



EISRANDFORSCHUNGSSCHIFF „MARIA S. MERIAN“, NEBEN DER „POLARSTERN“ DAS ZWEITE DEUTSCHE FORSCHUNGSSCHIFF, DAS IM EIS OPERIEREN KANN. RESEARCH VESSEL „MARIA S. MERIAN“, BESIDES THE „POLARSTERN“ THE SECOND GERMAN RESEARCH VESSEL THAT CAN OPERATE IN THE ARCTIC SEA

Polyfluorierte Verbindungen – neue Problemstoffe für die küstennahe Umwelt

Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden in der Umwelt immer wieder neue toxische und langlebige Verbindungen entdeckt, die biologisch nicht abbaubar sind und sich deshalb in der Nahrungskette anreichern.

Zu diesen problematischen Verbindungen hat sich vor wenigen Jahren eine neue Stoffgruppe gesellt – die polyfluorierten Verbindungen. Noch ist nicht abschließend geklärt, wie stark diese Substanzklasse die Umwelt beeinflusst. Am Institut für Küstenforschung werden die polyfluorierten Verbindungen deshalb seit geraumer Zeit in Projekten, die unter anderem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert werden, intensiv untersucht. Diese Projekte sollen indes nicht allein über die Belastung der Atmosphäre, der Küstengewässer und der dort lebenden Meerestiere mit diesen Stoffen Aufschluss geben, sondern auch mögliche Eintrags- und Verteilungspfade aufzeigen. Von Interesse ist ferner die zeitliche Rekonstruktion der Verteilung.

Wozu werden polyfluorierte Verbindungen benötigt?

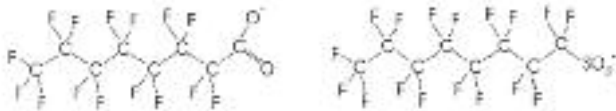
Seit mehr als 50 Jahren werden polyfluorierte Verbindungen (polyfluorinated compounds, kurz: PFC) in vielen Bereichen des täglichen Lebens genutzt. Hauptsächlich werden sie als Fluorpolymere in der Textilindustrie beispielsweise in Goretex- oder Sympatexmembranen zur Herstellung was-

serabweisender atmungsaktiver Kleidungsstücke und in der Papierindustrie zur Produktion von schmutz-, fett- und waserabweisenden Papieren (beispielsweise Fast-Food-Verpackungen) verwendet. Ebenso von Bedeutung ist ihr Einsatz bei der Imprägnierung von Möbeln, Teppichen und Bekleidung einschließlich Schuhen sowie als Antihaftbeschichtung von Kochgeschirr (beispielsweise Teflonpfannen). Weiterhin finden sie in Feuerlöschschäumen, Reinigungsmitteln und Kosmetikartikeln Verwendung.

Welche Eigenschaften haben polyfluorierte Verbindungen?

Polyfluorierte Verbindungen haben einen tensidähnlichen (waschmittelähnlichen) Charakter, der ihnen die von Industrie und Konsumenten gewünschten Eigenschaften verleiht. Der Grund dafür ist ihre spezielle Molekülstruktur: Die polyfluorierten Verbindungen bestehen aus einem Kohlenwasserstoffgerüst, an dem die Wasserstoffatome durch Fluoratome ersetzt worden sind. Dieser Teil des Moleküls mit Kettenlängen von 4 bis 18 Kohlenstoffatomen ist waserabweisend. Am anderen Ende der fluorierten Kohlen-

stoffkette ist eine Carboxyl-, Sulfonyl- oder ähnliche polare Gruppe gebunden, die die „wasserliebende“ Funktion des Moleküls bewirkt. Bekannt sind derzeit mehr als 350 verschiedene polyfluorierte Verbindungen. Die zurzeit in der Diskussion stehenden wichtigsten Vertreter dieser Substanzgruppe sind die Säuren PFOA (Perfluorooctanoat) und PFOS (Perfluorooctansulfonat).



PERFLUOROOCTANOAT (PFOA) UND PERFLUOROOCTANSULFONAT (PFOS).
PERFLUOROOCTANOATE (PFOA) AND PERFLUOROOCTANE SULFONATE (PFOS).

