



Mitteilungen der Fachgruppe

# Umweltchemie und Ökotoxikologie

Gesellschaft Deutscher Chemiker

- Doktorandentag der Fachgruppe
- Anthropogene PFAS in der Umwelt
- Alterung synthetischer Polymere
- Auswirkungen von Mikropartikeln
- Sequentielle Biofiltration
- Biozide im Regenwasserablauf
- Bericht vom Forum junger Umweltwissenschaftler und von der Verleihung des Paul-Crutzen-Preises
- Kurz vorgestellt: UEG Chemisches und mikrobiologisches Institut und ROHA Diox Consult
- Nachruf auf Prof. Werner Klein

**3/2017**

23. Jahrgang, September 2017 ISSN 1618-3258



## Impressum

Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie

Herausgegeben von der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der Gesellschaft Deutscher Chemiker  
[www.gdch.de/umweltchemie](http://www.gdch.de/umweltchemie)

### Redaktion:

Prof. Dr. Dr. Klaus Fischer  
Analytische und Ökologische Chemie  
FB VI –Raum- und Umweltwissenschaften–  
Universität Trier  
Campus II, Behringstr. 21, D-54296 Trier  
Tel. und Fax: 0651/ 201-3617  
Sekretariat: 0651/ 201-2243  
E-Mail: [fischerk@uni-trier.de](mailto:fischerk@uni-trier.de)

### Abkürzung:

Mitt Umweltchem Ökotox

### Design/ Technische Umsetzung:

Dr. Matthias Kudra, Universität Leipzig  
E-Mail: [kudra@uni-leipzig.de](mailto:kudra@uni-leipzig.de)

### ISSN: 1618-3258

Das vorliegende Heft der Mitteilungen wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Herausgeber, Autoren und Redakteure für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

### Titelbild:

Versuchsanlage des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen (LLH) in Kassel, in der die Pflanzenverfügbarkeit von PFAS untersucht wird (T. Stahl et al.)

## Editorial

- 62 Ankündigung des Doktorandentags der Fachgruppe

## Originalbeiträge

- 63 **T. Stahl et al.:** Anthropogene Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) in der Umwelt – eine „Never-Ending Story“?
- 69 **D. Thomas et al.:** Alterung synthetischer Polymere in der marinen Umwelt am Beispiel von HDPE, LDPE, PP und PLA
- 73 **M. Weidung et al.:** Auswirkungen von synthetischen und natürlichen Mikropartikeln auf Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und Felsengarnelen (*Palaemon varians*)
- 77 **J. Müller et al.:** Sequentielle Biofiltration zur Entfernung anthropogener Spurenstoffe aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen
- 81 **D. Wicke et al.:** Biozide im Regenwasserabfluss Berlins

## Aus der Fachgruppe

- 86 Bericht vom Forum Junger Umweltwissenschaftler 2017 in Münster
- 87 Verleihung des Paul-Crutzen-Preises 2017 an Dr. Martin Brüggemann
- 87 Nachruf auf Prof. Dr. Werner Klein

## Kurz vorgestellt

- 88 Chemisches und mikrobiologisches Institut UEG GmbH
- 90 ROHA Diox Consult – Dr. Roland Haag

## Informationen

### Veranstaltungsankündigungen

- 92 Fachgruppen-Workshop „Hoch polare Stoffe“, 4.-5.10.2017, Monheim am Rhein
- 92 3<sup>rd</sup> Int. Workshop „Spectroscopy and Dynamics of Ozone and Related Atmospheric Species“, 4.-6.10.2017, Reims
- 92 4. Fachgruppen-Doktorandentag, 10.10.2017, Niefern-Öschelbronn
- 93 LfU-Fachtagung: Luftreinhalteplanung – Maßnahmen gegen Feinstaub und Stickstoffoxide, 8.11.2017, Augsburg
- 93 Langenauer Wasserforum (LWF) - Spurenstoffe im Trinkwasser - 13.-14.11.2017, Langenau
- 93 PMOCs in the Water Cycle, 23.-24.11.2017, Leipzig
- 94 LfU/UBA-Workshop: PFC-Kontaminationen – Bewertungsmaßstäbe für Wasser und Boden, 27.11.2017, Augsburg
- 94 BONARES Conference 2018: „Soil as a Sustainable Resource“, 26.–28.02.2018, Berlin

### Kurznachrichten

- 95 Empfehlungen des Bundesumweltministeriums zur Durchführung von PFC-Forschungsvorhaben
- 95 Nanopartikel: Wo bleiben sie, und wie verändern sie sich?
- 95 Diesel-Pkw: Software-Updates reichen nicht aus für saubere Luft
- 96 LABO: Aktualisierte Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden
- 97 REACH: Bisphenol A und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) als besonders besorgniserregende Stoffe eingestuft
- 97 NeuroBox – Bewertung neurotoxischer Effekte im Wasserkreislauf
- 98 UBA-Texte 40/2017: Suitability of laboratory simulation tests for the identification of persistence in surface waters
- 98 UBA-Texte 61/2017: Joint effects of pharmaceuticals and chemicals regulated under REACH in wastewater treatment plant effluents
- 99 UBA-Texte 65/2017: Evaluierung von Monitoringdaten zu POPs
- 99 EAWAG-Studie: Arsenrisiko in Pakistan viel grösser als angenommen

## Personalia

- 100 Eintritte in die FG 25.05. - 25.08.2017
- 100 Geburtstage 4. Quartal 2017

## Es ist wieder soweit. Unser jährlicher Doktorandentag steht bald wieder an.

Im Jahr 2014 hat der Vorstand der Fachgruppe diese Veranstaltung ins Leben gerufen, um jungen Mitgliedern unserer Fachgruppe, speziell Doktoranden, aber auch fortgeschrittenen Studenten, die Möglichkeit zu geben, mögliche künftige Arbeitsfelder und Arbeitgeber aus dem Bereich der Umweltchemie/Ökotoxikologie kennenzulernen und in einem lockeren, entspannten Umfeld erste Kontakte zu knüpfen.

In den letzten Jahren haben wir den Doktorandentag bereits bei der BASF (Ludwigshafen und Limburgerhof), bei Bayer CropScience (Monheim) und am Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME (Schmallenberg) durchführen können. Bei dieser Gelegenheit nochmals ein herzliches Dankeschön an die dortigen Kolleginnen und Kollegen, die mit großem personellen Aufwand und viel Engagement dem Fachgruppennachwuchs jeweils einen spannenden und abwechslungsreichen Einblick in ihren Betrieb und Berufsalltag gaben. In einigen Fällen sind tatsächlich bleibende Kontakte entstanden und sogar Kooperationen für noch laufende Promotionen.

Die Programme sind jeweils so gestaltet, dass neben den Vorträgen und Laborführungen noch ausreichend Zeit besteht, den Mitarbeitern, auch im persönlichen Gespräch, alle auf dem Herzen liegenden Fragen zu stellen, aber auch Kolleginnen und Kollegen aus anderen Arbeitskreisen kennenzulernen. Nicht selten bietet sich so die unerwartete Gelegenheit, Probleme bei der eigenen Promotionsarbeit zu diskutieren oder sich einfach mal mit Kolleginnen und Kollegen auszutauschen, die ein „Problem“ aus einer ganz anderen Richtung betrachten.

Die Liste der bisherigen Veranstaltungsorte zeigt, dass der Fachgruppenvorstand bemüht ist, ein abwechslungsreiches Spektrum an möglichen Arbeitgebern vorzustellen, also sowohl die chemische Industrie, wie auch Forschungseinrichtungen und Auftragslabore abzudecken.

Dieses Jahr lädt uns die **Eurofins Agrosience Services GmbH** am **10. Oktober 2017** nach Niefern-Öschelbronn ein. Der Fachgruppennachwuchs wird also dieses Mal einen Einblick in die Durchführung von Feld- und Laborstudien (v.a. Studien zur ökotoxikologischen Wirkung, Fate and Behaviour) zum Zwecke der Chemikalienregulierung bekommen. Natürlich wird auch der regulatorische Hintergrund beleuchtet. Ein besonderes Highlight wird sicher die Tuchfühlung mit der Praxis in Form einer aktiven Teilnahme am Insektenfang im Freiland.

Der Vorstand wünscht sich, dass möglichst viele Nachwuchswissenschaftler an dieser Veranstaltung teilnehmen können. Aus diesem Grund unterstützt die Fachgruppe diese Veranstaltung mit Reisestipendien, die nach der Veranstaltung beantragt werden können.

Die **Anmeldung ist bis zum 18. September 2017** bei Stefanie Jäger ([jaeger.stefanie@buaa.bund.de](mailto:jaeger.stefanie@buaa.bund.de)) möglich. Die Teilnehmerzahl ist auf 20 Personen beschränkt.

Wir bitten auch die Arbeitsgruppenleiter, ihre Doktoranden und Doktorandinnen auf diese Veranstaltung aufmerksam zu machen.

Wir freuen uns auf einen spannenden und abwechslungsreichen Tag mit Ihnen.

Stefanie Jäger  
(für den Vorstand der Fachgruppe Umweltchemie & Ökotoxikologie)

# Anthropogene Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) in der Umwelt – eine „Never-Ending Story“?

Thorsten Stahl<sup>1</sup> ([thorsten.stahl@lhl.hessen.de](mailto:thorsten.stahl@lhl.hessen.de)), Sandy Falk<sup>2</sup> ([sandy.falk@lhl.hessen.de](mailto:sandy.falk@lhl.hessen.de)),  
Hubertus Brunn<sup>3</sup> ([hubertus.brunn@lhl.hessen.de](mailto:hubertus.brunn@lhl.hessen.de))

<sup>1</sup> Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL), Am Versuchsfeld 11-13, 34128 Kassel

<sup>2</sup> LHL, Glarusstr. 6, 65203 Wiesbaden

<sup>3</sup> LHL, Schubertstr. 60, 35392 Gießen

## Abstract

Als im Jahre 2006 in Deutschland erstmals öffentlich von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) berichtet wurde, schien es sich eher um einen „Zufallsbefund“ und um eine lokale Umweltkontamination zu handeln. Heute wissen wir, dass wir es mit einer ubiquitären Umweltbelastung mit zahlreichen „Hot-Spot-Regionen“, auch in Deutschland, zu tun haben. Mehr als 3.000 Einzelsubstanzen aus der Gruppe der PFAS sind oder waren im industriellen Einsatz. Aufgrund ihrer zahlreichen Verwendungsmöglichkeiten und teilweise hohen Produktionsmengen sind PFAS mittlerweile in Wasser, Böden, Klärschlamm, Bioabfall, Lebensmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft, in aquatischen und terrestrischen Lebewesen sowie in Humanmatrices wie Blut und Muttermilch nachweisbar.

## 1. Die Substanzklasse

Per- und Polyfluoralkylsubstanzen kommen in der belebten und unbelebten Umwelt nach dem derzeitigen Kenntnisstand nicht natürlich vor und sind demnach anthropogenen Ursprungs. Perfluoralkylsubstanzen sind organische Verbindungen, deren Wasserstoffatome vollständig durch Fluoratom substituiert sind – mit Ausnahme der Wasserstoffatome als Bestandteil funktioneller Gruppen (Abbildung 1a). Unter Polyfluoralkylsubstanzen werden organische Verbindungen verstanden, deren Wasserstoffatome teilweise, aber nicht vollständig, durch Fluoratom substituiert sind (Abbildung 1b).

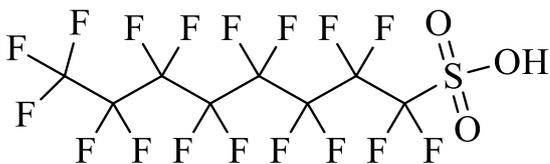


Abbildung 1a: Perfluorierte Verbindung  
(Perfluorooctansulfonsäure - PFOS)

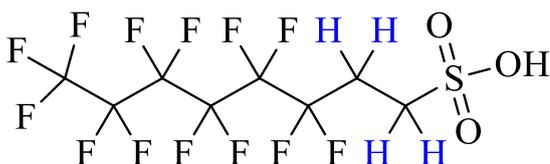


Abbildung 1b: Polyfluorierte Verbindung  
(1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsäure – H4PFOS)

Die Perfluoralkylsubstanzen sind chemisch sehr stabil und biologisch nicht oder kaum abbaubar, was ihnen die Eigenschaft einer persistenten Substanzklasse verleiht. Darüber

hinaus können sie bioakkumulieren und unterliegen offenbar auch der Biomagnifikation. Einige Polyfluoralkylsubstanzen, als Vorläufersubstanzen oder Precursor bezeichnet, können durch verschiedene physikalisch-chemische oder biologische Prozesse zu Perfluoralkylsubstanzen transformiert werden und so die charakteristischen physikalisch-chemischen Eigenschaften dieser Stoffgruppe annehmen. Bis etwa zum Jahre 2014 standen die Perfluoralkylsubstanzen mit Kettenlängen von C4 bis C14 im Fokus des wissenschaftlichen und öffentlichen Interesses. Bedingt durch die Tatsache, dass in diversen Umweltmatrices zwischenzeitlich vergleichsweise hohe Konzentrationen im mg/kg bzw. mg/L-Bereich sehr kurzkettiger - z.B. Trifluoressigsäure - bzw. Vorläufersubstanzen - z.B. Polyfluoralkylphosphatester, PAPs – nachgewiesen wurden, stehen nun etwa 3.000 poly- und perfluorierte Einzelverbindungen in der Diskussion, die potentiell in der Umwelt nachgewiesen werden können. In Abhängigkeit von der jeweiligen funktionellen Gruppe lassen sich PFAS in zahlreiche verschiedene Untergruppen einteilen. Einige für die Umwelt relevante Untergruppen sind mit Beispielen in Tabelle 1 dargestellt.

## 2. Verwendung von PFAS

PFAS werden in der Textilindustrie zur Herstellung wasserabweisender atmungsaktiver Jacken und in der Papierindustrie zur Produktion von Schmutz, Fett und Wasser abweisenden Papieren verwendet. Darüber hinaus sind sie auch Bestandteil von Chemikalien, die zur Verpackung von Lebensmitteln wie Fast Food, zur Imprägnierung von Möbeln, Teppichen und Bekleidung einschließlich Schuhen eingesetzt werden. Weiterhin werden PFAS in Antifoggingmitteln für Glas, in Antistatika bei der Chipherstellung, als Zementzusätze, in Reinigungsmitteln, in Beschichtungen, in Isolatoren, in Kosmetika, in Farben, in Haushaltsreinigern, zur Herstellung von Feuerlöschschäumen, in Schädlingsbekämpfungsmitteln und in hydraulischen Flüssigkeiten verwendet. PFAS werden bei der Antihafbeschichtung von Pfannen und Töpfen zur Herstellung des Fluor-Kunststoffes PTFE (Polytetrafluorethylen) verwendet, der nahezu in jedem Haushalt unter dem Handelsnamen Teflon® zu finden ist. Exakte Zahlen über die Produktion und das Inverkehrbringen einzelner Verbindungen sind meist nicht erhältlich, zumal die Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD 2005) darauf hinweist, dass der Gehalt bzw. die Verwendung in Produkten oder Mixturen nicht immer gekennzeichnet ist, und somit die Importeure dieser Produkte über eventuelle Gehalte von PFAS in den Produkten nicht informiert sind.

**Tabelle 1: Untergruppen der Perfluoralkylverbindungen**

Untergruppe PFAS*	Abkürzung	Funktionelle Gruppe	Beispiel	Struktur	Verwendung
Perfluoralkyl-carbonsäuren	PFCA	-COOH	Perfluorooctan-säure (PFOA)		Oberflächenbehandlung
Perfluoralkyl-sulfonsäuren	PFSA	-SO <sub>3</sub> H	Perfluorooctan-sulfonsäure (PFOS)		Oberflächenbehandlung
Perfluoralkyl-sulfonamide	FASA	-SO <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	Perfluorooctan-sulfonamid (FOSA)		Rohmaterial für Oberflächenbehandlung und Oberflächenbeschichtungsprodukte
Perfluoralkyl-sulfinsäuren	PFSIA	-SO <sub>2</sub> H	Perfluorooctan-sulfinsäure (PFOSI)		Zwischenprodukt bei Transformationsprozessen in der Umwelt
Perfluoralkyl-phosphorsäuren	PFPA	-P(=O)(OH) <sub>2</sub>	Perfluorooctyl-phosphorsäure (C8-PFPA)		Oberflächenbehandlung
Perfluoralkyl-sulfonylfluoride	PASF	-SO <sub>2</sub> F	Perfluorooctan-sulfonylfluorid (POSF)		Hauptrohmaterial für PFOS bei der ECF und Rohmaterial für Oberflächenbehandlung und -beschichtung
Perfluoralkyliodide	PFAI	-I	Perfluorooctyliodid (PFOI)		Rohmaterial für Oberflächenbehandlung und Oberflächenbeschichtungsprodukte

\* Tabelle modifiziert nach Buck et al. (2011)

### 3. Historie des so genannten PFAS-Umweltskandals

Obwohl PFAS seit mehr als 60 Jahren verwendet werden, wurde die breite Öffentlichkeit in Deutschland erst Mitte des Jahres 2006 durch einen so genannten „Umweltskandal“ auf diese Substanzklasse aufmerksam, als Wissenschaftler des Universitätsklinikums Bonn während eines Untersuchungsprogramms in den Flüssen Ruhr und Möhne vergleichsweise hohe Konzentrationen einiger Vertreter der Verbindungsklasse fanden (Skutlarek 2006). Bei der Suche nach den Ursachen für diese Gewässerbelastung haben die nordrhein-westfälischen Umweltbehörden zunächst aktuelle Schadensereignisse, z.B. Brände bzw. die Löschung von Bränden unter Zuhilfenahme von Feuerlöschschaum, mögliche Industrie-Altstandorte und eine Deponie, überprüft. Es konnten jedoch keine Hinweise auf mögliche PFAS-Einträge in die Gewässer gefunden werden. Hohe PFAS-Konzentrationen haben die Behörden schließlich auf der Fläche einer Weihnachtsbaumkultur sowie auf einigen weiteren landwirtschaftlich genutzten Flächen gefunden. Auch die Vorfluter kommunaler Kläranlagen, in deren Einzugsbereich diese landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen,

waren mit PFAS belastet (Stahl et al. 2009). Bei dem zur Düngung dieser Flächen eingesetzten Material handelte es sich um eine Mischung von Abwasserschlämmen aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion und Gesteinsmehl. Die Herstellung und Aufbringung von Düngemitteln auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ist grundsätzlich zulässig, wenn die Anforderungen nach der Düngemittelverordnung (DüMV 2012) erfüllt werden. Möglicherweise wurde mit PFAS belasteter, so genannter „Bodenverbesserer“, auch auf Flächen in anderen Bundesländern aufgebracht (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2006).

Am 12. Januar 2012 begann der Prozess um diese Umweltverschmutzung Nordrhein-Westfalens am Landgericht Paderborn. Nach Angaben des Westdeutschen Rundfunks sollten 43 Zeugen und 18 Sachverständige gehört werden, wobei die entscheidende Frage lautete, wie „belastend“ und „gefährlich“ PFAS für die unbelebte und belebte Natur sind, und ob man den einzelnen Angeklagten ein Verschulden im Sinne der Fahr-

lässigkeit oder des Vorsatzes nachweisen kann. Am 11. April 2013 wurde das Verfahren nach 55 Verhandlungstagen gegen eine Geldauflage von 440.000 Euro eingestellt. Den Verursachern konnte nicht nachgewiesen werden, dass sie von den PFAS-Verunreinigungen des aufgebracht Bodenverbessers gewusst hatten.

Mit der Einstellung des Prozesses sind jedoch die Umweltschäden und die daraus resultierenden Folgeschäden nicht behoben. Fast zeitgleich mit der Einstellung des Prozesses wurde bekannt, dass in Baden-Württemberg 400 Hektar Boden mit PFAS belastet sind. Ursache war möglicherweise ein mit PFAS-haltigen Papierschlamm versetzter Kompost, der großflächig auf die Äcker aufgebracht worden ist. Die Folgen dieser PFAS-Kontaminationen waren Grundwasserbelastungen, Stilllegung von Brunnen sowie die Einführung eines Vorrentemonitorings im Rahmen des vorbeugenden Verbraucherschutzes. Die Sanierung von Grundwasser, Oberflächenwasser und Böden, sofern sie technisch überhaupt möglich wäre, ist nach derzeitiger Kenntnis mit einem erheblichen finanziellen Aufwand verbunden.

In diesem Kontext stellt sich die Frage, wie die bereits in der Umwelt befindlichen PFAS verteilt und verbreitet werden, welche Risiken für Mensch, Tier und Umwelt bestehen und ob es möglich ist, alle 3.000 in der Diskussion stehenden PFAS analytisch in den oben beschriebenen Matrices – zumindest halbquantitativ – nachzuweisen.

#### 4. Eintrags- und Verteilungspfade

Die möglichen Eintrags- und Verteilungspfade von PFAS in die Umwelt und in die Nahrungsketten sind gegenwärtig noch immer nicht vollkommen aufgeklärt. Es ist aufgrund des amphiphilen Charakters zahlreicher PFAS anzunehmen, dass die überwiegende Verteilung über den Wasserweg stattfindet (Gellrich 2012, Gellrich 2013, Zareitalabad 2013). Mögliche Eintragspfade in die Umwelt sind Abwässer industrieller Prozesse als Direkteinleiter in kommunale Kläranlagen, aber auch die Kläranlagen selbst, welche die PFAS trotz einer aufwändigen Aufreinigungstechnik über mehrere Stufen nicht vollständig zurückhalten können (Zhang 2013). Darüber hinaus können auch Sickerwässer von Deponien (Ahrens 2011) und Abfallbehandlungsanlagen (Kim 2012) einen nicht unerheblichen Beitrag zu einer PFAS-Belastung wässriger Matrices leisten. Von landwirtschaftlich genutzten Flächen, die mit PFAS-kontaminiertem Wasser bewässert werden und auf denen z.B. Gemüse oder Getreide angebaut werden, können PFAS von den Pflanzen aufgenommen werden, was bereits im Rahmen verschiedener Studien gezeigt werden konnte (Stahl 2013, Krippner 2014, Krippner 2015). Eine andere Möglichkeit des „carryover“ von PFAS in Pflanzen ist die Aufnahme aus den Böden nach Aufbringung von verunreinigtem Klärschlamm, der als Düngemittel auf landwirtschaftlich genutzte Flächen aufgebracht wurde. Dienen diese Pflanzen der Erzeugung von Lebensmitteln oder als Futtermittel für Tiere, deren Fleisch als Lebensmittel oder über Fleischprodukte in den Verkehr gelangt, erreichen die PFAS den Menschen, wie

in einer Studie mit PFAS kontaminierter Maissilage an Schafen und Kühen gezeigt wurde (Kowalczyk 2012). Ferner können PFAS, die den Boden in Abhängigkeit ihrer Kettenlänge und funktionellen Gruppe mehr oder weniger schnell passieren, in das Grundwasser und über diesen Pfad schließlich in Mineral- oder Trinkwasser gelangen (Gellrich 2013), was zu einem Eintrag in Lebensmittel und die menschliche Nahrungskette führen kann.

