

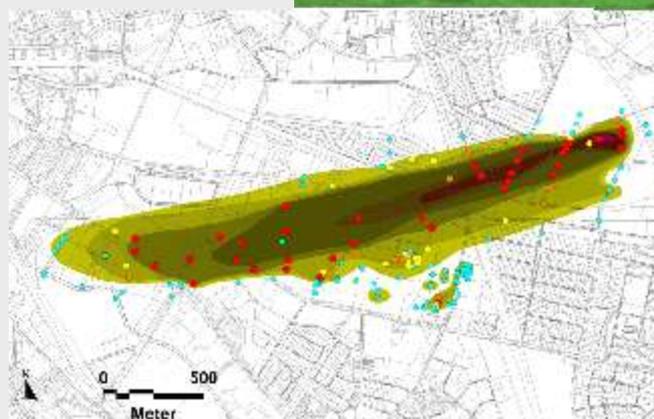


Mitteilungen der Fachgruppe

# Umweltchemie und Ökotoxikologie

Gesellschaft Deutscher Chemiker

- PFC-Verunreinigung in Düsseldorf
- Aktivität von östrogen und androgen aktiven Substanzen
- Eintragspfade von sechswertigem Chrom
- Quartäre Ammoniumverbindungen im Boden
- Neuer Fachgruppenvorstand gewählt
- Juniorprofessur für Umweltsystemanalyse Tübingen und Arbeitsgruppe „Organische Umweltgeochemie“ Aachen
- Veranstaltungsankündigungen, Kurznachrichten und Personalien



1/2019

## 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:

PFC - Grundwasserverunreinigung Düsseldorf-Gerresheim, „Lager 61“ (Quelle: Beitrag I. Bantz und I. Valentin in diesem Heft)

## Originalbeiträge

- 2 **I. Bantz, I. Valentin:** Stand der Erfassung und Sanierung von PFC-Verunreinigungen in Düsseldorf
- 8 **L. Gehrman et al.:** Aktivität von östrogen und androgen aktiven Substanzen während und nach der Ozonung von Krankenhausabwasser
- 11 **M. Riegel et al.:** Eintragspfade von sechswertigem Chrom in Rohwasser von Trinkwasserversorgern
- 15 **I. Mulder et al.:** Quartäre Ammoniumverbindungen im Boden - Implikationen für die Entwicklung von Antibiotika-Resistenzen

## Aus der Fachgruppe

- 20 Neuer Fachgruppenvorstand für die Amtsperiode vom 1.01.2019 bis zum 31.12.2022 gewählt
- 20 Jahresrückblick 2018 AK Umweltmonitoring
- 20 Frau Dr. Schwarz-Schulze in den Ruhestand eingetreten

## Kurz vorgestellt

- 21 Juniorprofessur für Umweltsystemanalyse, Eberhard Karls Universität Tübingen
- 22 Arbeitsgruppe „Organische Umweltgeochemie“, RWTH Aachen

## Informationen

### Veranstaltungsankündigungen

- 24 Plastik in der Umwelt – Statuskonferenz, 9.-10.04.2019, Berlin
- 24 Gordon Research Seminar and Conference on Environmental Nanotechnology, 1.-2. & 2.-7.06.2019, Newry, ME, US
- 24 The PFAS Management, Mitigation, and Remediation Conference, 19.-20.06. 2019, Westerville, Ohio, US
- 25 Atmospheric Chemistry - New Science in Air Quality and Climate, 28.07.-2.08.2019, Newry, ME, US
- 25 IPTC 2019 - 12th Int. Particle Toxicology Conference, 11.-13.09. 2019, Salzburg
- 25 13. Langenauer Wasserforum, 11.-12.11.2019, Langenau

### Kurznachrichten

- 26 UBA-Hintergrunddokument: Luftqualität 2018 – Vorläufige Auswertung
- 26 Studie des MPI für Chemie Mainz: Massentierhaltung Hauptverursacher für Feinstaub
- 26 Positionspapier der DGP: Atmen: Luftschadstoffe und Gesundheit
- 27 UBA-Texte 106/2018 und 107/2018: Impacts of Heavy Metal Emission on Air Quality and Ecosystems across Germany
- 27 Pestizide: EU-Parlament billigt Vorschläge für ein besseres EU-Zulassungsverfahren
- 28 REACH Compliance Workshop at the BfR
- 28 EU committee: Statement on emerging health and environmental issues
- 29 Diskussionsdokument der Leopoldina: Der stumme Frühling – Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes
- 29 BfR-Pressemitteilung 05/2019: EU Forschungsprojekt EDCMET
- 30 Drugs in bugs: Anreicherung von Pharmaka in aquatischen Nahrungsnetzen
- 30 Hunderte halogenierte Verbindungen im Blutserum von Eisbären
- 31 CITEPro “Chemicals in the Environment Profiler”

## Personalia

- 32 Eintritte in die FG 26.11.2018.-20.02.2019
- 32 Geburtstag 2. Quartal 2019

## Stand der Erfassung und Sanierung von PFC-Verunreinigungen in Düsseldorf

Dr. Inge Bantz ([inge.dr\\_bantz@duesseldorf.de](mailto:inge.dr_bantz@duesseldorf.de)), Ingo Valentin ([ingo.valentin@duesseldorf.de](mailto:ingo.valentin@duesseldorf.de))

Landeshauptstadt Düsseldorf, Umweltamt, Brinckmannstr. 7, 40225 Düsseldorf

### Schlüsselwörter:

per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC), systematische Untersuchung, Feuerlöschschäume, Sanierung von PFC-Grundwasserverunreinigungen

### Zusammenfassung

Nach einer systematischen Erfassung liegen im Stadtgebiet von Düsseldorf zahlreiche Boden- und Grundwasserverunreinigungen mit Per- und Polyfluorierten Chemikalien (PFC) vor. Die drei großflächigen PFC-Grundwasserverunreinigungen erreichen in Hauptgrundwasserfließrichtung mehrere Kilometer Länge. Eine dieser PFC-Grundwasserverunreinigungen breitet sich in der Niederterrasse des Rheins mit rund 200 m pro Jahr aus. Die Haupteintragsstellen der großflächigen PFC-Grundwasserverunreinigungen werden z.T. bereits hydraulisch gesichert. Das dabei geförderte PFC-belastete Grundwasser wird nach Durchführung umfangreicher Aufbereitungsversuche mittels Aktivkohle oder Adsorberharzen gereinigt. Erste Erfolge bestätigen die Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen. Verfahren zur Sanierung PFC-belasteter Böden an den Eintragsstellen stehen dagegen bisher nur begrenzt zur Verfügung.

### Einleitung

Perfluorierte Tenside (PFT) – allgemeiner Per- und Polyfluorierte Chemikalien (PFC) – sind eine Gruppe synthetisch hergestellter persistenter organischer Stoffe, die in der Natur nur durch anthropogene Einträge vorkommen. Sie werden vielfach genutzt, zum Beispiel in der Textil- und Papierindustrie, in Galvaniken und als Feuerlöschschaummittel. Sie sind in sehr geringen Konzentrationen wirksam. Sie sind langlebig, reichern sich in Organismen an, sind fortpflanzungsgefährdend und stehen in Verdacht, krebserregend zu sein. Sie breiten sich schnell aus und sind bereits weltweit im Wasser, in Tieren, Lebensmitteln und auch in menschlichem Blut zu finden.

