



## Mitteilungen des Umweltbundesamtes zu per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) in Trinkwasser

Berichte über Funde von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC)<sup>1</sup> in Trinkwasser häufen sich weltweit. Auch in Europa sind PFC bereits im Roh- und Trinkwasser gefunden worden, z. B. [1, 2, 3, 4]. In Deutschland wird aktuell über einen Fall in Baden-Württemberg berichtet. In Baden-Württemberg sind ca. 400 Hektar Boden mit PFC verunreinigt. In Rastatt und anderen Gemeinden wurden die Chemikalien auch im Grundwasser nachgewiesen, das für die Trinkwasserversorgung verwendet wird. Dies hatte u. a. bereits die Schließung von Trinkwasserbrunnen zur Folge. Da PFC auch in Feldfrüchten nachgewiesen worden sind, hat die PFC-Verunreinigung auch unmittelbare Konsequenzen für die Landwirte der Region. Als Ursache wird das jahrelange Aufbringen von Kompost, der illegal mit Abfällen aus der Papierindustrie versetzt wurde, diskutiert. Ein Wasserversorger deckte diese Kontamination durch eine Wasseranalyse auf PFC auf [5].

Zu den PFC zählen mehr als 3000 Stoffe [6]. Aufgrund unterschiedlicher chemischer Eigenschaften werden PFC in langkettige und kurzkettige Stoffe unterteilt. Allen gemeinsam ist eine vollständig fluorierte (per) oder teilfluorierte (poly) aliphatische Kohlenstoffkette, die mit einer funktionellen Gruppe verbunden ist (Tabelle 1). Polyfluorierte Chemikalien können zu den persistenten perfluorierten Sulfon- oder Carbonsäuren abgebaut werden.

<sup>1</sup> Oft wird für PFC auch die Abkürzung PFT (perfluorierte Tenside) verwendet, im Englischen wird meist die Bezeichnung PFASs (per- and polyfluoroalkyl substances) verwendet.

Langkettige PFC gelten als besonders besorgniserregende Stoffe unter der Europäischen Chemikalienverordnung REACH (siehe Infobox 1). Sie sind sehr langlebig, reichern sich in Organismen an und einige Vertreter zeigen zudem reproduktionstoxische und bei vergleichsweise hoher Exposition auch kanzerogene Eigenschaften [7, 8, 9, 10]. Im menschlichen Blut und in Muttermilch der Allgemeinbevölkerung sind einige Vertreter der Stoffgruppe nachweisbar. Aus Sicht des Umweltbundesamtes sind die zunehmend als Alternativen verwendeten kurzkettigen PFC auf Grund ihrer persistenten und ihrer sehr hohen Mobilität bei einer Freisetzung in die Umwelt ebenfalls besorgniserregend.

### Eigenschaften und Verwendung von PFC

PFC sind resistent gegen Hitze, UV-Strahlung und werden kaum abgebaut. Die Persistenz beruht auf dem Abschirmungseffekt der Fluoratome, wodurch nukleophile Angriffe auf die Kohlenstoffkette blockiert werden. Aufgrund der hohen Bindungsenergien zählen hochfluorierte Alkane zu den stabilsten organischen Verbindungen. Die Moleküle sind außerdem sowohl wasser- als auch fettabweisend und zeichnen sich durch einen geringen Reibungswiderstand aus. Zudem sind PFC oberflächenaktiv und amphiphil. Aus diesen einzigartigen Eigenschaften ergeben sich

### Infobox 1 Besonders besorgniserregende Stoffe unter REACH

Die Europäische Chemikalienverordnung REACH (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006) definiert besonders besorgniserregende Stoffe (sogenannte Substances of Very High Concern (SVHC)) in Artikel 57. Dazu gehören:

- krebserregende, erbgutschädigende oder fortpflanzungsschädigende Stoffe (CMR),
- persistente, bioakkumulierende und toxische Stoffe (PBT),
- sehr persistente, sehr bioakkumulierende Stoffe (vPvB),
- Stoffe mit einer ähnlichen Besorgnis wie z. B. solche mit hormonähnlichen Wirkungen.

Die Kriterien, die Chemikalien aufgrund ihrer intrinsischen Eigenschaften erfüllen müssen, um als besonders besorgniserregend eingestuft zu werden, sind in Anhang XIII der REACH-VO definiert. Laut REACH sind Emissionen von besonders besorgniserregenden Stoffen auf ein Minimum zu reduzieren und die Stoffe sind zu substituieren.

Behörden der EU-Mitgliedstaaten oder die Europäische Chemikalienbehörde (ECHA) können Stoffe als besonders besorgniserregende Stoffe vorschlagen, deren Eigenschaften dann vom Ausschuss der Mitgliedstaaten (Member State Committee (MSC)) bewertet werden. Identifiziert das MSC einen Stoff als besonders besorgniserregend, wird er der Kandidatenliste zugefügt. Damit ergeben sich Auskunftspflichten für Hersteller und Importeure (Gehalte der besonders besorgniserregenden Stoffe von mehr als 0,1% im Produkt müssen der ECHA gemeldet werden) sowie Auskunftsrechte für Verbraucher. Auf Anfrage müssen Hersteller Verbrauchern innerhalb von 45 Tagen mitteilen, ob Stoffe der Kandidatenliste in Produkten enthalten sind.