#### 5. Analytik

Die Analytik der PFAS wird in Forschung und Routine aufgrund ihrer meist vorhandenen Polarität größtenteils mittels LC-MS/MS durchgeführt. Flüchtige PFAS können auch mittels GC-MS(MS) analysiert werden. Im Umweltbereich existieren zwei Normen (DIN 38407-42, DIN 38414-14) zur Untersuchung wässriger Matrices sowie von Schlamm, Kompost und Boden, die jedoch lediglich die Analytik 10 perfluorierter Alkylcarbonsäuren und Alkylsulfonsäuren mit Kettenlängen zwischen C4 und C10 umfasst. Zwischenzeitlich wurde ein ISO-Normungsprojekt zur Bestimmung PFAS ins Leben gerufen, welches die Analytik von insgesamt 27 PFAS umfasst; darunter sind neben den in den beiden Normen DIN 38407-42 und DIN 38414-14 geregelten PFAS weitere perfluorierte Alkylcarbonsäuren und Alkylsulfonsäuren, fünf Sulfonamide, ein Telomeralkohol, eine Telomercarbonsäure und zwei Polyfluoralkylphosphatester aufgeführt. Die deutliche Ausweitung auf zusätzliche Substanzen im Rahmen des ISO-Projektes kann aber aus hiesiger Sicht nicht darüber hinwegtäuschen, dass für den Großteil der sich möglicherweise in der Umwelt befindlichen weiteren etwa 3.000 PFAS derzeit keine – auch keine „halbquantitativen“ – analytischen Verfahren existieren und niemand derzeit abschätzen kann, welche PFAS in welchen Konzentrationen in der Umwelt und somit letztlich in den Nahrungsketten vorhanden sind. Darüber hinaus sollte bedacht werden, dass die Quantifizierung der PFAS in der Regel mit Hilfe <sup>13</sup>C-markierter interner Standards erfolgt bzw. erfolgen muss, um Signalunterdrückungen oder -verstärkungen durch Einflüsse der jeweiligen Probenmatrix bei der Probenvorbereitung und der Analyse auszugleichen. Daher wäre es im Hinblick auf die erforderliche Validität und gerichtsfeste Untersuchungsbefunde der Messergebnisse erstrebenswert, für jeden Analyten einen internen isotoopenmarkierten Standard einzusetzen. Die Anzahl der in Frage kommenden Analyten, der verschiedenen notwendigen analytischen LC-MS/MS-Messmethoden - z.B. unterschiedliche Polaritäten der Analyten, Flüchtigkeiten, funktionelle Gruppen - und der aufwendigen Quantifizierung im Hinblick auf <sup>13</sup>C-markierte Standards lässt den Schluss zu, dass dies mit vertretbarem Aufwand und damit einhergehend mit vertretbaren Kosten, nicht geleistet werden kann.

Die Diskussion über die Festlegung von „Leitparametern“ ist schon älteren Ursprungs; aber nach welchen Kriterien diese ausgewählt werden soll(t)en, ist derzeit unklar. Denkbar wäre z.B. die Auswahl nach funktionellen Gruppen, nach in der Umwelt vorkommenden Konzentrationen, nach Toxizität je Substanz (die im Einzelfall bis auf wenige Ausnahmen jedoch

noch nicht bewertet wurde), oder nach Toxizitätsäquivalenten, ähnlich wie bei den Dioxinen.

Mittlerweile arbeiten Forschergruppen national sowie international - und auch das DIN - an der Entwicklung von Methoden zur Bestimmung von Summenparametern z.B. ähnlich der AOX-Methode. So zielt die EOF-Methode (Extractable Organic Fluorine, Extrahierbares Organisch gebundenes Fluor) auf die summarische Bestimmung der PFAS in Feststoffproben wie Boden oder Sedimenten ab (Yeung 2013). Mittels der AOF-Methode (Adsorbierbares Organisches Fluor) werden organische Fluorverbindungen in wässrigen Proben als Summenparameter bestimmt. Sowohl EOF als auch AOF scheinen nach dem derzeitigen Kenntnisstand Möglichkeiten zu bieten, einen Summenparameter „organisches Fluor gesamt“ zu etablieren. Es bleibt dennoch die Frage offen, wie mit den erhaltenen Werten umzugehen ist. Für den Umweltbereich<sup>1</sup> existieren bis auf eine Ausnahme<sup>2</sup> keine Grenz- oder Richtwerte für einzelne PFAS oder für einen Summenparameter.

## 6. Toxikologie

Bislang sind lediglich die beiden am häufigsten untersuchten Stoffe, nämlich Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) hinreichend toxikologisch bewertet worden (Stahl 2011). Für die anderen etwa 3.000 PFAS – vor allem für die kürzerkettigen – fehlt derzeit eine toxikologische Bewertung. In einer Stellungnahme nimmt das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR 2014) Bezug auf die Problematik kürzerkettiger PFAS:

„Für die gesundheitliche Bewertung kürzerkettiger (d.h. < 7 C-Atome) Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren liegen keine toxikologischen Beurteilungswerte vor. Die Daten zur Toxikokinetik und Toxikologie beim Menschen und bei Versuchstieren sind lückenhaft. Die vorhandenen Daten weisen auf Speziesunterschiede und zum Teil auch geschlechtsspezifische Unterschiede in der Toxikokinetik hin. In bisherigen Untersuchungen bei Versuchstieren waren die Zielorgane toxischer Wirkungen von Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren Leber, Niere und Schilddrüse. Nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand ist keine Bewertung der Perfluoralkylsäuren nach einem Gruppenansatz möglich.“

Für die Ökotoxikologie ist die Datenlage im Vergleich zu derjenigen der Humantoxizität aufgrund der Möglichkeit der Durchführung von längerfristigen Monospezies-tests an Vertretern dreier unterschiedlicher Trophiestufen - Algen, Kleinkrebse und Fische – offenbar besser. Gleichwohl ist die

Datenlage in Bezug auf die Anzahl und Konzentrationen der in der Umwelt vorkommenden PFAS bislang noch äußerst lückenhaft.

Die LAWA<sup>3</sup> -LABO<sup>4</sup> -Kleingruppe „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für PFC<sup>5</sup>“ hat nach intensiver Recherche und Auswertung vorwiegend internationaler Studien eine Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser (Bundesgesundheitsblatt 2017) vorgenommen.

Für die ökotoxikologischen Bewertungen wurden durch die Kleingruppe Daten zur Wirkung auf die Gewässerlebensgemeinschaft systematisch auf Grundlage publizierter internationaler Studien - vor allem aktuelleren Datums – einschließlich Reviews zur Ökotoxizität sowie Fachdatenbanken ausgewertet. Soweit möglich und erforderlich, wurden die Daten auf ihre Validität anhand der Originalstudien geprüft. Für acht PFAS ließen sich damit Werte für eine PNEC<sup>6</sup> (predicted no effect concentration) zum Schutz der Gewässerlebensgemeinschaft nach den Regeln der Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards (TGD 2011) ableiten. Für zwei weitere, PFOS und PFOA – die beiden so genannten Leitkomponenten, vgl. Tabelle 1), standen PNEC-Werte bereits aus offiziellen Risk Assessments auf europäischer bzw. internationaler Ebene zur Verfügung. Für sieben Verbindungen aus der Gruppe der PFAS ließen sich humantoxikologisch begründete Trinkwasser-Leitwerte (TWLW) analog der Trinkwasserverordnung (Tabelle 2, Spalte TWLW) ableiten. Bei sechs Verbindungen (Tabelle 2, Spalte GOW) liegt keine ausreichende humantoxikologische Bewertung vor. Daher wurde hilfsweise das vom Umweltbundesamt für die Bewertung von humantoxikologisch nur teil- oder nicht bewertbaren Verbindungen entwickelte Konzept der Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) angewendet. Die Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von PFAS im Trinkwasser wurde zwischenzeitlich auf Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission (TWK) für 13 Einzelsubstanzen veröffentlicht (Bundesgesundheitsblatt 2017):

<sup>1</sup> Dies gilt u.a. auch für Lebens- und Futtermittel

<sup>2</sup> In der Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung, 2012) wurde ein Grenzwert von 100 µg/kg Trockensubstanz als Summe von Perfluorooctansäure (PFOA) and Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) festgeschrieben.

<sup>3</sup> LAWA: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

<sup>4</sup> LABO: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden

<sup>5</sup> Im Bericht der Kleingruppe wird der Begriff PFC für Per- und polyfluorierte Chemikalien verwendet

<sup>6</sup> Als PNEC (predicted no effect concentration) bezeichnet man die vorausgesagte Konzentration eines in der Regel umweltgefährlichen Stoffes, bis zu der sich keine Auswirkungen auf die Umwelt zeigen. Wird diese Konzentration also unterschritten, sollten sich keine negativen Effekte zeigen

**Tabelle 2:** Trinkwasser-Leitwerte (TW<sub>LW</sub>) und Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW)<sup>a</sup>

Lfd. Nr.	Name, Abkürzung (CAS-Nr.)	TW <sub>LW</sub> [µg/L]	GOW [µg/L]
1	Perfluorbutansäure, PFBA (375-22-4)	10,0	-
2	Perfluorpentansäure, PFPeA (2706-90-3)	-	3,0
3	Perfluorhexansäure, PFHxA (307-24-4)	6,0	-
4	Perfluorheptansäure, PFHpA (375-85-9)	-	0,3
5	Perfluoroktansäure, PFOA (335-67-1)	0,1	-
6	Perfluorononansäure, PFNA (375-95-1)	0,06	-
7	Perfluordecansäure, PFDA (335-76-2)	-	0,1
8	Perfluorbutansulfonsäure, PFBS (375-73-5)	6	-
9	Perfluorhexansulfonsäure, PFHxS (355-46-4)	0,1	-
10	Perfluorheptansulfonsäure, PFHpS (375-92-8)	-	0,3
11	Perfluoroktansulfonsäure, PFOS (1763-23-1)	0,1	-
12	H4-Polyfluoroktansulfonsäure, H4PFOS (27619-97-2)	-	0,1
13	Perfluoroktansulfonamid, PFOSA (754-91-6)	-	0,1

<sup>a</sup> Bundesgesundheitsblatt 2017

## 7. Fazit

Zu den PFAS zählen mehr als 3.000 Einzelverbindungen, die anthropogenen Ursprungs sind. Zahlreiche Vertreter dieser Substanzklassen können in der belebten und unbelebten Natur nachgewiesen werden. Für den Großteil der produzierten und möglicherweise in der Umwelt vorkommenden PFAS existieren weder analytische Bestimmungsmethoden noch toxikologische Bewertungen. Die aktuellen und auch älteren Nachweise einzelner Vertreter in teilweise hohen Konzentrationen im mg/kg- bzw. mg/L-Bereich, besonders in „Hot Spot-Regionen“, sprechen für Handlungsbedarf. Die Etablierung von Methoden zur Erfassung von Summenparametern könnte möglicherweise - zumindest im Hinblick auf die Quantifizierung - des gesamten organisch gebundenen Fluors ein gangbarer Weg sein. Anthropogene Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) in der Umwelt bleiben somit eine „Never-Ending Story“!

## Literatur

Ahrens L, Shoeib M, Harner T, Lee SC, Guo R, Reiner EJ: Wastewater treatment plant and landfills as sources of polyfluoroalkyl compounds to the atmosphere. *Environ Sci Technol* (2011) 45(19), 8098-8105

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2009. Toxicological profile for perfluoroalkyls. Draft for public comment. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. May. Available at <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.html> (Zugriff am 17.12.2012)

Buck RC, Franklin J, Berger U, Conder JM, Cousins IT, de Voogt P, Astrup Jensen A, Kannan K, Mabury SA, van Leeuwen SPJ: Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integr Environ Assess Manag* (2011) 7(4), 513-541

Bundesgesundheitsblatt: Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser - Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission (2017), 60,

350–352; DOI 10.1007/s00103-016-2508-3, Online publiziert: 2. Januar 2017

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Anlage 84-3810-02-8114187, Kurzkettige perfluorierte Verbindungen in Lebensmitteln: Zwischenbericht zur gesundheitlichen Bewertung der Untersuchungsergebnisse von kurzkettigen perfluorierten Verbindungen in Lebensmitteln, 11.12.2014

DIN 38414-14. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14).

Ausgabedatum: August 2011, Beuth Verlag, Berlin

DIN 38407-42. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) – Teil 42: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest- Flüssig-Extraktion (F 42). Ausgabedatum: März 2011, Beuth Verlag, Berlin

Düngemittelverordnung – DüMV, Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln, Düngemittelverordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482)

Environment Canada: Long-chain (C9-C20) perfluorocarboxylic acids, their salts and their precursors. Ecological screening assessment report (2012), pp. 75

Gellrich V, Stahl T, Knepper TP: Behavior of perfluorinated compounds in soils during leaching experiments. *Chemosphere* (2012) 87(9), 1052-1056

Gellrich V, Brunn H, Stahl T: Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in mineral water and tap water. *J Environ Sci Health, Part A* (2013) 48(2), 129-135

Hong S, Khim JS, Park J, Kim M, Kim WK, Jung J, Hyun S, Kim JG, Lee H, Choi HJ, Codling G, Giesy JP: In situ fate

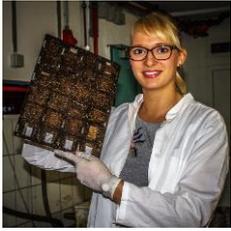
- and partitioning of waterborne perfluoroalkyl acids (PFAAs) in the Youngsan and Nakdong River Estuaries of South Korea. *Sci Total Environ* (2013) 445, 136-145
- Kim SK, Im JK, Kang YM, Jung SY, Kho YL, Zoh KD: Wastewater treatment plants (WWTPs)-derived national discharge loads of perfluorinated compounds (PFCs). *J Hazard Mater* (2012) 201-202, 82-91
- Kowalczyk J, Ehlers S, Fürst P, Schafft H, Lahrssen-Wiederholt M: Transfer of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from contaminated feed into milk and meat of sheep: pilot study. *Arch Environ Contam Toxicol* (2012) 63(2), 288-298
- Krippner J, Brunn H, Falk S, Georgii S, Schubert S, Stahl T: Effects of chain length and pH on the uptake and distribution of perfluoroalkyl substances in maize (*Zea mays*). *Chemosphere* (2014) 94, 85-90
- Krippner J, Falk S, Brunn H, Georgii S, Schubert S, Stahl T: Accumulation potentials of perfluoroalkyl carboxylic acids (PFCAs) and perfluoroalkyl sulfonic acids (PFSAs) in maize (*Zea mays*). *J Agric Food Chem* (2015) 63(14), 3646-3653
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Der Minister. Bericht an den Ausschuss für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landtags Nordrhein-Westfalen zur Sitzung am 23.08.2006. PFT-Belastung in NRW: Befunde und Auswirkungen, Maßnahmen und erste Schlussfolgerungen.
- Murakami M, Nishikoori H, Sakai H, Oguma K, Takada H, Takizawa S: Formation of perfluorinated surfactants from precursors by indigenous microorganisms in groundwater. *Chemosphere* (2013) 93, 140-145
- Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD): Results of survey on production and use of PFOS, PFAS and PFOA, related substances and products/mixtures containing these substances. OECD Environment, Health and Safety Publications. Series on Risk Management No. 19, 2005
- Skutlarek D, Exner M, Färber H: Perfluorierte Tenside (PFT) in der aquatischen Umwelt und im Trinkwasser. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* (2006) 18 (3), 151-154
- Stahl T, Brunn H: Aufnahme Perfluorierter Tenside (PFT) mit der Nahrung? *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* (2009), 105 (1), 6-18
- Stahl T, Mattern D, Brunn H: Toxicology of perfluorinated compounds. *Environmental Sciences Europe* (2011) 23:38, doi:10.1186/2190-4715-23-38
- Stahl T, Riebe RA, Falk S, Failing K, Brunn, H: A long-term lysimeter experiment to investigate the leaching of perfluoroalkyl substances (PFASs) and the carryover from soil to plants – Results of a pilot study. *J Agric Food Chem* (2013) 61(8), 1784-1793
- Taniyasu S, Yamashita N, Moon HB, Kwok KY, Lam PKS, Horii Y, Petrick G, Kannan K: Does wet precipitation represent local and regional atmospheric transportation by perfluorinated alkyl substances? *Environ Int* (2013) 55, 25-32
- TGD (Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)). Technical Report - 2011-055, Guidance Document No. 27 (2011) 1-203
- Yeung LW, De Silva AO, Loi EI, Marvin CH, Taniyasu S, Yamashita N, Mabury SA, Muir DC, Lam PK: Perfluoroalkyl substances and extractable organic fluorine in surface sediments and cores from Lake Ontario. *Environ Int* (2013) 59, 389-397
- Zareitalabad P, Siemens J, Hamer M, Amelung W: Perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in surface waters, sediments, soils and wastewater - A review on concentrations and distribution coefficients. *Chemosphere* (2013) 91(6), 725-732
- Zhang W, Zhang YT, Taniyasu S, Yeung LWY, Lam PKS, Wang JS, Li XH, Yamashita N, Dai JY: Distribution and fate of perfluoroalkyl substances in municipal wastewater treatment plants in economically developed areas of China. *Environ Pollut* (2013) 176, 10-17

## Korrespondenzadresse

PD Dr. rer. nat. habil. Thorsten Stahl  
Leiter Fachgebiet IV.3 Spezielle landwirtschaftliche Analytik  
Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL)  
Am Versuchsfeld 11-13  
34128 Kassel  
Telefon: 0561 9888 239  
Fax: 0561 9888 300  
E-Mail: [Thorsten.Stahl@lhl.hessen.de](mailto:Thorsten.Stahl@lhl.hessen.de)  
Internet: [www.lhl.hessen.de](http://www.lhl.hessen.de)



Blick auf die oberirdischen Teile der Großlysimeteranlage des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen (LLH) in Kassel



## Alterung synthetischer Polymere in der marinen Umwelt am Beispiel von HDPE, LDPE, PP und PLA

Daniela Thomas\*, \*\* ([daniela.thomas@awi.de](mailto:daniela.thomas@awi.de)), Georg Krohne+ ([krohne@biozentrum.uni-wuerzburg.de](mailto:krohne@biozentrum.uni-wuerzburg.de)), Florian Ehlers‡ ([fehlers@gwdg.de](mailto:fehlers@gwdg.de)), Gunnar Gerds\* ([gunnar.gerds@awi.de](mailto:gunnar.gerds@awi.de))

\* Alfred-Wegener-Institut, Kurpromenade 201, D-27498 Helgoland

\*\* Universität Leipzig, Johannisallee 29, D-04103 Leipzig

+ Biozentrum Universität Würzburg, Am Hubland, D-97074 Würzburg

‡ Universität Göttingen, Tammannstr. 6, D-37077 Göttingen

### Abstract

Der Arbeitskreis „Mikrobielle Ökologie“ des Alfred-Wegener-Instituts auf Helgoland untersucht seit Jahren den Einfluss anthropogener Verschmutzung der marinen Umwelt und deren Folgen sowie die Diversität von Mikroorganismen in ihrer Funktion und Aktivität im Meer. Mikroorganismen besitzen eine zentrale Rolle beim Abbau von organischem Material und im Nährstoffkreislauf. Die Einwirkung von Mikroorganismen auf synthetische Polymere in der marinen Umwelt wurde über 35 Monate untersucht. Das experimentelle Setup zielte auf abgesunkenes Plastik, das vor photochemischem Abbau weitestgehend geschützt ist.

### 1. Einleitung

Weltweit sind Ozeane und Küstengebiete durch anthropogenen Abfall verschmutzt (Peter, 2015). Eine der Hauptursachen sind synthetische Polymere. Die jährliche Produktion nimmt konstant zu und beträgt zurzeit ca. 322 Millionen t a<sup>-1</sup> (2015) weltweit (PlasticsEurope, 2015). Ein Anteil von ca. 10 % des Plastikmülls gelangt in die Ozeane (Thompson, 2006). Trotz der geringen Dichte einiger synthetischer Polymere sinkt der Großteil von ca. 50 bis 70 % des Plastikabfalls, z.B. durch Erhöhung des Gewichts durch Additive, auf den Meeresboden (Hammer, Kraak et al. 2012). Es wird angenommen, dass tiefe Meeressenen als Endlager für einen Teil des Plastikabfalls fungieren (Pham et al., 2014).

Durch anthropogenen Plastikabfall geht eine Gefährdung aus. So verursacht dieser z.B. Strangulationen mariner Säugetiere (Laist, 1997). Plastik wird jedoch auch im Nahrungsnetz eingebunden und kann dadurch Vergiftungen bis hin zum Tod verursachen. Synthetische Polymere können durch Fragmentierung und als Habitat, wie auch durch Akkumulation von gesundheitsgefährdenden Substanzen, wie pathogene Bakterien, Schwermetallen etc. ein weiteres Gefährdungspotential bilden (Kirstein, Kirmizi et al. 2016). Aufgrund zahlreicher, z. T. toxischer Additive, die nicht kovalent gebunden sind und ebenfalls freigesetzt werden können, ist die Persistenz dieser Materialien eines der Hauptprobleme in der marinen Umwelt (Rochman, 2015).

Dabei ist über das Abbauverhalten der synthetischen Polymere im Meeresraum zurzeit nur wenig bekannt. Als vorherrschende Degradierungsmechanismen in der Umwelt gelten die lichtinduzierte bzw. ultraviolett-induzierte Photoabbaureaktion sowie die thermische Reaktion, inklusive der Thermooxidation u.a. (Cooper et al., 2010). Allerdings wird die

UV-Strahlung von Wasser weitgehend absorbiert und auch der Sauerstoffgehalt und die Temperatur nehmen im Wasser stark ab, so dass gesunkene Plastikpartikel vor photochemischem und thermooxidativem Abbau weitestgehend geschützt sind (Goldberg, 1997). Studien lassen vermuten, dass die Degradierung von synthetischen Polymeren in mariner Umwelt z.T. auf den Einfluss von marinen Mikroorganismen, wie Bakterien, zurückzuführen ist (Harshvardhan, 2013). Die Degradierung ist zudem vom Polymertyp, von der Temperatur, Additiven und Füllstoffen abhängig.

In der vorliegenden Arbeit wurde *High density polyethylene* (HDPE), *Low density polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP) und *Poly lactide* (PLA) hinsichtlich Oberflächenveränderungen und Degradierung unter Lichtausschluss in mariner Umgebung untersucht. Es wurde vermutet, dass sich die Oberflächeneigenschaften von synthetischen Polymeren u.a. durch den Einfluss mariner Biota über den Untersuchungszeitraum von 35 Monaten verändern.

### 2. Material und Methoden

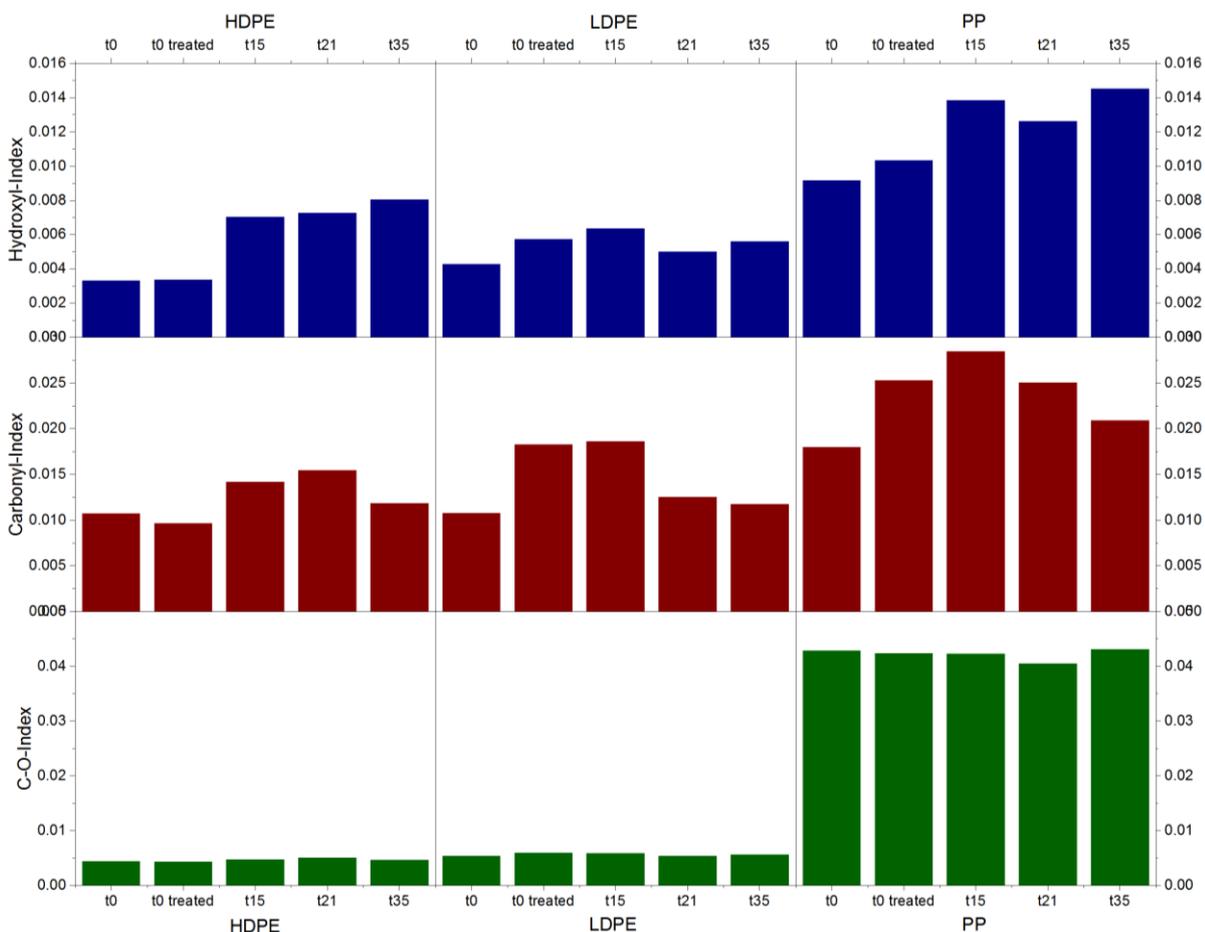
Für die Untersuchungen stand u.a. die synthetischen Polymere HDPE, LDPE und PP der ORBITA-FILM GmbH und PLA der Folienwerk Wolfen GmbH zur Verfügung. Die gealterten untersuchten Proben wurden in herkömmlichen Diarahmen eingespannt und unter Lichtausschluss bei konstanten Untersuchungsbedingungen in einer Meerwasser-Durchflussanlage (Mesokosmos) permanent mit Nordseewasser umspült (5760 l/Tag). Das experimentelle Setup repräsentiert somit abgesunkenes marines Plastik, das vor photochemischem Abbau weitestgehend geschützt ist. Vor der Analytik wurden die Proben mittels Hochdruck-Reinigung (6 bar) mit deionisiertem Wasser (LicoJet) und zusätzlich mit Ethanol vom gebildeten Biofilm befreit und für anschließende Untersuchungen bereitgestellt. Für jedes synthetische Polymer lagen zwei originale Proben vor: eine unbehandelte Probe (t0) und eine aufgearbeitete Probe (t0 treated). Zudem standen für jedes Polymer drei gealterte Proben zur Verfügung. Diese waren für unterschiedlich lange Zeit dem Mesokosmos ausgesetzt (15 Monate: t15, 21 Monate: t21 und 35 Monate: t35). Die Probensets t15 und t21 wurden ebenfalls eingefroren (T= 20°C) und aufgearbeitet. Das Proben-set t35 wurde dem Mesokosmos entnommen und direkt der Aufarbeitung zugeführt.

