

Gefährden perfluorierte Verbindungen unsere Trink- und Grundwässer?

Anne Schucknecht ¹

¹TU Bergakademie Freiberg, Lehrstuhl für Hydrogeologie

Zusammenfassung. Perfluorierte Verbindungen gehören zu den halogenorganischen Verbindungen (Brauch 2007). Natürlicherweise kommen sie in der Umwelt nicht vor (Fricke und Lahl 2005). Dennoch sind sie heute weltweit verbreitet und konnten in Oberflächen-, Trink- und Grundwässern, sowie im Blut verschiedene Tiere sowie des Menschen nachgewiesen werden. Potentielle Quellen stellen Verbraucher- und Industrieprodukte sowie Herstellungsprozesse dar. Die Verbreitung von Perfluortensiden (PFT) wie Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonat (PFOS) kann atmosphärisch über Vorläuferverbindungen, sowie hydrologisch erfolgen. Die wässrige Phase stellt dabei eine Senke von PFT dar (Nakata et al. 2006). Über das Oberflächenwasser und die Infiltration in den Boden können PFT in das Grundwasser gelangen. Infolge ihre Persistenz, Mobilität, Toxizität und Bioakkumulation stellen sie eine potentielle Gefahr für Trink- und Grund- sowie Oberflächenwässer dar.

Einleitung

In den letzten Jahren wiesen verschiedene Studien die ubiquitäre Verteilung von perfluorierten Verbindungen (PFV), insbesondere perfluorierter Tenside (PFT) wie Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonat (PFOS), in der Umwelt nach (Giesy u. Kannan 2001 in: Skutlarek et al. 2006; Houde et al. 2006; Prevedouros et al. 2006). Dies ist insbesondere von Interesse, da es für PFT keine bekannte natürliche Quelle gibt – sie folglich in der Natur nicht vorkommen (Fricke u. Lahl 2005)

Mehrere Veröffentlichungen zeigten die Kontamination von Oberflächen-, Trink- und Grundwasser mit PFT auf. Hansen et al. (2002) wiesen nach einem

Unfall Konzentrationen an PFOA bis zu 598 ng/L im Tennessee Fluss nach. In der Osaka Bucht wurden im Oberflächenwasser PFOA und PFOS mit maximalen Konzentrationen von 67000 ng/L und 526 ng/L detektiert (Saito et al. 2004 in: Skutlarek et al. 2006). In den Oberflächengewässern Ruhr und Möhne wurden von Skutlarek et al. (2006) erhöhte Werte an PFT bis zu 446 ng/L bzw. 4385 ng/L belegt. Diese Autoren wiesen auch maximale Konzentrationen an PFT von 598 ng/L im Trinkwasser des Rhein-Ruhr-Gebietes (Hochsauerlandkreis) nach. Die Verunreinigungen standen sehr wahrscheinlich in Zusammenhang mit auf Agrarflächen im Einzugsgebiet aufgebrauchten kontaminierten Abfallgemischen. Moody et al. (2003) detektierten im Grundwasser im Bereich der Wurtsmith Air Force Base in Michigan Konzentrationen einzelner PFT von bis zu 120 µg/L. Im Zuge von Feuerlöschübungen kamen hier spezielle Feuerlöschschäume (aqueous film-forming foams AFFF) zum Einsatz, welche als Schlüsselkomponenten PFT enthalten. Auch im Sediment und den aquatischen Organismen des flachen Tidenbereiches der Ariakesee in Japan wurden PFT nachgewiesen (Nakata et al. 2006).

PFT wurden weltweit in Wildtieren und Menschen gefunden (Prevedouros et al. 2006). Im Blutserum von Menschen sowohl mit als auch ohne berufsbedingte Exposition konnten PFOS und PFOA nachgewiesen werden (Fricke und Lahl 2005). Angestellte von fluorchemischen Betrieben in Alabama und Belgien zeigten Konzentrationen bis zu 13 mg/L (Olsen et al. 1999 in: Moody et al. 2003). Zudem wurden in menschlichen Serumproben verschiedene US-amerikanischer, biologischer Versorgungsunternehmen PFOS-Konzentrationen bis zu 82 µg/L gefunden (Hansen et al. 2001).