Man nimmt an, dass im vergangenen Jahrzehnt insgesamt sechs Hersteller weltweit jährlich 4650 Tonnen PFOS erzeugten, eine verglichen mit anderen Chemikalien eher geringe Menge. Dennoch ist die Substanzgruppe wegen ihrer umweltrelevanten Eigenschaften von Bedeutung. So weisen polyfluorierte Verbindungen eine sehr hohe chemische und thermische Stabilität auf, da die Moleküle sehr stabile Kohlenstoff-Fluor-Bindungen besitzen. PFOS und PFOA werden von tierischen Organismen über die Nahrung oder die Atemluft aufgenommen und reichern sich im Körper stark an. Sie sind biologisch nicht abbaubar und besitzen toxische Eigenschaften. Studien an Menschen mit berufsbedingter Exposition zeigten beispielsweise signifikante Zusammenhänge mit bestimmten Krebsarten. Aus diesen Gründen und auf der Grundlage eines OECD-Berichtes aus dem Jahre 2002 ist PFOS als erste polyfluorierte Verbindung als sogenanntes „POP“ (Persistent Organic Pollutant) im Sinne des Stockholmer Übereinkommens einzustufen. In dieser POPs-Konvention aus dem Jahre 2004 haben sich mehr als einhundert Staaten zum Ziel gesetzt, besonders gefährliche Chemikalien, darunter zahlreiche Chlorkohlenwasserstoffe wie zum Beispiel DDT, Lindan, PCBs oder Dioxine weltweit zu verbieten.

Gibt es gesetzliche Regelungen zur Verwendung der polyfluorierten Verbindungen?

Schon 2003 stellte die Firma 3M als weltgrößter Produzent von PFOS aufgrund des nachgewiesenen beziehungsweise vermuteten Risikopotenzials die Produktion von PFOS nach einer Selbstverzichtserklärung ein. Von Juni 2008 an ist nun in der EU das Inverkehrbringen und Verwenden von PFOS weitgehend verboten. Der ursprüngliche Vorschlag des Umweltausschusses des Europäischen Parlaments, mit der neuen EU-Richtlinie gleichzeitig auch PFOA zu verbieten, stieß weder bei den Mitgliedsstaaten noch bei der Kommission auf Zustimmung, da eine Risikobewertung für PFOA noch nicht vorlag. Da aber der Bedarf an chemischen Substanzen zur „Oberflächenveredelung“ weiterhin als hoch einzuschätzen ist, muss man davon ausgehen, dass nach einem völligen Verzicht auf PFOS und eventuell auch

PFOA andere, ebenfalls polyfluorierte Ersatzstoffe zum Einsatz kommen werden.

Wie kann man polyfluorierte Verbindungen nachweisen?

Polyfluorierte Verbindungen werden zwar schon seit etwa einem halben Jahrhundert industriell hergestellt und finden aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften vielfältige Anwendung in unserem Alltag, ein Nachweis in der Umwelt gelang jedoch erst vor wenigen Jahren. Das hat mehrere Gründe: Zum Ersten wird der Nachweis durch den bereits erwähnten tensidartigen Charakter erschwert, der sich insbesondere hinsichtlich der Probenvorbereitung und -anreicherung als problematisch erweist. Zum Zweiten wurden aufgrund früherer Erfahrungen mit Chlorkohlenwasserstoffen organische Schadstoffe in tierischen Organismen und Lebensmitteln meist nur im Fettgewebe vermutet. PFOS und PFOA jedoch reichern sich assoziiert an Eiweißstoffen zum Beispiel in der Leber und im Blutplasma an. Zum Dritten erfordern die sehr geringen Schadstoffmengen in Boden, Wasser, Luft oder Lebewesen sehr empfindliche analytische Methoden, die erst seit wenigen Jahren zur Verfügung stehen. Dazu gehört beispielsweise die Gaschromatographie, die sich in den vergangenen Jahren stark weiterentwickelt hat. Durch die Technik der positiven und negativen chemischen Ionisation bei der Kopplung von Gaschromatograph und Massenspektrometer und dank der quantitativen Bestimmung einzelner Ionen steht der Ultrapurenanalytik jetzt eine deutlich verbesserte analytische Methode zur Verfügung. Ebenso haben auch die Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Hochdruckflüssigkeitschromatographie mit ihren speziellen Ionisierungs- und Fragmentierungsmechanismen erheblich zur Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit geführt. Sie ermöglichen heute Konzentrationsbestimmungen im parts-per-billion-(ppb-) Bereich und darunter.