Stoffe, die auf der Kandidatenliste stehen, können in den Anhang XIV von REACH aufgenommen werden. Dadurch sind die Verwendung und das Inverkehrbringen der Stoffe verboten. Unternehmen können jedoch Zulassungsanträge für einzelne Verwendungen stellen, wenn keine Alternativen vorhanden sind.

**Tab. 1** Terminologie der per- und polyfluorierten Chemikalien

Perfluorierte Sulfonsäuren (PFSA) Langkettig: $n \geq 5$ Kurzkettig: $n < 5$	
Perfluorierte Carbonsäuren (PFCA) Langkettig: $n \geq 6$ Kurzkettig: $n < 6$	
Bsp. für polyfluorierte Chemikalien: Fluortelomeralkohole	

vielfältige Anwendungen, z. B. in filmbildenden Feuerlöschschäumen, als Netzmittel in der Galvanik, in Reinigungsmitteln, Poliermitteln, Medizinprodukten und als Hilfsmittel bei der Halbleiterherstellung. Die Chemikalien werden in Pestizidformulierungen, Bioziden und auch in Kosmetikprodukten verwendet [10, 11, 12].

Bestimmte PFC werden als Emulgator bei der Fluorpolymerherstellung, wie z. B. Polytetrafluorethylen (PTFE) eingesetzt. Fluorpolymere werden in diversen Produkten verwendet, um entweder Reibungswiderstände (z. B. als Beschichtungen in Automobilen und Flugzeugen, in Druckerfarben, Wachsen und Schmierstoffen) oder Anhaftungen (z. B. bei Kochgeschirr) zu verringern. PTFE wird zudem häufig als wasserdichte und atmungsaktive Membran in Wetterschutzkleidung eingesetzt [10, 13].

In Verbraucherprodukten sind oftmals fluortelomerbasierte Polymere<sup>2</sup>, z. B. polyfluorierte Acrylate, enthalten, um wasser-, schmutz- und fettabweisende Eigenschaften zu generieren. Die polyfluorierten Ketten sind dabei als Seitenketten an einem Polymer gebunden. Die Anwendungen sind ebenfalls vielfältig und reichen von ausgerüsteten Textilien, Teppichen, fettabweisenden Lebensmittelverpackun-

gen, bis hin zu Farben und Imprägnierungen von Holz und Fliesen [10, 11].

Langkettige PFC werden heute in vielen Anwendungen durch kurzkettige PFC ersetzt [10].

### Eintragspfade von PFC in die Umwelt

Die vielfältigen Verwendungen führen zu diffusen Einträgen dieser Stoffe in die Umwelt.

Grundsätzlich werden PFC während des gesamten Lebenszyklus in die Umwelt emittiert, d. h. von der Herstellung der Chemikalien bis hin zur Entsorgung von Verbraucherprodukten, die mit PFC ausgerüstet sind, finden Emissionen in die Umwelt statt.

Die polyfluorierten Monomere in fluortelomerbasierten Polymeren sind nur zu ca. 98 % fest am Polymer gebunden. Die freien Monomere im Polymer werden während der Gebrauchsphase des Erzeugnisses in Luft oder Wasser emittiert. Außerdem weisen Studien darauf hin, dass die fluortelomerbasierten Polymere ebenfalls im Laufe der Zeit abgebaut werden und perfluorierte Chemikalien freisetzen. Auch Spuren von PFC, die sich in Fluoropolymeren nachweisen lassen, werden durch den Gebrauch der beschichteten Produkte in die Umwelt eingetragen [10].

Zu den Punktquellen von PFC zählen die Anlagen in denen PFC und auch

Fluorpolymere und fluortelomerbasierte Polymere hergestellt und verwendet werden. Dies können z. B. Chemieunternehmen aber auch textilveredelnde Industrie, Papierhersteller, lederverarbeitende Industrie, Galvanikbetriebe, Hersteller und Anwender von Feuerlöschmitteln, Hersteller von Elektronik und Elektrotechnik usw. sein [11, 10]. Mülldeponien stellen ebenfalls eine Quelle der Chemikalien dar. PFC können hier in die Luft entweichen oder mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden. Ob bei der Verbrennung von PFC-haltigen Abfällen in Müllverbrennungsanlagen besorgniserregende Stoffe in die Umwelt emittiert werden, wird in der Literatur kontrovers, diskutiert [14].