Perfluorierte Verbindungen

Perfluorierte Verbindungen, die zu den halogenorganischen Verbindungen (Brauch 2007) zählen, sind fluorierte organische Verbindungen, bei denen die Wasserstoffatome des Kohlenstoffgerüsts vollständig durch Fluoratome ersetzt sind (Fricke u. Lahl 2005).

Unterteilung perfluorierter Verbindungen

Perfluorierte Verbindungen lassen sich in die Stoffgruppen der Perfluoralkane (PFC) und der Perfluortenside (PFT) unterscheiden, wobei beide charakteristische Eigenschaften aufweisen (Fricke u. Lahl 2005).

Niedermolekulare PFC, die unter Normalbedingungen im gasförmigen Aggregatzustand vorkommen, finden u.a. als Kältemittel Verwendung. Zu den bekanntesten Vertretern hochmolekularer PFC gehört Polytetrafluorethylen (PTFE, als Markenname unter „Teflon“ bekannt). Charakteristische Eigenschaften von PTFE sind die chemische und thermische Stabilität, Verformbarkeit sowie hohe Gleitfähigkeit. Perfluoralkane und PTFE kommen z.B. in der Flugzeug-, Automobil-, Elektronik-, Bau- und Elektroindustrie, in der Medizintechnik, als Antihafte-

schichtung in Kochgeschirr sowie in kosmetischen Produkten zum Einsatz (Fricke u. Lahl 2005).

Da Perfluortensiden schon in deutschem Trinkwasser nachgewiesen wurden, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf PFT.

Chemische und physikalische Eigenschaften von Perfluortensiden

Perfluortenside zählen zu oberflächenaktive Substanzen, die sich durch ihr amphiphiles Verhalten auszeichnen. Sie bestehen aus einer hydrophilen Kopfgruppe (wie Carboxylat, Sulfonat bzw. deren Salze) sowie aus einer hydrophoben poly- oder perfluorierten Kohlenstoffkette (Fricke u. Lahl 2005).

Perfluorierte Tenside weisen spezielle technologische Eigenschaften wie chemische und thermische Stabilität, Beständigkeit gegenüber Verwitterung und UV-Strahlung sowie einen wasser-, fett-, öl-, schmutz und farbabweisenden Charakter auf (Fricke u. Lahl 2005).

Eine weiterer Unterteilung der PFT in perfluorierte Alkylsulfonate (PFAS), Carbonsäuren (PFCA) und Fluortelomeralkohole (FTOH) ist möglich (Fricke u. Lahl 2005).

Perfluorierte Alkylsulfonate

PFAS tragen eine Sulfonatgruppe direkt am perfluorierten Kohlenstoffgerüst. Zu dieser Stoffklasse gehört die Verbindung Perfluorooctansulfonat (PFOS) mit der Formel $C_8F_{17}SO_3^-$. Die Strukturformel ist in Abb. 1a dargestellt. Bedingt durch die hohe Elektronegativität des Fluoratoms weist die C-F-Bindung eine starke Polarisierung auf. Die freie Perfluorsulfonsäure (PFOSA, $C_8F_{17}SO_2OH$) liegt daher in wässrigen Lösungen ausschließlich deprotoniert vor, ist nicht flüchtig und besitzt einen niedrigen Dampfdruck (Fricke u. Lahl 2005).

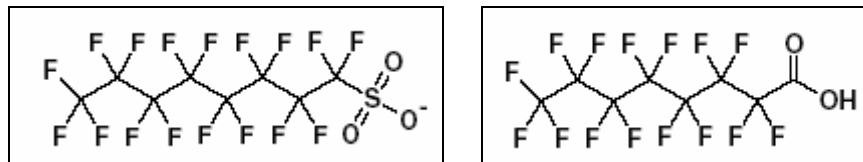


Abb. 1: Strukturformel von a) PFOS, b) PFOA (Fricke u. Lahl 2005)

Perfluorierte Alkylcarbonsäuren

Bei den PFCA befindet sich direkt am perfluorierten Kohlenstoffgerüst eine Carbonsäuregruppe. Ein Beispiel für diese Stoffklasse ist die Perfluorooctansäure (PFOA, $C_7F_{15}COOH$, siehe Abbildung 1b). Auch diese deprotoniert vollständig in wässriger Lösung, ist nicht flüchtig und hat einen niedrigen Dampfdruck (Fricke u. Lahl 2005).

