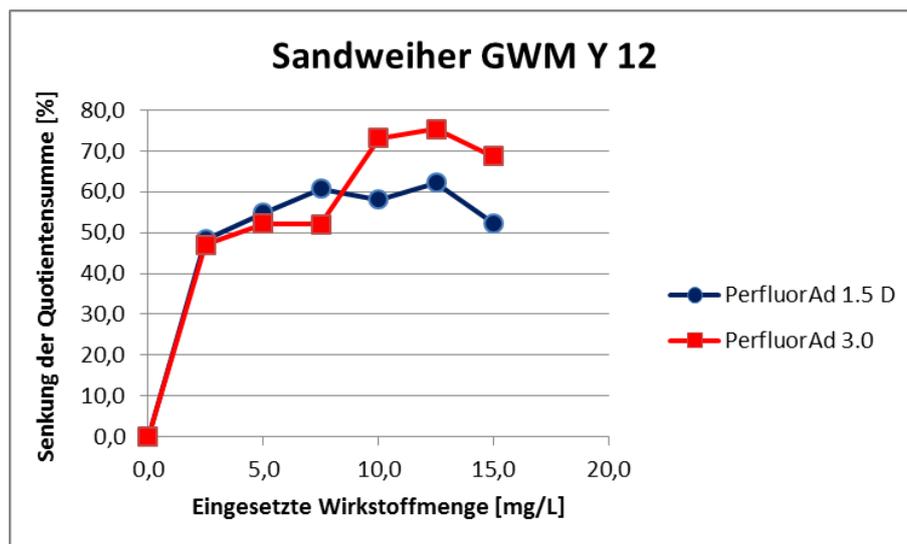


Abbildung 22: Senkung der Quotientensumme [%] für Sandweiher GWM Y 12

#### 4c. Ergebnisse „Wasserwerk Förch“

Die Wasserprobe des Wasserwerks Förch wurde mit 4,77 bzw. 4,16 µg/L Summe PFC bestimmt. Bei einer Zuführung von 15 mg/L PerfluorAd 3.0 konnte eine Restkonzentration von 2,72 bzw. 2,47 µg/L erzielt werden (siehe Abb. 23).

Dieses entspricht einer erreichten Elimination von 43,0 % (siehe Abb. 24). Der Kurvenverlauf lässt bei der Dosierung von 15,0 mg/L PerfluorAd noch keinen Tiefpunkt erkennen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass bei einer weiteren Erhöhung der Dosierate eine weitergehende Verbesserung der Elimination erreicht werden könnte.