Für die Analyse fanden die *attenuated total reflectance - Fourier Transformation Infrarotspektroskopie* (ATR-FTIR), *atomic force microscopy* (AFM) und *scanning electron micros-*

copy (SEM) Anwendung. Die Auswertung der Daten erfolgte durch die Programme OPUS 7.2 (Bruker Optics), Origin 2017 (OriginLab) und Gwyddion 2.48. Zur Auswertung wurde ein literaturbezogener Ansatz gewählt. Die Daten der ATR-FTIR-Analyse für HDPE wurden nach Brandon et al. (Brandon, 2016) ausgewertet. Dabei wurden der Hydroxyl Index ( $3400 - 3300 \text{ cm}^{-1}$ ), der Carbonyl-Index ( $1810 - 1550 \text{ cm}^{-1}$ ) sowie der C-O-Index ( $1200 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ ) betrachtet. Zur Berechnung der Indices wurden die Wellenlängen von  $2920-2908 \text{ cm}^{-1}$  für PE und  $2920$  bis  $2885 \text{ cm}^{-1}$  für PP als Referenzwerte gewählt. Für die Auswertung wurden die Daten grundlinienkorrigiert und normiert. Das Maximum der jeweiligen Wellenlängenbereiche wurde für die Berechnung verwendet. Zur Ermittlung des jeweiligen Indexes wurde das Maximum dieses Bereiches durch das Maximum des Referenzwertes geteilt.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

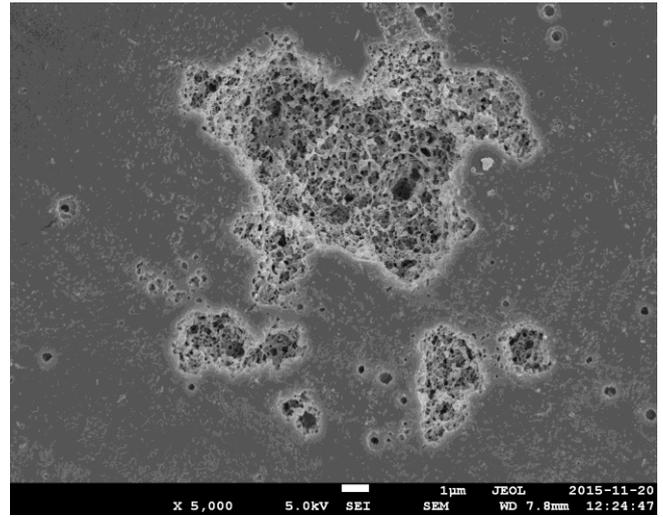
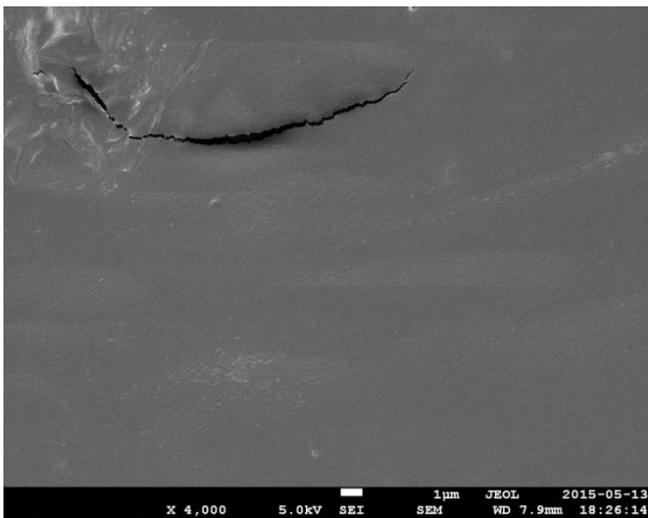
Die Ergebnisse der ATR-FTIR Untersuchungen, ausgewertet nach Brandon et al. (2016), sind in Abbildung 1 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Indices im zeitlichen Verlauf keine signifikanten Veränderungen zeigen. Vor allem der C-O-Index bleibt bei allen untersuchten synthetischen Polymeren auf einem konstant niedrigen Niveau. Ein leichter Anstieg im Hydroxyl-Index kann für HDPE und PP vermutet werden. Die Betrachtung dieser Indices bezieht sich auf photochemische Prozesse. Da die synthetischen Polymere unter Lichtausschluss inkubiert wurden, werden diese Reaktionen weitestgehend verhindert. Es zeigt sich, dass sich das Degradierungsverhalten von tiefenverlagertem marinem Plastik nicht durch die bisherige Methode der Indices-Auswertung beschreiben lässt.



**Abbildung 1:** ATR- Auswertung von HDPE, LDPE und PP nach Brandon et al. (2016): Hydroxyl-Index ( $3400-3300 \text{ cm}^{-1}$ ), Carbonyl Index ( $1810-1550 \text{ cm}^{-1}$ ) sowie C-O-Index ( $1200-1000 \text{ cm}^{-1}$ ).

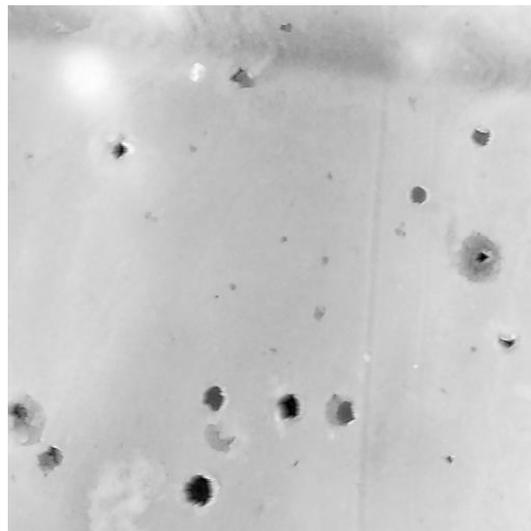
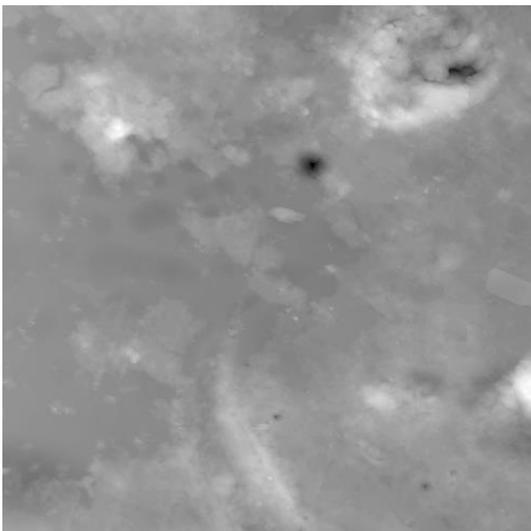
Anhand von Rasterelektronenmikroskopieaufnahmen von Polyactiden (PLA), vor und nach der Einwirkung von mariner Biota, während eines Zeitraums von 21 Monaten, werden Oberflächenveränderungen sichtbar (Abb. 2). Vor der Inkubation im Mesokosmos (Abbildung links, mit Riss) ist eine glatte, plane Oberfläche von PLA zu erkennen. Nach der Inkubation im Mesokosmos (Abbildung rechts) treten punktuelle und flächenhafte Vertiefungen in der Oberfläche deutlich

hervor. Solche Oberflächenveränderungen konnten für PE und PP nicht beobachtet werden

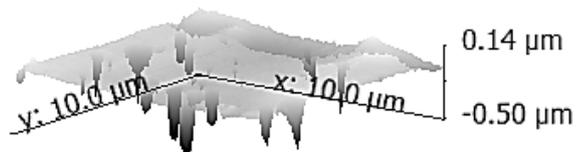


**Abbildung 2:** SEM-Aufnahmen von PLA, (links) Originalpolymer, (rechts) Polymer nach 21 Monaten Inkubationszeit im Mesokosmos.

Zur Auswertung wurde zudem die AFM-Methode angewendet. Die folgenden Abbildungen (s. Abb. 3 und 4) zeigen deutlich Veränderungen der Oberfläche von PLA, wie auch in den SEM-Aufnahmen veranschaulicht wurde. Durch die 3D-Darstellung (Abb. 4) kann zudem verdeutlicht werden, dass die Veränderung punktuell erfolgt. Der unterschiedliche Grad der Tiefe der Veränderungen wird ersichtlich.



**Abbildung 3:** AFM-Aufnahmen von PLA in der 2D-Darstellung, (links) Original Polymer, (rechts) Polymer nach 21 Monaten Inkubationszeit im Mesokosmos



**Abbildung 4:** AFM-Aufnahmen von PLA in der 3D-Darstellung, (links) Original Polymer, (rechts) Polymer nach 21 Monaten Inkubationszeit im Mesokosmos

## 4. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Zwischenergebnisse zeigen, dass durch die mikroskopischen Untersuchungsmethoden eine Veränderung der synthetischen Polymere in mariner Umgebung festgestellt werden kann. Es stellte sich heraus, dass die in der Literatur beschriebene Indices-Auswertung von spektroskopischen Daten nicht geeignet ist, um Veränderungen an abgesunkenem Plastikmaterialien, die keinem photochemischen Abbau unterliegen, festzustellen. Daher werden neue Methoden benötigt, um unabhängig der Indices-Betrachtung das Degradierungsverhalten von synthetischen Polymeren zu beschreiben.

Die umfangreichen Untersuchungen für neun verschiedene synthetische Polymere mit verschiedensten Analysemethoden dauern momentan noch an. Hierbei handelt es sich nach aktuellem Kenntnisstand um die erste umfangreiche, unter standardisierten Versuchsbedingungen durchgeführte Langzeitstudie zu diesem Thema.

## Literatur

- Brandon, J., M. Goldstein and M. D. Ohman (2016). Long-term aging and degradation of microplastic particles: Comparing in situ oceanic and experimental weathering patterns. *Marine Pollution Bulletin* 110: 299-308.
- Cooper, D. A. and P. L. Corcoran (2010). Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the Island of Kauai, Hawaii. *Marine Pollution Bulletin* 60: 650–654.
- Engler, R. E. (2012). The complex Interaction between marine debris and toxic chemicals in the Ocean. *Environmental Science and Technology* 46: 12302–12315.
- Goldberg, E. D. (1997). Plasticizing the seafloor: An overview. *Environmental Technology* 18: 195–201.
- Gu, J.-D. (2003). Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: Recent research advances. *International Biodeterioration and Biodegradation* 52: 69-91.
- Hammer, J., M. H. Kraak and J. R. Parsons (2012). Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 220: 1-44.
- Harshvardhan, K. and B. Jha (2013). Biodegradation of low-density polyethylene by marine bacteria from pelagic waters, *Arabian Sea, India*. *Marine Pollution Bulletin* 77: 100–106.
- Peter, G. R. (2015) A brief history of marine litter research. In: M. Bergmann, L. Gutow and M. Klages (eds.) *Marine Anthropogenic Litter*, Springer International Publishing, Berlin, etc., pp 1-25.
- Kirstein, I. V., S. Kirmizi, A. Wichels, A. Garin-Fernandez, R. Erler, M. Loder and G. Gerdtz (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Marine Environmental Research* 120: 1-8.
- Laist, D. W. (1997). Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. In: Coe, J. M. and Rogers, D. B. (eds.) *Marine Debris*, Springer, Berlin, etc, pp. 99-139.
- Pham, C. K., E. Ramirez-Llodra, C. H. S. Alt, T. Amaro, M. Bergmann, M. Canals et al. (2014). Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. *PLoS ONE*, 9, e95839.
- PlasticsEurope, *Plastics – the Facts 2015*. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brussels.
- Rochman, C. M. (2015). The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment. In: M. Bergmann, L. Gutow and M. Klages (eds.) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, Berlin, etc., pp. 117-140.
- Salta, M., J. A. Wharton, Y. Blache, K. R. Stokes and J.-F. Briand (2013). Marine biofilms on artificial surfaces: Structure and dynamics. *Environmental Microbiology* 15: 2879–2893.
- Thompson, R. C. (2006). Plastic debris in the marine environment: Consequences and solutions. In: J. C. Krause, H. Nordheim and S. Bräger (eds.) *Marine Nature Conservation in Europe*. Bundesamt für Naturschutz, Stralsund, pp. 107–115.

## Korrespondenzadresse

Daniela Thomas  
Alfred-Wegener-Institut  
Kurpromenade 201  
27498 Helgoland  
E-Mail: [daniela.thomas@awi.de](mailto:daniela.thomas@awi.de)



## Auswirkungen von synthetischen und natürlichen Mikropartikeln auf Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und Felsengarnelen (*Palaemon varians*)

M. Weidung<sup>1,2</sup> ([mara.weidung@awi.de](mailto:mara.weidung@awi.de)), L. Gutow<sup>2</sup> ([ars.gutow@awi.de](mailto:ars.gutow@awi.de)),

R. Saborowski<sup>2</sup> ([reinhard.saborowski@awi.de](mailto:reinhard.saborowski@awi.de))

<sup>1</sup> Universität Duisburg-Essen, Universitätsstr. 2, 45141 Essen /D

<sup>2</sup> Alfred-Wegener-Institut, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven/D

### Zusammenfassung

Mikroplastik (< 5 mm) ist in Gewässern allgegenwärtig. Je kleiner die Partikel sind, desto leichter können sie von aquatischen Lebewesen aufgenommen werden. Verbleib und Wirkweisen im Organismus variieren stark zwischen verschiedenen Arten. Partikel, die kleiner als 1 µm sind, können in die Zellen gelangen und induzieren dort oxidativen Stress. Diese Studie umfasst den Nachweis der Aufnahme und Akkumulation von Mikropartikeln in marinen Invertebraten (*Mytilus edulis* und *Palaemon varians*) sowie die Identifizierung physiologischer und zellulärer Effekte. Zum Vergleich werden neben der Wirkung von Mikroplastik unterschiedlicher Größe auch die Effekte natürlicher Partikel (Kieselalgen) und von Titandioxidpartikeln untersucht.

### 1. Einleitung

Die Verschmutzung aquatischer Lebensräume durch Mikroplastik ist ein fortschreitendes Umweltproblem und führt weltweit zu Besorgnis. Die stetig ansteigende Kunststoffproduktion führt zu einer zunehmenden Menge an Plastikabfällen in Flüssen, Seen und Ozeanen. Im Jahr 2015 erreichte die weltweite Kunststoffproduktion 322 Millionen Tonnen [1]. Obwohl Kunststoffabfälle recycelt, in Müllverbrennungsanlagen für die Energieerzeugung genutzt oder auf Deponien entsorgt werden können, gelangt immer noch ein Großteil in die Umwelt und letztlich in die Meere. Marine Plastikabfälle stammen hauptsächlich vom Festland; jedoch findet auch ein direkter Eintrag durch Schifffahrt und Fischerei statt. Mikroplastikpartikel (< 5 mm), die durch den Zerfall von Kunststoffprodukten entstehen, werden als sekundäres Mikroplastik bezeichnet. Primäres Mikroplastik wird industriell gefertigt und findet Verwendung als Granulat für die Weiterverarbeitung, als synthetische Fasern in Kleidung oder als Zusatz in Kosmetikprodukten. Plastikpartikel sind in Gewässern allgegenwärtig. Je kleiner sie sind, desto leichter können sie von aquatischen Organismen aufgenommen werden. Mikroplastik wird von einer Vielzahl von Vertebraten und Invertebraten aufgenommen und verursacht unterschiedlichste Schäden wie Entzündungsreaktionen, Verstopfung des Verdauungstraktes und eine Fehlsteuerung des Sättigungsempfindens [2].

Lebensart, Habitateigenschaften, Physiologie und Anatomie der Tiere beeinflussen die Aufnahme von Mikroplastik wie auch den Verbleib der Partikel im Organismus. Fütterungsexperimente zeigten scheinbar widersprüchliche Wirkungen in Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und Meerasseln (*Idotea emarginata*). In Miesmuscheln gelangten die Plastikpartikel bis in die Zellen

der Verdauungsorgane und verursachten Entzündungsreaktionen [3]. Im Gegensatz dazu konnten Meerasseln aufgenommene Partikel ohne Akkumulation im Verdauungstrakt wieder ausscheiden [4]. Die Filtersysteme im Magen der Asseln verhindern den Eintrag großer Partikel in die Mitteldarmdrüse, dem wichtigsten Organ der Nährstoffresorption und Enzymsekretion. Bei Zebrafischen (*Danio rerio*) führte die Aufnahme von Mikroplastik zu Leberschäden, einem gestörten Lipid- und Energiestoffwechsel und zu oxidativem Stress, welcher auf erhöhte Aktivitäten antioxidativer Enzyme zurückzuführen ist [5].

### 2. Material und Methoden

In der Studie werden zwei Invertebratenarten, Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und Felsengarnelen (*Palaemon varians*), mit Partikeln verschiedener Größe und Zusammensetzung inkubiert. Die beiden Spezies wurden anhand ihrer unterschiedlichen Anatomie der Verdauungssysteme ausgewählt (Abb. 1 und 2). Fluoreszierende Polystyrolpartikel von 0,1 µm, 2,1 µm und 9,9 µm Durchmesser sowie Siliciumdioxidpulver (Kieselalgen) und Titandioxidpartikel werden verwendet. Siliciumdioxidpulver eignet sich, um die Effekte von künstlichen mit natürlichen Partikeln zu vergleichen. Titandioxid wird häufig in Form von weißem Pigment als Lebensmittelzusatzstoff und in Kosmetikartikeln verwendet. Die Studie umfasst den Nachweis der Aufnahme und Akkumulation von Mikroplastikpartikeln in marinen Invertebraten sowie die Identifizierung physiologischer und zellulärer Effekte. Erste Versuche zur Bestimmung der Aufnahme und Akkumulation von Mikroplastik im Verdauungstrakt wurden bereits durchgeführt. Dazu wurden Miesmuscheln und Felsgarnelen für 24 Stunden mit hohen Konzentrationen an fluoreszierenden Polystyrolpartikeln inkubiert. Anschließend wurde die Verteilung der Partikel in den Verdauungsorganen mittels Fluoreszenzmikroskopie untersucht und fotografiert. Zelluläre Effekte werden anhand von oxidativem Stress bestimmt. Die Aktivitäten der antioxidativen Enzyme Katalase und Superoxiddismutase (SOD) werden als Biomarker für oxidativen Stress gemessen.

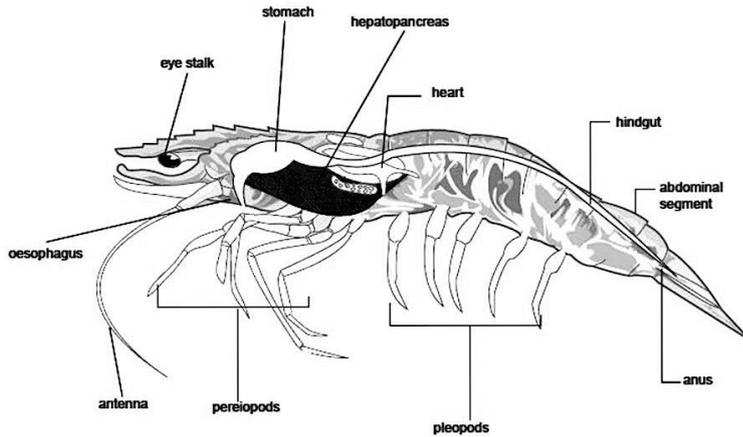


Abbildung 1: Anatomie einer Garnelle [6]

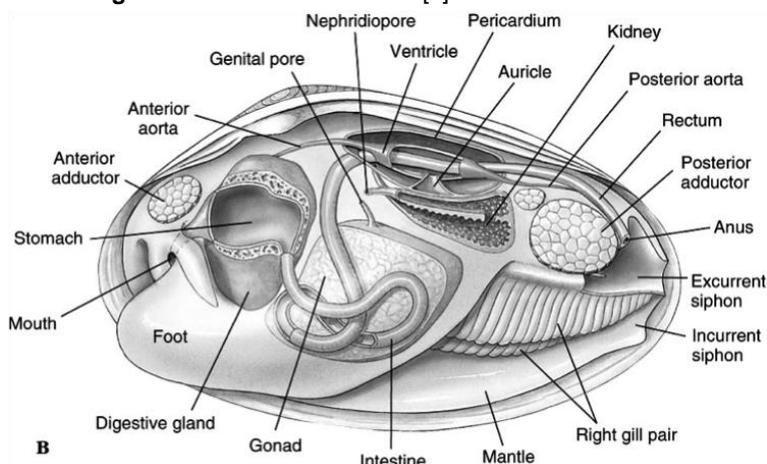


Abbildung 2: Anatomie einer Muschel [7]

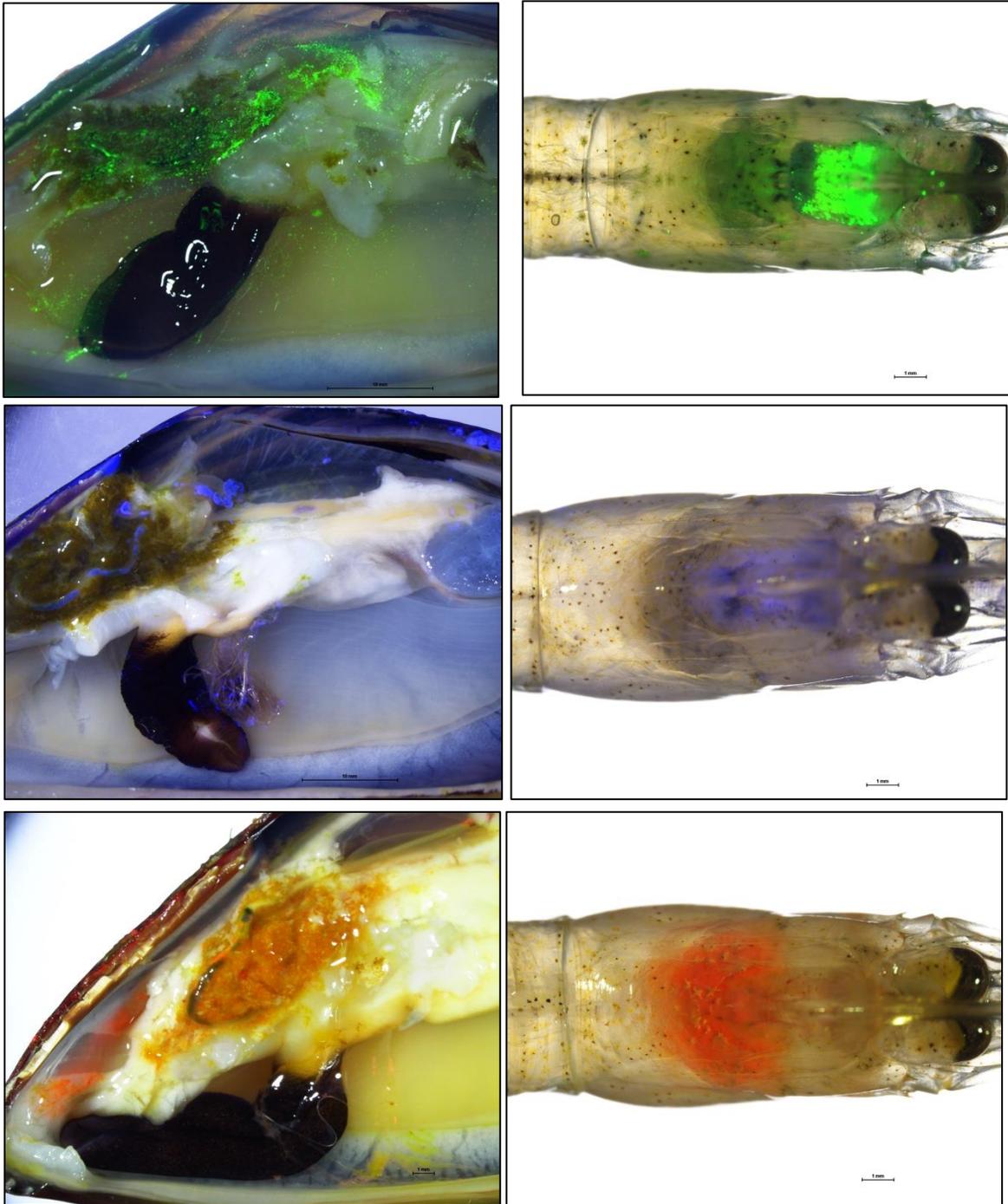
### 3. Ergebnisse und Diskussion

Während der Inkubation zeigten beide Arten unterschiedliche Verhaltensweisen. Die Felsengarnelen nahmen die Partikel stetig auf, die Muscheln wiederum reduzierten ihre Filtrationsrate. Abhängig von der Partikelgröße, zeichnete sich ein unterschiedliches Verteilungsmuster im Verdauungssystem der Tiere ab. Die größeren Partikel (2,1  $\mu\text{m}$  und 9,9  $\mu\text{m}$ ) verblieben im Magen und den Lumen des Darms. Die kleineren Partikel (0,1  $\mu\text{m}$ ) scheinen in das umliegende Gewebe vorgedrungen zu sein (Abb. 3).