In der Umwelt kommen polyfluorierte Verbindungen nach derzeitigem Kenntnisstand nicht natürlich vor. Sie sind also anthropogenen (vom Menschen geschaffenen) Ursprungs und lassen sich in nahezu allen Matrices wie beispielsweise Boden, Wasser, Luft und Lebewesen auf der ganzen Welt nachweisen. Auch in zahlreichen Lebensmitteln, menschlichem Blut und Muttermilch finden sich erhebliche PFOS- und PFOA-Mengen. Vergleichsweise hohe Konzentrationen kommen weltweit in Fischen, Robben und Seevögeln und vor allem in arktischen Eisbären vor.

Im Vergleich zu anderen umweltrelevanten POPs wie etwa den chlorierten Kohlenwasserstoffen weisen PFCs beachtlich hohe Werte auf. So lag die mittlere PFC-Konzentration laut schwedischen Untersuchungen an menschlichem Blut aus den Jahren 1994 bis 2000 20- bis 50-fach höher als die Summenkonzentration der Polychlorierten Biphenyle und circa 300- bis 450-fach höher als die von Hexachlorbenzol, zwei „klassischen organischen Schadstoffen“, deren Gefährlichkeit seit Jahrzehnten bekannt ist.

Kann man Trends erkennen?

Im Jahre 2005 veröffentlichten dänische Forscher ihre Untersuchungsergebnisse an grönländischen Robben aus den Jahren 1982 bis 2003. Die Konzentrationen von PFOS in der Leber zeigten in diesem Zeitraum einen deutlichen Anstieg von circa 30 ng/g auf circa 100 ng/g. Die Vermutung liegt nahe, dass die PFOS-Belastung von marinen Säugetieren in den letzten Jahren nicht nur stark zugenommen hat, sondern auch noch weiter ansteigen wird. Im Rahmen einer von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Promotionsarbeit wird zurzeit in der Abteilung Umweltchemie des Instituts für Küstenforschung eine Studie zur Belastungssituation von Nordseerobben anhand von 80 Robbenleberproben aus der Probenbank des Forschungs- und Technologiezentrums Westküste (FTZ) in Büsum durchgeführt. Erste Untersuchungen an der Leber einer einjährigen Kegelrobbe, die im Dezember 2005 in der Nähe von Amrum gefunden wurde, ergab eine Konzentration von 1900 ng/g, ein verglichen mit den dänischen Messungen an Ringelrobben deutlich höherer Wert.

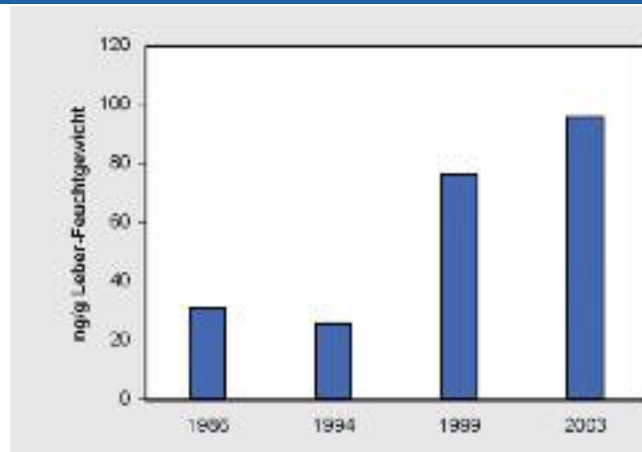
Die geplanten Messungen sollen Aufschluss darüber geben, wie sich die Belastung der Robben durch polyfluorierte Verbindungen in den vergangenen 20 Jahren verändert hat. Daraus kann dann eine zeitliche Rekonstruktion der Belastungssituation abgeleitet werden. Dabei werden nicht nur die PFOS-Mengen, sondern auch die Verteilungsmuster von circa 40 weiteren polyfluorierten Verbindungen untersucht, sodass unter Umständen auch Rückschlüsse auf das Umweltverhalten von PFOS-Ersatzstoffen möglich werden.