### Bewertung der PFC

Die Verwendung des Einzelstoffs Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) wurde 2006 auf europäischer Ebene eingeschränkt [1]. 2007 wurde die Regelung in deutsches Recht übernommen [2]. Im Jahr 2009 wurde PFOS im Rahmen der Stockholm Konvention in die Liste der weltweit zu beschränkenden Stoffe aufgenommen [3]. Zwischenzeitlich wurden 6 weitere perfluorierte Verbindungen als besonders besorgniserregende Stoffe in die REACH-Kandidatenliste aufgenommen [4].

Für die Aufnahme von PFC durch den Menschen hatte das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) 2006 einen vorläufigen TDI-Wert (tolerable daily intake) von 0,1 µg PFOS und

Perfluorooctansäure (PFOA) pro kg Körpergewicht abgeleitet [5], der 2009 auf 0,15 µg/kg Körpergewicht für PFOS bzw. 1,5 µg/kg für PFOA erhöht wurde [6]. Im Dezember 2018 hat die Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde (EFSA) eine Neubewertung zu gesundheitlichen Risiken durch PFOS und PFOA in Lebensmitteln veröffentlicht. Die tolerierbaren wöchentliche Aufnahmemengen (PTWI) betragen hiernach 6 ng/kg Körpergewicht für PFOA und 13 ng/kg Körpergewicht pro Woche für PFOS. Die Anwendung dieser strengen Anforderungen wird trotz des weiterhin vorhandenen Forschungsbedarfes von der BfR empfohlen [7].

Seit 2017 gibt es für 7 Einzelstoffe der Stoffgruppe PFC Trinkwasserleitwerte, die gleichfalls als Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) der Bewertung von Grundwasserbelastungen zu Grunde gelegt werden [8]. Eine Übersicht über die verwendeten Abkürzungen und Beurteilungswerte ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Darüber hinaus gilt seit Dezember 2018 als Umweltqualitätsnorm für oberirdische Gewässer für den Einzelstoff PFOS ein Wert von 0,65 ng/l [9].

**Tabelle 1: Verwendete Abkürzungen und Bewertungsmaßstäbe**

Name	Abkürzung	TW <sub>LW</sub> <sup>1</sup> [ng/l] (entspricht GFS <sup>2</sup> )	GOW <sup>1</sup> [ng/l]
Perfluorbutansäure	PFBA	10.000	-
Perfluorpentansäure	PFPA	-	3.000
Perfluorhexansäure	PFHxA	6.000	-
Perfluorheptansäure	PFHpA	-	300
Perfluoroktansäure	PFOA	100	-
Perfluornonansäure	PFNA	60	-
Perfluordekansäure	PFDA	-	100
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	6.000	-
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	100	-
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	-	300
Perfluoroktansulfonat	PFOS	100	-
6:2 Fluortelomersulfonsäure	H4PFOS	-	100
Perfluoroktansulfonamid	PFOSA	-	100

<sup>1</sup> Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission (TWK) vom 20.09.2016:

- Trinkwasserleitwerte (TW<sub>LW</sub>) festgelegt für Stoffe, bei denen eine humantoxikologische Wirkung mit Sicherheit festgestellt wurde
- Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für Stoffe, bei denen keine ausreichenden Daten für eine humantoxikologische Bewertung für einen TW<sub>LW</sub> vorlagen

<sup>2</sup> Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte), 2017 erarbeitet durch eine gemeinsame Arbeitsgruppe der Länderarbeitsgemeinschaften Wasser (LAWA) und Bodenschutz/Altlasten (LABO) [8]

Zur Bewertung von PFC-Feststoffgehalten im Boden gibt es bisher keine verbindlichen Regelungen. Die Bewertung des Wirkungspfad Boden-Grundwasser erfolgt in der Regel über eine Sickerwasserprognose unter Verwendung der Bewertungsmaßstäbe für das Grundwasser.

## Stand der Erfassung von PFC-Verunreinigungen im Stadtgebiet

Zur systematischen Erfassung von PFC-Belastungen des Bodens und der Gewässer im Stadtgebiet wurden

- Brandereignisse mit Schaumeinsatz recherchiert und überprüft,
- Standorte der Feuerwachen im Stadtgebiet überprüft,
- in Zusammenarbeit mit der städtischen Feuerwehr Löschübungsbereiche (Berufs- und Werksfeuerwehren) und stationäre Löscheinrichtungen identifiziert und überprüft,
- relevante Branchen (bestehende Betriebe und Altstandorte) überprüft,
- alle laufenden Grundwassersanierungsmaßnahmen auf PFC überprüft und
- die regelmäßige allgemeine analytische Gewässerüberwachung in Verdachtsbereichen (z.B. Abtablagerungen) um den Parameter PFC ergänzt.

Nach dieser bisherigen Erfassung gibt es im Stadtgebiet drei großflächige und zwei flächig begrenzte PFC-Grundwasserverunreinigungen mit zum Teil mehreren Eintragsstellen. Zusätzlich gibt es 13 Stellen mit lokal erhöhten PFC-Gehalten im Grundwasser. Die festgestellten PFC-Grundwasserbelastungen sind weit überwiegend auf Löschschaummittel (Brandstellen, Übungsstellen, Feuerwachen, stationäre Löschanlagen), in zwei Fällen auf Galvanikprozesse sowie in einem Fall auf eine Abfalldéponie zurückzuführen. Die Recherchen und Untersuchungen wurden in Anlehnung an die Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ [10] durchgeführt.

## Untersuchung von PFC-Verdachtsflächen

Bei den erfassten Flächen mit PFC-Verdacht werden zunächst orientierende Untersuchungen durchgeführt. Ergibt sich daraus ein hinreichender Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung, folgen Detail- und Sanierungsuntersuchungen.

Für die als besonders relevant erkannten Feuerwachenstandorte wurde ein systematisches Untersuchungsprogramm erarbeitet, das schrittweise umgesetzt wird. Dabei wurden schadhafte Grundstücksentwässerungsleitungen besonders oft als PFC-Eintragsstellen ermittelt, gefolgt von Schlauchwäschen, Trockentürmen sowie Fahrzeugwaschplätzen. Es empfiehlt sich daher immer zunächst zur Lokalisierung von Sondier- oder Bohransatzpunkten eine detaillierte Nutzungsrecherche sowie eine Zustandserfassung und Lageermittlung

der Grundstücksentwässerungseinrichtungen und der Anschlusskanäle durchzuführen [11].