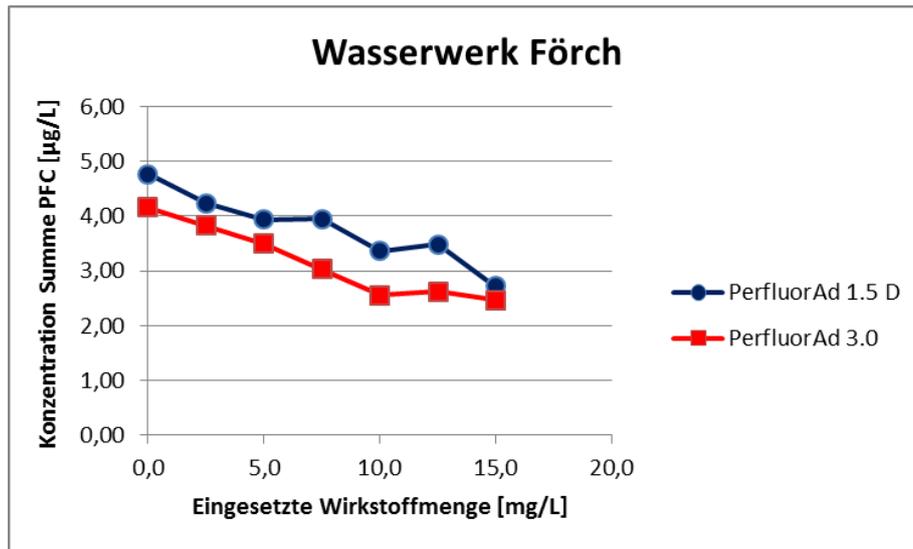


Abbildung 23: Senkung der PFC-Konzentration (Summe PFC) für Wasserwerk Förch

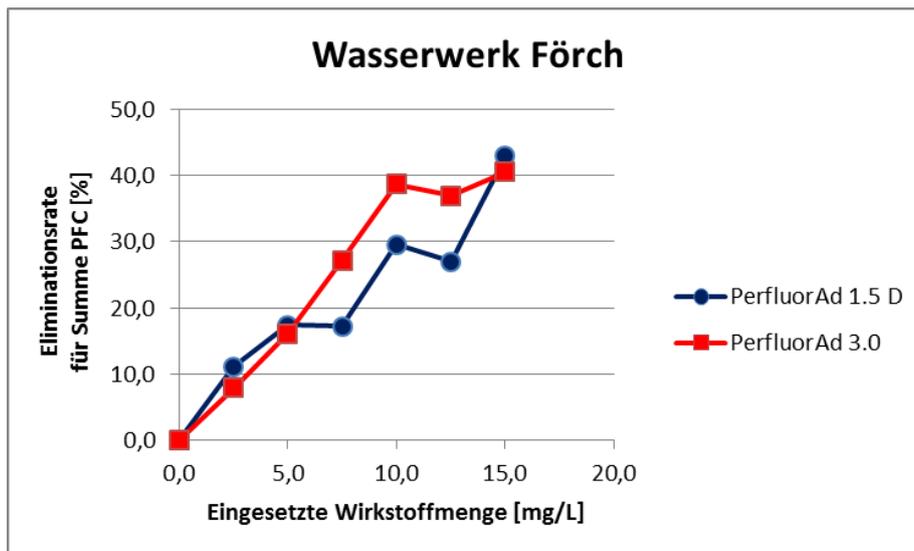


Abbildung 24: Eliminationsrate für Summe PFC für Wasserwerk Förch

Bei Ausgangswerten von 7,41 bzw. 6,41 [ - ] konnte ein niedrigster Wert für die Quotientensumme von 2,12 [ - ] bei 15,0 mg/L PerfluorAd 3.0 beobachtet werden (siehe Abb. 25). Die Auswertung der Kurven für die Quotientensumme lassen ebenfalls einen Trend erkennen, der bei einer weiteren Erhöhung der Dosierate eine weitergehende Senkung der Quotientensumme erwarten lässt. Insbesondere bei Einsatz des Produktes PerfluorAd 1.5 scheint eine weitere Reduzierung der Quotientensumme wahrscheinlich.