Kommunale und industrielle Kläranlagen zählen zu den wichtigsten Punktquellen von wasserlöslichen und auch flüchtigen PFC in der Umwelt [4, 15]. Die Schadstoffe werden z. B. durch das Waschen von Textilien, die mit PFC ausgerüstet sind, in das Abwasser eingetragen. In Kläranlagen können flüchtige PFC in die Atmosphäre emittiert werden. Außerdem erfolgt ein Abbau der polyfluorierten Chemikalien zu den langlebigen perfluorierten Stoffen. Diese persistenten perfluorierten Chemikalien werden während der Reinigungsstufen in der Kläranlage nicht abgebaut. PFC verbleiben in der Wasserphase und werden in das Oberflächengewässer eingetragen. Langkettige PFC adsorbieren aber auch an Partikel und reichern sich im Klärschlamm an [16]. Werden Klärschlämme in der Landwirtschaft auf den Boden aufgebracht, z. B. als Dünger, so wird der Boden mit PFC verunreinigt. Neben dem bereits genannten Beispiel von Rastatt in Baden-Württemberg wurden bereits vor einigen Jahren im Hochsauerlandkreis in Nordrhein-Westfalen Bioabfallgemische illegal mit PFC-haltigen Resten aus der Papierindustrie vermischt, die dann als Dünger auf den Boden aufgebracht wurden. Die Chemikalien wurden mit der Zeit in Oberflächengewässer ausgeschwemmt. Dies führte zu einer PFC-Verunreinigung des Möhnestausees, der zur Trinkwassergewinnung dient [17]. In der Bevölkerung der Region Arnsberg, die mit dem Wasser der Möhnetalsperre versorgt wird, wurden im Jahr 2006 4–8-fach höhere PFC-

<sup>2</sup> Fluortelomerbasierte Polymere werden auch als fluorierte Polymere bezeichnet

Gehalte im Blut gemessen als in unbelasteten Vergleichskollektiven [18]. Nach Reduzierung der PFC-Kontamination des Trinkwassers durch Aktivkohlefiltration sowie Verminderung des weiteren Eintrags von PFC in die Oberflächengewässer zeigte sich bei Wiederholungsmessungen im Jahr 2012 ein Rückgang der PFOA-Belastung um 75 % im geometrischen Mittel [19]. Hierbei betrug der geometrische PFOA-Mittelwert für Kinder 5,1 µg/L, für deren Mütter 5,2 µg/L. Weitere Daten zur PFC-Belastung von Mutter-Kind-Paaren, die zum einen in Bochum kontaminiertes Trinkwasser zu sich genommen hatten, zum anderen in Duisburg unbelastetes Trinkwasser konsumiert hatten, finden sich bei Wilhelm et al., 2015 [20].

Zu erhöhten PFC-Gehalten in der Umwelt führt der umweltoffene Einsatz von fluorhaltigen Feuerlöschschäumen, Feuerlöschschäumen [21, 10]. Diese sogenannten filmbildenden Schäume werden insbesondere zum Löschen brennender Flüssigkeiten eingesetzt (sogenannte AFFF-Schäume: Aqueous Film Forming Foam). Feuerwehren benutzten solche Feuerlöschschäume in der Vergangenheit auch für Übungen [10, 22]. Das Landesamt für Umwelt und Verbraucherschutz in Nordrhein-Westfalen (LANUV) zeigt in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2015, dass über 50 % der PFC-Schadensfälle in Nordrhein Westfalen auf die Verwendung von Löschmitteln zurückzuführen sind [23]. Schadenfälle sind hier z. B. die PFC-Verunreinigung von Boden und Grundwasser am Flughafen Düsseldorf, der stellvertretend für viele andere Flughäfen und andere Standorte steht, an denen PFC-haltiger Löschschaum verwendet wurde [24]. Die Grundwasserkontamination am Flughafen Düsseldorf führte auch zur Verunreinigung eines umliegenden Sees mit PFC, dessen Nutzung deshalb behördlich untersagt ist [25]. Die langwierige Sanierung wird auch in Zukunft hohe Kosten verursachen.

In einem weiteren Fall in Düsseldorf führte das Löschen eines Lagerbrandes mit PFC-haltigem Feuerlöschschaum zu großflächigen Grundwasser- und Bodenverunreinigungen mit PFC. Es folgten Brunnenschließungen in einer Kleingartenanlage und aufwendige Sanierungen

des verunreinigten Boden- und Wasserkörpers [25].

Erhöhte PFC-Konzentrationen in privatem Brunnenwasser wurden in der Nähe eines Löschübungsplatzes der Feuerwehr in Köln ermittelt. Im Blut der Menschen, die dieses Wasser als Trinkwasser verwendeten, wurden ebenfalls erhöhte PFC-Werte nachgewiesen. Der Einsatz PFC-haltiger Löschschäume ist hier möglicherweise der Grund für die Verunreinigung des Wassers [26]. Grundsätzlich führt bzw. führte jeder umweltoffene Einsatz von fluorhaltigen Löschmitteln zur Verunreinigung von Boden und Grundwasser mit PFC.

Nach dem Aufbringen von PFC auf Boden, z. B. durch Verwendung von Klärschlamm oder durch Löscheinsätze mit PFC-haltigen Löschschäumen kann es allerdings Jahre dauern, bis langkettige PFC in den Grundwasserkörper ausgewaschen werden. Kurzkettige PFC dagegen sind äußerst mobil und werden kaum vom Boden zurückgehalten. Deshalb werden sie sehr schnell aus dem Boden in die darunter liegende Wasserphase verlagert [27, 28]. Heutige Techniken zur Wasseraufbereitung sind kaum in der Lage diese zu entfernen [29]. Die Schadstoffe werden außerdem von Pflanzen aus dem Boden aufgenommen [30, 31, 32]. Insbesondere kurzkettige PFC lagern sich in Gemüse und Obst ein [33].