Menschen sind mit Perfluortensiden enthaltenen oder freisetzenden Produkten in Form von antihafbeschichtetem Kochgeschirr, wasserdichter, atmungsaktiver Funktionsbekleidung, schmutzabweisenden Teppichen, Möbeln und Tapeten, fettabweisenden Lebensmittelverbackungen, Sprays für Kleidung und Möbel, Wandfarben und Haushaltsreinigungsmitteln umgeben. Marken wie Teflon und Gore-Tex stehen mit Perfluortensiden in Zusammenhang (Fricke u. Lahl 2005).

Wirkungen im Menschen und der Umwelt (Toxikologie und Ökotoxikologie)

PFOS und PFOA gelten als toxikologisch teilbewertete Stoffe. Die Datenlage anderer PFT ist jedoch sehr unvollständig (Trinkwasserkommission 2006).

Anhand von Tierversuchen wurde gezeigt, dass PFOA und PFOS inhalativ und oral aufgenommen werden können. Offenbar werden sie nicht metabolisiert. Für PFOA wird eine Halbwertszeit in Organismen von 4,37 Jahren (1,50-13,49 Jahre) berichtet (3M Company 2000 in: Fricke u. Lahl 2005). Bei PFOS variieren die Halbwertszeiten von 7,5 Tagen in Ratten über 200 Tage in Cynomolgus Affen bis 8,67 Jahre beim Menschen (OECD 2002 in: Fricke u. Lahl 2005).

Nach OECD (2002 in: Trinkwasserkommission 2006) und US EPA (2005 in: Trinkwasserkommission 2006) weisen weder PFOS noch PFOA ein primär gentoxisches Wirkungspotential für den Menschen auf, d.h. sie können die DNA weder ohne noch mit Metabolisierung unmittelbar angreifen. Eine Studie von Yao u. Zhong (2005 in: Trinkwasserkommission 2006) weist auf ein relativ hohes sekundäres gentoxisches Wirkungspotential von PFOA unterhalb cytotoxischer Konzentrationen hin. Dieses wirkt sich u.a. in der Suppression und Induktion verschiedenster Gene des Kohlenhydrat-, Fett- und Proteinstoffwechsels, der Zellkommunikation, der Zelladhäsion, der hormonellen Regulation von Immunität, Wachstum und Apoptose aus (Guruge et al. 2006 in: Trinkwasserkommission 2006). Den Fettstoffwechsel können PFOS und PFOA auch auf der enzymatischen Ebene blockieren (Trinkwasserkommission 2006).

Nicht gentoxische Wirkungen bei Tieren und Menschen sowie eine Zusammenstellung ökotoxikologischer Daten (wie median lethal concentration LC_{50} , no observed effect concentration NOEC, median inhibition concentration IC_{50} , lowest observed effect concentration LOEC) für PFOS und PFOA können u. a. in Fricke und Lahl (2005) nachgelesen werden.

Quellen, Transport und Senken

Wie bereits erwähnt kommen PFT in der Natur nicht vor. Biogene fluororganische Verbindungen (FOC) treten meist einfach fluoriert auf und können daher biologisch abgebaut werden (Hutzinger 2002; Frank et al. 2002; in: Fricke u. Lahl 2005). Synthetisch erzeugte FOC sind im Gegensatz dazu oft poly- bzw. perfluoriert (Fricke u. Lahl 2005). PFT besitzen aufgrund ihrer Eigenschaften u.a. eine

hohe Persistenz und führten so zu einer ubiquitären Verbreitung (Allsop et al. 2005, Daughton 2004 und Brooke et al. 2004 in: Skutlarek et al. 2006). Allerdings sind die Wege und physikalisch-chemischen Mechanismen ihrer globalen Verbreitung noch nicht aufgeklärt (Fricke u. Lahl 2005). Neutrale und volatile perfluorierte Verbindungen wie Perfluoralkylsulfonamide und Fluortelomeralkohole (FTOH) könnten das Potential für weiträumigen atmosphärischen Transport (long range atmospheric transport LRAT) besitzen (Martin et al. 2006; Wallington et al. 2006; in: Skutlarek et al. 2006).