Wie werden polyfluorierte Verbindungen in die Umwelt eingetragen und verbreitet?

Funde von PFOS in marinen Säugetieren, wie Robben oder Eisbären der Arktis sowie im Blut der arktischen Bewohner, der Inuit, werfen die Frage auf, wie diese Stoffe ins Meer und sogar bis in die Arktis gelangen können. Bisher sind ihre Eintrags- und Verteilungspfade noch weitgehend ungeklärt. Aufgrund der relativ guten Wasserlöslichkeit und der mangelnden Flüchtigkeit könnte man vermuten, dass sie überwiegend über den Wasserweg verteilt werden. Der Transport über den Luftweg würde demnach keine oder eine eher untergeordnete Rolle spielen.

Transport der PFCs über den Wasserweg?

Während zweier Messkampagnen im Sommer und im Herbst 2007 haben Mitarbeiter des Instituts für Küstenforschung auf dem GKSS-Forschungsschiff „Ludwig Prandtl“ in der Deutschen Bucht zahlreiche Wasserproben genommen. Diese Proben wurden nach Festphasenanreicherung mit Hilfe der HPLC-ESI-MS/MS-Methode untersucht. 18 verschiedene polyfluorierte Verbindungen mit Konzentrationen von bis zu 20 ng/L konnten nachgewiesen werden.

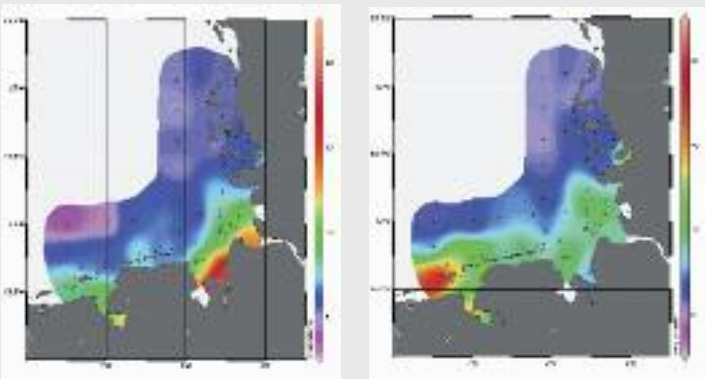


ZEITLICHER TREND DER PFOS-KONZENTRATION (MITTELWERTE) IN LEBER GRÖNLÄNDISCHER RINGELROBBEN; MODIFIZIERT NACH BOSSI ET AL. EST, 2005, 39, 7416-7422; TEMPORAL TREND OF THE PFOS CONCENTRATIONS (MEAN VALUES) IN LIVERS OF GREENLAND RINGED SEALS, MODIFIED FROM BOSSI ET AL. EST, 2005, 39, 7416-7422

Für Perfluorcarbonsäuren wie PFOA wurden in den Flussmündungsgebieten von Elbe und Weser höhere Konzentrationen gemessen als in den küstenfernen Bereichen der Deutschen Bucht.

Für PFOS ergab sich ein gänzlich anderes Bild. PFOS selbst war in Küstennähe relativ gleichmäßig verteilt, auch hier nehmen die Konzentrationen mit der Entfernung zur Küste ab. Einträge über Elbe oder Weser waren im Verlaufe der Sommerkampagne nicht so deutlich erkennbar wie bei PFOA. Bereits jetzt lässt sich in einigen Proben aus der Nordsee erkennen, dass Ersatzstoffe zum Einsatz kommen und in die Umwelt gelangen: westlich der Emsmündung in Küstennähe waren höhere Konzentrationen von Perfluorsulfonaten, in diesem Fall allerdings nicht von PFOS, sondern von PFBS (Perfluorbutansulfonat), einem PFOS-Ersatzstoff, auffällig. Untersuchungen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, lassen vermuten, dass PFBS über den Rhein in die Nordsee gelangt und mit der Strömung nach Osten in die Deutsche Bucht driftet. Nach bisherigen Kenntnissen soll PFBS anders als PFOS nicht toxisch wirken und wegen seiner im Vergleich zu PFOS kürzeren Kohlenstoffkette nicht in Organismen angereichert werden. Über die Auswirkungen in der Umwelt ist allerdings erst wenig bekannt.