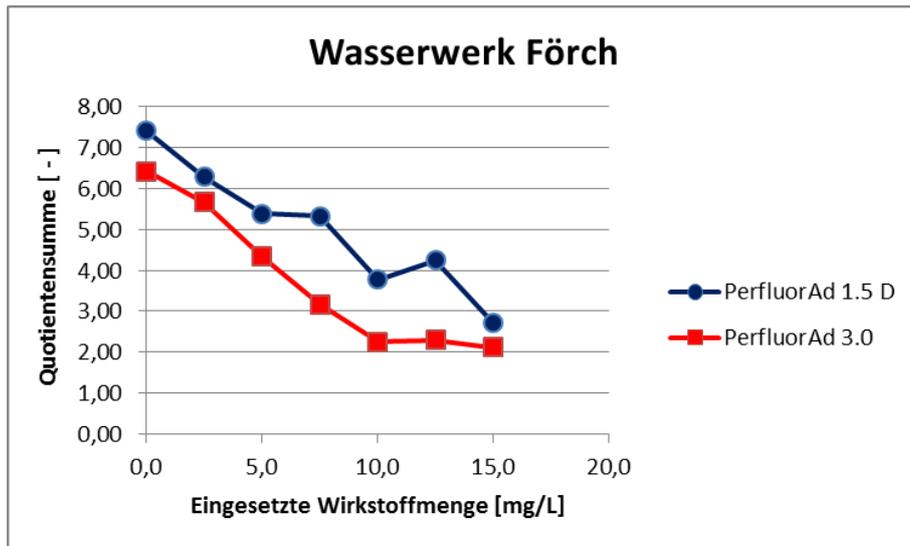


Abbildung 25: Senkung der Quotientensumme [ - ] für Wasserwerk Förch

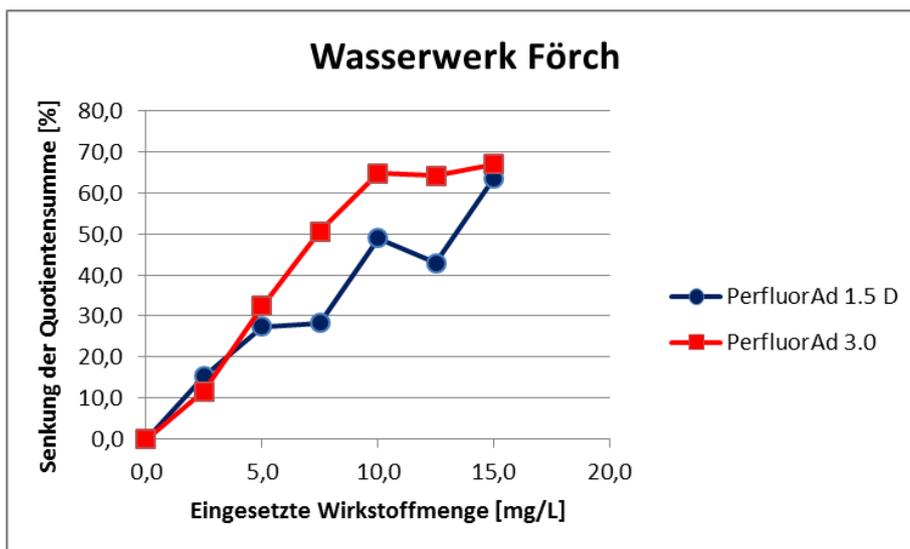


Abbildung 26: Senkung der Quotientensumme [%] für Wasserwerk Förch

In Abbildung 26 ist erkennbar, dass bei einer Dosierrate von 15,0 mg/L PerfluorAd 3.0 eine Senkung der Quotientensumme von bereits 66,9% erreicht wurde, die bei einer weiteren Steigerung der Dosierung noch zu erhöhen sein sollte.

## 5. Schlussfolgerungen

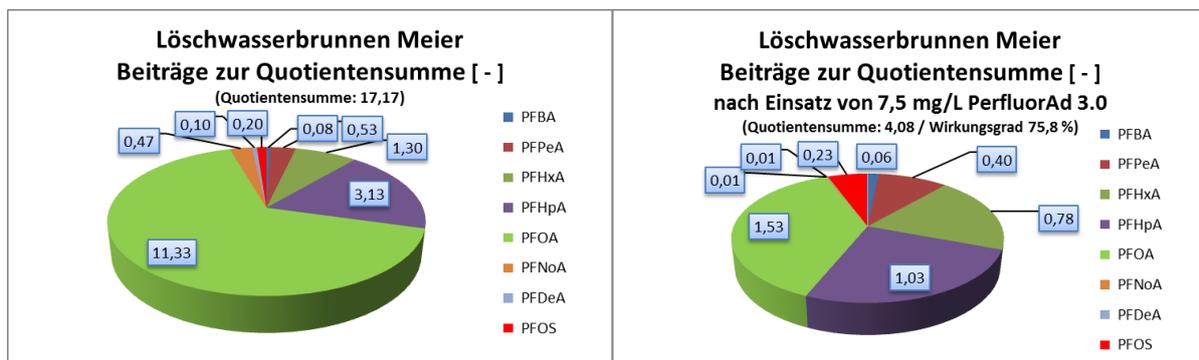
Die Ergebnisse lassen erkennen, dass bei einem Einsatz von PerfluorAd-Materialien sowohl die PFC-Gehalte [ $\mu\text{g/L}$ ] als auch die Quotientensummen [ - ] bei sämtlichen drei untersuchten Wässern wahrnehmbar reduziert werden können. Somit ist anzunehmen, dass bei einer großtechnischen Anwendung von PerfluorAd zur Vorbehandlung der Wässer gute Chancen bestehen, die Laufzeit der nachgeschalteten Aktivkohlefilter zu optimieren und somit die Sanierungskosten zu reduzieren.

Als Grundlage für die Auswertung dienten die Werte und Vorgaben aus dem Ministerialerlass vom 17.06.2015. Bei anderslautenden GFS-Werten u./od. Vorgaben bzgl. der Additionsregel, wie diese in dem derzeit gültigen Erlass (siehe Lit. 1) definiert sind, könnten sich abweichende Berechnungen für die Quotientensumme und somit andere Bewertungen ergeben.