PFOA und PFOS

PFOA und PFOS ähneln in ihrem Verhalten persistenten organischen Schadstoffen, allerdings unterliegen sie keiner hydrolytischen, photolytischen, oxidativen oder reduktiven Transformation. Sie können weder anaerob noch aerob biologisch abgebaut werden und verbleiben als Endmetabolite in der Umwelt. PFOA und PFOS deprotonieren vollständig, weisen einen niedrigen Dampfdruck und eine hohe Wasserlöslichkeit auf. Folglich gelangen PFT leicht ins Oberflächen- und Grundwasser (Fricke u. Lahl 2005). Der Transport von PFT im Boden bedarf noch eingehender Untersuchungen (Moody et al. 2003).

Da PFOA und PFOS nicht volatil sind, sollten sie nicht in der Atmosphäre transportiert werden. Ihre globale Verbreitung auch in entlegenen Gebieten wie der Arktis und Alaska deutet auf flüchtigere, neutrale Vorläufer-Verbindungen hin, aus welchen diese Säuren freigesetzt werden (Dimitrov S et al. 2004). Als potentielle Vorläufer von PFOA konnten in der Atmosphäre von Kanada und der USA die Fluortelomeralkohole 6:2, 8:2, 10:2 FTOH und als potentielle Vorläufer von PFOS die polyfluorierten Sulfonamide N_{Et}FOSA, NMeFOSE, N_{Et}FOSE nachgewiesen werden (Martin et al. 2002). Auch in Innenräumen von Häusern und alten Labors in Nordamerika wurden NMeFOSE und N_{Et}FOSE in Konzentrationen bis zu 4046 pg/m³ gefunden (Shoeib et al. 2004). Als weitere Quelle von PFOA und PFOS kommen Kläranlagen in Frage. Über Mikrobiellen Abbau erfolgt im Klärschlamm die Transformation von N_{Et}FOSE über Zwischenschritte zu PFOS und PFOA (3M Environmental Laboratories 2001 in: Fricke u. Lahl 2005).

FTOH

Im Vergleich mit PFOA und PFOS weisen FTOH eine geringere Wasserlöslichkeit und wesentlich höhere Dampfdrücke auf (Fricke u. Lahl 2005). In der Atmosphäre von Kanada und der USA wurden verschiedene FTOH nachgewiesen. Bevor diese Verbindungen in der Atmosphäre mit OH-Radikalen oder Chloratomen reagieren (Photooxidation) weisen sie eine Lebensdauer etwa 20 Tagen auf (Ellis et al. 2003). Neben der Photooxidation unterliegen FTOH auch der mikrobiellen Umwandlung. Bei beiden Prozessen entsteht u.a. PFOA (Fricke u. Lahl 2005). Zur globalen Verteilung haben der atmosphärische Transport volatiler sowie der hydrosphärische Transport wasserlöslicher Vorläufer beigetragen. Die

Freisetzung der Vorläufersubstanzen ist während Produktions- und Anwendungsprozessen, aus Konsumgütern und Abfall durch physikalische, chemische und/oder biologische Degradation möglich. Über Emission durch Abnutzung und nicht gebundene, überschüssige Verbindungen aus Endprodukten wird spekuliert (3M Company 1999 in: Fricke u. Lahl 2005).

Senken

Nach der Studie von Nakata et al. (2006) verteilen sich PFV bevorzugt in der Wassersäule statt im Sediment. Die Ergebnisse der Untersuchungen deuten damit auf die wässrige Phase als Hauptsenke für perfluorierte Verbindungen hin. Das Verhalten unterscheidet sich folglich von dem von unpolaren organischen Schadstoffen.