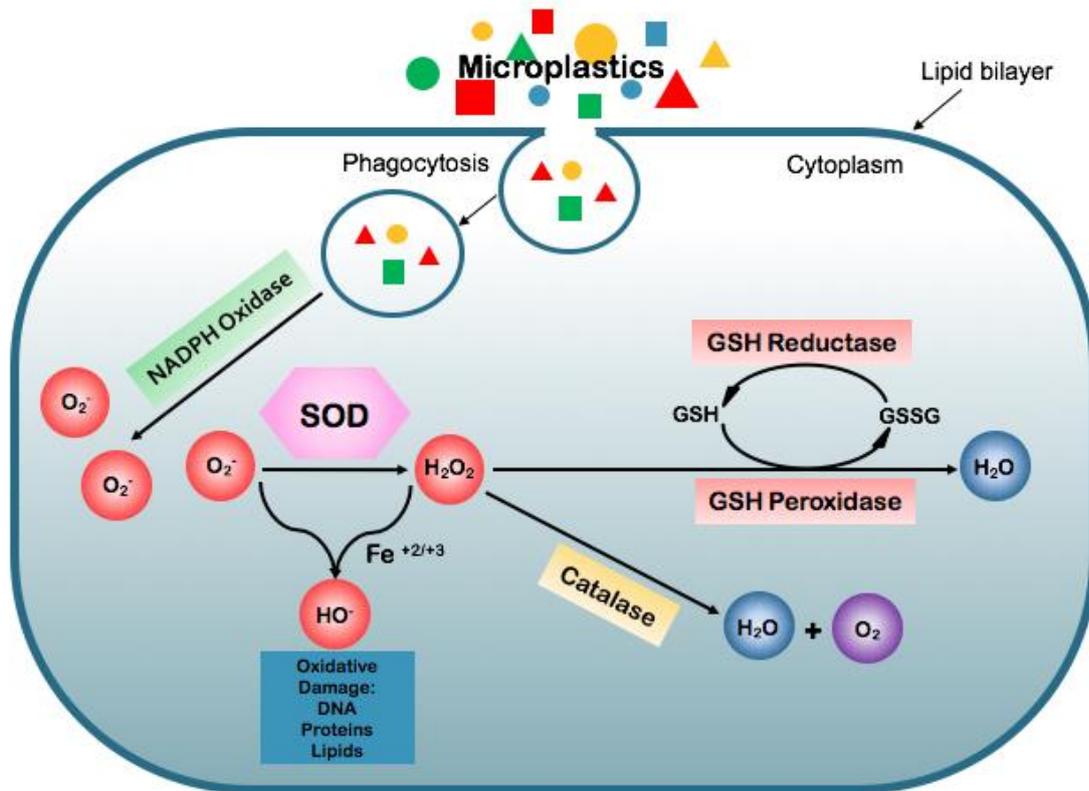
In *M. edulis* waren Partikel aller Größen im Darm vorzufinden. Die größeren Partikel von 2,1  $\mu\text{m}$  und 9,9  $\mu\text{m}$  wurden ausschließlich im Darm gefunden. Die kleineren Partikel wurden zudem im umliegenden Gewebe der Mitteldarmdrüse gefunden (Abb. 3 a-c). In *P. varians* gelangten die größeren Partikel in den Magen, die kleineren Partikel drangen bis zur Mitteldarmdrüse vor (Abb. 3 d-f).

Es ist davon auszugehen, dass Muscheln aufgrund ihrer Anatomie zwischen verschiedenen Partikelgrößen nicht differen-

zieren können. Allerdings können sie die Filtrerrate reduzieren, wenn sie unverdauliches Material wahrnehmen. Krebstiere besitzen einen Magen mit feinmaschigen Filterstrukturen, die die Aufnahme von Partikeln größer als 1  $\mu\text{m}$  in die Mitteldarmdrüse verhindern. Diese Partikel gelangen in den Darm und können ausgeschieden werden. Partikel kleiner als 1  $\mu\text{m}$  dringen in die Mitteldarmdrüse ein. Möglicherweise werden sie dort von den angrenzenden Zellen resorbiert und induzieren oxidativen Stress. Die Aufnahme von Partikeln in die Zelle kann über Phagozytose, Endozytose oder Makropinozytose erfolgen [8]. Das dabei involvierte Enzym NADPH-Oxidase generiert Sauerstoffradikale in Phagosomen und im Cytoplasma um die eingeschlossenen Fremdkörper abzubauen (Abb. 4) [9]. Die Sauerstoffradikale wie auch deren Reaktionsprodukte, Hydroxylradikale und Wasserstoffperoxid, führen zu oxidativem Stress in der Zelle. Als Schutzmechanismus wird die Synthese antioxidativer Enzyme erhöht, welche den Abbau reaktiver Sauerstoffspezies katalysieren. Die ausstehenden Messungen der SOD- und Katalase-Aktivität werden Aufschluss über die Induktion von oxidativem Stress durch unterschiedliche Mikro-partikel geben.



**Abbildung 3:** Akkumulation von fluoreszierenden Mikroplastikpartikeln verschiedener Größe in Miesmuscheln (*Mytilus edulis*, a - c) und in Felsengarnelen (*Palaemon varians*, d - f) nach 24 Stunden Inkubation. Partikelgrößen: a) und d) 9.9 µm; b) und e) 2.1 µm; c) und f) 0,1 µm. Maßstäbe: a) und b) 10 mm; c) bis f) 1mm.



**Abbildung 4:** Aufnahme von Mikroplastik in eine Zelle durch Phagozytose, Induktion von oxidativem Stress und Schutzmechanismen in Form von antioxidativen Enzymen. Superoxid Dismutase (SOD), Katalase und Glutathion (GSH) Peroxidase katalysieren den Abbau reaktiver Sauerstoffspezies (rote Kugeln).

## Literatur

- [1] Plastics - the Facts 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe: Brussels, Belgium, 2016. <http://www.plasticseurope.de/Document/plastics---the-facts-2016.aspx>
- [2] Zoeter Vanpoucke M (2015) Impact of microplastic uptake: contamination in sprat and microplastic-mediated uptake of PAHs by European shore crab. Institute of Agricultural and Fisheries Research (ILVO) Ghent, EMBC+. MSc thesis.
- [3] Von Moos N, Burkhardt-Holm P, Köhler A (2012) Uptake and effects of microplastic on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental Science and Technology* 46: 11327-11335.
- [4] Hämer J, Gutow L, Köhler A, Saborowski R (2014) Fate of microplastics in the marine isopod *Idotea emarginata*. *Environmental Science and Technology* 48: 13451-13458.
- [5] Lu Y, Deng Y, Jiang W, Zhao Y, Geng J, Ding L, Ren H (2016) Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environmental Science and Technology* 50: 4054-4060.
- [6] Kaur R, The freshwater prawn *Palaemon*. Department of Zoology, Chandigarh. <http://player.slideplayer.com/12/3461742/data/images/img5.jpg>
- [7] Acadia University, Department of Biology, Wolfville. <https://classconnection.s3.amazonaws.com/862/flashcards/2083862/png/untitled9-1449CFF4A7A1DEC5BF9.png>
- [8] Stern S, Adiseshaiah P, Crist R (2012) Autophagy and lysosomal dysfunctions as emerging mechanisms of nanomaterial toxicity. *Particle and Fibre Toxicology* 9: 20
- [9] Bedard K, Krause K (2007) The NOX family of ROS-generating NADPH oxidases: physiology and pathophysiology. *Physiological Review* 87: 245-313.

## Korrespondenzadresse:

Mara Weidung  
 Alfred-Wegener-Institut  
 Am Handelshafen 12  
 27570 Bremerhaven

## Sequentielle Biofiltration zur Entfernung anthropogener Spurenstoffe aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen

J. Müller ([jo.mueller@tum.de](mailto:jo.mueller@tum.de)), J. E. Drewes ([jdrewes@tum.de](mailto:jdrewes@tum.de)), U. Hübner ([u.huebner@tum.de](mailto:u.huebner@tum.de))

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München



### Zusammenfassung

Das neuartige Konzept der sequentiellen Biofiltration hat das Ziel einer weitergehenden biologischen Entfernung von Spurenstoffen aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen. Im Rahmen der durchgeführten Studie konnte gezeigt werden, dass ein zweistufiges Biofiltrationssystem mit Zwischenbelüftung die Einstellung von oligotrophen und oxischen Bedingungen erlaubt, unter denen in Systemen zur Grundwasseranreicherung ein verbesserter Abbau von Spurenstoffen beobachtet wurde. Ergebnisse dieser Studie bestätigen, dass die sequentielle Fahrweise auch in technischen Biofiltrationssystemen eine gegenüber konventionellen, einstufigen Systemen mit gleicher Kontaktzeit verbesserte Entfernung zahlreicher Spurenstoffe ermöglicht.

### 1. Einleitung

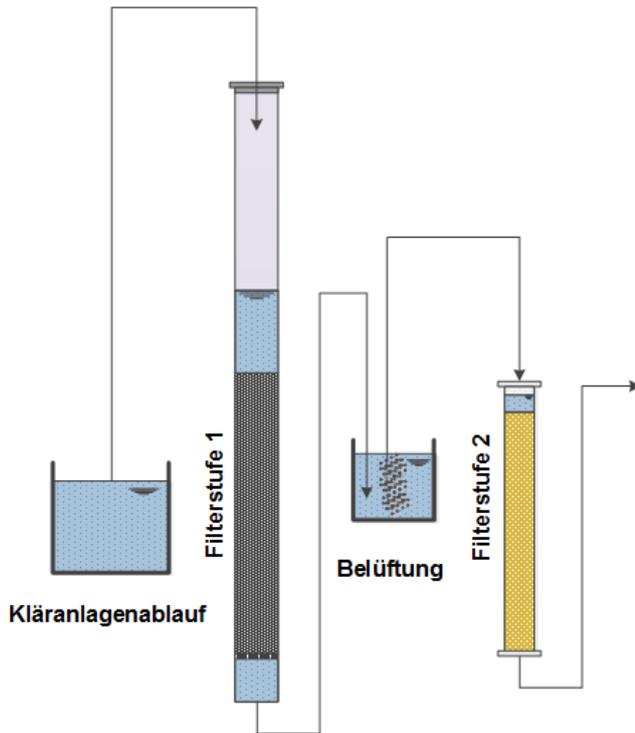
Das Auftreten einer Vielzahl anthropogener Spurenstoffe, wie Pharmazeutika und Industriechemikalien, in allen Kompartimenten des Wasserkreislaufs stellt ein schwer abschätzbares Risiko für Organismen der aquatischen Umwelt und die Qualität von Trinkwasserressourcen dar. Die relevanteste Eintragsquelle dieser Substanzen in die aquatische Umwelt sind die Abläufe kommunaler Kläranlagen. Konventionelle kommunale Abwasserbehandlungsverfahren bewirken häufig eine nur geringfügige Entfernung dieser Stoffe, die dann in die als Vorfluter genutzten Oberflächengewässer gelangen [1, 2]. Zur Verminderung des Eintrags anthropogener Spurenstoffe in die Umwelt ist daher die Einführung zusätzlicher Behandlungstufen notwendig. Der Einsatz biologisch aktiver Filtersysteme zur Behandlung von Kläranlagenablauf ist hierbei eine vielversprechende Option [3].

Der Grad des biologischen Abbaus schwer abbaubarer Spurenstoffe ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass unter geeigneten Bedingungen, im Rahmen von natürlichen und künstlichen Grundwasseranreicherungsprozessen, ein verstärkter Abbau von Spurenstoffen erfolgen kann [4 - 7]. Ein großer Einfluss wird hierbei der Substratzusammensetzung zugeschrieben. Oligotrophe Bedingungen wurden als geeignet für die Ausbildung einer Biozönose beschrieben, die in der Lage ist, auch refraktäre Spurenstoffe abzubauen [6, 7]. Hieraus ergibt sich ein bislang ungenutztes biologisches Potential zur weitergehenden Abwasserbehandlung mit dem Ziel eines verbesserten Spurenstoffabbaus. Biologische Filtersysteme, mit auf dem Filtermaterial fixierter spezialisierter Biomasse, stellen hierbei eine Möglichkeit dar, dieses Potential zu nutzen. Verschiedene Studien identifizierten zudem ungünstige Redoxbedingungen als limitierend für den biologischen Abbau vieler Verbindungen [8, 9]. Die Infiltration organisch belasteter Wasser zieht zunächst den aeroben Abbau biologisch leicht verfügbaren organischen Substrats nach sich. Die schnelle Sauerstoffzehrung bewirkt ein Absinken des Redoxpotentials und eine verringerte Transformation vieler Spurenstoffe. Die Gewährleistung oxischer Bedingungen in biologischen Filtrationssystemen stellt daher eine Herausforderung dar.

Durch Verwendung eines neuartigen sequentiellen, zweistufigen Biofiltrationsansatzes mit Zwischenbelüftung wird im Rahmen der hier vorgestellten Studie gezielt versucht, oligotrophe und oxische Bedingungen zu etablieren. Die Einstellung dieser Bedingungen soll der Ansiedlung einer mikrobiellen Gemeinschaft dienen, die zu einem verbesserten Spurenstoffabbau befähigt ist. In einer ersten Filterstufe erfolgt hierbei die aerobe Zehrung leicht verfügbarer Substratkomponenten,

während sich die zweite Stufe durch ebenfalls aerobe, aber oligotrophe Bedingungen auszeichnet und gezielt eine Elimination von schwer abbaubaren Komponenten ermöglichen soll. Das Ziel besteht in der Entwicklung biologischer Hochleistungssysteme, in denen die Vorzüge der mikrobiellen Diversität in Langsamsandfiltern mit den hohen Durchsatzraten in klassischen Schnellfiltern verknüpft sind und somit eine kostengünstige und praktikable Alternative zu Adsorptions- und Oxidationsverfahren darstellen.

## 2. Materialien und Methoden



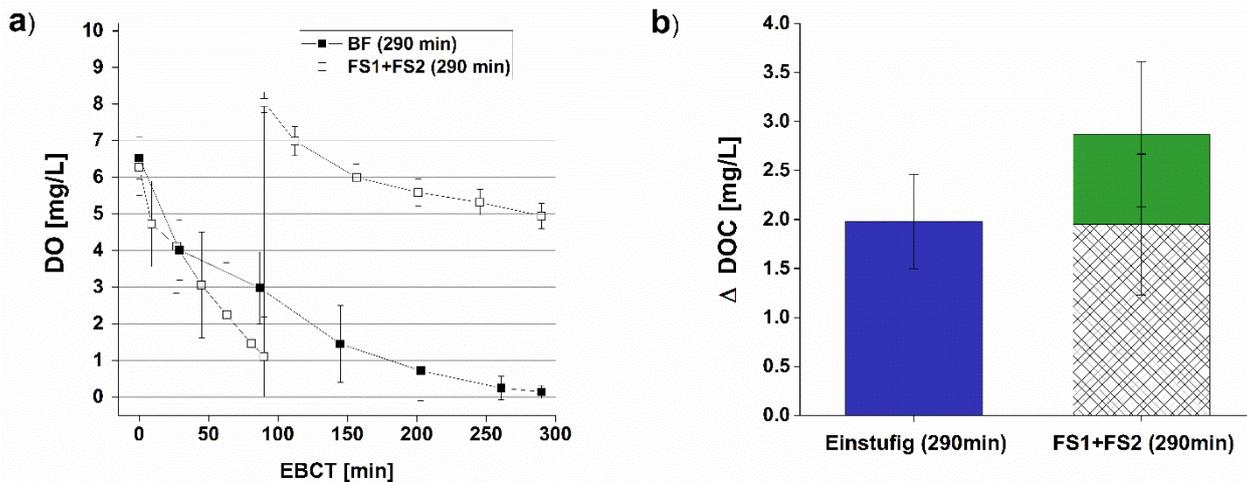
**Abbildung 1:** Versuchsaufbau Sequentielle Biofiltration

Das sequentielle Biofiltrationssystem umfasste zwei hydraulisch entkoppelte Filterstufen (1 und 2) (Abbildung 1). Die erste Filterstufe (FS1) bestand aus einer rückspülbaren Filtersäule (Höhe des Filterbetts (h): 1,0 m; Innerer Durchmesser (di): 0,15 m), die mit Anthrazit (mittlerer Korndurchmesser (dm) = 2 mm) befüllt war. Die zweite Filterstufe (FS2) bestand aus einer Filtersäule (h = 0,95 m; di = 0,1 m), in der technischer Sand (dm = 0,6 mm) als Filtermaterial verwendet wurde, der zu einem Volumenanteil von etwa 5% mit Sand aus Versuchssäulen zur Grundwasseranreicherung angeimpft war. Die Leerrohr-Aufenthaltszeit [engl. Empty Bed Contact Time (EBCT)] betrug 90 min in FS1 und 200 min in FS2. Die sequentielle Betriebsweise wurde durch die Reihenschaltung von FS1 und FS2 realisiert. Der Ablauf von FS1 wurde in einem Zwischenbehälter gesammelt, und durch Eintragung von Druckluft mit Sauerstoff gesättigt. Um die Reinigungsleistung des sequentiellen Systems mit der eines konventionellen, einstufigen Biofilters vergleichen zu können, wurde ein Referenzfilter (BF) betrieben, der baugleich zu der in FS1 genutzten Versuchssäule war. Um einen Vergleich der beiden Systeme zu ermöglichen, wurde hier eine EBCT von 290 min gewählt, die

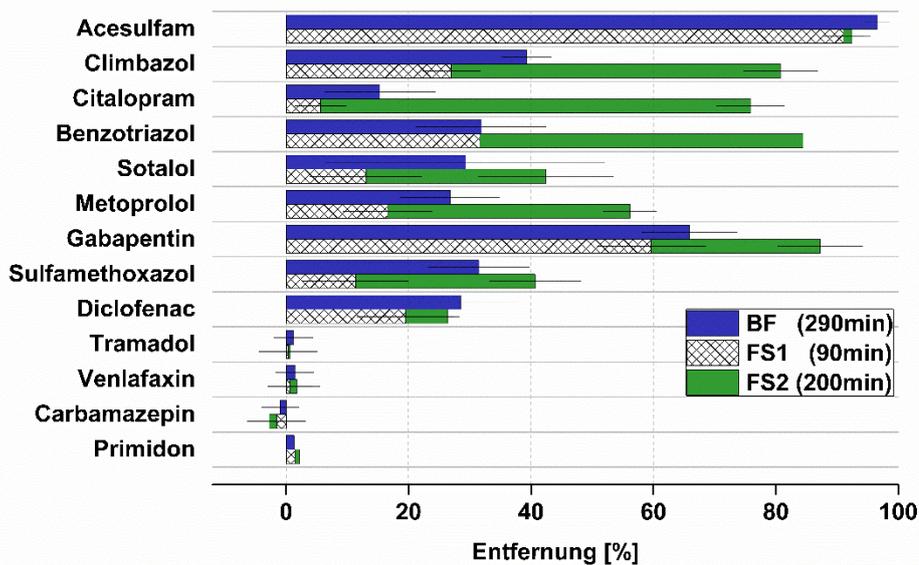
der Summe der beiden EBCT in FS1 und FS2 des sequentiellen Systems entsprach. Die Filterzüge wurden mit Kläranlagenablauf der Kläranlage Garching (31.000 EW) beschickt. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen wurden die Filtersäulen bereits seit 18 Monaten betrieben. Die im Rahmen dieser Studie genutzten Kontaktzeiten wurden mindestens acht Wochen vor Beginn der Messungen eingestellt und konstant gehalten. Die Bestimmung der Konzentrationsprofile an gelöstem Sauerstoff in den Anthrazitfiltern sowie der Konzentrationen im Zulauf und Ablauf der Säulen wurde mit Durchflusszellen bestimmt. In FS2 konnten zudem Sauerstoffprofile mithilfe einer nicht-invasiven optischen Methode aufgezeichnet werden. Neben Veränderungen des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC), des spektralen Absorptionskoeffizienten bei 254 nm (SAK254) sowie der Konzentrationen an Ammonium und Nitrat wurden die Konzentrationen ausgewählter im Kläranlagenablauf auftretender Spurenstoffe im Zu- und Ablauf der Säulen mittels HPLC-MS/MS bestimmt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zeigten deutliche Unterschiede zwischen sequentiellem und einstufigem Biofiltrationssystem. Die Sauerstoffprofile in FS1 des sequentiellen und im einstufigen System belegten eine rasche Sauerstoffzehrung, die mit dem aeroben Abbau von leicht verfügbarem Substrat erklärt werden kann (Abbildung 2a). Während die Redoxbedingungen in den tieferen Zonen des einstufigen Systems als deutlich suboxisch charakterisiert werden konnten (gelöster Sauerstoff < 1 mg/L, Nitratreduktion < 0,5 mg/L) bewirkte die Zwischenbelüftung hohe Sauerstoffkonzentrationen im Zulauf von FS2 des sequentiellen Systems. Trotz im Vergleich zu FS1 deutlich längerer Verweilzeit in FS2, blieben die Redoxbedingungen im gesamten Filter oxisch (gelöster Sauerstoff > 1 mg/L) mit Sauerstoffkonzentrationen über 5 mg/L. Die Sauerstoffzehrung in FS1 und im einstufigen System ging mit deutlichem DOC-Verbrauch einher (Abbildung 2b). Der Unterschied zwischen der EBCT in FS1 des sequentiellen und der EBCT des einstufig betriebenen Systems spiegelte sich nicht in einem erhöhten DOC-Verbrauch wider, was durch Sauerstofflimitierungen in den tieferen Zonen des einstufigen Filters erklärt werden kann. In FS2 des sequentiellen Systems erfolgte hingegen nur noch eine deutlich geringere zusätzliche DOC-Zehrung. Der DOC-Verbrauch in den Systemen bestätigte den für die Sauerstoffkonzentrationen beobachteten Trend. Sauerstoff- und DOC-Ergebnisse deuteten darauf hin, dass leicht verfügbares Substrat vorwiegend in FS1 des sequentiellen Systems abgebaut wurde. Geringerer DOC-Verbrauch sowie durchgehend hohe Sauerstoffkonzentrationen belegen, dass mittels sequentieller Biofiltration oligotrophe und oxische Bedingungen in FS2 eingestellt werden konnten.