## PFC im menschlichen Organismus

Menschen nehmen PFC hauptsächlich über die Nahrung, verunreinigtes Trinkwasser und Staubpartikel auf. PFC wurden in einer Reihe von Nahrungsmitteln nachgewiesen, z. B. in Kartoffeln, Popcorn, Fleisch, Milchprodukten, Eiern, Fisch, Salat. Quellen sind hier entweder PFC in Boden, Wasser und Luft oder die Präsenz der Chemikalien in Verpackungsmaterialien (siehe **Infobox 2** Verteilung der PFC in der Umwelt) [34, 35, 12].

Auch erhöhte Konzentrationen in Innenräumen – zum Beispiel durch mit PFC behandelte Teppiche oder Möbelstücke – tragen zur PFC-Belastung im Blut bei. Kleinkinder nehmen PFC zusätzlich durch erhöhte Hausstaubexpositionen beim Krabbeln auf [36].

Für einige langkettige PFC ist bekannt, dass sie toxisch sind. Perfluoroktansulfonäure (PFOS), Perfluoroktansäure (PFOA), Perfluorononansäure (PFNA) und Perfluordekansäure (PFDA) sind als reproduktionstoxisch in der Kategorie 1B eingestuft. Diese PFC können sich nachteilig auf die Fortpflanzung auswirken. PFOA kann zudem die Immunität nach einer Impfung beeinträchtigen sowie den Fettstoffwechsel und den Hormonhaushalt beeinflussen z. B.: [37, 38, 39, 40]<sup>3</sup>. Auch für kürzerkettige PFC liegen Hinweise aus aquatischen Studien vor, dass sie den Hormonhaushalt beeinflussen [41, 42].

Langkettige PFC haben Halbwertszeiten in menschlichem Blut. PFOA bindet an Albumin und weist im Blut eine Halbwertszeit von ca. 3,5 Jahren auf [10]. Langkettige perfluorierte Chemikalien werden weltweit im Blut der Allgemeinbevölkerung nachgewiesen [43, 36, 10].

Im Vergleich zu den langkettigen Vertretern ist die Verweildauer von kurzkettigen PFC im menschlichen Blut deutlich kürzer (im Bereich von Tagen bis Monaten) [44, 45]. Genau wie langkettige PFC binden auch die kurzkettigen Vertreter an Albumin im Blut [46].

PFC können die Placenta überwinden und werden dadurch bereits im Mutterleib auf den Fötus übertragen [47]. Stillende Mütter übertragen PFC durch die Muttermilch auf ihre Kinder [10].

## Was macht das Umweltbundesamt um Mensch und Umwelt vor PFC-Belastungen zu schützen?

Kürzlich wurden von der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes (HBM-Kommission) sogenannte HBM-I-Werte für PFOA und PFOS abgeleitet [48]. Der HBM-I-Wert kennzeichnet die Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bis zu der nicht mit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung zu rechnen ist und sich somit kein Handlungsbedarf ergibt. Für PFOA wurde ein HBM-I Wert von 2 ng PFOA/mL Blutplasma und für PFOS von 5 ng PFOS/mL Blutplasma festgelegt. Grundlage der

<sup>3</sup> Weitere Informationen liefert das C8-Science Panel: <http://www.c8sciencepanel.org/publications.html>

## Infobox 2 Verbreitung von PFC in der Umwelt

Durch die Verwendung der Stoffe seit den 1950er Jahren sind PFC mittlerweile ubiquitär in der Umwelt nachweisbar. Perfluorierte Chemikalien werden in der Umwelt weder abiotisch noch biotisch abgebaut und verbleiben daher nach einer Exposition über viele Jahrzehnte in der Umwelt. Die Stoffe werden in der Wasserphase oder partikelgebunden über Wasserströmungen in weit entfernte Gebiete, wie z. B. die Arktis, transportiert. Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren werden deshalb weltweit in Oberflächengewässern nachgewiesen.

Langkettige PFC adsorbieren während der Abwasserreinigung an Klärschlamm. Wegen seines hohen Nährstoffgehaltes wird Klärschlamm in der Landwirtschaft oft als Dünger verwendet. Dadurch können PFC in den Boden und somit ins Grundwasser gelangen, aber auch in angrenzende Oberflächengewässer abgeschwemmt werden [10, 12].