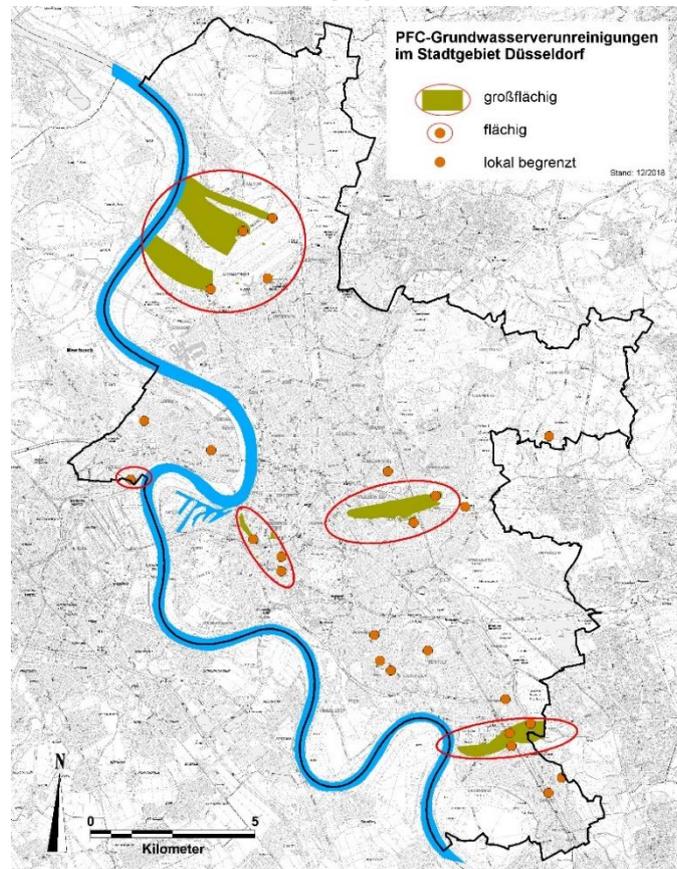
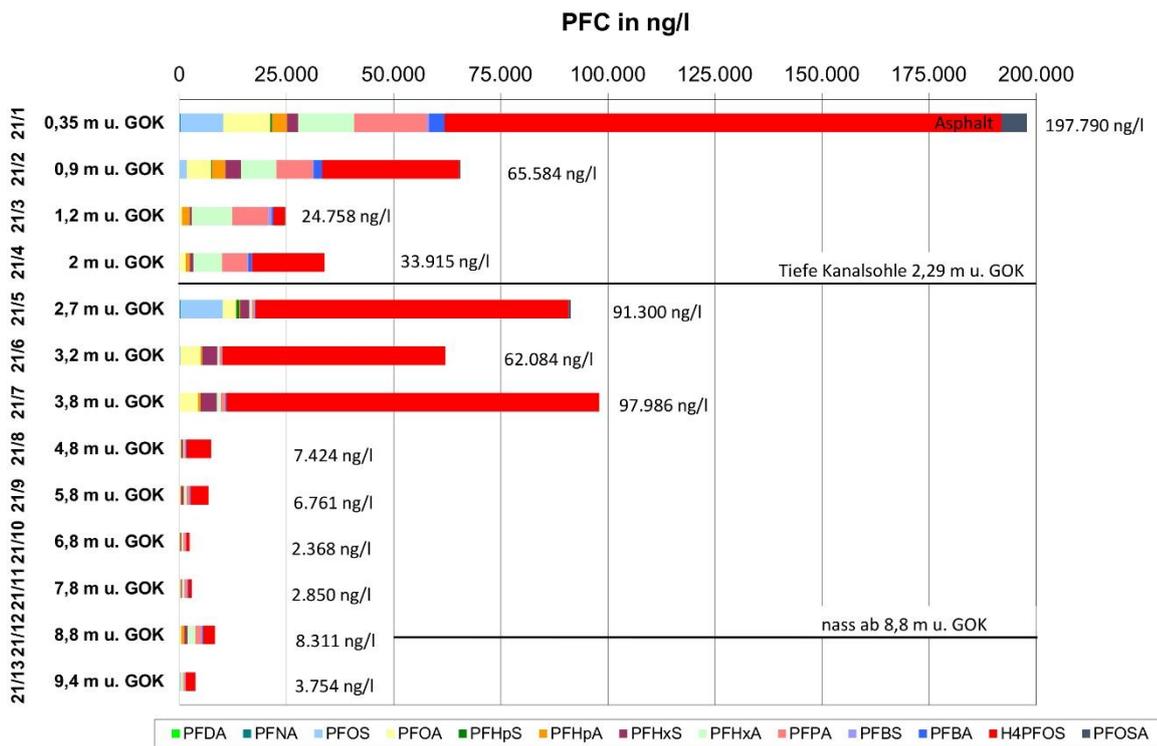


Abb. 1: Übersichtskarte der PFC-Grundwasserverunreinigungen im Stadtgebiet Düsseldorf, Stand 12/2017

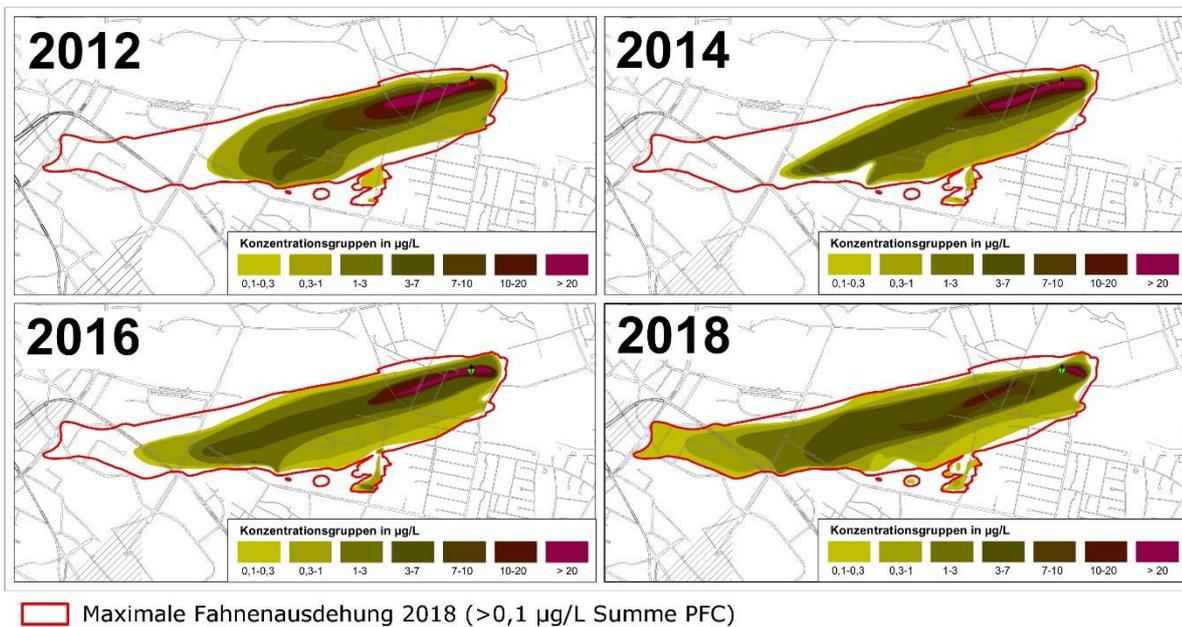
## Abgrenzung und Bewertung flächiger PFC-Grundwasserverunreinigungen

Die flächigen Grundwasserverunreinigungen werden auf Basis eines stetig ergänzten Messstellennetzes in der Regel jährlich analytisch überwacht. Die Abgrenzung der flächigen Ausdehnung der PFC-Verunreinigungen im Grundwasser erfolgt in erster Näherung auf Grundlage der Summe der analysierten PFC-Gehalte. Danach ergibt sich z.B. für die Fahnnenspitze bei einer der größten PFC-Grundwasserverunreinigungen im Stadtgebiet eine Ausbreitungsgeschwindigkeit in Hauptgrundwasserströmungsrichtung von rund 200 m pro Jahr. Dieser Schaden resultiert aus einem durch Brandstiftung verursachten Großbrand eines Kunststoffkistenlagers im Jahr 2001, bei dem ca. 43 Kubikmeter Löschschaumkonzentrat verschiedener Berufs- und Werksfeuerwehren zum Einsatz kamen.