Doch wie gelangen diese Stoffe in die Flüsse? Die Eintragspfade der PFCs sind noch weitgehend unerforscht. Ein Eintrag aus der technischen Herstellung dieser Substanzen kann ausgeschlossen werden, da deutsche Unternehmen weder PFOA noch PFOS produzieren. Auch Produktionsstätten von Fluorpolymeren, wie im bayrischen Gendorf, sind an Elbe oder Weser nicht bekannt. (In Gendorf gelangten vor einiger Zeit größere Mengen PFOA, das beim Herstellungsprozess von Fluorpolymeren eingesetzt wird, ins Abwasser und damit auch in den nahen Fluss.) Weitere in der Abteilung Umweltchemie des Instituts für Küstenforschung geplante Untersuchungen sollen über diese Fragen Aufschluss geben.



LINKS, KONZENTRATIONSVERTEILUNG VON PFOA IN DER DEUTSCHEN BUCHT: ES SIND ZWEI EINTRAGSPFADE IN DIE NORDSEE ZU ERKENNEN: PFOA GELANGT ÜBER DIE FLÜSSE ELBE UND WESER INS OFFENE MEER. DISTRIBUTION OF PFOA-CONCENTRATIONS IN THE GERMAN BIGHT IN NG/L

RECHTS, KONZENTRATIONSVERTEILUNG VON PFBS IN DER DEUTSCHEN BUCHT: WESTLICH DER EISMÜNDUNG IN KÜSTENNÄHE WAREN HÖHERE KONZENTRATIONEN VON PERFLUORSULFONATEN, IN DIESEM FALL ALLERDINGS NICHT VON PFOS, SONDERN VON PFBS (PERFLUORBUTANSULFONAT), EINEM PFOS-ERSATZSTOFF, AUFFÄLLIG. DISTRIBUTION OF PFBS-CONCENTRATIONS IN THE GERMAN BIGHT IN NG/L

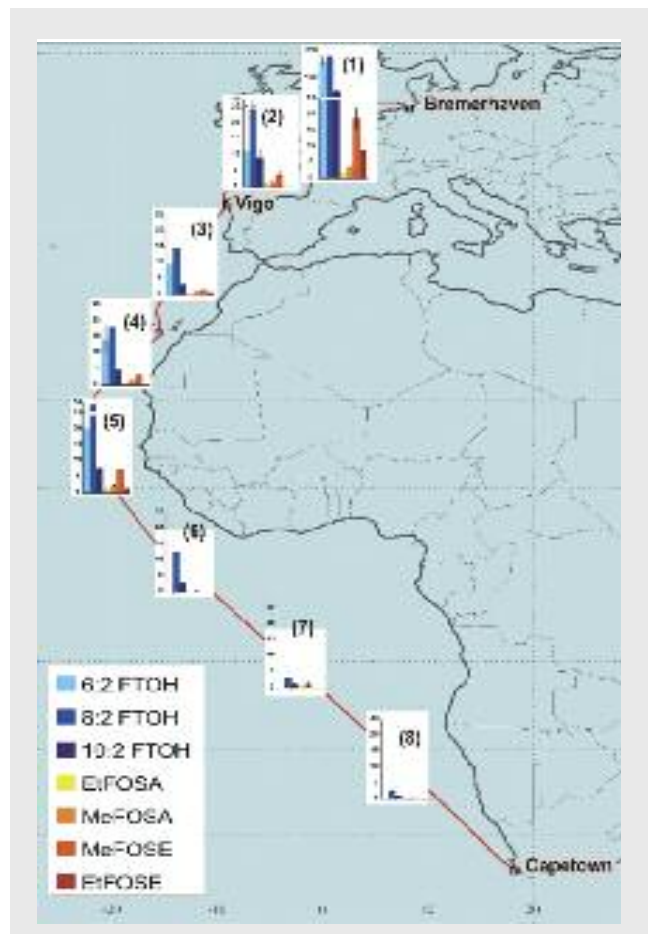
Transport der PFCs über den Luftweg?