Kurzkettige PFC, die sogenannte C6 oder C4-Chemie, werden vermehrt als Alternativen für die langkettigen Verbindungen eingesetzt. Zum einen können sie durch ihre gute Wasserlöslichkeit und ihr geringes Adsorptionspotential die Gewässer bis hin zum Trinkwasser verunreinigen. Zum anderen können sie über weite Strecken bis in entlegene Regionen transportiert werden [2, 28, 50]. In der Atmosphäre werden hauptsächlich flüchtige PFC nachgewiesen. Dabei handelt es sich meist um polyfluorierte Stoffe, z. B. Fluortelomeralkohole. Solche Vorläuferstoffe werden zu den langlebigen Perfluorcarbon- und -sulfonsäuren abgebaut. Perfluorierte Chemikalien kommen auch partikelgebunden in der Atmosphäre vor. Luftströmungen verteilen die PFC über weite Strecken in der Atmosphäre. Eine Auswaschung erfolgt durch Niederschlagsereignisse, wodurch meist die perfluorierten Abbauprodukte fern der Eintragsorte in Böden und Gewässer eingetragen werden [10, 12, 50].

Bewertung ist Literatur zu humanepidemiologischen Studien gestützt durch Ergebnisse tierexperimenteller Studien. Somit liegen nunmehr toxikologisch begründete Beurteilungswerte für eine körperliche Belastung mit PFOA bzw. PFOS vor, die es Umweltmediziner und Verantwortlichen vor Ort erlauben, eine kritische Belastungssituation zu erkennen und Maßnahmen zur Beseitigung der Expositions-Quelle einzuleiten.

Die Trinkwasserverordnung legt bisher keine gesetzlich bindenden Grenzwerte für PFC fest. Allerdings wurden Vorsorgewerte für einige PFC von der Trinkwasserkommission am Umweltbundesamt neu abgeleitet (siehe auch die Empfehlung des Umweltbundesamtes „Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser“).

Für PFOS und PFOA wurden Trinkwasserleitwerte von 0,1 µg/L abgeleitet. Kürzlich hat auch die US-EPA die bestehenden Vorsorgewerte (Lifetime health advisory) für PFOA und PFOS in Trinkwasser abgesenkt. Diese liegen bei 70 ppt (0,070 µg/L) [49].

Auf Initiative des Umweltbundesamtes (UBA) wurden die langkettigen Perfluorcarbonsäuren mit einer Kohlenstoffkette von acht bis vierzehn Kohlenstoffatomen als besonders besorgniserregende Stoffe unter der Europäischen Chemikalienverordnung REACH (Verordnung (EG)

Nr. 1907/2006) identifiziert. Als besonders besorgniserregend gelten Stoffe zum Beispiel wegen ihrer krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsfördernden Eigenschaften oder weil sie schwer abbaubar (persistent) sind, sich in Organismen anreichern (bioakkumulierend) und toxisch in der Umwelt wirken (■ **Infobox 1**). Die oben genannten C8-C14 Perfluorcarbonsäuren sowie einige Salze sind aufgrund ihrer persistenten, bioakkumulierenden und reproduktionstoxischen bzw. ihrer sehr persistenten und sehr bioakkumulierenden Eigenschaften in die REACH-Kandidatenliste aufgenommen worden und unterliegen somit einer gesetzlichen Regulierung. Außerdem ergeben sich für den Gebrauch dieser Chemikalien Auskunftspflichten für Hersteller und Auskunftsrechte für Verbraucher (<http://www.reach-info.de/verbraucheranfrage.htm>).

Eine EU-weite Beschränkung der Herstellung und Verwendung und des Imports von PFOA, dessen Salzen und aller Substanzen, die zu PFOA (C8 Perfluorcarbonsäure) abgebaut werden können, wurde von Deutschland und Norwegen erarbeitet. Die EU-Mitgliedstaaten haben dem Gesetzesentwurf der EU-Kommission kürzlich zugestimmt. Eine Veröffentlichung im Amtsblatt der EU wird im Frühjahr 2017 erfolgen.

Die EU-Kommission hat außerdem PFOA und seine Vorläufersubstanzen als

persistenten organischen Schadstoff (persistent organic pollutant [POP]) unter der Stockholm Konvention vorgeschlagen. 2019 entscheidet das Komitee über das internationale Verbot dieser Stoffe.

Aktuell erarbeitet Deutschland gemeinsam mit Schweden einen EU-weiten Beschränkungsvorschlag für die C9-C14-Perfluorcarbonsäuren inklusive deren Vorläufersubstanzen. Dieser Vorschlag wird voraussichtlich im Sommer 2017 bei der Europäischen Chemikalienbehörde ECHA eingereicht und dann von zwei wissenschaftlichen Komitees, dem Komitee für Risikobewertung und dem Komitee für sozioökonomische Bewertung beurteilt. Die Stellungnahmen beider Komitees dienen der EU-Kommission zur Erstellung eines Gesetzesvorschlages, über den die Mitgliedsstaaten abstimmen.

Hinsichtlich der kurzkettigen PFC führen Deutschland und andere EU-Mitgliedsstaaten Stoffbewertungen unter REACH durch. D. h., es findet eine vertiefte Bewertung der zu den Stoffen verfügbaren Informationen statt. Die Mitgliedsstaaten entscheiden dann, ob zur Bewertung der Risiken weitere Informationen notwendig sind und ob die beschriebenen Risikomanagementmaßnahmen angemessen oder weitere Regulierungsmaßnahmen erforderlich sind.