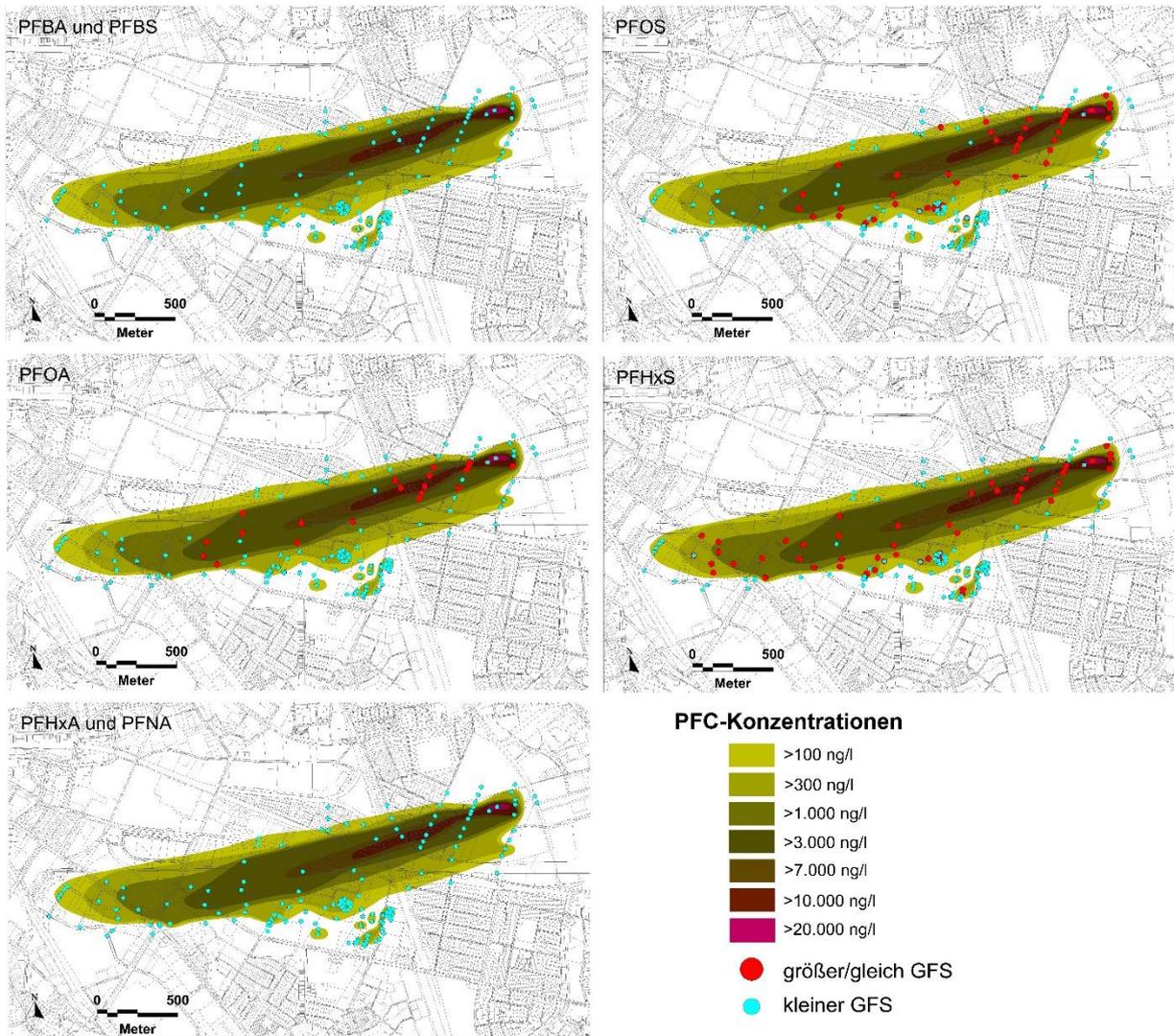
Werden die Einzelstoffe bewertet, überschreiten in den drei großflächigen PFC-Grundwasserverunreinigungen jeweils PFOS, PFOA und PFHxS die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS). Die weiteste Ausdehnung innerhalb der Grundwasserverunreinigungsfahnen zeigen in allen drei Fällen Überschreitungen der GFS des Parameters PFHxS.



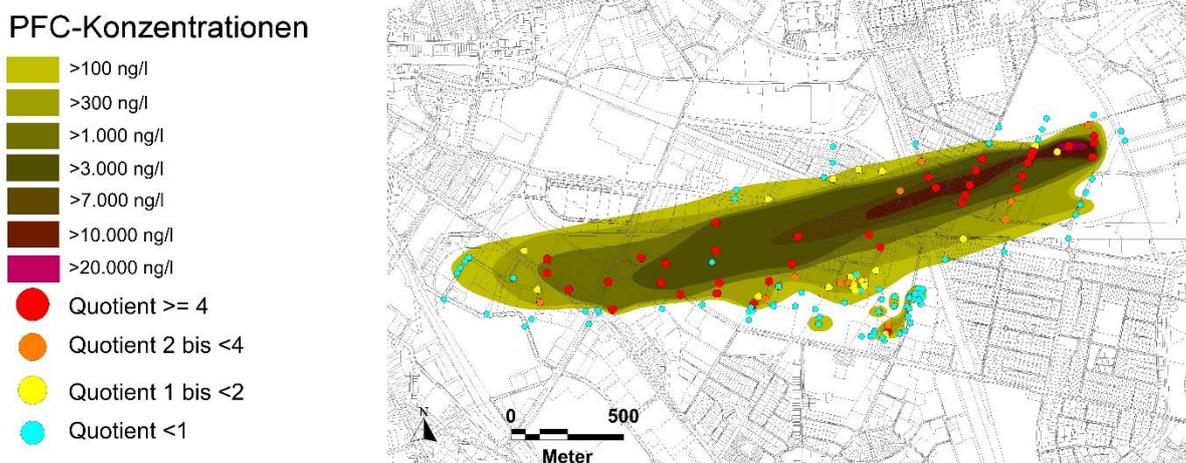
**Abb. 2:** Profil der PFC-Gehalte über die Tiefe auf dem Standort einer Feuerwache in Düsseldorf-Wersten (Ergebnisse aus dem 2:1 Schütteleuat, ahu GmbH 2016 [11])



**Abb. 3:** PFC-Fahendarstellung 2012, 2014, 2016 und 2018, Düsseldorf-Gerresheim, „Lager 61“, Summe PFC in µg/l



**Abb. 4:** Einzelstoffbewertung für die Parameter PFBA, PFOS, PFOA, PFHxS, PFHxA und PFNA (Punktdarstellung) auf der Grundlage der Fahndarstellung 2017 für die Verunreinigung Düsseldorf-Gerresheim, „Lager 61“



**Abb. 5:** Überschreitung der Quotientensumme auf der Grundlage der Fahndarstellung 2017 für die PFC – Grundwasserunreinigung Düsseldorf-Gerresheim, „Lager 61“

Wird analog der Bewertungssystematik der Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg aus den Einzelstoffkonzentrationen und den jeweiligen GFS die sogenannte Quotientensumme gebildet [12], [13], ergeben sich in weiten Teilen der Fahnen Werte deutlich größer als 1 (siehe Abbildung 5), so dass der Handlungsbedarf offensichtlich ist. Insgesamt führt in den drei großflächigen Grundwasserverunreinigungen in Düsseldorf die Einzelstoffbewertung aufgrund der PFHxS-Gehalte zu einer vergleichbaren Abgrenzung der Ausdehnung der Grundwasserverunreinigung wie eine Bewertung auf Grundlage der Summe der Einzelstoffe oder der Quotientensumme. Auch der resultierende Handlungsbedarf ist vergleichbar.

Die Analytik erfolgt in der Regel auf die zehn Einzelsubstanzen nach DIN 38407-42 für wässrige Proben zuzüglich der 6:2-Fluortelomersulfonsäure (H4PFOS). Aufgrund der Vielzahl möglicher Verbindungen und Precursor-Substanzen wurden an dem Standort einer Feuerwache erste Untersuchungen von Bodeneluat (2:1 Schütteleluat nach DIN 19529) sowohl als adsorbierbares organisch gebundenes Fluor (AOF) [vergl. 14] als auch als TOP-Assay (Total Oxidizable Precursor) durchgeführt. Letzteres ermöglicht durch eine definierte Oxidation eine Abschätzung des Ausmaßes an vorhandenen Precursor-Verbindungen. Erste, noch zu validierende Ergebnisse zeigen, dass in den untersuchten Proben hohe Anteile an Precursor-Verbindungen enthalten sind.