Spurenstoffmessungen im Zu- und Ablauf der Filter zeigten substanzspezifisch unterschiedliche Entfernungsleistungen (Abbildung 3). Der Vergleich des einstufigen mit dem sequentiellen System offenbarte einen trotz gleicher gesamter Kontaktzeiten verbesserten Abbau der Verbindungen Climbazol.



**Abbildung 2:** a): Sauerstoffprofile in einstufigem und sequentiellen System (n=11). b): DOC-Verbrauch in einstufigem und sequentiellen System. DOC-Konzentration im Kläranlagenablauf  $7,1 \pm 1,0$  mg/L (n=9).



**Abbildung 3:** Prozentuale Entfernung ausgewählter Spurenstoffe im einstufigen (BF) und im sequentiellen Biofiltrationssystem (FS1 + FS2). Konzentrationen der untersuchten Spurenstoffe im Kläranlagenablauf [ng/L]: Acesulfam  $2440 \pm 450$ . Climbazol  $140 \pm 20$ , Citalopram  $160 \pm 30$ , Benzotriazol  $4310 \pm 230$ , Sotalol  $63 \pm 14$ , Metoprolol  $230 \pm 30$ , Gabapentin  $1970 \pm 210$ , Sulfamethoxazol  $130 \pm 50$ , Diclofenac  $1300 \pm 350$ , Tramadol  $250 \pm 10$ , Venlafaxin  $320 \pm 30$ , Carbamazepin  $400 \pm 40$ , Primidon  $81 \pm 18$ ; n = 9 (Acesulfam: n = 6).

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Die sequentielle Biofiltration zielt auf die Einstellung oligotropher und oxischer Bedingungen ab, mit dem Ziel, eine weitergehende biologische Entfernung von Spurenstoffen aus Kläranlagenabläufen zu ermöglichen. Die dargestellten Ergebnisse der Studie belegen, dass die sequentielle Betriebsweise die Einstellung oxischer und Substrat-reduzierter Bedingungen in einer zweiten Filterstufe ermöglicht. Die verbesserte Entfernung zahlreicher Spurenstoffe im sequentiellen System belegt das Potential des neuen Konzepts. Weitere Untersuchungen im Rahmen der Studie behandeln den Einfluss der EBCT auf die Reinigungsleistung mit dem Ziel einer weiteren Steigerung von Filtergeschwindigkeiten in den einzelnen Filterstufen sowie

Möglichkeiten zur Kombination der sequentiellen Biofiltration mit Oxidations- und Adsorptionsverfahren zur weiteren Steigerung des Abbaus schwer abbaubarer Verbindungen.

#### Danksagung

Die vorgestellten Untersuchungen sind Bestandteil des europäischen Verbundforschungsprojekts FRAME („A novel Framework to Assess and Manage contaminants of Emerging concern in indirect potable reuse“), das im Rahmen der Joint Programming Initiative „Water Challenges for a Changing World“ (JPI Water) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird.

## Literatur

- [1] Heberer, T.; Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data; *Toxicology Letters*, Volume 131 (2002), Nr. 1-2, Pages 5–17
- [2] Ternes, T. A.; Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers; *Water Research*, Volume 32 (1998), Pages 3245-3260
- [3] Reungoat, J., Escher, B.I., Macova, M., Keller, J.; Bio-filtration of wastewater treatment plant effluent: Effective removal of pharmaceuticals and personal care products and reduction of toxicity; *Water Research*, Volume 45 (2011), Pages 2751-2762
- [4] Laws, B. V., Dickenson, E. R. V., Johnson, T. A., Snyder, S. A., Drewes, J. E.; Attenuation of contaminants of emerging concern during surface-spreading aquifer recharge; *Science of The Total Environment*, Volume 409 (2011), Pages 1087-1094
- [5] Onesios, K. M., Bouwer, E. J.; Biological removal of pharmaceuticals and personal care products during laboratory soil aquifer treatment simulation with different primary substrate concentrations; *Water Research*, Volume 46 (2012), Pages 2365-2375
- [6] Li, D., Alidina, M., Ouf, M., Sharp, J.O., Saikaly, P., Drewes, J.E.; Microbial community evolution during simulated managed aquifer recharge in response to different biodegradable dissolved organic carbon (BDOC) concentrations. *Water Research*, Volume 47 (2013), Pages 2421-2430
- [7] Alidina, M., Li, D., Ouf, M., Drewes, J.E.; Role of primary substrate composition and concentration on attenuation of trace organic chemicals in managed aquifer recharge systems; *Journal of Environmental Management*, Volume 144 (2014), Pages 58-66
- [8] D'Alessio, M., Yoneyama, B., Ray, C.; Fate of selected pharmaceutically active compounds during simulated riverbank filtration; *Science of The Total Environment*, Volume 505 (2015), Pages 615-622
- [9] Baumgarten, B., Jährig, J., Reemtsma, T., Jekel, M.; Long term laboratory column experiments to simulate bank filtration: Factors controlling removal of sulfamethoxazole; *Water Research*, Volume 45 (2011), Pages 211-220

## Korrespondenzadresse:

Dipl.-Ing. Johann Müller  
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft  
Technische Universität München  
Am Coulombwall 3  
85748 Garching



## Biozide im Regenwasserabfluss Berlins

Daniel Wicke<sup>1</sup> ([daniel.wicke@kompetenz-wasser.de](mailto:daniel.wicke@kompetenz-wasser.de)), Andreas Matzinger<sup>1</sup> ([andreas.matzinger@kompetenz-wasser.de](mailto:andreas.matzinger@kompetenz-wasser.de)), Hauke Sonnenberg<sup>1</sup> ([hauke.sonnenberg@kompetenz-wasser.de](mailto:hauke.sonnenberg@kompetenz-wasser.de)), Nicolas Caradot<sup>1</sup> ([nicolas.caradot@kompetenz-wasser.de](mailto:nicolas.caradot@kompetenz-wasser.de)), Rabea-Luisa Schubert<sup>1</sup> ([rabea-luisa.schubert@kompetenz-wasser.de](mailto:rabea-luisa.schubert@kompetenz-wasser.de)), Pascale Rouault<sup>1</sup> ([pascale.rouault@kompetenz-wasser.de](mailto:pascale.rouault@kompetenz-wasser.de)), Bernd Heinzmann<sup>2</sup> ([bernd.heinzmann@bwb.de](mailto:bernd.heinzmann@bwb.de)), Uwe Dünnbier<sup>2</sup> ([uwe.duennbier@bwb.de](mailto:uwe.duennbier@bwb.de)), Dörthe von Seggern<sup>3</sup> ([doerthe.seggern@SenUVK.berlin.de](mailto:doerthe.seggern@SenUVK.berlin.de))

<sup>1</sup> Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Cicerostr. 24, 10709 Berlin

<sup>2</sup> Berliner Wasserbetriebe, Neue Jüdenstraße 1, 10179 Berlin

<sup>3</sup> Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Brückenstraße 6, 10179 Berlin

### Zusammenfassung

Im Rahmen einer etwa zweijährigen Studie wurde für Berlin erstmals das Ausmaß der Belastung von Regenabfluss mit Spurenstoffen durch ein einjähriges Monitoringprogramm in Einzugsgebieten unterschiedlicher Stadtstrukturtypen untersucht. Das Programm umfasste mehr als 100 Spurenstoffe einschließlich 20 Biozide bzw. Pestizide. Die höchsten Konzentrationen dieser Stoffgruppe wurden für Mecoprop (max: 6,9 µg/L) und Glyphosat (max: 4,6 µg/L) gefunden. Für die Mehrzahl der Stoffe gab es dabei signifikante Unterschiede zwischen den Stadtstrukturen. Für einige Substanzen (z.B. Carbendazim, Terbutryn) und Einzugsgebiete wurden im Regenwasserabfluss Umweltqualitätsnormen (UQN) für Gewässer überschritten. Proben, die zusätzlich bei Regenwetter in einem Fließgewässer genommen wurden, zeigen, dass es auch im Gewässer zur Überschreitung von zulässigen Höchstkonzentrationen (ZHK-UQN) bei Regen kommen kann.

### 1. Einführung

Das Vorkommen von organischen Spurenstoffen in urbanen Gewässern ist seit vielen Jahren bekannt. Jedoch liegt der Fokus bisher hauptsächlich auf Stoffen aus Punktquellen (Kläranlagen, Industrie) und diffusen Quellen der Landwirtschaft [1]. Aktuelle Studien der letzten Jahre zeigen jedoch, dass urbaner Regenablauf eine weitere diffuse Quelle für organische Spurenstoffe wie beispielsweise Biozide, Weichmacher oder Flammschutzmittel sein kann, die ebenfalls in die Gewässer gelangen und die Gesamtfracht an Spurenstoffen weiter erhöhen [2, 3]. Dies trifft insbesondere auf Städte zu, deren Regenablauf überwiegend über Trennkanalisation entwässert wird und so größtenteils unbehandelt in die Gewässer gelangt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes OgRe („Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins“) wurde in Berlin erstmals das Ausmaß der Belastung von Regenwasserabfluss mit Spurenstoffen sowie die Relevanz von Regenwasser als Eintragspfad für Spurenstoffe in urbane Gewässer untersucht. Durch ein ereignisbezogenes, einjähriges Monitoring von Regenablauf in fünf Einzugsgebietstypen unterschiedlicher Stadtstrukturen (Altbau, Neubau, Einfamilienhäuser, Gewerbe, Straßenablauf) sowie eines Gewässerabschnittes eines regenwasserbeeinflussten Fließgewässers (Panke), wurde eine Bestandsaufnahme der wichtigsten

Spurenstoffe vorgenommen sowie mit Hilfe eines im Projekt entwickelten Frachtmodells die jährlichen Frachten regenwasserbürtiger Spurenstoffe für das gesamte Berliner Stadtgebiet abgeschätzt.

### 2. Monitoringprogramm

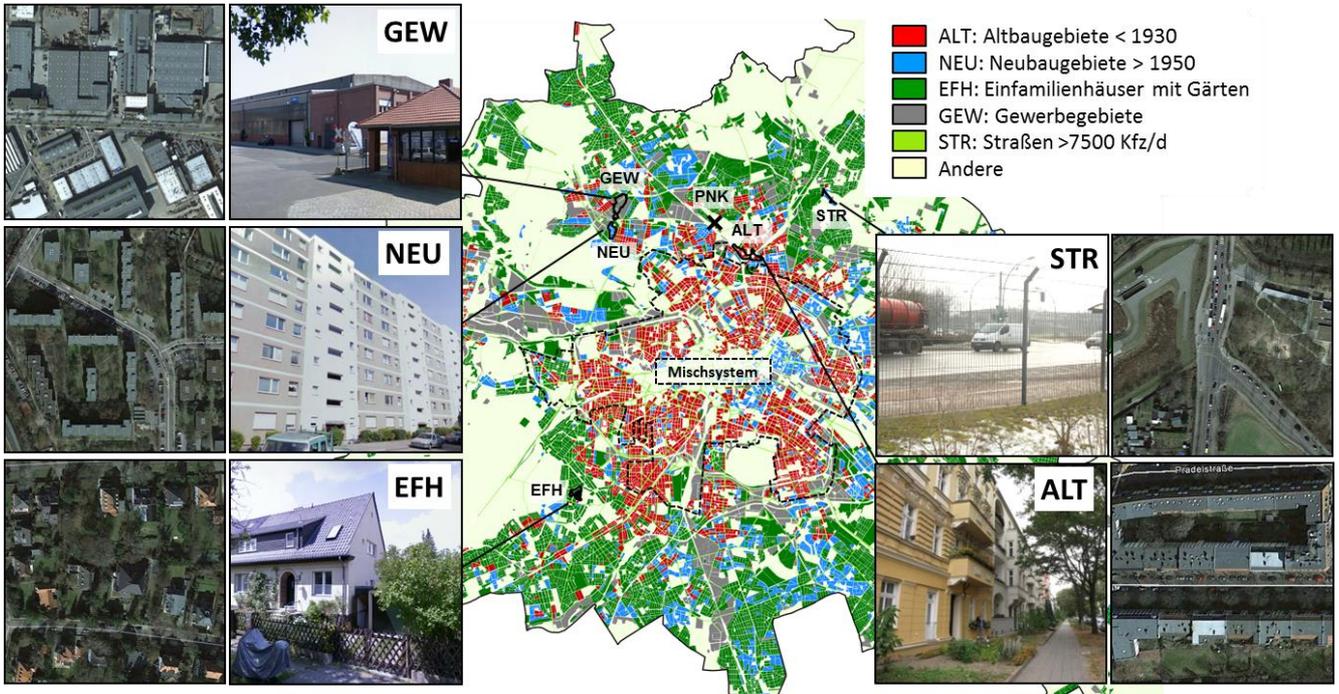
Zur Beprobung des Regenwasserabflusses wurden fünf Messstellen in verschiedenen Einzugsgebieten (EZG) der Trennkanalisation mit unterschiedlicher Stadtstruktur ausgewählt: Altbau (ALT – Block- und Blockrandbebauung der Gründerzeit sowie der 20er und 30er Jahre), Neubau (NEU – hohe Bebauung der Nachkriegszeit wie Plattenbauten und Siedlungsbebauung seit 1990), Einfamilienhäuser (EFH – niedrige Bebauung mit Hausgärten), Gewerbe (GEW – Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gewerbe, Industrie, Handel) sowie Straßenablauf stark befahrener Straßen (STR – Straßen mit einer Verkehrsdichte >7500 Kfz/Tag). Einen Überblick über die Verteilung der fünf Einzugsgebietstypen in Berlin sowie Charakteristik und Lage der Messstellen zeigt Abbildung 1. An allen fünf Messstellen (eine je EZG-Typ) wurde jeweils ein automatischer Probenehmer (Modell Sigma SD 900 mit 8 Glasflaschen je 1,9 L, Hach-Lange) installiert, der durch ein Durchflussmessgerät (Nivus PCM4) angesteuert wurde. Je Regenereignis wurde aus den einzelnen Probeflaschen eine volumenproportionale Mischprobe (max. 5 L) mit Hilfe der Durchflussdaten im Labor erstellt und anschließend auf ein umfangreiches Set von 106 Parametern analysiert. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der analysierten Biozide und Pestizide, die Schwerpunkt dieser Studie sind. Je Messstelle wurden bis zu 23 über das Jahr verteilte Regenereignisse unterschiedlicher Eigenschaften auf Spurenstoffe analysiert.

Zusätzlich zum Monitoring in Regenwasserkanälen wurde eine Messstelle an einem Fließgewässer (Panke, MQ=0,47 m<sup>3</sup>/s) eingerichtet, um Maximalkonzentrationen an regenwasserbürtigen Spurenstoffen in einem urbanen Gewässer zu ermitteln. An dieser Gewässermessstelle wurde ein gekühlter Probenehmer (Hydreka) installiert, der durch eine Leitfähigkeitssonde (AquaTroll 100 an ConTroll Pro, InSitu) angesteuert wurde. Weitere Einzelheiten zum Monitoring finden sich in Wicke et al. (2017) [4].

**Tabelle 1:** Übersicht der analysierten Biozide/Pestizide.

Biozide / Pestizide (20)	Carbendazim, Cybutryn, Diazinon, Diuron, Tebuconazol, 2,4-D, Isoproturon, 2,6-Dichlorbenzamid, Glyphosat, AMPA, Mecoprop, Terbutryn, Thioclopid, DEET, Imidacloprid <sup>1,2</sup> , Simazin <sup>1,3</sup> , Terbutylazin <sup>1,3</sup> , Desethylterbutylazin <sup>1,3</sup> , Benzisothiazolinon <sup>1,3</sup> , Octylisothiazolinon <sup>1,3</sup>
--------------------------	--

<sup>1</sup> im Laufe des Messprogramms ergänzt    <sup>2</sup> nur Einzelwerte vorhanden    <sup>3</sup> rückwirkend quantifiziert bzw. in Rückstellproben gemessen



**Abbildung 1:** Verteilung der 5 Stadtstrukturtypen des Monitorings sowie Lage der Messstellen (Karte abgeleitet aus GIS-Daten von SenStadtUm Berlin). PNK - Gewässermessstelle an der Panke.

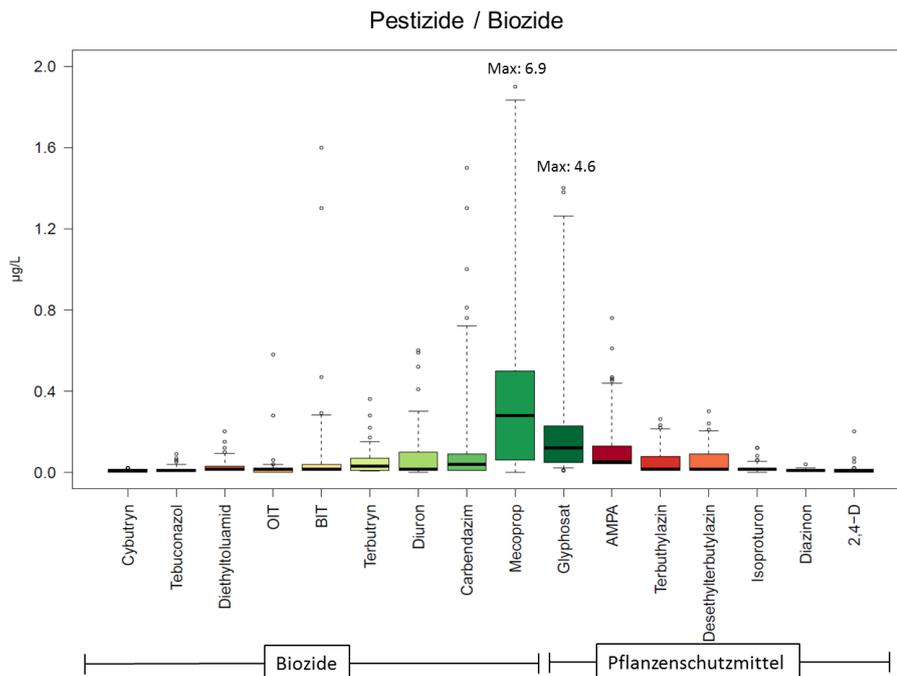
### 3. Gemessene Konzentrationen im Regenabfluss

In Abbildung 2 sind die Konzentrationsbereiche der detektierten Substanzen aus der Gruppe der Biozide/Pestizide dargestellt (analysierte Proben aller Einzugsgebiete). Von insgesamt 20 analysierten Substanzen wurden 16 detektiert - nur bei Imidacloprid, Thioclopid, Simazin und DCBA waren alle gemessenen Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze. Die höchsten Konzentrationen wurden für das in Bitumenbahnen als Durchwurzelungsschutz eingesetzte Mecoprop gefunden mit Maximalkonzentrationen bis 6,9 µg/L (MW: 0,51 µg/L). Auch die in Dach- und Fassadenfarben, Mauer- und Dichtmassen als Biozide eingesetzten Substanzen Carbendazim, Diuron und Terbutryn wurden oft im Regenabfluss detektiert. Bei den Pflanzenschutzmitteln traten die höchsten Konzentrationen bei Glyphosat und seinem Metaboliten AMPA auf, bei Glyphosat mit Spitzenkonzentrationen bis 4,6 µg/L (MW: 0,34 µg/L).

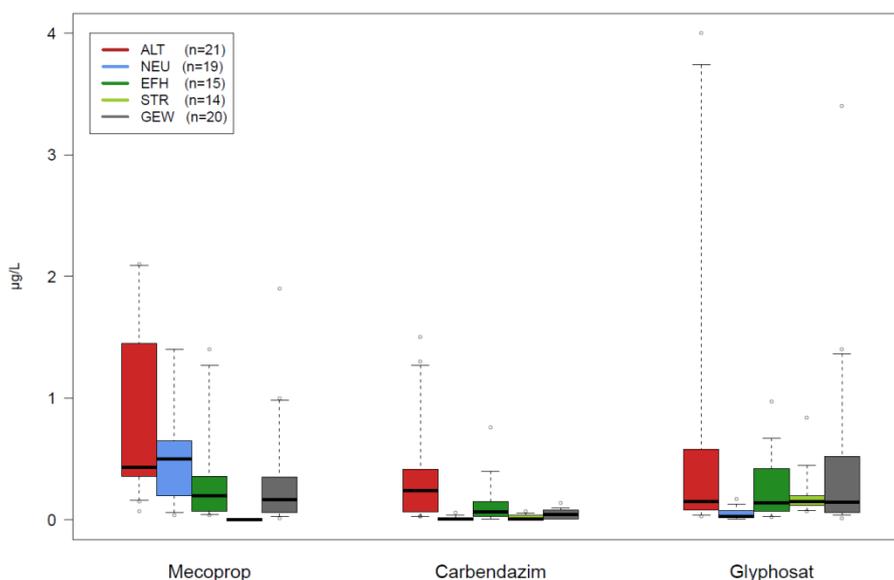
### Gemessene Konzentrationen nach Einzugsgebieten

Für einen Großteil der detektierten Spurenstoffe bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Konzentrationen der Einzugsgebiete (Varianzanalyse, z.B. durch Kruskal-Wallis-Test). Beispielhaft sind in Abbildung 3 für 3 Biozide die Konzentrationen nach Einzugsgebietstyp aufgeschlüsselt.

Der urbane Einsatz von Mecoprop erfolgt hauptsächlich als Additiv in Bitumenbahnen zum Durchwurzelungsschutz [5], jedoch werden Mecoprop-haltige Bitumenbahnen oft auch dann eingesetzt, wenn kein Durchwurzelungsschutz notwendig ist. Neben hohen Konzentrationen (>100 µg/L) in den ersten Monaten nach der Neuverlegung von Bitumenbahnen kann es auch nach mehr als 10 Jahren noch zu erhöhten Konzentrationen im Dachablauf kommen [6]. Dementsprechend ist in allen Einzugsgebieten mit angeschlossenen Dachflächen (alle außer STR) Mecoprop im Regenabfluss mit den höchsten Konzentrationsniveaus in ALT und NEU zu finden, den beiden EZG mit einem höheren Bitumendachanteil (Abb. 3). Um die Emissionen von Mecoprop aus Bitumenbahnen zu vermindern, hat der Berliner Senat Handlungsempfehlungen herausgegeben [7].



**Abbildung 2:** Konzentrationen detektierter Biozide/Pestizide aller EZG. Whisker zeigen 5% bzw. 95% Quantil



**Abbildung 3:** Konzentrationen ausgewählter Substanzen nach EZG-Typ (ALT – Altbau, NEU – Neubau, EFH – Einfamilienhäuser, STR – Straßen, GEW – Gewerbe). Whisker zeigen 5%/95% Quantil.

Das als Fungizid im Fassadenschutz und in Dichtmassen eingesetzte Carbendazim zeigt die höchsten Konzentrationen im EZG ALT (Abb. 3). Insbesondere bei nachträglicher Gebäudedämmung von Altbauten (im EZG ALT durch Lage im ehemaligen Ostteil von Berlin verstärkt durchgeführt) werden fungizide Zusatzstoffe in Fassadenfarben bzw. Putzstoffen eingesetzt, da Feuchtigkeit durch die kältere Oberfläche der gedämmten Oberfläche schneller an der Außenseite der gedämmten Wand kondensiert und zu einer verstärkten Schimmelbildung führen kann. Auch Diuron und Terbutryn wurden im EZG ALT verstärkt gefunden. Das als Breitbandherbizid eingesetzte Pestizid Glyphosat wurde in allen Einzugsgebieten mit recht ähnlichen Mediankonzentrationen von etwa 0,15 µg/L

gefunden, allerdings mit teilweise hohen Einzelkonzentrationen (4,6 und 3,4 µg/L für ALT bzw. GEW). Der Haupteintrag wird vermutlich auf zwei Arten verursacht. Zum einen wird Glyphosat in behandlungsbedürftigen Abschnitten und nach Genehmigung durch das Pflanzenschutzamt zur Gehwegbehandlung durch die Berliner Stadtreinigung (BSR) eingesetzt. Insbesondere lassen sich die hohen Konzentrationen von Glyphosat an der Messstelle ALT (Extremwerte in Abb. 3) mit einer zuvor erfolgten Glyphosatbehandlung des Gehweges durch die BSR in einer vollständig im Einzugsgebiet liegenden Straße erklären (persönliche Mitteilung Pflanzenschutzamt Berlin). Der größte Anteil von Glyphosat wird allerdings laut Aussage des Amtes durch die nicht erlaubte Anwendung auf

„Nichtkulturland“ (z.B. Hofflächen, Gehwege) durch Privat-anwender, Hauswarte oder Ladenbesitzer ausgebracht, um diese unkrautfrei zu halten (erlaubt ist die Anwendung frei ver-käuflicher Glyphosatprodukte nur im Gartenbereich). Vermutlich ist so der diffuse Eintrag in allen Einzugsgebieten zu erklären, einschließlich der hohen Glyphosat-Konzentration im EZG GEW (Ausreißer im Boxplot).