Bioakkumulation

Nach Skutlarek et al. (2006) stellt die Bioakkumulation neben der Persistenz, Mobilität und Toxizität eine weitere problematische Eigenschaft der PFT dar. So weisen beispielsweise die Ergebnisse von Nakata et al. (2006) auf eine signifikante Bioakkumulation von PFOS von der Wassersäule in die Biota des marinen Ökosystems hin. Zudem deuten die Resultate auf eine Biomagnifikation innerhalb der Nahrungskette der Küstenorganismen hin.

Es wird angenommen, dass die Hauptquellen für die menschliche Aufnahme von PFT, besonders von PFOA und PFOS, Nahrung und Getränke sind, welche primär kontaminiert oder sekundär durch Verpackungsmaterial verunreinigt wurden (Begley et al. 2005 in: Skutlarek 2006).

Fazit

Anhand der derzeit vorliegenden Erkenntnisse kann eine generelle Gefährdung von Grund-, Trink- sowie Oberflächenwässern durch die Kontamination mit perfluorierten Tensiden angenommen werden.

Die Gründe dafür liegen u.a. in der ubiquitären Verteilung von PFV in der Umwelt. So wurden diese Verbindungen u.a. im Trink- und Grundwasser sowie im Serum von Wildtieren und Menschen nachgewiesen.

Weiterhin stellen die Persistenz, Toxizität, Mobilität und Bioakkumulation in diesem Zusammenhang besonders problematische Eigenschaften der PFT dar (Skutlarek et al. 2006).

Momentan besteht eine akute Gefährdung jedoch nur im Zusammenhang mit Punktquellen, die zu stark erhöhten Konzentrationen führen können. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die Konzentrationen von PFT in der Um-

welt aufgrund der anhaltenden und steigenden Nutzung entsprechender Produkte weiter ansteigen wird.

Generell unterliegt Trinkwasser, welches aus Oberflächenwasser und über Bankinfiltration (wie im Fall des Rhein-Ruhr-Gebietes der Fall war, vgl. Skutlarek et al. 2006) gewonnen wird, einer größeren Gefährdung. Dies wird durch die größeren Exposition zu potentiellen Quellen verursacht. Es ist zu erwähnen, dass übliche Wasserbehandlungsstufen PFV nicht wirksam entfernen (Skutlarek et al. 2006).

Ausblick

Die Trinkwasserkommission in Deutschland hat im Rahmen einer Stellungnahme (Trinkwasserkommission 2006) verschiedene Höchstwerte für die Summen aus PFOA und PFOS empfohlen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Empfohlene Höchstwerte für Trinkwasser (Trinkwasserkommission 2006)

Art des Höchstwertes	Abkürzung	Zahlenwert	Begründung
Zielwert (Langfristiges Mindestqualitätsziel bzw. allgemeiner Vorsorgewert für PFOA, PFOS und evtl. weitere PFT)	GOW (Gesundheitlicher Orientierungswert) des UBA	$\leq 0,1 \mu\text{g/l}$	Abschnitt 2.1: Lebenslange gesundheitliche Vorsorge, z.B. gegen die Anwesenheit weiterer PFT
Lebenslang gesundheitlich duldbarer Leitwert für alle Bevölkerungsgruppen	LW des UBA	$\leq 0,3 \mu\text{g/l}$	Abschnitt 3: Bis zu dieser Konzentration sind Summen aus PFOA und PFOS lebenslang gesundheitlich duldbar
Vorsorglicher Maßnahmewert für Säuglinge	VMW_s	$0,5 \mu\text{g/l}$	Abschnitt 2.4: Vorsorglicher Schutz von Säuglingen, z.B. gegen die Anwesenheit weiterer PFT
Maßnahmewert für Erwachsene	MW = VMW₀	$5,0 \mu\text{g/l}$	Abschnitte 2.3 (VMW₀) und 3 (MW) in Verbindung mit der MW-Empfehlung: Trinkwasser für Lebensmittelzwecke nicht mehr verwendbar

Allerdings besteht weiterhin Handlungsbedarf für gesetzliche Vorgaben. Insbesondere sollten neue Verbindungen vor ihrer Markteinführung eingehend auf ihre Persistenz, Toxizität und Bioakkumulation getestet werden. Eine Beurteilung des neuen, in Vorbereitung befindlichen EU-Stoffrechts (REACH) in dieser Hinsicht wurde von Fricke und Lahl (2005) durchgeführt.