## Stand der Sanierung festgestellter PFC-Grundwasserverunreinigungen

Zur Sanierung der flächigen PFC-Grundwasserverunreinigungen wird konsequent die Strategie verfolgt,

- die Eintragsstellen hydraulisch abzuschirmen, um den weiteren Austrag von Schadstoffen mit dem Grundwasser in den Unterstrom zu beenden,
- die weitere Ausbreitung der Verunreinigung durch hydraulische Maßnahmen an der Fahnen Spitze zu verhindern,
- Maßnahmen in der Fahne zu ergreifen, um die bereits ausgetretenen Schadstoffe zu beseitigen, und
- Maßnahmen zur Beseitigung des Schadstoffpotentials an den Eintragsstellen durchzuführen.

Für die großtechnische Aufbereitung von PFC belastetem Grundwasser gibt es bisher kein Verfahren „von der Stange“. Vielmehr sind jeweils umfangreiche Vorversuche erforderlich, um das unter den jeweiligen standortspezifischen Randbedingungen am besten geeignete Verfahren zu ermitteln. Das Umweltamt arbeitet hierzu intensiv mit dem Land NRW, dem AAV - Verband für Flächenrecycling und Altlastensanierung NRW, dem Umweltbundesamt und anderen betroffenen Städten zusammen [15]. Um eine gleichermaßen geeignete, effektive und effiziente Grundwassersanierung zu gewährleisten, wird zur Vorbereitung der hydraulischen Abschirmung der Eintragsstelle bei der oben beschriebenen großflächigen PFC-Grundwasserverunreinigung in Düsseldorf-Gerresheim zurzeit ein großtechnischer Langzeitpumpversuch durch-

geführt. Auf Grundlage der Betriebs- und Überwachungsergebnisse werden anschließend die für die Sanierung erforderlichen Anlagen geplant und errichtet.

Bisher erfolgt die Aufbereitung von PFC-belastetem Grundwasser in Düsseldorf mittels Aktivkohle und Adsorberharzen. Bei der Entsorgung oder Regenerierung dieser Materialien ist sicherzustellen, dass durch thermische Behandlung des relevanten Stoffstroms mit einer Temperatur von ca. 1.200 Grad die PFC vollständig zerstört werden.

## Umgang mit PFC-belasteten Böden

Beim Umgang mit PFC-belasteten Böden ist zwischen Bodensanierungsmaßnahmen im Rahmen der Gefahrenabwehr und der Entsorgung bautechnisch bedingten, PFC-belasteten Aushubmaterialien zu unterscheiden.

Geeignete Entsorgungswege für PFC-belastete Böden aus der Sanierung gibt es bisher nur in begrenztem Umfang. Daher wurden bisher nur räumlich sehr eng begrenzte PFC-Eintragsstellen durch Aushub mit anschließender Beseitigung auf einer Deponie oder thermischer Behandlung (siehe oben) saniert. Für Eintragsstellen größeren Ausmaßes und für flächige PFC-Bodenverunreinigungen stehen geeignete Maßnahmen zu wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen noch aus und Deponievolumen in ausreichendem Umfang nicht zur Verfügung.

Die Verwertung PFC-belasteten Aushubmaterials aus Baumaßnahmen erfolgt in Nordrhein-Westfalen nach behördlicher Einzelfallentscheidung auf Basis einer Orientierungshilfe des Landes [16]. Danach können Böden bei Einhaltung bestimmter Anforderungen sowohl außerhalb als auch innerhalb technischer Bauwerke verwertet werden. Da jedoch zwischenzeitlich bei Oberbodenuntersuchungen auch außerhalb besiedelter Bereiche und fern von PFC-Anwendungsbereichen erhöhte PFC-Gehalte im Bodeneluat festgestellt wurden [17], bedürfen die bisherigen Anforderungen an die Verwertung der Überprüfung.

## Fazit

Aufgrund der hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit von PFC in der Umwelt, der Dimension der bekannten Verunreinigungen und der damit verbundenen Auswirkungen besteht zur Untersuchung, Bewertung und Sanierung von PFC-Verunreinigungen weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Die bisherige Strategie einer konsequenten schrittweisen Sanierung zeigt erste Erfolge. Eine effektive und effiziente Sanierung von PFC-Grundwasserverunreinigungen ist nur nach entsprechenden Aufbereitungsversuchen zu erreichen.

Die Kosten der Sanierung der durch fluorierte Chemikalien verursachten Umweltschäden fallen bisher oft der Allgemeinheit anheim. Nach den bestehenden Regelungen gelingt eine Heranziehung der Hersteller dieser Stoffe zu den erforder-

lichen Sanierungsmaßnahmen praktisch nicht. Daher stellt sich die Frage, ob eine Änderung dieser Regelungen erforderlich ist.

## Literatur

- [1] Directive 2006/122/EC of the European Parliament and of the Council, 12.12.2006  
(<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0032:0034:EN:PDF>)
- [2] Elfte Verordnung zur Änderung chemikalienrechtlicher Verordnungen vom 12.10.2007
- [3] Governments unite to step-up reduction on global DDT reliance and add nine new chemicals under international treaty, Geneva: Stockholm Convention Secretariat, 8 May 2008  
<http://chm.pops.int/Convention/Pressrelease/COP4Geneva8May2009/tabid/542/language/en-US/Default.aspx>
- [4] Reach-Kandidatenliste auf der Homepage der Europäischen Chemikalienagentur:  
<https://echa.europa.eu/de/candidate-list-table>
- [5] Bundesinstitut für Risikobewertung; Stellungnahme Nr. 035/2006 vom 27.06.2006
- [6] Bundesinstitut für Risikobewertung; Stellungnahme Nr. 0004/2009 vom 11.09.2008  
([https://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitsliche\\_risiken\\_durch\\_pfos\\_und\\_pfoa\\_in\\_lebensmitteln.pdf](https://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitsliche_risiken_durch_pfos_und_pfoa_in_lebensmitteln.pdf))
- [7] Bundesinstitut für Risikobewertung; Mitteilung Nr. 042/2018 vom 14. Dezember 2018  
(<https://www.bfr.bund.de/cm/343/perfluorierte-verbindungen-pfos-und-pfoa-sind-in-lebensmitteln-unerwunscht.pdf>)
- [8] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)  
([http://www.lawa.de/documents/03\\_Anlage\\_3\\_Bericht\\_GFS\\_fuer\\_PFC\\_Endfassung\\_22\\_11\\_2017\\_9fd.pdf](http://www.lawa.de/documents/03_Anlage_3_Bericht_GFS_fuer_PFC_Endfassung_22_11_2017_9fd.pdf))
- [9] Umsetzung der Richtlinie 2013/39/EU in der Oberflächengewässerverordnung vom 20.06.2016
- [10] Länderfinanzierungsprogramm "Wasser, Boden und Abfall", B 4.14 - Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen, Projektstufe 1  
(<http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/labo/>)
- [11] I. Bantz, I. Valentin, T. Neef, A. Meßling: Systematische Erkundung und Sanierung von PFC-Verunreinigungen im Stadtgebiet der Landeshauptstadt Düsseldorf im Rahmen des 18. Symposiums der DECHEMA: Strategien zur Sanierung von Boden und Grundwasser, 22.-23. November 2016 in Frankfurt am Main
- [12] Bayerisches Landesamt für Umwelt, Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden, Stand: April 2017  
([https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/doc/leitlinien\\_vorlaufbewertung\\_pfc\\_verunreinigungen.pdf](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/doc/leitlinien_vorlaufbewertung_pfc_verunreinigungen.pdf))
- [13] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW): Anwendung der Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) für per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) zur Beurteilung nachteiliger Veränderungen der Beschaffenheit des Grund- und Sickerwassers aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten vom 21.08.2018 ([https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Pressemitteilungen/2018/Erlass\\_Beurteilungsgrundlage\\_PFC.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Pressemitteilungen/2018/Erlass_Beurteilungsgrundlage_PFC.pdf))
- [14] R. Söhlmann, G. Striegel, F. T. Lange: „Die Anwendung der Summenparameter EOF und AOF bei der Untersuchung der Tiefenverlagerung von PFAS in belasteten Böden in Mittelbaden“ in Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie, Nr. 4, 2018, 89-91
- [15] Dokumentation des Workshops PFC in Boden und Grundwasser, der gemeinsam vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, dem AAV und dem Umweltamt der Landeshauptstadt Düsseldorf am 25.09.2017 in BEW in Duisburg durchgeführt wurde. Ergebnisbericht:  
[https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20171214\\_Ergebnisbericht\\_PFC\\_in\\_Boden\\_und\\_Grundwasser.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20171214_Ergebnisbericht_PFC_in_Boden_und_Grundwasser.pdf)
- [16] Dienstbesprechung Bodenschutz / Altlasten des Umweltministeriums NRW am 01.10.2014
- [17] Oberbodenuntersuchungen auf Ackerflächen im Stadtgebiet Düsseldorf, 2016