#### 4. Gemessene Konzentrationen im Gewässer

Zur Einschätzung der Peakbelastung der Panke durch Ein-leitung von Regenabfluss aus Trenngebieten wurden Maximal-konzentrationen durch Beprobung der Regenwasserpeaks im Gewässer ermittelt. In Abbildung 4 sind beispielhaft für 5 Bio-zide/Pestizide sowie einem Arzneimittelrückstand Gewässer-konzentrationen während Regenereignissen im Vergleich zu

Trockenwetterkonzentrationen gezeigt. Es ist zu erkennen, dass für alle 5 regenwasserbürtigen Stoffen die Konzen-trationen bei Regen etwa um den Faktor 5-10 höher sind als bei Trockenwetter, was die Relevanz des Regenwasserpfades als Quelle für diese Schadstoffe im Gewässer zeigt. Im Gegen-satz dazu ist für den über die Kläranlage Schönerlinde in die Panke gelangenden Arzneimittelrückstand Carbamazepin zu sehen, dass die Konzentrationen bei Trockenwetter meist höher sind und es bei Regenereignissen eher zu einer Verdün-nung kommt. Es ist bei der Bewertung zu berücksichtigen, dass die Panke verhältnismäßig große Mengen an Regenwasser ableitet (~8% der Regenwassermenge Berlins) und sich der Durchfluss bei Regen oft mehr als verdoppelt.

#### 5. Vergleich mit Umweltqualitätsnormen

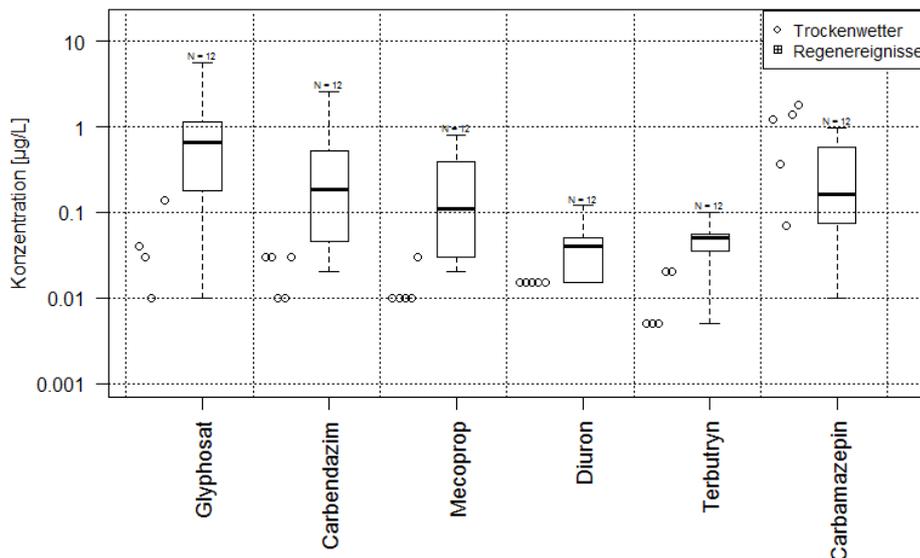


Abbildung 4: Konzentrationen ausgewählter Substanzen in Regen- und Trockenwetterproben der Panke.

Tabelle 2: Biozide/Pestizide, deren Regenwasserabfluss-Konzentrationen relevant sind bei Vergleich mit den Umweltqualitäts-normen der Jahresdurchschnittskonzentration (JD-UQN) und Toxizitätsdaten. Gegenübergestellt sind die entsprechenden Regenwetterkonzentrationen in der Panke.

	Regenwasserabfluss der Trennkanalisation			Panke bei Regen		
	Konzentrationen	MW <sub>EZG</sub> > JD-UQN	Toxizität <sup>1</sup>	Konzentrationen		UQN
	MW <sub>EZG</sub> [µg/L]	EU-Richtlinie / OGewV	MW <sub>EZG</sub> > PNEC	MW [µg/L]	Max [µg/L]	Max > ZHK-UQN
Carbendazim	0,02 - 0,37	x	x	0,43	2,6	x
Mecoprop	0 - 1,0	x	-	0,24	0,81	x <sup>2</sup>
Diuron	0 - 0,2	x	-	0,05	0,12	-
Terbutryn	0,01 - 0,09	x	x	0,05	0,1	-

<sup>1</sup> Tabelle zu Grunde gelegter PNECs (Predicted No Effect Concentration) siehe [8]

<sup>2</sup> Vergleich mit MW, da nur JD-UQN definiert

MW<sub>EZG</sub>: Mittelwert aller Messwerte je Einzugsgebietstyp, ZHK: Zulässige Höchstkonzentration

Tabelle 2 zeigt Substanzen aus der Gruppe der Biozide/ Pestizide, deren Konzentrationsmittelwerte die Umweltqualitätsnormen der Jahresdurchschnittskonzentration (JD-UQN) der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) bzw. der EU-Richtlinie 2013/39/EU im Regenwasserabfluss mindestens eines Einzugsgebietstyps überschreiten. Zum Vergleich sind außerdem Konzentrationen der Regenwetterproben und UQN-Überschreitungen (ZHK-UQN: zulässigen Höchstkonzentrationen für Peakbelastungen) der Panke gezeigt. Dabei zeigt sich, dass Carbendazim und Mecoprop bei Regenwetter auch im Gewässer die zulässigen Höchstkonzentrationen überschreiten können, während die Konzentrationen von Diuron und Terbutryn in der Panke soweit verdünnt werden, dass es nicht zu einer Überschreitung der ZHK-UQN kommt. Es ist wichtig zu beachten, dass (i) sich die Angaben zur Toxizität aufgrund von neuer Untersuchungen ändern können und (ii) für viele der gefundenen Stoffe noch keine PNECs abgeleitet wurden. Entsprechend hat die Priorisierung in Tabelle 2 nur vorläufigen Charakter.

## 6. Fazit

Im Rahmen des einjährigen Monitorings in Berlin wurde eine Vielzahl an Bioziden und Pestiziden im Regenwasserablauf der Trennkanalisation detektiert. Zudem hat für die Mehrzahl der gefundenen Substanzen der Stadtstrukturtyp einen großen Einfluss auf die Konzentration, was auf die unterschiedlichen Nutzungen und Bebauungsstrukturen der Einzugsgebiete zurückgeführt werden kann. Ein Vergleich mit Umweltqualitätsnormen hat gezeigt, dass für die Substanzen Carbendazim, Mecoprop, Diuron und Terbutryn gewässerökologisch relevante Konzentrationen im Regenabfluss erreicht wurden. Eine Überschreitung von Carbendazim und Mecoprop bei Regenwetter auch im beprobten Gewässer (Panke) zeigt, dass Regenwassereinträge in urbane Gewässer zumindest für Gewässer mit einem hohen Regenwasseranteil relevant sein können. Vielversprechende Maßnahmen zur Reduktion der Einträge insbesondere im Trenngebiet sind Maßnahmen an der Quelle wie z.B. vorhandene Aktivitäten zur Verringerung von Biozidzusätzen und -konzentrationen in Bauprodukten.

## Danksagung

Diese Studie wurde mit Mitteln des Umweltentlastungsprogramms II des Berliner Senats (kofinanziert vom Europäischen Fond für Regionale Entwicklung) und Veolia Wasser finanziert. Wir danken Simon Holsteijn, Mark Masch, Clara Eichler, Robert Dick und den Kollegen der Berliner Wasserbetriebe, ohne die das Monitoring nicht so erfolgreich gewesen wäre.

## Literatur

- [1] Reemtsma, T., et al. (2006) Polar Pollutants Entry into the Water Cycle by Municipal Wastewater: A European Perspective. *Environmental Science & Technology*, 40(17): p. 5451-5458.
- [2] Burkhardt, M., et al. (2012) Leaching of Biocides from Façades under Natural Weather Conditions. *Environmental Science and Technology*, 46(10): p. 5497-5503.
- [3] Clara, M., et al. (2014) Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Wien. p. 1-354.
- [4] Wicke D., Matzinger A., Sonnenberg H., Caradot N., Schubert R., Rouault P., Heinzmann B., Dünnbier U., von Seggern, D. (2017) Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. KA - Abwasser, Abfall, 5: 394-404.
- [5] Bucheli, T., Müller, S., Voegelin, A., and Schwarzenbach, R. (1998) Bituminous Roof Sealing Membranes as Major Sources of the Herbicide (R,S)-Mecoprop in Roof Runoff Waters: Potential Contamination of Groundwater and Surface Waters. *Environmental Science and Technology*, 32: p. 3465-3471.
- [6] Riechel M., Schubert R., Caradot N., Sperling K., Kahlert P., et al. (2015) Austrag und Rückhalt von Mecoprop durch Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, in: 5. Aqua Urbanica, Stuttgart.
- [7] SenStadtUm (2013) Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen.
- [8] Wicke D., Matzinger A., und Rouault P. (2015) Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins - Abschlussbericht Projekt OgRe. KompetenzZentrum Wasser Berlin, 99p.

## Bericht vom Forum Junger Umweltwissenschaftler 2017 in Münster



Für den interdisziplinären Austausch des wissenschaftlichen Nachwuchses im Bereich der Umweltchemie und Ökotoxikologie fand zum dritten Mal das Forum Junger Umweltwissenschaftler statt. Diesmal war die schöne Stadt Münster der Veranstaltungsort und so wurden bei sommerlichen Temperaturen am Aasee mit 16 Teilnehmerinnen und Teilnehmern wieder verschiedenste Themen in Form von Vorträgen und Postern präsentiert und lebhaft diskutiert. Neu war die Möglichkeit der Präsentation auch von Beiträgen in englischer Sprache.

Nach Begrüßung durch Prof. Dr. Christine Achten (Stellvertretende Vorsitzende der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie, Professorin an der Universität Münster und Organisatorin des FJU), der Bürgermeisterin der Stadt, Karin Reismann, und durch die Universität Münster in Person des Dekans des Fachbereichs Geowissenschaften, Prof. Dr. Harald Strauß, wurden wissenschaftliche Grundlagen, Strategien, Testmethoden und Bewertungsansätze bei der Registrierung von Pestiziden von Dr. Markus Telscher (Bayer AG, Crop Science Division, Monheim am Rhein) in einer Keynote Lecture erläutert.

Die Beiträge der Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Bereich Analytik umfassten z. B. eine aktuelle Methodenentwicklung zur Messung von bisher kaum untersuchten wasserlöslichen Polymeren (Lisa Krauskopf, RWTH Aachen, LEK), deren Vorkommen und Wirkungen in der Umwelt neben der Problematik Plastik/Mikroplastik bisher unklar sind. Die etwa um den Faktor 1.000 empfindlichere Analyse von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in unterschiedlichen Matrices und die Methodvalidierung der Laserbasierten Methode (Sigrid Große Brinkhaus, WWU Münster) und die Frage, ob nicht die überalterte Festlegung prioritärer EPA-PAK überarbeitet werden muss, waren weitere Themen.

Im Bereich Verhalten von Schadstoffen wurde z. B. die Mobilisierung von DDT-Altlasten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (Julia Neitsch, Hochschule Mannheim) diskutiert, die aktuell bei Landwirten zu Problemen durch Bioakkumulation führen kann, da diese ihre Produkte ggf. aufgrund von Grenzwertüberschreitungen nicht vermarkten können. Die diskutierte Problematik führte auch zur Frage nach den ge-

naueren Gründen für persistente Stoffe nach OECD Guideline 307: Welchen Einfluss haben jeweils die Sorption, der Abbau und die Bildung Nicht-extrahierbarer Rückstände (NER) auf die Gesamtpersistenz? (Shrestha Prasit, Fraunhofer IME-AE Schmallenberg).

Im Bereich der Ökotoxikologie zeigte Steffen Carl (Universität Frankfurt/M, Aquatische Ökotoxikologie) die Komplexität der Versuchsdurchführung und Bewertung des Einflusses von Pestiziden auf Pilze in künstlichen Fließgewässerrinnen auf. Schließlich wurde im Bereich der Abwasseraufbereitung der aktuelle Stand zum innovativen 3D-Druck eines Anammox-Biofilms präsentiert, der die technischen Herausforderungen beim dreidimensionalen Druck von Mikroorganismen anschaulich aufzeigte (Damian Hausherr, FHNW, IEC, Muttenz, Schweiz).

So hat das Forum Junger Umweltwissenschaftler auch in diesem Jahr die große Breite der Forschungsfelder Umweltchemie und Ökotoxikologie aufgezeigt. Veranstaltungen wie diese können den Doktoranden helfen, sich zu orientieren und (methodische) Gemeinsamkeiten auch bei zunächst unterschiedlichen Forschungsaktivitäten zu erkennen.



Den Preis für den besten Vortrag erhielt Adrian Herbot (Universität Koblenz-Landau, Institut für Umweltwissenschaften, Landau in der Pfalz) mit seinen Ideen und Versuchen zur Entfernung von Mikroplastik aus Abwasser durch Agglomeration (Produktion größerer Partikel in der Kläranlage, die einfacher entfernt werden können), die künftig allerdings sicher noch weiter detailliert chemisch untersucht werden müssen.

Ein Highlight war der Vortrag des diesjährigen Preisträgers des Paul-Crutzen-Preises, Dr. Martin Brüggemann (CNRS – IRCELYON, Villeurbanne, Frankreich), der eine Methode für die on-line Analyse von sekundären organischen Aerosol (SOA)-Biomarkern entwickelt und in einer Feldkampagne angewendet hat. Hier wurden erstmals zeitlich hochaufgelöste Zusammenhänge zwischen einzelnen Markern beobachtet.

Das Kennenlernen und der Austausch wurden auch bei einer Fahrradtour durch das EU-Vogelschutzgebiet, welches durch gereinigtes Abwasser gespeist wird, und bei den geselligen Abendessen z. B. im Hafenviertel vertieft. Die Rückmeldung der Teilnehmer war durchweg sehr positiv und es wurde gewünscht, dass die Veranstaltung wieder stattfindet – möglichst jährlich.

Christine Achten ([achten@uni-muenster.de](mailto:achten@uni-muenster.de))

## Verleihung des Paul-Crutzen-Preises 2017 an Dr. Martin Brüggemann

Auf dem Forum Junger Umweltwissenschaftler (FJU) vom 19. bis 21. Juni 2017 in Münster wurde Herr Dr. Martin Brüggemann der Paul-Crutzen-Preis 2017 für seine herausragende wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiet der Umweltchemie und Ökotoxikologie verliehen.



In der prämierten Publikation [Brüggemann et al. (2017) Real-time detection of highly oxidized organosulfates and BSOA marker compounds during the F-BEACH 2014 field study. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 1453–1469] beschreibt der Preisträger eine einzigartige Kombination komplementärer massenspektrometrischer Methoden, sowohl on-line als auch off-line, zur chemischen Charakterisierung organischer Aerosolkomponenten. An der Entwicklung einer der dabei eingesetzten on-line Messtechniken, der AeroFAPA-MS, war Martin Brüggemann maßgeblich beteiligt.

Die mit Hilfe dieser komplementären analytischen Ansätze gewonnenen Messdaten tragen wesentlich zum besseren Verständnis der chemischen Prozesse bei, die in der Atmosphäre zur Bildung des sogenannten sekundären organischen Aerosols (SOA) führen. Die Arbeit zeigt in beeindruckender Weise, wie durch eine wohl überlegte Kombination verschiedener Analyseverfahren auch komplexe umweltchemische Prozesse von hoher zeitlicher Dynamik transparent gemacht werden können.

In seinem Vortrag auf dem FJU stellte Martin Brüggemann zunächst die Entwicklung und Charakterisierung der AeroFAPA-Messtechnik vor. Diese beruht auf der Erzeugung von Primärionen durch ein Helium-Glimmentladungsplasma mit nachfolgender Verdampfung und chemischer Ionisierung der Aerosolkomponenten bei Atmosphärendruck. Die so erzeugten Molekülionen werden anschließend mittels Ionenfallen-MS untersucht. Wie Martin Brüggemann eindrucksvoll zeigte, erlaubt diese sanfte Ionisierung den Nachweis und die Identifizierung einzelner organischer Verbindungen in Aerosolpartikeln in Echtzeit – eine Eigenschaft, die der konventionellen Aerosolmassenspektrometrie häufig fehlt. Der große Nutzen der neuen Methode wurde besonders anhand einer Feldmesskampagne deutlich, bei der die neuentwickelte Technik

zusammen mit etablierten Methoden eingesetzt wurde. Mithilfe der AeroFAPA-MS war es Martin Brüggemann möglich, sowohl die Bildung von bekannten Markersubstanzen als auch die von noch unbekanntem Organosulfaten im atmosphärischen Aerosol mit hoher zeitlicher Auflösung zu verfolgen. Hinzu konnten durch den Einsatz weiterer massenspektrometrischer Methoden bereits Rückschlüsse auf deren Bildungsmechanismen geschlossen werden.

Im zweiten Teil des Vortrags gab es noch einen kleinen Exkurs zu Martin Brüggemanns aktuellem Forschungsprojekt. Dieses beschäftigt sich mit der photochemischen Bildung flüchtiger organischer Substanzen an der Phasengrenze Luft/Wasser. Im Fokus steht hierbei vor allem die Oberfläche des Ozeans. Im Gegensatz zur Annahme aktueller Modelle, die Emissionen volatiler Substanzen ausschließlich der Biologie zuschreiben, gehen Brüggemann und seine Kollegen dabei von einer zusätzlichen, rein photochemischen Bildung dieser Substanzen aus.

Herr Dr. Brüggemann wird Lyon demnächst verlassen und eine Stelle als Wissenschaftler am Leibniz Institut für Troposphärenforschung (TROPOS) in Leipzig antreten.

Thorsten Reemtsma ([thorsten.reemtsma@ufz.de](mailto:thorsten.reemtsma@ufz.de))

---

## Werner Klein

\* 25. September 1935 † 18. August 2017

Wann ist ein Mensch ein Großer? Wenn er etwas Großes geleistet hat? Wenn er etwas außergewöhnlich gut beherrscht? Oder wenn er eine außergewöhnliche Kombination von Eigenschaften besitzt?

Nach seinem Studium der Chemie an der Universität Bonn (1956-1961) promovierte Werner Klein dort 1965 in organischer synthetischer Chemie und arbeitete als Assistent in theoretischer Chemie, Strahlenschutz und dem Metabolismus von Chemikalien in der Umwelt. Ab 1969 war er maßgeblich am Aufbau des GSF-Instituts für Ökologische Chemie beteiligt, welches er bis 1983 stellvertretend leitete; er stand dort der Arbeitsgruppe "Verhalten von Chemikalien in Ökosystemen" vor. 1977 habilitierte er sich an der TU München in Weihenstephan für das Fachgebiet Ökologische Chemie.

Bereits 1970 gehörte er der Expertengruppe zur Erstellung des ersten Umweltschutzprogramms der Bundesrepublik Deutschland an. Nach seinem Wechsel zum Fraunhofer ITA 1983 entwickelte er dessen Institutsteil in Schmallenberg, den er zunächst zusammen mit Hubert Oldiges leitete, ab 1985 als eigenständiges Fraunhofer Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie IUCT thematisch weiter. Damit rückten der Transport und der Verbleib von Chemikalien in den Umweltkompartimenten Luft, Wasser und Boden, sowie die Wirkung möglicher Schadstoffe auf Mikroorganismen, Pflanzen und

Tiere in den Mittelpunkt der Forschung in Schmallenberg. Er leitete das Institut als Inhaber des Lehrstuhls für Ökologische Chemie an der Universität Duisburg bis 2001. In diese Zeit fiel die entscheidende Entwicklung der Chemikalien- und Pflanzenschutzgesetzgebung in Deutschland und Europa, die Werner Klein wissenschaftlich mitbestimmte und begleitete. So war er Mitglied in zahlreichen wissenschaftlichen Gremien und Beiräten wie IUPAC, SCOPE, Scientific Advisory Committee on Toxicology and Ecotoxicology der EU, Mitglied des Sachverständigenkreises Ökologische Forschung des BMBF, BBA-Beirat, Vorstandsmitglied der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie und der International Society of Ecotoxicology and Environmental Safety. Er war Mitglied im Editorial Board verschiedener Fachzeitschriften und Autor von über 300 Veröffentlichungen zur Thematik Chemikalien und Umwelt. 1998 wurde Werner Klein für seine Verdienste in der Umweltforschung das Bundesverdienstkreuz verliehen.

Als sich die Rahmenbedingungen für Umweltforschung Ende der 1990er Jahre verschlechterten, wurde mit der Molekularen Biotechnologie ein neuer Schwerpunkt hinzugefügt, was sich nach dem Ruhestand von Werner Klein in einer Umbenennung des Instituts in Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME) unter der Leitung von Rainer Fischer manifestierte. Vor diesem Wechsel gelang Werner Klein mit der Übernahme der Umweltprobenbank des Bundes als Archiv zur Dokumentation des chemischen Umweltzustands in Deutschland ein wichtiger Schritt zur nachhaltigen Weiterführung seiner Forschungsthematik durch den Bereich Angewandte Oekologie. Auch nach seinem Ausscheiden aus der Institutsleitung 2001 war er für viele Jahre aktiv, so in der GDCh, der IUPAC und als wertvoller Berater für „seinen“ Standort Schmallenberg bis 2006.

Werner Klein war ein Wissenschaftler von außergewöhnlicher konzeptioneller Klarheit. Er hat zusammen mit seinem Lehrer Friedhelm Korte die Chemische Ökologie und Ökotoxikologie definiert und zusammen mit seinem Jülicher Fachkollegen Fritz Führ die ökochemische Stoffbewertung von der theoretischen Grundlage in praktische Vorschriften umgesetzt. Dabei war er, wie alle Wegbereiter, seiner Zeit voraus und musste mit den Windmühlen der Umsetzung, hier der Implementierung gesetzlicher Regulationsprozesse, kämpfen.

Werner Klein war von zurückhaltender Bescheidenheit geprägt. Das mag an seinem hohen Anspruch gelegen haben, der von allen, besonders aber ihm selbst, schwer zu erfüllen war. Sein Wesen zeichnete auch aus, dass er die wachsende Individualisierung und Selbstdarstellung in Wissenschaft und Gesellschaft nicht mitgehen konnte.

Mit Werner Klein verlieren wir einen Großen, der sich immer weigerte, als solcher wahrgenommen zu werden.

Für den Bereich Angewandte Oekologie des Fraunhofer IME:  
Christoph Schäfers



## CHEMISCHES UND MIKROBIOLOGISCHES INSTITUT UEG GMBH

### Über das Institut

UEG hat es sich seit der Gründung in Wetzlar im Jahr 1988 zum Ziel gesetzt, mittels zukunftsorientierter Analysentechnik sowie dem Know-how seiner Mitarbeiter einen Beitrag zu effizienten Lösungen komplexer, naturwissenschaftlicher Fragen im Bereich der Chemischen Analytik zu leisten. Nach dem Zusammenschluss mit der Fa. MikroChem GmbH zur Fa. Chemisches und mikrobiologisches Institut UEG GmbH im Jahr 2008 wurde das Leistungsspektrum auch auf mikrobiologische Parameter ausgeweitet. Zu unseren Auftraggebern gehören Industrie- und Gewerbebetriebe, Kommunen und öffentliche Institutionen, Ingenieurbüros und Behörden. Derzeit beschäftigt UEG 28 Mitarbeiter. Das Team setzt sich aus hochqualifizierten Experten in den Bereichen Chemie, Geologie, Umweltschutz, Agrarwissenschaften, Abwassertechnik und Biologie zusammen.

### Arbeitsfelder und Leistungen

Als leistungsfähiges Institut mit einem hochaktuellen Dienstleistungsangebot liefern wir alles aus einer Hand – stets unter Anwendung wissenschaftlicher, genormter Methoden und mit Hilfe hochmoderner Technik. Im raschen Wandel der Technologien ist UEG Schrittmacher, hält innovative Verfahren bereit und entwickelt nach Kundenbedarf auch neue Methoden.