Desweiteren sollten zukünftige Studien u.a. die genauen Transportwege und –mechanismen, insbesondere im Boden untersuchen.

References

- 3M Company (1999) Fluorochemical Use, Distribution and Release Overview. May 26, U.S. EPA Public Docket AR226-0550
- 3M Company (2000) Draft Initial Assessment Report Perfluorooctane Sulfonic Acid and its Salts. October 2, U.S. EPA Public Docket AR226-0978
- 3M Environmental Laboratories (2001) The 18-Day Aerobic Biodegradation Study of Perfluorooctanesulfonyl-Based Chemistries. February 23, U.S. EPA Public Docket AR226-1030a
- Allsop M, Santillo D, Walters A, Johnston P (2005) Perfluorinated Chemicals: An emerging concern. Greenpeace Technical Note 04. URL: http://www.greenpeace.to/publications_pdf/perfluorinated_chemicals_2005.pdf
- Begley TH, White K, Honigfort P, Twaroski ML, Neches R, Walker RA (2005) Potential sources of an migration from food packaging. Food Add Contam 22: 1023-1031
- Brauch HJ (2007) Perfluorierte Verbindungen – Gefährdung für unsere Gewässer? Editorial. Vom Wasser 105: 3
- Brook D, Footitt A, Nwaogu (2004) Environmental risk evaluation report: Perfluorooctane-sulphonate (PFOS). Environmental agency (UK). URL: http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/105385/pfos_rer_sept04_864557.pdf
- Daughton CG (2004) Non-regulated water contaminants: Emerging researches. Environ Impact Assess Rev 24: 711-732
- Dimitrov S, Kamenska V, Walker JD, Windle W, Purdy R, Lewis M, Mekenyan O (2004) Predicting the Biodegradation Products of Perfluorinated Chemicals Using Catabol. SAR and QSAR in Environ Research 15 (1): 69-82
- Ellis DA, Mabury SA, Martin JW, Muir DCG (2001) Thermolysis of fluoropolymers as a potential source of halogenated organic acids in the environment. Nature 412: 321-324
- Ellis DA, Martin JW, Mabury SA (2003) Atmospheric Lifetime of Fluorotelomer Alcohols. Environ Sci Technol 37:3816-3820
- Frank H, Christoph EH, Holm-Hansen O, Bullister JL (2002) Für die strukturell einfachste niedermolekulare perfluorierte Carbonsäure Trifluoressigsäure (TFA) wird neben der industriellen auch eine natürliche vermutet. Environ Sci Technol 36: 12-15
- Fricke M, Lahl U (2005) Risikobewertung von Perfluortensiden als Beitrag zur aktuellen Diskussion zum REACH-Dossier der EU-Kommission. UWSF- Z Umweltchem Ökotox 17 (1): 36-49
- Giesy JP, Kannan K (2001) Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. Environ Sci Technol 35: 1339-1342
- Guruge KS, Yeung LWY, Yamanaka N, Myazaki S, Lam PKS, Giesy JP, Jones PD, Yamashita N (2006) Gene Expression Profiles in Rat Liver Treated With Perfluorooctanoic Acid (PFOA). Toxicol Sci 89: 93-107
- Hansen KJ, Clemen LA, Ellefson ME, Johnson HO (2001) Compound-Specific, Quantitative Characterization of Organic Fluorochemicals in Biological Matrices. Environ Sci Technol 35: 766-770