## Korrespondenzadresse

Ingo Valentin  
Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf  
Brinckmannstr. 7  
40225 Düsseldorf  
E-Mail: [ingo.valentin@duesseldorf.de](mailto:ingo.valentin@duesseldorf.de)



## Aktivität von östrogen und androgen aktiven Substanzen während und nach der Ozonung von Krankenhausabwasser

Linda Gehrmann<sup>1</sup> ([gehrmann@iuta.de](mailto:gehrmann@iuta.de)), Fabian Itzel<sup>1</sup> ([itzel@iuta.de](mailto:itzel@iuta.de)), Kevin S. Jewell<sup>2</sup> ([Jewell@bafg.de](mailto:Jewell@bafg.de)), Thomas A. Ternes<sup>2</sup> ([Ternes@bafg.de](mailto:Ternes@bafg.de)), Torsten C. Schmidt<sup>3</sup> ([torsten.schmidt@uni-due.de](mailto:torsten.schmidt@uni-due.de)), Jochen Türk<sup>1</sup> ([tuerk@iuta.de](mailto:tuerk@iuta.de))

<sup>1</sup> Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA), Bliersheimer Str. 58-60, 47229 Duisburg

<sup>2</sup> Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz

<sup>3</sup> Instrumentelle Analytische Chemie, Universität Duisburg-Essen, Universitätsstr. 5, 45141 Essen

### Zusammenfassung

Der hier dargestellte Workflow, bei dem die instrumentelle Analytik mit einem Bioassay kombiniert wird, ermöglicht ein gezielteres Vorgehen für die Aufklärung der Zusammenhänge in Umweltproben. Durch die Auftrennung anti-östrogen aktiver Proben einer vierten Reinigungsstufe mittels HPLC-Fraktionierung und die Analyse der weiterhin aktiven Fraktionen mittels hochauflösender Massenspektrometrie konnte der Prozess der Ozonung als vierte Reinigungsstufe näher untersucht und das Flammschutzmittel TCEP als eine beteiligte Substanz in diesem Prozess identifiziert werden.

### Einleitung

Organische Spurenstoffe gelangen hauptsächlich durch Kläranlagen in die Umwelt, da sie dort nur unzureichend eliminiert werden [1-3]. Erst durch die Installation einer sogenannten vierten Reinigungsstufe können organische Spurenstoffe besser eliminiert werden, wobei sich insbesondere die Kombination der Ozonung und der Behandlung mit Aktivkohle als besonders effektiv herausgestellt hat [4, 5]. Da unter dem Begriff organische Spurenstoffe eine Vielzahl verschiedener Stoffklassen zusammengefasst wird, werden auch die unterschiedlichsten Effekte auf die Gewässer und die dort lebenden aquatischen Organismen beobachtet.

Zur Untersuchung dieser Auswirkungen und zur Optimierung und Neu-Entwicklung von Reinigungsverfahren werden aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der organischen Spurenstoffe die verschiedensten Messverfahren angewendet. Dabei unterscheidet man im Wesentlichen zwischen instrumenteller Analytik, z.B. Hochleistungsflüssigchromatographie gekoppelt mit der Massenspektrometrie (HPLC-MS), und biologischen Testsystemen, z. B. Toxizitätsassay mittels Leuchtbakterien. Bei der instrumentellen Analytik stehen dabei die Einzelstoffe im Vordergrund, die in ein Gewässer eingeleitet werden, während die biologischen Tests die Wirkung solcher Substanzen auf die aquatischen Organismen abbilden. In der Regel werden diese Analysetechniken zwar anhand der gleichen Originalproben aber getrennt in den Disziplinen der Biologie und der Chemie und somit oft auch in unterschiedlichen Laboren durchgeführt. Dies führt in beiden Fällen jeweils zu unbeantworteten Fragen. Werden Substanzen durch die instrumentelle Analytik nachgewiesen, ist oft unklar, ob diese in der gefundenen Konzentration relevant für das Gewässer sind und wie sie Organismen schädigen. Wird eine Wirkung auf Organismen nachgewiesen,

stellt sich hingegen die Frage, welche Substanz in welcher Konzentration diesen Effekt verursacht hat.

Kombiniert man jedoch beide analytischen Ansätze in einem gemeinsamen Workflow und nutzt die Vorteile beider Methoden aus, so ist es möglich, Synergien zu generieren und zu einer umfassenderen Bewertung und Einschätzung der Proben und somit des Gewässers zu kommen. Die Identifizierung wirksamer Stoffe durch die Kombination von wirkungsbezogener und instrumenteller Analytik wird unter dem Begriff „Effekt dirigierte Analytik“ (EDA) zusammengefasst [6, 7].