### Zu den Leistungen von UEG gehören:

**Probenahme:** Ob Luft, Wasser, Boden oder Abfall, die UEG-Teams sind mit ihrer mobilen Technik mittendrin. Die Vorgehensweise bei der Probenahme wird dabei gezielt auf die Fragestellung abgestimmt.

**Analytik:** Im Labor angekommen, werden die Proben aufbereitet und analysiert. Dies ist eine anspruchsvolle Aufgabe, denn die Messverfahren werden für den Einzelfall optimiert, um die Anforderungen der Auftraggeber optimal erfüllen zu können



- Produkt-, Bedarfsgegenstände-, Materialanalytik
- Lebensmittel-, Futtermittelanalytik
- Prozessanalytik
- Altlasten-, Abfallprüfung und Bewertung
- Werkstoffuntersuchungen
- Holzwerkstoffuntersuchungen
- Schadenbegutachtung/-sanierung
- Monitoring, Kataster, Boden-, Baugrundgutachten
- Gebäudeprüfung
- Auftragsforschung

### Kundenspezifische Methodenentwicklung

Als besondere Dienstleistung bietet UEG die maßgeschneiderte Entwicklung von neuen Methoden und die Anpassung bestehender Messverfahren an die betrieblichen Besonderheiten. Wir eröffnen dem Kunden so neue Möglichkeiten zur Qualitätskontrolle und Prozessverbesserung.



Höhere Empfindlichkeit für Analysen im Rahmen der Trinkwasserverordnung – LC MS/MS System

Gefahrstoffmessstelle für Arbeitsplatzmessungen: UEG ist auch akkreditierte Gefahrstoffmessstelle für Arbeitsplatzmessungen und -beurteilungen nach Gefahrstoffverordnung TRGS 402.

Interpretation und Beratung: Mit den Ergebnissen der chemischen oder mikrobiologischen Analyse alleine ist es meist nicht getan: UEG erstellt Beurteilungen, autorisierte Gutachten, berät und liefert klare Antworten auf naturwissenschaftliche Fragen. Mit langjähriger Erfahrung helfen wir auch bei der Interpretation von Anforderungen, Umsetzung von Gutachten, der Fehlersuche in Prozessen in der Fertigung oder im Betrieb oder bei gesetzlichen und behördlichen Fragestellungen.

### Themenbereiche und Methoden

In folgenden Themenbereichen sind wir für unsere Kunden tätig:

- Mikrobiologische Analytik / Hygiene
- Brenn-, Heizstoffe, Kompost, Klärschlamm
- Staub-, Gas-, Luft-, Bodenanalytik
- Gebäude-, Arbeitsplatzanalytik
- Trink-, Spül-, Klär-, Sicker-, Grund-, Abwasseranalytik



Der elektronische Verdampfer – bietet da Vorteile, wo das Lösen der Probe einen großen Aufwand bedeutet



Das UEG-Gebäude in Wetzlar

### Kontakt

Chemisches und mikrobiologisches Institut  
UEG GmbH  
Christian-Kremp-Str. 14, 35578 Wetzlar  
Telefon: +49 (0) 6441 - 78 33 - 0  
Telefax: +49 (0) 6441 - 78 33 - 78  
E-Mail: [office@ueg-gmbh.de](mailto:office@ueg-gmbh.de), Internet: [www.ueg-gmbh.de](http://www.ueg-gmbh.de)



Dr. Roland Haag

**Unabhängiger Consultant für alle Fragen zu Dioxinen und POPs**

## Ausbildung/Erfahrungen

Nach seinem Chemiestudium an der Universität Tübingen begann Dr. Haag 1985 als erster Diplomand im Arbeitskreis von Prof. Hagenmaier mit einem Forschungsthema zur Dioxinanalytik. Prof. Hagenmaier bearbeitete ein neues Forschungsvorhaben des Landes Baden-Württemberg mit dem Thema:

### Belastung der Umwelt mit Dioxinen

#### Ziele:

- Entwicklung reproduzierbarer und validierter Analyseverfahren
- Erfassung und Beschreibung von vermuteten Quellen
- Dokumentation von Senken
- Erfassen von Hot-Spots und unbekanntem Quellen

Thema seiner Diplomarbeit war die Entwicklung eines Analyseverfahrens für Sedimente von Flüssen und Seen, da Sedimente eine Senke für Dioxine im aquatischen Bereich darstellen. Die Doktorarbeit erweiterte die Datenbasis zu Sedimenten, Hauptteil der Arbeit wurden jedoch aufgrund neuer Entdeckungen

### Untersuchungen zur Bildung und Zerstörung von Dioxinen

und weiteren chloraromatischen POPs, die sich in mehreren Patenten und Veröffentlichungen niederschlugen (de-novo Synthese, Hagenmaier-Trommel, katalytischer Abbau von Dioxinen und POPs).

## Laufbahn

Die Erfahrungen, die er während seiner Diplom- und Doktorarbeit in der Forschung sammelte, konnten in der Position als Laborleiter bei der Auftragsanalytik von Dioxinen und verwandten Stoffen (POPs) in allen Umwelt- und biologischen Matrices ab 1990 umsetzen und ausbauen.

#### TOPs:

- Beurteilung von thermischen Anlagen
- Wertung von Belastungen von Lebens- und Futtermitteln sowie der Umwelt
- Probenahme von Material- und Luftproben

Herr Dr. Haag etablierte und leitete von 1990 – 1994 das Labor für organische Spuren- und Ultraspurenanalytik von ECOPLAN Deutschland und baute danach das Dioxinlabor der TÜV SÜD Gruppe am Standort Donzdorf auf, das er bis 2013 leitete.

## Analytik / Zulassungen

Untersuchte Stoffklassen in allen Umweltmatrices (ca. 25000 Proben, weltweite Projekte):

- polychlorierte und polyhalogenierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F, PXDD/F)
- polychlorierte Biphenyle (dl-, ndl-PCB)
- Chlorphenole und Chlorbenzole
- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)
- GC/MS-Screening auf unbekannte Verbindungen

**Die Ergebnisse der Analysen und Beratungen der Betreiber waren für viele Kunden ausschlaggebend für den Erhalt der Betriebszulassung bzw. der Optimierung von industriellen Anlagen.**

- Bundesweite Zulassung nach §§ 26,28 BImSchG (UM Baden-Württemberg, AZ: 42-8820.50, 10.01.2007) als Messstelle für das Land Baden-Württemberg (inkl. Ermittlung der Emissionen und Immissionen hochtoxischer chemischer Verbindungen in extrem geringen Konzentrationen wie PCDD/F)
- Analyse von PCDD/F am Arbeitsplatz (AKMP)
- Analyse von PCDD/F in Emission, Immission und Biomonitoring (Luxemburg)
- Analyse von PCDD/F in Emission und Immission (Belgien)
- Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005

In dieser Zeit wurden über 30 Ringversuche von nationalen und internationalen Anbietern erfolgreich absolviert.

## Gremienarbeit

Herr Dr. Haag war Mitglied der abgeschlossenen VDI-Arbeitsgruppen

- VDI 3498 „Messen von Dioxinen (I)“
  - VDI 3499 „Messen von Dioxinen (E)“
- (Publikation der Richtlinien 2002 - 2004)

und ist korrespondierendes Mitglied der aktuellen VDI-Arbeitsgruppen und EN-Spiegelgremien

- „Messen von PCB in Emission“ (EN 1948, Bl. 4)
- „Kontinuierliche Probenahme von Dioxinen in Emission“ (EN 1948, Bl. 5, Entwurf)

## Portfolio als Consultant (seit Sept. 2014)

In vielen Beratungsgesprächen zeigte sich, dass die grundlegenden Untersuchungsergebnisse der 80er-Jahre (de-novo-Synthese, kat. Abbau) oft nicht mehr bekannt sind, aber viele Probleme erkennen lassen und Lösungen liefern.



## Optimierung von thermischen Anlagen

### Problem:

Erhöhte Konzentrationen an PCDD/F, POPs  
(Emission, Reststoffe)

### Lösungsweg:

- Erfassen Betriebszustände und Anlagenkonzeption
- Diskussion
- Einleiten von Maßnahmen



## Bewertung von Analysendaten

### Problem:

Erhöhte Belastung in der Umwelt

### Lösungsweg:

- Erfassen der Analysenergebnisse
- Definition möglicher Quellen
- Mustervergleiche
- Quellenzuordnung

### Weitere Dienstleistungen:

- Entwicklung von Probenahmestrategien (Emission, Immission)
- Bewertung von Analysendaten (Quellenzuordnung, Ursachenanalyse, historische Entwicklung)
- Schulungen (Analytik, Theorie)
- Vorträge zu Analytik und Bewertung
- Auswertung von Daten (Langzeitstudien z.B. Bio-monitoring)
- Literaturrecherchen

### Portfolio als Auditor / QM-Spezialist

Im Dezember 2013 wurde Herr Dr. Haag von der DAkkS als Fachbegutachter für Prüflaboratorien nach ISO 17025 für Dioxine und PCB in den Sektorkomitees Chemie/Umwelt und Gesundheitlicher Verbraucherschutz benannt.

### Dienstleistungen als QM-Spezialist:

- Vorbereitung Akkreditierung/Reakkreditierung
- Erstellung von QM-Unterlagen (SOP...)
- Durchführung interner Audits
- Schulungen vor Ort

### Kontakt:



Dr. Roland Haag  
Panoramastr. 17  
D – 73072 Donzdorf

Fon ++ 49 7162 203272  
Mobil ++ 49 161 9829417

@-mail: [roland@r-haag.de](mailto:roland@r-haag.de)  
www: <http://www.roha-diox-consult.com>

## Veranstaltungsankündigungen

### Fachgruppen-Workshop „Hoch polare Stoffe: Analytik, Auftreten, Quellen und Wirkungen“, 4. – 5. Oktober 2017, Monheim am Rhein



Die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) lädt herzlich zum Workshop „Hoch polare Stoffe: Analytik, Auftreten, Quellen und Wirkungen“ im Tropicarium auf dem Bayer AG Divison CropScience Gelände in Monheim am Rhein vom 4. – 5. Oktober 2017 ein. Angesprochen sind Umweltwissenschaftler, Ökotoxikologen, Analytiker und in verwandten Disziplinen Tätige.

#### Ziel des Workshops

Hoch polare Substanzen, welche zudem persistent sind, können sich in der Umwelt aufgrund Ihrer intrinsischen Eigenschaften über die Wasserphase weit verteilen. Die Analytik dieser Substanzen ist nicht trivial, da diese Substanzen oft schlecht von Verunreinigungen abgetrennt werden können. Daher ist oft eine eindeutige Zuordnung zu Quellen solcher Substanzen schwierig. Aus dem gleichen Grund ist auch das Aufzeigen entsprechender Dosis - Wirkung Beziehung nicht einfach.

Der Workshop soll zum besseren Verständnis der hoch polaren Substanzen beitragen und zum Wissenstransfer genutzt werden.

**Session 1:** Analytik von hoch polaren Substanzen

**Session 2:** Auftreten und Quellen hoch polarer Substanzen

**Session 3:** Wirkungen von hoch polaren Substanzen

Die Teilnehmerzahl ist begrenzt (60). Die Teilnahme am Workshop selbst ist kostenlos. Um auch Nachwuchswissenschaftlern die Teilnahme zu erleichtern, kann im Falle aktiver Teilnahme (Präsentation) bei der GDCh - Geschäftsstelle ein Antrag auf Reisekostenbeteiligung gestellt werden.

Organisation: Dr. Markus Telscher  
([markus.telscher@bayer.com](mailto:markus.telscher@bayer.com))

### 3<sup>rd</sup> International Workshop “Spectroscopy and Dynamics of Ozone and Related Atmospheric Species”, 4.-6.10.2017, Reims, France

#### Scientific program / topics

- Laboratory measurements ( IR , MW, UV - ranges ) and spectral analyses of ozone and of molecules involved in the ozone atmospheric cycle.
- Electronic structure calculations, potential-energy, dipole moment surfaces and non-adiabatic effects in ozone.
- Theoretical models for describing the ozone rovibrational states.
- Ozone dynamics: formation, decomposition, and photodissociation.
- Isotopic effects in ozone.
- Chemical reactivity along the ozone cycle, in situ atmospheric balloon and satellite measurements.
- Databases related to ozone spectroscopy and dynamics.

Further information:

<http://www.univ-reims.fr/site/evenement/spectroscopy-and-dynamics-of-ozone-and-related-atmospheric-species.12040.21613.html>



eurofins | agroscience services



Fachgruppe  
Umweltchemie &  
Ökotoxikologie

## 4. Doktorandentag der GDCh Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie

Termin: 10.10.2017  
Ort: Eurofins Agroscience Services GmbH  
Eutinger Str. 24, 75223 Niefern-  
Öschelbronn  
Uhrzeit: 09.00 Uhr – ca. 16.00 Uhr  
Teilnehmerzahl: Maximal 20 Personen

#### Programm

09.00 Uhr	Kurze Vorstellungsrunde Begrüßung durch die Geschäftsleitung Kurzeinführung in die Tätigkeitsbereiche der EcoChem
09.30 Uhr	Einblicke in den Tätigkeitsbereich Regulatory, rechtliche Grundlagen
10.15 Uhr	Laborführung Chemie in Kleingruppen mit anschließender Frage-/Diskussionsrunde
12.15 Uhr	Gemeinsames Mittagessen
13.00 Uhr	Kurzeinführung Tätigkeitsbereiche der EcoTox
13.30 Uhr	„Aus der Praxis“ der Ökotoxikologie Führung/aktive Teilnahme an „Insektenfang Freiland“ Indoor/Outdoor

- 15.30 Uhr Gemeinsame Kaffeerunde mit Frage-  
/Diskussionsrunde  
16.00 Uhr Verabschiedung

Übernachtungsmöglichkeiten:

- Hotel Bürkl: <http://www.buerkls.de> (preisgünstigere Variante)
- Best Western Queens Hotel: <https://www.queens-pforzheim.de/>

Hersteller bieten und den Erfahrungsaustausch fördern. Das LWF wird von der Landeswasserversorgung (LW) alle zwei Jahre veranstaltet.

Das diesjährige Vortrags- und Diskussionsprogramm wird sich dem Themenschwerpunkt „Spurenstoffe im Trinkwasser überwachen und vermeiden“ widmen.

Weiterführende Informationen unter:  
<http://www.lw-online.de/service/termine/>

---

## LfU-Fachtagung: Luftreinhalteplanung - Maßnahmen gegen Feinstaub und Stickstoffoxide, 8.11.2017, Augsburg

Die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen für Feinstaub und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) in Städten stellt immer noch eine enorme Herausforderung dar. Überschreitungen werden maßgeblich durch Emissionen des Straßenverkehrs, vor allem von Dieselfahrzeugen, verursacht.

Wie sich die Luftreinhalteplanung weiterentwickelt und was aktuelle Gerichtsurteile vorgeben, wird beispielhaft für Städte wie Stuttgart, Düsseldorf und München beleuchtet. Die Stadt Wien nutzt als Smart City neue Konzepte der Stadtentwicklung und Mobilität. Was macht sie anders?

Ergebnisse aktueller Untersuchungen sowie interessante Beiträge über Emissionen von Straßenfahrzeugen im realen Alltagsbetrieb und Potenziale zur Reduzierung von Stickstoffoxid(NOX)-Emissionen bei Diesel Pkw runden die Tagung ab.

Weitere Informationen:  
[https://www.lfu.bayern.de/veranstaltungen/termin\\_detail.htm?id=152](https://www.lfu.bayern.de/veranstaltungen/termin_detail.htm?id=152)



---

## Langenauer Wasserforum (LWF) – Spurenstoffe im Trinkwasser überwachen und vermeiden - 13.-14.11.2017, Langenau

Das Langenauer Wasserforum (LWF) widmet sich aktuellen Entwicklungen im Bereich der Wasser- und Umweltanalytik und deren Bedeutung für die Wasserwirtschaft. Es soll eine Diskussionsplattform für Anwender, Wissenschaftler und

---

## Persistent and Mobile Organic Chemicals (PMOCs) in the Water Cycle:

### Linking science, technology and regulation to protect drinking water quality 23 – 24 November 2017, Leipzig

About the workshop

This workshop aims at analyzing the challenges with Persistent and Mobile Organic Chemicals (PMOCs) in water cycles, discussing consequences for drinking water quality and elaborating solutions that technology and regulation may provide.

Scope

The workshop addresses the following questions:

- How to identify a PMOC and what is known about the occurrence, sources and fate of PMOCs in the water cycle?
- How may the REACH regulation support the protection of drinking water resources against PMOCs?
- Are drinking water resources (surface water and groundwater) adequately protected?
- Can chemical industry prevent future emissions of PMOCs into the environment?
- Which technologies can act as barriers against PMOCs in the water cycle?
- Do we need water quality standards for PMOCs?

Further information:  
<http://www.ufz.de/promote/index.php?en=43294>

## **LfU/UBA-Workshop: PFC-Kontaminationen – Bewertungsmaßstäbe für Wasser und Boden, 27.11.2017, Augsburg**

In den letzten Jahren wurden bundesweit zahlreiche Schadensfälle und Verunreinigungen mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) in Boden und Gewässern bekannt. Bundesweit einheitliche Regelungen für diese Stoffklasse gibt es z.B. in der Oberflächengewässerverordnung (OgewV) vom 20.06.2016, die aber nur Umweltqualitätsnormen für PFOS enthält. Werden diese Umweltqualitätsnormen derzeit in einem Oberflächengewässer überschritten, müssen geeignete Maßnahmen festgesetzt werden, um ihre Einhaltung spätestens ab Ende 2027 zu erreichen. Bis zum 22. Dezember 2018 muss PFOS im Rahmen zusätzlicher Überwachungsprogramme sowie vorläufiger Maßnahmenprogramme zur Minimierung der Belastung berücksichtigt werden.

Auf EU-Ebene wurden bereits einige PFC bereits als besonders besorgniserregende Substanzen unter REACH identifiziert. Für PFOA gilt ab 2020 mit wenigen Ausnahmen ein EU-weites Verbot. Weitere Beschränkungen zu PFC werden vorbereitet. Zudem hat die EU-Kommission PFOA für die Aufnahme in die Liste der persistenten organischen Schadstoffe (POPs) der Stockholm-Konvention vorgeschlagen. PFOS ist bereits seit 2009 als POP gelistet. Für die bereits regulierten PFC werden andere fluorhaltige Ersatzstoffe eingesetzt. Da zumindest einige jedoch ebenso besorgniserregende Eigenschaften besitzen, sind auch für diese PFC nationale und internationale Risikomanagementmaßnahmen notwendig. Für weitere PFC gibt es zwar seitens der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Empfehlungen für Geringfügigkeitschwellenwerte im Grundwasser (aktuell noch im Entwurf), für Oberflächengewässer oder Boden fehlen solche aber bislang.

In einigen Bundesländern existieren Empfehlungen, so z. B. in Bayern die „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“. Mit diesen Leitlinien werden für den Vollzug in Bayern ein Bewertungsrahmen sowie beurteilungsrelevante Hintergrundinformationen zur Verfügung gestellt. Damit soll eine Bewertung von PFC-Einträgen in Gewässer oder in den Boden ermöglicht werden (z. B. Einleitungen von Abwasser oder Grundwasser in Oberflächengewässer, Ablagerungen, Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln). Zusätzlich enthalten die Leitlinien Maßstäbe für die Bewertung von Untersuchungsergebnissen und für Entscheidungen über ggf. erforderliche weitergehende Maßnahmen bei bestehenden Untergrundverunreinigungen.

Aus Gründen der Vollzugssicherheit und zur Sicherstellung bundeseinheitlicher Bewertungsmaßstäbe für PFC-Kontaminationen führen das Bayerische Landesamt für Umwelt und das Umweltbundesamt am 21.11.2017 in Augsburg einen Workshop zur Bewertung von PFC-Kontaminationen durch.

Ziel ist eine bundesweit einheitliche Bewertung von PFC-Kontaminationen.

Weitere Informationen:

<https://www.lfu.bayern.de/veranstaltungen/index.htm>



## **BONARES Conference 2018: „Soil as a Sustainable Resource“, 26–28 February 2018, Berlin.**

The conference brings together researchers from all disciplines of soil science to discuss the functionality of soil ecosystems and how to develop strategies towards sustainable soil management. A sustainable bioeconomy requires integration of soil productivity with a wide range of other soil functions including nutrient cycling, carbon storage, water retention and filtering as well as being the habitat of a myriad of organisms and their activities. For sustainable soil management, we need to understand soils at a systemic level and to assess their value in a socio-economic framework.

Main topics:

1. Impact of agriculture and cropping systems on soil functions and ecosystem services
2. Effects of plant – microbe – fauna interactions on soil functions
3. Nutrient and carbon dynamics within the root zone as affected by soil management
4. Soil structure and water dynamics as affected by soil management
5. New sensing technologies, soil monitoring approaches and related decision support systems for sustainable soil management
6. Assessment and governance for sustainable soil management
7. Linking data and models in soil science – Towards efficient workflows for data-model integration

Conference' homepage: <http://www.bonares2018.de/>

## Kurznachrichten

### Empfehlungen des Bundesumweltministeriums zur Durchführung von PFC-Forschungsvorhaben

Vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit wurde am 12.04.2017 ein „Zwischenbericht zu perfluorierten Verbindungen: Reduzierung/Vermeidung, Regulierung und Grenzwerte, einheitliche Analyse- und Messverfahren für fluororganische Verbindungen“ vorgelegt, in dem folgende Empfehlungen zur Deckung des weiteren Forschungsbedarfs der 88. Umweltministerkonferenz übermittelt wurden:

- Zum Thema PFC besteht noch weiterer Forschungsbedarf. BMUB prüft die Einrichtung eines BMBF Forschungsschwerpunkts zu PFC auf Grundlage des aktuellen Standes von Wissenschaft und Forschung, einer Übersicht der bei Bund und Ländern bereits durchgeführten bzw. laufenden Forschungsaktivitäten und einer Analyse von Forschungsdefiziten.
- BMUB setzt sich dafür ein, Regelungen für die Stoffgruppe der PFC in der CLP-Verordnung, der europäischen Chemikalienverordnung REACH und der POP-Verordnung für langlebige organische Schadstoffe für noch fehlende Einzelstoffe und Stoffgruppenvertreter (z.B. die Identifizierung von PFOA und deren Vorläuferverbindungen als POP) voranzutreiben.
- Die Datenlage für Gewässer- und Bodenbelastungen ist durch zielorientierte Recherche- und Messprogramme zu verbessern. Es sind geeignete Untersuchungs- und Analyseverfahren zu entwickeln. BMUB plant für den UFOPLAN 2018 ein Vorhaben zu „orientierenden Untersuchungen zur Belastung von Abwässern mit fluororganischen Verbindungen durch die Bestimmung des adsorbierbaren organisch gebundenen Fluors (AOF)“. Auf dieser Grundlage sind belastbare Konzentrationswerte für diesen Summenparameter im Hinblick auf die Gewässer, das Abwasser und ggf. den Boden gemeinsam mit den Ländern zu entwickeln.
- BMUB hält zur Ableitung von Grenz- und Zielwerten die Einrichtung einer ad hoc Arbeitsgruppe PFC unter Federführung der LAWA für zielführend.

### Nanopartikel: Wo bleiben sie, und wie verändern sie sich?

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) koordiniert ein Forschungsprojekt zur Untersuchung luftgetragener Partikelgemische sowie ihrer möglichen Effekte auf die Gesundheit.

Trotz der stetig steigenden Anwendung industriell hergestellter Nanomaterialien (NM) ist bisher wenig darüber bekannt, wo sie nach einer potenziellen Freisetzung in die Luft und nach einer Aufnahme über die Atmung im Körper verbleiben. Unbekannt ist auch, welche gesundheitlichen Effekte sie im Bronchialtrakt und den Alveolen der Lunge verursachen. Mit dem internationalen Forschungsprojekt NANOaers (NANOaers = fate of aerosolized Nanoparticles: The influence of surface active substances on lung deposition and respiratory effects) soll der Verbleib luftgetragener, lungengängiger Partikel erforscht werden. Die Finanzierung erfolgt in Deutschland durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). „Uns interessiert dabei insbesondere auch die Frage einer möglichen Ko-Exposition gegenüber Partikeln und weiteren im Aerosol vorliegenden Stoffen“, sagt der Präsident des BfR, Professor Dr. Dr. Andreas Hensel, „Nanopartikel sind in der Luft nicht in Reinform vorhanden. Sie unterliegen bei der Freisetzung Veränderungsprozessen und werden in der Regel zusammen mit anderen Partikeln und Stoffen als Gemisch eingeatmet.“ Dieser Aspekt ist von Bedeutung, da Mensch und Umwelt nur in seltenen Fällen gegenüber Nanomaterialien exponiert bzw. belastet werden, die nicht bereits durch chemische Substanzen verändert wurden, entweder durch die Anwendung an sich oder durch Reaktionen in der Atmosphäre. In dem internationalen Forschungsvorhaben, welches für drei Jahre innerhalb des Rahmenprogramms ERA-NET SIINN gefördert wird, sind neben den EU-Ländern Deutschland, Österreich, Spanien und Rumänien auch die USA beteiligt. Das Projekt hat ein Gesamtvolumen von ca. 1,7 Millionen Euro.