Im Oktober 2016 richtete das Umweltbundesamt einen internationalen Workshop zur Bewertung der Besorgnis hinsichtlich der kurzkettigen PFC für Behördenvertreter aus verschiedenen EU-Mitgliedsstaaten in Berlin aus. Es wurde deutlich, dass alle Anwesenden eine Regulierung dieser extrem persistenten, mobilen und möglicherweise bioakkumulierenden Chemikalien für notwendig erachten.

## Fazit

PFC sind ubiquitär in der Umwelt nachweisbar, insbesondere in Oberflächengewässern. Aufgrund ihrer vielfältigen Verwendungen existieren viele Eintragspfade in die Umwelt. PFC sind extrem stabil und verbleiben für Jahrzehnte in der Umwelt. Langkettige PFC sind bereits aufgrund ihrer persistenten, bioakkumulierenden und toxischen Eigenschaften besonders besorgniserregende Stoffe unter der

europäischen Chemikalienverordnung REACH. Unternehmen stellen deshalb vermehrt auf kurzketten Alternativen, die sogenannte C4- oder C6-Chemie um. Aus Sicht des Umweltbundesamtes weisen diese Stoffe ebenfalls besonders besorgniserregende Eigenschaften auf: sie sind sehr langlebig und mobil im Boden und im Wasser. Möglicherweise haben auch diese Stoffe toxische Wirkungen und reichern sich eventuell auch in Organismen an. Sobald kurzketten PFC auf den Boden ausgetragen werden (z. B., Ausbringen von mit PFC angereichertem Klärschlamm und Dünger in der Landwirtschaft, oder die Verwendung von fluorhaltigen Feuerlöschschäumen), erreichen sie Grundwasserkörper und können so Rohwasser verunreinigen. Effiziente Aufreinigungsmethoden stehen derzeit noch nicht zur Verfügung. Rohwasser sollte deshalb routinemäßig auf kurz- und langketten PFC untersucht werden, um Verunreinigungen des Trinkwassers zu vermeiden.

In dieser Ausgabe des Bundesgesundheitsblattes ist ebenfalls die Empfehlung des Umweltbundesamtes „Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser“ erschienen.

## Korrespondenzadresse

### Annegret Biegel-Engler

Umweltbundesamt  
 Fachgebiet IV 2.3 Chemikalien  
 Wörlitzer Platz 1,  
 06844 Dessau-Roßlau  
 Telefon: +49-340-2103-2074  
 Annegret.Biegel-Engler@uba.de