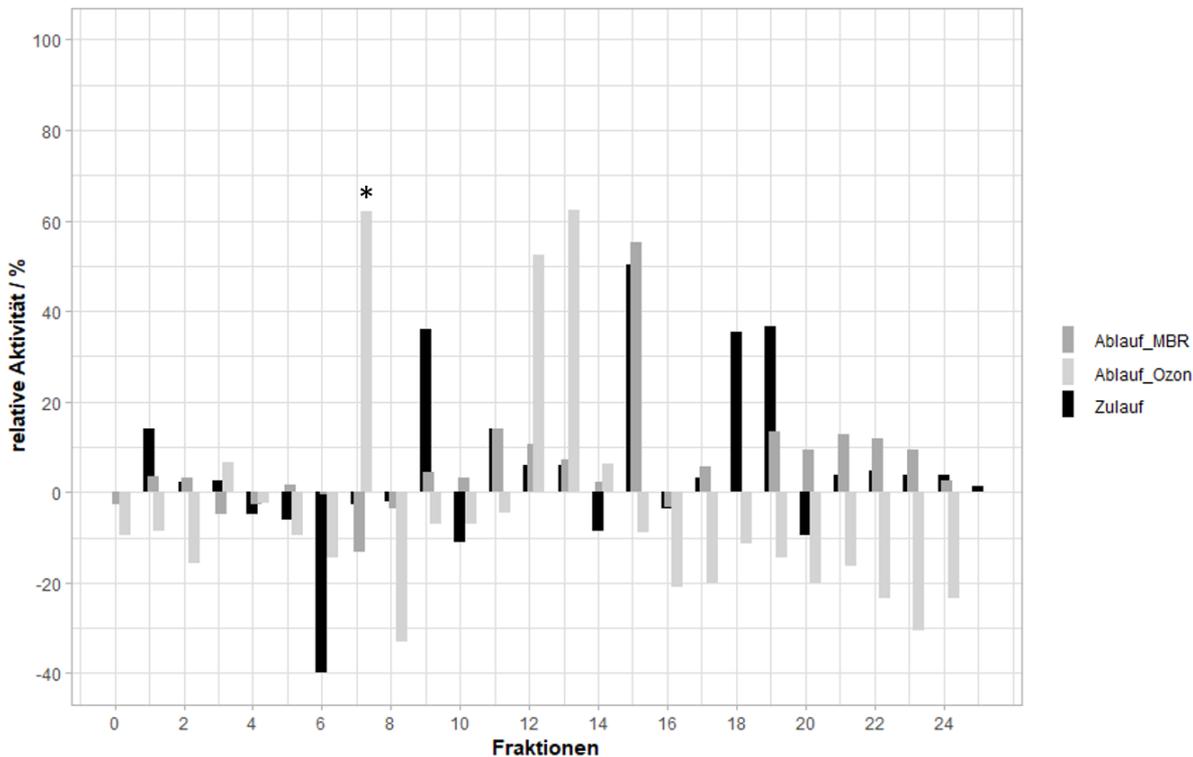
### Methodisches Vorgehen

Ein möglicher Workflow ist im Folgenden anhand eines unerwarteten östrogenen Effektes nach der Ozonung in einer Krankenhaus-Kläranlage dargestellt.

Hintergrund dieser Untersuchung war die Beobachtung, dass an zwei europäischen Kläranlagen, die ausschließlich Abwasser von Krankenhäusern behandeln, ein unerwarteter Anstieg der östrogenen Aktivität nach Ozonung beobachtet wurde. Dieser Effekt wurde mittels A-YES, eines Rezeptor-Gen-Assays auf Basis von *Arxula adenivorans* Hefezellen, beobachtet, konnte jedoch auch bei intensiveren Untersuchungen mittels weiterer Testsysteme (YES und CALUX Testsysteme) nicht aufgeklärt werden. Da es sich bei der östrogenen Aktivität um eine Wechselwirkung von agonistischen (Rezeptoraktivierung) und antagonistischen (Rezeptorblockierung) Effekten handelt, wurde die Hypothese aufgestellt, dass der agonistische Effekt vor der Ozonung von antagonistischen Effekten überlagert wird und dieses Verhältnis durch die Ozonung umgekehrt wird. Der antagonistische Effekt konnte durch den gleichen Bioassay parallel erfasst werden. Hierzu wurde eine definierte Menge eines agonistisch aktiven Standards (Bsp. 17 $\beta$ -Estradiol) zu den Proben gegeben. Wird der zu erwartende Effekt unterschritten, entspricht dieser Betrag der antagonistischen Aktivität. Um andere Einflüsse wie Toxizität weitestgehend ausschließen zu können, werden bei allen Tests generell Wachstumskontrollen zu jeder Probe durchgeführt.

Für den kombinierten Ansatz wurden die Proben mit einer erhöhten anti-östrogenen (antagonistischen) Aktivität nach Ozonung dann zunächst mit der instrumentellen Analysetechnik der HPLC in einzelne Fraktionen aufgetrennt. Anschließend wurden alle Fraktionen erneut auf ihre anti-östrogene Aktivität untersucht, um den Effekt näher einzu-

grenzen. Die Ergebnisse für die gemessene Aktivität der einzelnen Fraktionen sind für eine Probe beispielhaft in Abbildung 1 gezeigt.



**Abb. 1.** Ergebnisse der Fraktionierung von Abwasserproben nach einzelnen Behandlungsstufen aus der Kläranlage Marien-Hospital. Entnommen aus [8]. Gekennzeichnete Fraktion 7(\*) enthält identifizierte Substanz TCEP. Die Ordinate skaliert die anti-östrogene (antagonistische) Aktivität.

Die Abbildung zeigt, dass sich die Effekt-verursachenden Substanzen durch die Chromatographie der HPLC auftrennen und in einzelnen Fraktionen sammeln lassen. Außerdem ist zu erkennen, dass die Effekte im Zulauf der Kläranlage (Fraktion Nr. 9, 18, 19) im Membranbioreaktor (MBR), der ersten Reinigungsstufe, abgebaut werden. Es wird jedoch auch deutlich, dass nach Ozonung in Fraktion 7 ein Effekt detektiert werden konnte. Dies kann zum einen darauf hindeuten, dass Substanzen während der Ozonung umgewandelt werden und erst dann eine anti-östrogene Aktivität hervorrufen. Zum anderen wäre es denkbar, dass maskierende Stoffe abgebaut und somit effektauslösende Substanzen an den Rezeptor des Biotests binden können.

Der wesentliche Vorteil dieser Auftrennung ist jedoch auch die Eingrenzung der relevanten Fraktionen der Gesamtprobe, so dass für eine anschließende sogenannte Non-Target Analytik mittels hochauflösender Massenspektrometrie durch Zusammenführen der Informationen des biologischen Tests und der instrumentellen Analysedaten die detektierten Signale der HRMS (Features) priorisiert und nicht relevante Peaks aussortiert werden können.

Dies konnte durch einen eigens programmierten Algorithmus der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) erreicht werden,

welcher die Features in aktiven Proben, nicht aktiven Proben und den Blindwertproben miteinander vergleicht und somit die Anzahl an potentiell relevanten Signalen deutlich reduziert. Auf diese Weise war es möglich, die Anzahl der Signale der HRMS von ca. 8000 auf 32 zu reduzieren. Da ein Abgleich mit Datenbanken aufgrund von uneinheitlichen Datenformaten zum größten Teil manuell erfolgen muss, ist die Identifizierung der Features sehr zeitaufwendig. Die Fraktionierung erlaubt eine Priorisierung auf relevante Features in Kombination mit der Peakintensität (als Annäherung für die relativen Konzentrationsunterschiede). Die Peakintensität wäre sonst als alleiniges Priorisierungskriterium nur sehr begrenzt einsetzbar.

Durch die Kombination mit der wirkungsbezogenen Analytik werden jedoch zunächst die Features (chromatographische Peaks und Massenspektren) aufgelistet, die nur in der aktiven Fraktion vorkommen, sodass auch relevante Features mit einer geringeren Intensität betrachtet werden. Gleichzeitig werden auch Features mit einer hohen Intensität, die auch in nicht aktiven Fraktionen vorkommen und somit nicht relevant für den Effekt sind, aus der Betrachtung eliminiert. Durch die Kombination mit der wirkungsbezogenen Analytik ist es somit möglich, relevante Features besser und schneller zu identifizieren und den Aufwand bei der Auswertung von HRMS-Daten deutlich zu reduzieren.

Durch dieses Vorgehen konnte in diesem Projekt das Flamm- schutzmittel TCEP als eine anti-östrogen relevante Substanz, welche zu der Aktivität der Fraktion beiträgt, identifiziert werden. Da TCEP als Standard erhältlich ist, konnte außerdem der Nachweis erbracht werden, dass TCEP in den einge- setzten Bioassays tatsächlich eine anti-östrogene Wirkung hervorruft. Somit konnte TCEP als Effekt verursachende Substanz nachgewiesen werden.