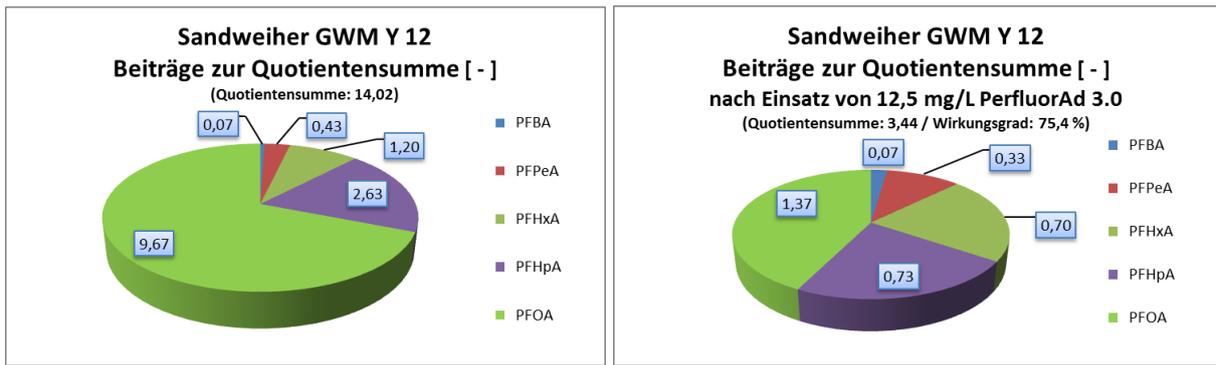
## 6. Zusammenfassung

In den von der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH mit drei Wässern aus dem Raum Rastatt / Baden-Baden (Löschwasserbrunnen Meier; Sandweiher GWM Y 12; Wasserwerk Förch) durchgeführten Technikumsversuchen konnte eine grundsätzliche Eignung der PerfluorAd-Flüssigwirkstoffe zur Reduzierung der anstehenden PFC-Belastung des Grundwassers nachgewiesen werden.

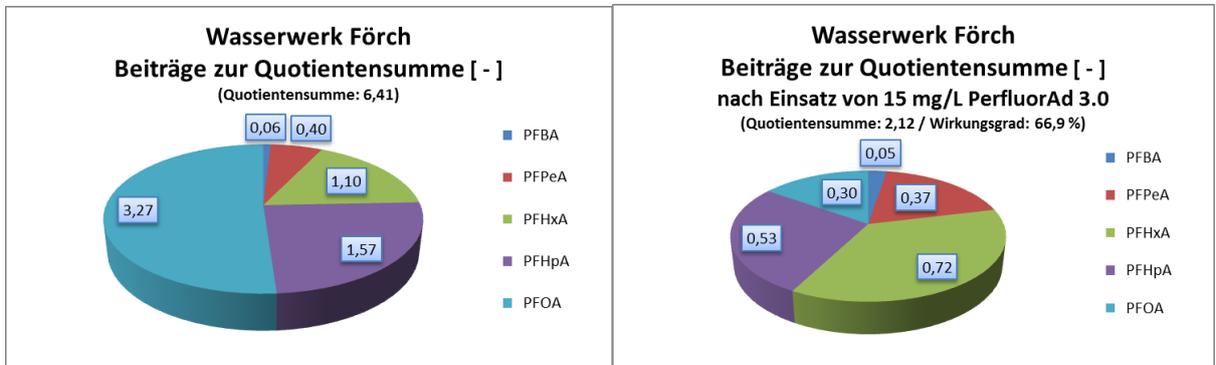
Der mit dem Flüssigwirkstoff PerfluorAd verbundene Anspruch, mit einer möglichst geringen Wirkstoffmenge eine wahrnehmbare Senkung der Schadstoffbelastung erreichen zu können, konnte ebenfalls bestätigt werden. In den folgenden Abbildungen 27, 28 und 29 werden die Quotientensumme sowie die Beiträge der PFC-Einzerverbindungen zur jeweiligen Quotientensumme für die drei Wässer grafisch dargestellt. Vergleichend werden diesen Grafiken die mit der jeweils optimalen PerfluorAd-Dosierate erzielten Bestwerte der Quotientensummen gegenübergestellt.



**Abbildung 27: Gegenüberstellung der Beiträge zur Quotientensumme für das unbehandelte sowie für das mit 7,5 mg/L PerfluorAd behandelte Wasser aus dem Löschwasserbrunnen Meier**



**Abbildung 28: Gegenüberstellung der Beiträge zur Quotientensumme für das unbehandelte sowie für das mit 12,5 mg/L PerfluorAd behandelte Wasser aus Sandweier GWM Y 12**



**Abbildung 29: Gegenüberstellung der Beiträge zur Quotientensumme für das unbehandelte sowie für das mit 15 mg/L PerfluorAd behandelte Wasser des Wasserwerks Förch**

Die in den Technikumsversuchen erhobenen Daten deuten darauf hin, dass bei einer großtechnischen Anwendung der PerfluorAd-Technologie zur Vorbehandlung der jeweiligen Wässer vor einer Aktivkohlestufe der Aktivkohleverbrauch minimiert bzw. die Laufzeiten der Aktivkohlefilter verlängert werden können. Konkrete Daten und Berechnungen dazu könnten im Rahmen von halbtechnischen Vorversuchen erhoben werden.

Essen, 17.01.2017

**Cornelsen Umwelttechnologie GmbH**

Martin Cornelsen