Pressemitteilung (Auszug) des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) Nr. 22/2017 vom 07.06.2017

### Pressemitteilung (gekürzt) Nr. 288/17 von BMU und UBA: Diesel-Pkw: Software-Updates reichen nicht aus für saubere Luft

Die beim Dieselforum am 2. August beschlossenen Maßnahmen führen zu einer Senkung der Stickstoffdioxidbelastung in den deutschen Städten von bis zu sechs Prozent. Diese Senkung reicht in den meisten betroffenen Städten nicht aus, um den Jahresmittelwert von 40 Mikrogramm pro Kubikmeter einzuhalten, der in der EU zum Schutz der menschlichen Gesundheit gilt. Das ergeben Modellrechnungen des Umweltbundesamtes (UBA), die Bundesumweltministerin Barbara

Hendricks in Auftrag gegeben hatte und am 23.08.2017 der Öffentlichkeit vorstellte.

Bundesumweltministerin Barbara Hendricks: "Die Bevölkerung in den deutschen Städten hat ein Recht auf saubere Luft. Deshalb brauchen wir Maßnahmen, die zu einer raschen Senkung der Stickstoffdioxidbelastung führen. Der Dieselpipfel war ein erster Schritt, dem dringend weitere und größere Schritte folgen müssen. Es kann nicht sein, dass sich einige Hersteller selbst vor Software-Updates drücken. Auch die Weigerung der Autoindustrie, sich mit technischen Nachrüstungen zu befassen, ist für mich nicht akzeptabel. Ich kann den Automobilherstellern nur raten, hier schnell Lösungen zu entwickeln. Eines muss dabei klar sein: Wie bei den Software-Updates sind auch bei den Hardware-Nachrüstungen die Hersteller verantwortlich. Und auch die Kosten hierfür müssen natürlich vollständig von den Fahrzeugherstellern getragen werden."

UBA-Präsidentin Maria Krautzberger: "Dass die Luft in den Städten trotz Software-Update kaum spürbar besser wird, liegt ganz einfach am viel zu schlechten Ausgangsniveau der Fahrzeuge. Euro 5-Diesel ohne Update stoßen heute im Schnitt 906 Milligramm Stickstoffoxide pro Kilometer aus. Das ist fünfmal mehr als der Grenzwert von 180 Milligramm. Auch aktuelle Euro 6-Diesel ohne RDE stoßen sechsmal mehr Stickstoffoxide aus dem Auspuff aus als zulässig."

Das Umweltbundesamt hat in Szenarien berechnet, wie sich die beim Dieselforum beschlossenen Software-Updates sowie die Umtauschprämien auf zwei beispielhaft gewählte Messstellen auswirken – die Landshuter Allee in München mit einer sehr starken Belastung von 80 Mikrogramm Stickstoffdioxid pro Kubikmeter sowie die Parcusstraße in Mainz mit einer mittleren Belastung von 53 Mikrogramm pro Kubikmeter im Jahresdurchschnitt. Im Ergebnis wirken sich Updates und Prämien an stärker belasteten Straßen natürlich stärker aus als an weniger stark belasteten Standorten. In den wahrscheinlichsten Szenarien liegt die Minderung demnach etwa zwischen zwei Mikrogramm (Mainz) und fünf Mikrogramm (München).

Krautzberger: "Für fast 70 deutsche Städte reichen die Maßnahmen voraussichtlich nicht aus, um die Atemluft unter den Grenzwert von maximal 40 Mikrogramm Stickstoffdioxid im Jahresmittel zu senken. Nur in rund 20 Städten, die derzeit knapp über dem Grenzwert liegen, werden die Beschlüsse des Diesel-Gipfels dazu führen, die seit 2010 geltenden EU-Grenzwerte endlich einzuhalten."

Die von den deutschen Automobilherstellern angebotenen Software-Updates können die Stickoxid-Emissionen der gesamten Pkw-Flotte nach UBA-Schätzung um drei bis sieben Prozent senken – je nachdem, wie viele Besitzer das Update durchführen lassen (Annahme: zwischen 3,5 und 5 Millionen Fahrzeughalter) und je nachdem, wie viel das Update bringt

(Annahme: zwischen 15 und 25 Prozent bezogen auf die Situation vor dem Update).

Die Wirkung der Umtauschprämie wird insgesamt geringer eingeschätzt als die der Software-Updates und dürfte je nach Annahmen zwischen null und zwei Prozent liegen. Deutlich höher wäre die Wirkung, wenn die Prämie nur für den Kauf sehr sauberer Fahrzeuge eingesetzt würde – und nicht für die Euro-6-Diesel, die die neuen Straßentests noch nicht erfüllen.

Hendricks: "Für die Umwelt ist es am besten, wenn die Prämie dazu motiviert, vor allem kleine und sparsame Autos zu kaufen. Autofahrer sollten beim Autokauf darauf achten, die Prämie für wirklich saubere Fahrzeuge einzusetzen. Das sind etwa Elektroautos, solche mit Hybrid- und Gasantrieb, sparsame Benziner oder modernste Diesel, die geringe reale Emissionen auf der Straße haben, wie sie die neuesten Emissionsvorgaben vorsehen. Das sollten sich die Käuferinnen und Käufer vom Hersteller bestätigen lassen."

Weitere Informationen:

<http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/luftreinhaltung/diesel-und-luftreinhaltung/#c49634>

---

## LABO: Aktualisierte Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden

Die Notwendigkeit zur Aufstellung von Hintergrundwerten hat die Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) gemeinsam mit den für Abfall und Wasser zuständigen Länderarbeitsgemeinschaften (LAGA, LAWA) in den 1993 erarbeiteten „Einheitlichen Bewertungsgrundsätzen zu vorhandenen Bodenverunreinigungen / Altlasten“ (LABO / LAGA / LAWA, 1993) begründet. Inzwischen ist der LABO-Bericht in 4. Auflage erschienen. Dieser enthält gegenüber der 3. Auflage neben der deutlich verbesserten Datenlage folgende wesentliche Ergänzungen:

- Erweitertes Spektrum von anorganischen Schadstoffen; stärkere räumlich/ inhaltliche Differenzierung bei der Auswertung,
- Länderübergreifende Hintergrundwerte für persistente organische Schadstoffe in Oberböden und
- Quantifizierung von Unsicherheiten (Konfidenzbänder) für die Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe (bundesweiter Datensatz).

Der Bericht mit Tabellenanhang ist verfügbar über den Link: <https://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen-Daten-Informationssysteme.html>

## REACH: Bisphenol A und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) als besonders besorgniserregende Stoffe eingestuft

Der zuständige Ausschuss der Mitgliedstaaten der Europäischen Chemikalienagentur hat einstimmig zwei Vorschlägen von Frankreich und Schweden zur Identifizierung von Bisphenol A (BPA) bzw. Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) als besonders besorgniserregende Stoffe unter REACH (SVHC) zugestimmt. Mit der Aufnahme von PFHxS umfasst die REACH Kandidatenliste dann 174 Stoffe.

**BPA** steht bereits seit Anfang 2017 nach Artikel 57 (c) REACH Verordnung wegen seiner reproduktionstoxischen Eigenschaften als besonders besorgniserregende Substanz auf der REACH Kandidatenliste. Frankreich hat BPA jetzt zusätzlich aufgrund der endokrinen Wirkungen beim Menschen als besonders besorgniserregenden Stoff nach Artikel 57 (f) der REACH Verordnung vorgeschlagen. Nach Annahme des Vorschlags durch die EU Mitgliedsstaaten, wird der Eintrag zu BPA auf der Kandidatenliste jetzt entsprechend erweitert. Zur vollständigen Erfassung der hormonellen Wirkungen von BPA, erarbeitet das UBA zurzeit einen Vorschlag auf Identifizierung von BPA als SVHC wegen seiner endokrinen Wirkungen in der Umwelt. Die Einreichung des Dossiers bei der Europäischen Chemikalienagentur ist für August 2017 vorgesehen.

**PFHxS** sowie ihre Salze wurden aufgrund ihrer sehr persistenten und sehr bioakkumulierenden Eigenschaften zur Aufnahme auf die Kandidatenliste (nach Artikel 57 e der REACH Verordnung) vorgeschlagen. PFHxS gehört zu der Stoffgruppe der poly- und perfluorierten Chemikalien (PFC). Sulfon- und Carbonsäuren der PFC sind generell sehr langlebig, was auf die sehr stabile Bindung zwischen Kohlenstoff und Fluor zurückzuführen ist. PFHxS wird oft als Ersatzstoff für Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) verwendet, welche durch die Stockholm-Konvention für POPs (persistente organische Schadstoffe) bereits international verboten ist. Bei der Bewertung der Bioakkumulation hat sich die Schwedische Chemikalienagentur vor allem auf die langen Eliminationshalbwertszeiten in Menschen gestützt: für PFHxS sind diese Werte sogar höher als für bereits identifizierte bioakkumulierende PFC (z.B. Perfluoroktansäure - PFOA). Somit umfasst die REACH Kandidatenliste insgesamt acht perfluorierte Sulfon- und Carbonsäuren (inkl. Salze). Zu den letzteren hat das UBA intensiv beigetragen. Derzeit bewertet das UBA die kurzkettige perfluorierte Carbonsäure Perfluorhexansäure (PFHxA). PFHxA ist wie die anderen PFC extrem persistent und zusätzlich sehr mobil in Boden und Wasser. PFHxA und andere kurzkettige PFC können somit leicht ins Grundwasser gelangen und Rohwasser verunreinigen. Das UBA und die norwegische Umweltbehörde prüfen deshalb, welche regulatorische Maßnahme am besten für ausgewählte kurzkettige PFC (PFHxA und Perfluorbutansulfonsäure) geeignet ist.

UBA-Information (gekürzt) vom 11.08.2017

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/reach-kandidatenliste-hat-174-besonders>

## NeuroBox – Bewertung neurotoxischer Effekte im Wasserkreislauf



Am 01.03.2017 ist das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Verbundprojekt NeuroBox gestartet. In sechs Teilprojekten wird bis Anfang 2020 eine praxisorientierte Testbatterie zur Erfassung anthropogener Spurenstoffe und deren Bewertung hinsichtlich neurotoxischer Effekte entwickelt. Ein solcher Lösungsansatz ist im Hinblick auf die Zunahme von neurodegenerativen Erkrankungen und der eingeschränkten Therapiemöglichkeiten von großer Bedeutung. Die NeuroBox ist damit eine Weiterentwicklung des Verbundprojekts Tox-Box (02WRS1271).

### Risikomanagement von Spurenstoffen

Mit Blick auf die Aufbereitung des Abwassers, also die Erkennung, Bewertung und Eliminierung bzw. Minimierung von Schadstoffen spielt der Eintrag anthropogener Spurenstoffe wie Arzneimittel, Kosmetika oder Flammschutzmittel eine wesentliche Rolle. Angesichts der Vielzahl an Chemikalien, die im Wasserkreislauf mittlerweile auch in geringsten Mengen chemisch nachgewiesen werden können, gibt es immer mehr Stoffe, die derzeit toxikologisch noch nicht vollständig bewertet sind. Bei diesen Stoffen greift ein Vorsorgewert des Umweltbundesamtes, der Gesundheitliche Orientierungswert (GOW). Der GOW orientiert sich an Wirkmechanismen und Strukturmerkmalen bekannter Substanzen hinsichtlich Gentoxizität, Neurotoxizität und endokriner Effekte. Erst wenn neue toxikologische Daten verfügbar sind, kann eine umfassendere Bewertung vorgenommen werden. Dieser Ansatz wurde in der Fördermaßnahme RiSKWa des BMBF im Verbundprojekt „Tox-Box“ (02WRS1271) im Hinblick auf eine Batterie von geeigneten Testverfahren untersucht und weiterentwickelt. Im Fokus stand die Erstellung eines Leitfadens für das gefährdungsbasierte Risikomanagement von Spurenstoffen in Trinkwasser. Als ein Ergebnis zeigte sich, dass speziell für den Endpunkt Neurotoxizität noch umfassende Entwicklungsarbeit zu leisten ist.

### Neuro-Toxikologische Bewertung von Spurenstoffen – Humantoxikologie

Durch die Einbeziehung neuer zentraler toxikologischer Endpunkte und die Kombination von öko- und humantoxikologischen Endpunkten kann der gesamte Wasserkreislauf berücksichtigt, komplexe Wirkmechanismen identifiziert und wissenschaftlich sichere Gesundheitliche Orientierungswerte abgeleitet werden. Zur Untersuchung und sicheren Bewertung des Einflusses chemischer Substanzen auf die komplexen Funktionen des Nervensystems müssen möglichst viele unterschiedliche Zellarten aus dem Nervensystem berücksichtigt werden. Dies erfordert die Weiterentwicklung der aktuellen Teststrategien.

## Neuro-Toxikologische Bewertung von Spurenstoffen – Ökotoxikologie

Neuroaktive Substanzen sind infolge ihres ubiquitären Vorkommens auch von ökologischer Relevanz. Sie beeinflussen beispielsweise die Reproduktion von Fischen und Wirbellosen. Die Eier und Jungstadien des Zebrafisch (Danio rerio) dienen seit über 20 Jahren als Modellorganismus für die Beurteilung des toxischen und teratogenen Potenzials von Chemikalien bei Wirbeltieren. Dies bietet die Möglichkeit, Entwicklungs- und Neurotoxizität in einem einzigen Testverfahren zu untersuchen und zu bewerten. Die Betrachtung von Mischungen potentiell neurotoxischer Substanzen gestattet eine Verbesserung der bisherigen Einzelstoffbewertung, da die toxische Wirkung einzelner Substanzen in Mischungen maskiert sein kann. Neben dem Zebrafisch werden auch Stammzellen von Mensch und Maus für den Nachweis neuroentwicklungstoxischer Endpunkte eingesetzt.

### Zielstellung in NeuroBox

Die Erweiterung der bisherigen Teststrategie zur Erkennung und Bewertung relevanter neurotoxischer Substanzen im Wasserkreislauf ist damit das erklärte Ziel des Verbundprojektes NeuroBox. Auf dieser Grundlage können Wasserversorger und Behörden zukünftig schneller und wissenschaftlich basiert Maßnahmen zur nachhaltigen Verbesserung der Trinkwasserversorgung ergreifen.

### Die Arbeitspakete im Überblick

Die Koordination des neuen BMBF-Projektes NeuroBox obliegt dem Umweltbundesamt in Bad Elster, das zudem spezifische Endpunkte für das Nervensystem, die Kultivierung und Vernetzung verschiedener humaner Zelllinien etablieren und eine modellhafte Simulation zur Überwindung der Blut-Hirn-Schranke durchführen wird. In Teilprojekt 2 beschäftigt sich die Universität Heidelberg mit der Übertragbarkeit des Fischembryomodells auf Säugetiere sowie mit der Klärung der ökotoxikologischen Bedeutung neurotoxischer Effekte. An der RWTH Aachen (TP3) wird eine mechanistische Untersuchung des Fischembryomodells mit zusätzlichen wirkungsspezifischen und verhaltensbasierten Experimenten an Fischen und Mäusen zur möglichen Erkennung von neuen neurologischen und neuropathologischen Biomarkern durchgeführt. Die Hochschule Darmstadt (TP4) identifiziert hormonelle und neuroembryotoxische Wechselwirkungen. Das Betriebs- und Forschungslabor des Zweckverbands Landeswasserversorgung in Langenau (TP5) entwickelt eine neue Methode zur Erkennung neuroaktiver Substanzen in Roh- und Trinkwasser mithilfe von wirkungsbezogener chemischer Analytik. Aus Umweltproben und Mischungen wird das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig (TP6) eine Identifizierung und toxikologische Charakterisierung neurotoxischer Substanzen mithilfe des Zebrafisch und wirkungsbezogener Analytik vornehmen.

### Weitere Informationen:

Dr. Tamara Grummt  
Toxikologie des Trinkwassers und Badebeckenwassers  
Heinrich-Heine-Str. 12  
08645 Bad Elster  
E-Mail: [tamara.grummt@uba.de](mailto:tamara.grummt@uba.de)

### Quelle:

<https://www.umweltbundesamt.de/neurobox-bewertung-neurotoxischer-effekte-im#textpart-1>



## UBA-Texte 40/2017: Suitability of laboratory simulation tests for the identification of persistence in surface waters

The intention of the project is to verify whether simulation tests in the laboratory are suitable for extrapolation to degradation in surface water. The main aspect is the classification as persistent in the environment. Persistent substances can be transported over long distances in water courses and can be distributed over various environmental compartments.

Degradation half-life values derived in tests in accordance with OECD TG 308 (Aerobic and anaerobic Transformation in Water-Sediment systems) are compared to those values derived in OECD TG 309 tests (Aerobic Mineralisation in Surface Water). These data are integrated in a transport model for the River Rhine and compared to monitoring data in the field.

Download:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/suitability-of-laboratory-simulation-tests-for-the>

## UBA-Texte 61/2017: Joint effects of pharmaceuticals and chemicals regulated under REACH in wastewater treatment plant effluents – Evaluating concepts for a risk assessment by means of experimental scenarios

Non-target organisms in the environment are exposed simultaneously to a multitude of substances from various sources. In the aquatic environment, effluents of wastewater treatment plants (WWTPs) represent a key source for coincidental mixtures of chemicals from various uses. The aim of the present project was to explore the consideration of mixtures of chemicals released via WWTPs in an Environmental Risk Assessment. Different organisms were exposed in chronic toxicity tests to single substances and various mixtures of them. The results show that the concept of concentration addition (CA) predicts mixture toxicity in effluents sufficiently and for a prospective risk assessment the use of a mixture assessment factor (MAF) could be helpful.

Download:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/joint-effects-of-pharmaceuticals-chemicals>

## UBA-Texte 65/2017: Evaluierung von Monitoringdaten zu POPs, POP-Kandidaten und Ersatzstoffen zur Aufklärung von Ursachen, Pfaden und Trends der Umweltbelastung

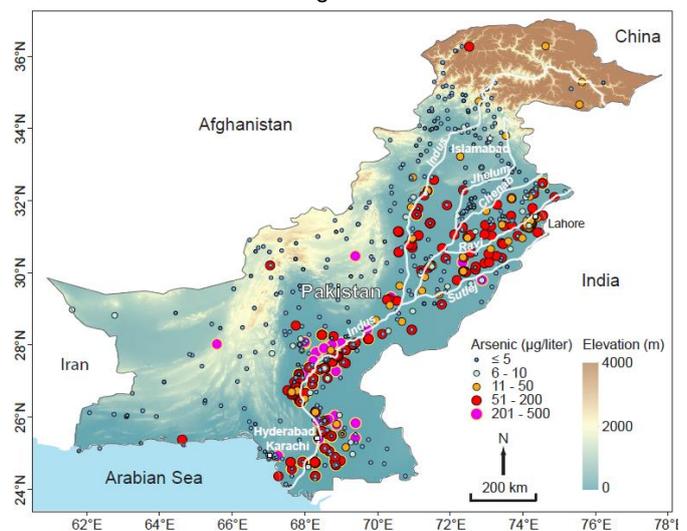
Persistente organische Stoffe, auch POPs genannt, kommen in der Umwelt ubiquitär vor. Zur Identifikation von Belastungssituationen in der Umwelt aber auch im Lebensmittelbereich ist es wichtig, die Ursachen und Ausbreitungspfade dieser Stoffe besser zu verstehen. Das Vorhaben hat zum Ziel, eine Wissensgrundlage zu bestimmten POPs und POP-Kandidaten zu erarbeiten, Monitoringdaten zu recherchieren und detailliert die Pfade der Ausbreitung zu beschreiben. Im Fokus des Vorhabens stehen die dioxin-ähnlichen Polychlorierten Biphenyle (dl-PCBs) und ausgewählte PCB-Ersatzstoffe. Diese umfassen kurzkettige Chlorparafine (SCCP), Polybromierte Diphenylether (PBDE) und Hexabromcyclododecan (HBCD).

Download:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluierung-von-monitoringdaten-zu-pops-pop>

## EAWAG-Studie: Arsenrisiko in Pakistan viel grösser als angenommen

Mit Arsen belastetes Grundwasser, das als Trinkwasser und zur Bewässerung genutzt wird, kann die Gesundheit von 50 bis 60 Millionen Menschen in Pakistan gefährden. Das zeigt eine am 23. August dieses Jahres publizierte EAWAG-Studie (Förderer: DEZA). Die EAWAG-Mitarbeiter haben dazu die Daten aus 1200 Grundwasserproben analysiert und mit geologischen und hydrologischen Grössen ein Computermodell erstellt. Damit wurde erstmals die riesige Dimension der unsichtbaren Gefahr für ganz Pakistan deutlich. Zudem mehren sich die Hinweise, dass die natürlichen Arsenwerte durch die weit verbreitete Bewässerung erhöht werden.



Quelle: EAWAG-News (Andri Bryner)

Originalpublikation:

Joel Podgorski et al.: Extensive arsenic contamination in high-pH unconfined aquifers in the Indus Valley. *Science Advances*; 3, e1700935 (2017); <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1700935>

## Unsere neuen Mitglieder

Neuaufnahmen in die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie vom 25.05. - 25.08.2017

Fürst, Nicole Kim  
FG-Eintritt: 19.06.2017

Greiner, Petra; Dr.  
FG-Eintritt: 14.06.2017

Hauke, Natalie  
FG-Eintritt: 31.07.2017

Helbig, Belinda  
FG-Eintritt: 06.07.2017

Herbort, Adrian Frank  
FG-Eintritt: 19.07.2017

Lohse, Martin  
FG-Eintritt: 03.07.2017

Passvogel, Lucas Morten  
FG-Eintritt: 10.07.2017

Schönsee, Carina Daria  
FG-Eintritt: 13.06.2017

Serdarevic, Nikolina Leona (Chem.Ing.)  
FG-Eintritt: 03.08.2017

Stein, Sabrina  
FG-Eintritt: 08.08.2017

Taghipourian, Shiva (Dipl. Chem.)  
FG-Eintritt: 12.07.2017

## Geburtstage

*Der Vorstand und die Redaktion der Mitteilungen unserer Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie gratulieren unseren Jubilaren aufs herzlichste*

### Geburtstagsliste Oktober bis Dezember 2017

#### 60 Jährige

Dr. Udo Flegel, Geburtstag: 16.10.1957

Dr. Michael Weis, Geburtstag: 19.10.1957

Josef Bernard (Dipl. Chem.), Geburtstag: 23.11.1957

Prof. Dr. Klaus Günther, Geburtstag: 27.11.1957

Dr. Bernd Krüger, Geburtstag: 23.12.1957

Dr. Burkhard Lüer, Geburtstag: 28.12.1957

#### 65 Jährige

Dr. Beate Eberhard, Geburtstag: 24.10.1952

Dr. Rainer Busch, Geburtstag: 24.12.1952

#### 70 Jährige

Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Müfit Bahadır, Geburtstag: 13.11.1947

- 1998 Ehrendoktorwürde auf dem Gebiet des Umweltingenieurwesens der Univ. Konya/Türkei
- 2002 Ordentliches Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft
- 01.06.1997 - 31.12.2005: Arbeitskreis-Vorsitzender AK Lehre und Forschung

Dr. Walter Fürst, Geburtstag: 09.12.1947

Dr. Helmut Unger, Geburtstag: 28.12.1947

#### 75 Jährige

Horst Böhme (Dipl. Chem.), Geburtstag: 23.10.1942

Dr. Rainer Götz, Geburtstag: 30.11.1942

#### 80 Jährige

Dr. Peter G. Laubereau, Geburtstag: 14.11.1937

Bärbel Wolter, (Apothekerin), Geburtstag: 28.12.1937