PFOS und PFOA lösen sich in Wasser, sind aber nicht flüchtig und werden demnach im gasförmigen Anteil der Luft auch nicht nachgewiesen. Allerdings kennt man aus ihren technischen Herstellungsprozessen flüchtige Vorläuferverbindungen von PFOS und PFOA wie zum Beispiel polyfluorierte Alkohole, die in die Luft eingetragen werden. Die flüchtigen Vorläuferverbindungen könnten weiträumig über die Atmosphäre transportiert und dort durch verschiedene physikalische und chemische Prozesse zu PFOS und PFOA umgesetzt werden. In entlegenen Gebieten wären sie dann als PFOS und PFOA nachweisbar. Der indirekte Transport von PFOS und PFOA über den Luftpfad würde zu einer sehr viel schnelleren weiträumigen Verbreitung dieser Stoffe führen als der direkte Transport über den Wasserweg. Diese Hypothese war Anlass für umfangreiche Untersuchungen am Institut für Küstenforschung zum Vorkommen von polyfluorierten Verbindungen in der Atmosphäre sowie zur Aufklärung des Verbreitungsmusters und der Transportmechanismen zwischen Quellregionen und abgelegenen Meeresgebieten.

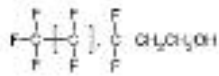
Zunächst einmal musste eine spurenanalytische Methode für Probenahme, Identifizierung und Bestimmung von potentiellen PFOS-/PFOA-Vorläuferverbindungen in Luft entwickelt werden. In den dann folgenden Luftprobenuntersuchungen wurden am Institut für Küstenforschung im Jahre 2004 erstmals in europäischen Küstenregionen vier verschiedene Fluortelomeralkohole (FTOH), zwei Fluorooctansulfonamide (NMeFOSA/NEtFOSA) und zwei Fluorooctansulfonamidethanole (NMeFOSE/NEtFOSE) im pg/m³-Konzentrationsbereich bestimmt.

Zur Bestätigung der Hypothese der weiträumigen Verteilung von PFCs über die Atmosphäre wurden seit 2004 mehrere Probenahmekampagnen mit den Forschungsschiffen „Polarstern“, „Maria S. Merian“ und „Atair“ in der Nordsee und in weiter entfernten marinen Gebieten wie der europäischen Arktis und vor der afrikanischen Westküste durchgeführt. In den Luftproben dominierten die Fluortelomeralkohole. Die höchsten FTOH-Konzentrationen wurden an der europäischen Atlantik-/Nordseeküste mit bis zu 200 pg/m³ Luft gemessen. Aber auch in Bereichen weit entfernt von Produktionsstandorten wie der Arktis (bis zu 35 pg/m³ bei Spitzbergen) und der westafrikanischen Atlantikküste (bis circa 10 pg/m³ im Südatlantik) kann diese Substanzklasse nachgewiesen werden.

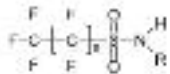
Diese Ergebnisse untermauern die Hypothese des atmosphärischen Transports von Vorläufersubstanzen über lange Strecken. In kanadischen Untersuchungen zur Lebensdauer der FTOHs in der Atmosphäre fand man heraus, dass die Verbindungen durch chemische Reaktion mit atmosphärischen OH-Radikalen tatsächlich zum stabilen Endprodukt PFOA abgebaut werden. Ihre atmosphärische Lebens-



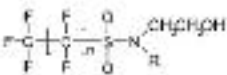
PROBENAHMEFAHRT AUF DEM FORSCHUNGSSCHIFF „POLARSTERN“ VON BREMERHAVEN NACH KAPSTADT IM HERBST 2005; FTOH-, FOSA- UND FOSE-KONZENTRATIONEN IN PG/M³ LUFT; AUS DER DISSERTATION VON ANNIKA JAHNKE, GKSS, 2007
CRUISE PLOT OF „POLARSTERN“ EXPEDITION FROM BREMERHAVEN TO CAPETOWN IN AUTUMN 2005; CONCENTRATIONS IN PG/M³ AIR



FLUORTELOMERALKOHOLE;
FLUOROTELOMER ALCOHOLS



FLUORALKYLSULFONAMIDE;
FLUORALKYL SULFONAMIDES



FLUORALKYLSULFONAMID-
ETHANOLE;
FLUORALKYL SULFONAMIDO-
ETHANOLS

dauer beträgt laut Studie circa 20 Tage, lang genug, um bei einer globalen Durchschnittswindgeschwindigkeit von 4 m/s ungefähr 7000 km weit transportiert zu werden. Das auf diese Weise entstandene PFOA wird beispielsweise mit den Niederschlägen aus der Luft ausgewaschen und verbleibt im Meerwasser oder auf dem Festland und kann hier von Organismen mit der Nahrung aufgenommen und im Körper angereichert werden.