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

## Literatur

- Ullah S, Alsberg T, Berger U (2011) Simultaneous determination of perfluoroalkyl phosphonates, carboxylates, and sulfonates in drinking water. *J Chromatogr* 1218:6388–6395
- Gellrich V, Brunn H, Stahl T (2013) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in mineral water and tap water. *J Environ Sci Health* 48:129–135
- Zafeiraki E, Costopoulou D, Vassiliadou I et al (2015) Determination of perfluoroalkylated substances (PFASs) in drinking water from the Netherlands and Greece. *Food additives & contaminants. Part A Chem Analysis Control Expo Risk Assess* 32:2048–2057
- Banzhaf S, Filipovic M, Lewis J, Sparrenbom CJ, Barthel R (2016) A review of contamination of surface-, ground-, and drinking water in Sweden by perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Ambio*. In Press. doi: 10.1007/s13280-016-0848-8
- Rastatt L (2016) Bürgerinformation zur PFC-Problematik. <http://www.landkreis-rastatt.de/Lde/PFC.html>; Zugegriffen: 20. November 2016
- Fischer S, Lilja K, Ahrens L, Wiberg K (2016) Poly- and perfluoroalkyl substances on the market and in the Swedish environment. *Norman Bull* 5:6–9
- Barry V, Winquist A, Steenland K (2013) Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers among adults living near a chemical plant. *Environ Health Perspect* 121:1313–1318
- Chang ET, Adami HO, Boffetta P, Cole P, Starr TB, Mandel JS (2014) A critical review of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate exposure and cancer risk in humans. *Crit Rev Toxicol* 44. Suppl, Bd. 1., S 1–81
- European Chemicals Agency (2011) Annex 1 Background document to the Opinion proposing harmonised classification and labelling at Community level of Perfluorooctanoic acid (PFOA). <https://echa.europa.eu/documents/10162/dbb8ea98-2024-4687-a25b-785cf21355a3>. Zugegriffen: 2016-12-12
- European Chemicals Agency (2015) Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), PFOA salts and PFOA-related substances. <https://echa.europa.eu/documents/10162/61e81035-e0c5-44f5-94c5-2f3554255a8>. Zugegriffen: 2016-08-09
- Kemi (2015) Occurrence and use of highly fluorinated substances and alternatives. [www.kemi.se/en/global/rapporter/2015/report-7-15-occurrence-and-use-of-highly-fluorinated-substances-and-alternatives.pdf](http://www.kemi.se/en/global/rapporter/2015/report-7-15-occurrence-and-use-of-highly-fluorinated-substances-and-alternatives.pdf). Zugegriffen: 2016-12-12
- OECD (2013) OECD/UNEP Global PFC Group, Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs). <http://www.oecd.org/chemical-safety/risk-management/synthesis-paper-on-per-and-polyfluorinated-chemicals.htm>
- Fluorocouncil (2016) Applications: FluoroTechnology: Critical to Modern Life. <https://fluorocouncil.com/Applications>. Zugegriffen: 2016-12-12
- Huber S, Moe MK, Schmidbauer N, Hansen GH, Herzke D (2009) Emissions from incineration of fluoropolymer materials. A literature survey. NILU. <http://www.nilu.no/Publikasjoner/tabid/62/ctl/PublicationDetails/mid/764/publicationid/24739/language/en-GB/Default.aspx>. Zugegriffen: 2016-12-01
- Dimzon IK, Westerveld J, Gremmel C, Fromel T, Knepper TP, De Voogt P (2016) Sampling and simultaneous determination of volatile per- and polyfluoroalkyl substances in wastewater treatment plant air and water. *Anal Bioanal Chem*. In Press. doi: 10.1007/s00216-016-0072-1
- Arvaniti OS, Stasinakis AS (2015) Review on the occurrence, fate and removal of perfluorinated compounds during wastewater treatment. *Sci Total Environ* 524–525:81–92
- Skutlarek D, Exner M, Farber H (2006) Perfluorierte Tenside (PFT) in der aquatischen Umwelt und im Trinkwasser. *Z Umweltchem Ökotox* 18:151–154
- Hölzer J, Midasch O, Raufuss K et al (2008) Biomonitoring of perfluorinated compounds in children and adults exposed to perfluorooctanoate-contaminated drinking water. *Environ. Health Perspect* 116:651–657
- Joswig M, Goeken N, Mogwitz U, Schaub S, Wilhelm M, Hölzer J (2015) Beobachtung der gesundheitlichen Entwicklung von Kindern und Müttern nach hoher Belastung mit PFOA – Arnsberg Kohorte. *Umwelt & Gesundheit*. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/beobachtung-der-gesundheitlichen-entwicklung-von>. Zugegriffen: 12. Dezember 2016
- Wilhelm M, Wittsiepe J, Vökel W, Fromme H, Kasper-Sonnenberg M (2015) Perfluoroalkyl acids in children and their mothers: Association with drinking water and time trends of inner exposures—Results of the Duisburg birth cohort and Bochum cohort studies. *Int J Hyg Environ Health* 218:645–655
- Cousins IT, Vestergren R, Wang Z, Scheringer M, McLachlan MS (2016) The precautionary principle and chemicals management: The example of perfluoroalkyl acids in groundwater. *Environ Int* 94:331–340
- Hähnle J, Arenholz U (2011) Ersatz von perfluorierten Tensiden (PFT) durch neue Tenside in Feuerlöschschaummitteln. *vfd* 2011(01):18–23
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2015) Bestandsaufnahme: Fälle mit PFC-Belastungen im Boden und Grundwasser in Nordrhein-Westfalen. [http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/verkehr/gefahrstoffe/20151105\\_Bericht\\_PFC\\_Bestandsaufnahme\\_2015\\_web.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/verkehr/gefahrstoffe/20151105_Bericht_PFC_Bestandsaufnahme_2015_web.pdf). Zugegriffen: 1. Dezember 2016
- Düsseldorf Airport (2016) Düsseldorf Airport hat drei Grundwassersanierungsanlagen in Betrieb. <https://www.dus.com/de-de/konzern/unternehmen/verantwortung/umweltschutz/gew%C3%A4sserschutz/grundwassersanierung>. Zugegriffen: 2016-11-30
- Düsseldorf (2016) PFT-Grundwasserverunreinigung Lohausen / Kaiserswerth. <https://www.duesseldorf.de/umweltamt/umweltthemen-von-a-z/altlast/pft-lohausen-kwerth.html>. Zugegriffen: 2016-11-30
- Weiss O, Wiesmüller GA, Bunte A et al (2012) Perfluorinated compounds in the vicinity of a fire training area—human biomonitoring among 10 persons drinking water from contaminated private wells in Cologne. *Int J Hyg Environ Health* 215:212–215
- Gellrich V, Stahl T, Knepper TP (2012) Behavior of perfluorinated compounds in soils during leaching experiments. *Chemosphere* 87:1052–1056
- Vierke L, Möller A, Klitzke S (2014) Transport of perfluoroalkyl acids in a water-saturated sediment column investigated under near-natural conditions. *Environ Pollut* 186:7–13
- Lundgren S (2014) Evaluation of the efficiency of treatment techniques in removing perfluoroalkyl