- Hansen KJ, Johnson HO, Eldridge JS, Butenhoff JL, Dick LA (2002) Quantitative Characterisation of Trace Levels of PFOS and PFOA in the Tennessee River. *Environ Sci Technol* 36: 1681-1685
- Houde M, Martin JW, Letcher RJ, Solomon KR, Muir DCG (2006) Biological Monitoring of Polyfluoroalkyl Substances: A Review. *Environ Sci Technol* 40: 3463-3473
- Hutzinger O (ed) (2002) Handbook of Environmental Chemistry: Organofluorines. In: Neilson AH (ed), Springer Verlag Berlin, Vol. 3, Part N; Gribble GW, 121-136; Neilson AH, Allard A-S, pp 137-2002
- Martin JW, Muir DCG, Moody CA, Ellis DA, Kwan WC, Solomon KR, Mabury SA (2002) Collection of Airborne Fluorinated Organics and Analysis by Gas Chromatography/Chemical Ionization Mass Spectrometry. *Anal Chem* 74: 584-590.
- Martin JW, Ellis DA, Mabury SA, Hurley MD, Wallington TJ (2006) Atmospheric chemistry of perfluoroalkanesulfonamides: Kinetic and product studies of the OH radical and Cl atom initiated oxidation of N-ethyl perfluorobutanesulfonamide. *Environ Sci Technol* 40: 864-872
- Moody CA, Herbert GN, Strauss SH, Field JA (2003) Occurrence and persistence of perfluorooctanesulfonate and other perfluorinated surfactants in groundwater at a fire-training area at Wurtsmith Air Force Base, Michigan, USA. *J Environ Monit* 5: 341-345
- Nakata H, Kannan K, Nasu T, Cho H-S, Sinclair E, Takemura A (2006) Perfluorinated Contaminants in Sediments and Aquatic Organisms Collected from Shallow Water and Tidal Flat Areas of the Ariake Sea, Japan: Environmental Fate of Perfluorooctane Sulfonate in Aquatic Ecosystems. *Environ Sci Technol* 40: 4916-4921
- OECD (2002) Hazard Assessment of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and its Salts. Unclassified ENV/JM/RD(2002)17/Final. Document No. JT00135607
- Olsen GW, Burriss JM, Mandel JH, Zobel LR (1999) Serum Perfluorooctane Sulfonate and Hepatic and Lipid Clinical Chemistry Tests in Fluorochemical Production Employees. *Occup Environ Med* 41: 799-807
- Prevedouros K, Cousins IT, Buck RC, Korzeniowski SH (2006) Sources, fate and transport of Perfluorocarboxylates – A critical review. *Environ Sci Technol* 40: 32-44
- Saito N, Harada K, Inoue K, Sasaki K, Yoshinaga T, Koizumi A (2004) Perfluorooctanoate and perfluorooctane sulfonate concentrations in surface water in Japan. *J Occup Health* 46: 49-59
- Shoeib M, Harner T, Ikonou M, Kannan K (2004) Indoor and Outdoor Air Concentrations and Phase Partitioning of Perfluoroalkyl Sulfonamides and Polybrominated Diphenyl Ethers. *Environ Sci Technol* 38: 1313-1320
- Skutlarek D, Exner M, Färber H (2006) Perfluorinated Surfactants in Surface and Drinking Waters. *Environ Sci Pollut Res* 13 (5): 299-307
- Trinkwasserkommission (2006) Vorläufige Bewertung von Perfluorierten Tensiden (PFT) im Trinkwasser am Beispiel ihrer Leitsubstanzen Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansäure (PFOS). Stellungnahme der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) beim Umweltbundesamt vom 21.06.06, überarbeitet am 13.07. 06. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/pft-im-trinkwasser.pdf> [17.04.2007]
- Wallington TJ, Hurley MD, Xia J, Wuebbels DJ, Sillman S, Martin J, Mabury DA, Nielsen OJ, Sulbaek Andersen MP (2006) Formation of C7F15COOH (PFOA) and other perfluorocarboxylic acids during the atmospheric oxidation of 8:2 fluorotelomer alcohol. *Environ Sci Technol* 40: 924-930