Fazit und Ausblick

PFOS, PFOA und noch viele andere polyfluorierte Verbindungen können über weite Strecken sowohl über den Wasserweg durch Meeresströmungen als auch indirekt über Vorläuferverbindungen wie zum Beispiel Fluortelomeralkohole, Fluoralkylsulfonamide und Fluoralkylsulfonamidethanole über die Atmosphäre durch Luftmassenbewegungen großräumig transportiert werden. Damit haben beide Verbreitungspfade ihren Anteil an der Globalverteilung von PFOS und PFOA.

Für die Zukunft sind am Institut für Küstenforschung weitere Untersuchungen zur Herkunft, zum Transport und zum Verbleib von polyfluorierten Verbindungen, ihren Ersatzstoffen und von weiteren potenziellen organischen Problemstoffen in der küstennahen, marinen und auch polaren Umwelt geplant. Ziel dieser Arbeiten ist es, eine wissenschaftliche Basis für die Beurteilung der Belastung zu schaffen, um so zu einem besseren Verständnis von regionalen und globalen Verteilungsprozessen anthropogener Substanzen beizutragen. Im Institut bereits vorhandene Modellkompetenz für andere, „klassische“ organische Schadstoffe wie die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe, soll auf die Gruppe der PFCs ausgeweitet werden. Für die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe, die zum Beispiel über die Abgase von Schiffs- und Dieselmotoren in die Atmosphäre gelangen, werden seit einiger Zeit am Beispiel ihrer Leitsubstanz Benzo[a]pyren Modellrechnungen für den regionalen atmosphärischen Transport durchgeführt. Auf diese Weise lässt sich rückblickend das raum-zeitliche Verteilungsverhalten dieser Problemstoffe für den Bereich der Nord- und Ostsee im Verlauf der vergangenen Jahrzehnte untersuchen und darüber hinaus ein Szenario für die künftige Verteilung ableiten.

Dr. Renate Sturm
renate.sturm@gkss.de

Polyfluorinated compounds – new organic pollutants in the coastal environment

For more than 50 years polyfluorinated compounds (PFCs) have been used for surface treatment in carpets and textiles, in polymer production, in fire-fighting foams, in cosmetics and cleaning agents. Nowadays PFCs are detected everywhere in the marine environment. As they are extremely persistent, show toxic effects and accumulate in the food chain they are regarded as a new and emerging class of environmental contaminants. Furthermore they are considered to be “candidates” for the Stockholm convention list of the so-called POPs (persistent organic pollutants).

The most discussed representatives of this group are PFOS and PFOA with high concentrations (found) in marine mammals like seals and polar bears. Only limited information is available about the distribution and the long range transport of PFCs from the place of production and consumption to remote regions like the Arctic. Studies at the institute of coastal research confirm the assumption that there are two ways of distribution of PFOS and PFOA.

The first way is direct transport by water currents. The Elbe and Weser Rivers were identified to be sources of PFCs for the German Bight. High concentrations of PFBS were measured to the west of the estuary mouth of the River Ems. This might be effected by (an effect of) a new EU directive, which prohibits the use of PFOS from June 2008. Instead of PFOS the substitute PFBS is now used. In contrast to PFOS this substitute is supposed to be non toxic and non bioaccumulative, but until now little is known about its effect on the environment.

The second way is a transport of volatile precursor substances like FTOHs via the air. In the atmosphere these compounds physically degrade to PFOS and PFOA which are then washed out of the air and deposited on water or soil surfaces. Studies by the institute of coastal research in marine coastal regions like the North Sea, the European Arctic and the Atlantic Ocean near Westafrica prove that PFCs-precursors are able to cover long distances. Thus both pathways of distribution are involved in the global distribution of PFOS and PFOA.

It is the aim of further work to provide a scientific basis for the assessment of the environmental load with pollutants, in order to obtain a better understanding of the distribution processes of pollutants on both a regional and global basis.