- substances from water. [http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Sandra\\_Lundgren.pdf](http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Sandra_Lundgren.pdf). Zugegriffen: 2016-12-01
30. Felizeter S, Mclachlan MS, De Voogt P (2014) Root uptake and translocation of perfluorinated alkyl acids by three hydroponically grown crops. *J Agric Food Chem* 62:3334–3342
  31. Wen B, Li L, Zhang H, Ma Y, Shan XQ, Zhang S (2014) Field study on the uptake and translocation of perfluoroalkyl acids (PFAAs) by wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in biosolids-amended soils. *Environ Pollut* 184:547–554
  32. Krippner J, Falk S, Brunn H, Georgii S, Schubert S, Stahl T (2015) Accumulation Potentials of Perfluoroalkyl Carboxylic Acids (PFCAs) and Perfluoroalkyl Sulfonic Acids (PFSA) in Maize (*Zea mays*). *J Agric Food Chem* 63:3646–3653
  33. Landkreis Rastatt (2016) Vorerntemonitoring 2016 auf PFC belasteten Flächen: Tendenzen des Vorjahres bestätigen sich. [http://www.landkreis-rastatt.de/Lde/Startseite/aktuelles/vorerntemonitoring+2016+auf+pfc+belasteten+flaechen\\_+tendenzen+des+vorjahres+bestaetigen+rich.html](http://www.landkreis-rastatt.de/Lde/Startseite/aktuelles/vorerntemonitoring+2016+auf+pfc+belasteten+flaechen_+tendenzen+des+vorjahres+bestaetigen+rich.html). Zugegriffen: 2016-12-12
  34. D'hollander W, Herzke D, Huber S et al (2015) Occurrence of perfluorinated alkylated substances in cereals, salt, sweets and fruit items collected in four European countries. *Chemosphere* 129:179–185
  35. Klenow S, Heinemeyer G, Brambilla G, Dellatte E, Herzke D, De Voogt P (2013) Dietary exposure to selected perfluoroalkyl acids (PFAAs) in four European regions. *Food Addit Contam - Part A Chem Analysis Control Expo Risk Assess* 30:2141–2151
  36. Fromme H, Tittlemier SA, Volkel W, Wilhelm M, Twardella D (2009) Perfluorinated compounds - Exposure assessment for the general population in western countries. *Int J Hyg Environ Health* 212:239–270
  37. Grandjean P, Andersen EW, Budtz-Jorgensen E et al (2012) Serum vaccine antibody concentrations in children exposed to perfluorinated compounds. *Jama : J Am Med Assoc* 307:391–397
  38. Lopez-Espinosa MJ, Fletcher T, Armstrong B et al (2011) Association of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) with age of puberty among children living near a chemical plant. *Environ Sci Technol* 45:8160–8166
  39. Lopez-Espinosa MJ, Mondal D, Armstrong B, Bloom MS, Fletcher T (2012) Thyroid function and perfluoroalkyl acids in children living near a chemical plant. *Environ Health Perspect* 120:1036–1041
  40. Savitz DA, Stein CR, Elston B et al (2012) Relationship of perfluorooctanoic acid exposure to pregnancy outcome based on birth records in the mid-Ohio Valley. *Environ Health Perspect* 120:1201–1207
  41. Liu C, Yu L, Deng J, Lam PK, Wu RS, Zhou B (2009) Waterborne exposure to fluorotelomer alcohol 6:2 FTOH alters plasma sex hormone and gene transcription in the hypothalamic-pituitary-gonadal (HPG) axis of zebrafish. *Aquat Toxicol* 93:131–137
  42. Ishibashi H, Yamauchi R, Matsuoka M et al (2008) Fluorotelomer alcohols induce hepatic vitellogenin through activation of the estrogen receptor in male medaka (*Oryzias latipes*). *Chemosphere* 71:1853–1859
  43. Schröter-Kermani C, Müller J, Jürling H, Conrad A, Schulte C (2013) Retrospective monitoring of perfluorocarboxylates and perfluorosulfonates in human plasma archived by the German Environmental Specimen Bank. *Int J Hyg Environ Health* 216:633–640
  44. Chang SC, Das K, Ehresman DJ et al (2008) Comparative pharmacokinetics of perfluorobutylate in rats, mice, monkeys, and humans and relevance to human exposure via drinking water. *ToxicolSci* 104:40–53
  45. Russell MH, Nilsson H, Buck RC (2013) Elimination kinetics of perfluorohexanoic acid in humans and comparison with mouse, rat and monkey. *Chemosphere* 93:2419–2425
  46. Ng CA, Hungerbuehler K (2015) Exploring the Use of Molecular Docking to Identify Bioaccumulative Perfluorinated Alkyl Acids (PFAAs). *Environ Sci Technol* 49:12306–12314
  47. Gützkow KB, Haug LS, Thomsen C, Sabaredzovic A, Becher G, Brunborg G (2011) Placental transfer of perfluorinated compounds is selective - A Norwegian Mother and Child sub-cohort study. *Int J Hyg Environ Health* 215:216–219
  48. Umweltbundesamt (2016) HBM-I-Werte für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) in Blutplasma-Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsblatt* 59:1362–1363
  49. US-EPA (2016) Drinking Water Health Advisories for PFOA and PFOS. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos>; Zugegriffen: 2016-12-12
  50. Wang Z, Xie Z, Mi W, Möller A, Wolschke H, Ebinghaus R (2015) Neutral Poly/Per-Fluoroalkyl Substances in Air from the Atlantic to the Southern Ocean and in Antarctic Snow. *Environ Sci Technol* 49:7770–7775