## Schlußfolgerungen

Aufgrund der Komplexität des Zusammenspiels von agonistischen und antagonistischen Effekte bei der östrogenen Aktivität und der Vielzahl von Substanzen in Abwässern ist es jedoch wahrscheinlich, dass TCEP nicht alleine für die beobachtete Aktivität verantwortlich ist. Hier besteht noch wesentlicher Forschungsbedarf, um weitere Substanzen auf- zuklären und somit das Verhalten und Zusammenspiel dieser Substanzen in Mischungen besser zu verstehen.

Der hier dargestellte Workflow ermöglicht jedoch ein gezielteres und kombiniertes Vorgehen für diese Aufklärung und ist dadurch zeit- und kostensparender. Eine weitere viel- versprechende Möglichkeit für diesen Workflow ist die Kombination mit der Hochleistungsdünnschichtchromato- graphie (HPTLC). Dabei wird die Probe auf der Dünnschichtchromatographie-Platte aufgetrennt und der Bioassay direkt auf der Platte durchgeführt. Aktive Substanzen können dann direkt auf der Platte als klassische Banden identifiziert werden. Anschließend werden diese Banden extrahiert und in der HRMS untersucht.

## Literatur

1. Morasch, B., et al., Occurrence and fate of micropollutants in the Vidy Bay of Lake Geneva, Switzerland. Part II: Micropollutant removal between wastewater and raw drinking water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2010. 29(8): p. 1658-1668.
2. Rechenberg, B., Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern. Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge. Schriftenreihe "Position", Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2015.
3. Valitalo, P., et al., Estrogenic activity in Finnish municipal wastewater effluents. *Water Research*, 2016. 88: p. 740-749.
4. Tuerk, J., et al., Efficiency, costs and benefits of AOPs for removal of pharmaceuticals from the water cycle. *Water Science and Technology*, 2010. 61(4): p. 985-993.
5. Sperlich, A. und R. Gnirß, Forschungsergebnisse zur weitergehenden Abwasserreinigung (Teil 2), in *wwt-online*. 2016.
6. Muschket, M., et al., Identification of Unknown Antiandrogenic Compounds in Surface Waters by Effect-Directed Analysis (EDA) Using a Parallel Fractionation Approach. *Environmental Science & Technology*, 2018. 52(1): p. 288-297.
7. Brack, W., et al., Effect-directed analysis supporting monitoring of aquatic environments--An in-depth overview. *Science of the Total Environment*, 2016. 544: p. 1073-118.
8. Itzel, F., et al., Comprehensive analysis of antagonistic endocrine activity during ozone treatment of hospital wastewater. *Science of the Total Environment*, 2018. 624: p. 1443-1454.

## Korrespondenzadresse

Dr. rer. nat. Linda Gehrmann  
Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)  
Bliersheimer Str. 58-60  
47229 Duisburg  
Telefon: 02065/418-215  
Fax: 02065/418-211  
Email: [gehrmann@iuta.de](mailto:gehrmann@iuta.de)  
Internet: [www.iuta.de](http://www.iuta.de)

## Eintragspfade von sechswertigem Chrom in Rohwässern von Trinkwasserversorgern

Marcel Riegel<sup>1</sup> ([marcel.riegel@tzw.de](mailto:marcel.riegel@tzw.de)), Friederike Brauer<sup>1</sup> ([friederike.brauer@tzw.de](mailto:friederike.brauer@tzw.de)), Frank Sacher<sup>1</sup> ([frank.sacher@tzw.de](mailto:frank.sacher@tzw.de)), Kerstin Plota<sup>2</sup> ([kerstin.plota@bnetze.de](mailto:kerstin.plota@bnetze.de)), Dirk Betting<sup>2</sup> ([dirk.betting@bnetze.de](mailto:dirk.betting@bnetze.de))

<sup>1</sup> DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe

<sup>2</sup> bnNETZE GmbH, Tullastraße 61, 79108 Freiburg

### Zusammenfassung

Um die Eintragspfade von sechswertigem Chrom (Chromat) in Rohwässern von Wasserversorgern zu identifizieren, wurden insgesamt sechs Einzugsgebiete detailliert untersucht, welche erhöhte Chromatgehalte aufwiesen. Die sechs Modellgebiete wurden im Rahmen eines umfangreichen Monitorings ausgewählt, in dem von 52 Wasserversorgern, die hauptsächlich im südlichen Oberrheingraben Trinkwasser fördern, insgesamt 177 Rohwasserproben auf Chromat untersucht wurden. Eine ausführliche Auswertung der Messergebnisse und der vorliegenden Literatur zeigte, dass lediglich in einem Fall die erhöhten Chromatgehalte auf eine Altlast zurückzuführen und entsprechend anthropogen bedingt waren. In allen anderen Gebieten werden als Ursachen der Belastung die vorliegenden geologischen Gegebenheiten vermutet. Als relevante Gesteinsarten wurden Muschelkalk, Löss, Tertiär des Oberrheins und vulkanische Gesteine identifiziert.

### Einleitung

Die Toxizität von sechswertigem Chrom (Chrom(VI), Chromat), welches über das Trinkwasser aufgenommen wird, wird seit einigen Jahren kritischer bewertet, als dies in der fernerer Vergangenheit der Fall war. Daher werden in Deutschland seit ca. 2013 Überlegungen angestellt, den Grenzwert für Chrom im Trinkwasser zu verringern oder zusätzlich einen Grenzwert für sechswertiges Chrom einzuführen. Bei der letzten Änderung der Trinkwasserverordnung zum Jahresbeginn 2018 wurde der Grenzwert jedoch nicht geändert; er beträgt weiterhin 50 µg/L für Gesamt-Chrom.

In der Vergangenheit sind mehrere Untersuchungen zum Vorkommen von sechswertigem Chrom in Roh- und Trinkwässern in Deutschland durchgeführt worden. Die hier ermittelten Rohwasserkonzentrationen an sechswertigem Chrom liegen im Bereich von unter 0,02 bis etwa 2 µg/L [1, 2].

Im Rahmen eines vom Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co.KG finanzierten und von der bnNETZE GmbH in Freiburg und dem DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe bearbeiteten Projektes wurde eine tiefere Betrachtung der Chromatkonzentrationen in Grund- und Quellwässern mit hoher regionaler bzw. lokaler Auflösung durchgeführt. Als Untersuchungsgebiet wurde der Oberrheingraben gewählt. Durch eine detaillierte Betrachtung einzelner Modellgebiete, welche weitergehende Untersuchungen von Grundwassermessstellen und eine umfassende Auswertung der vorliegenden Literatur zu den geologischen Randbedingungen und zu möglichen anthropo-

genen Quellen umfasste, wurde versucht, die Ursachen der Chromatbelastungen zu identifizieren.

### Mögliche Eintragsquellen

Da sechswertiges Chrom ein natürlich vorkommender Stoff ist, kann er generell über zwei Arten in die aquatische Umwelt gelangen: über geogene Quellen wie chromhaltige Gesteine oder durch anthropogene Ursachen wie Einleitungen oder sonstige Freisetzungen bei chromverwendenden Industrien.

Hinsichtlich der geogenen Quellen weisen das Tertiär des Oberrheingrabens und des Molassebeckens sowie die Gesteine des Mittel- und Unterjura, die Gangmagmatite, die Migmatite, die Gneise und die Devon-/Karbon-Schichten hohe Chromgehalte auf. Weniger hohe, aber trotzdem erhöhte Chromgehalte liegen in Lösssedimenten, in Quartärschichten, im Keuper, im Oberen Buntsandstein und in den Sedimentschichten des Zechsteins vor [3].

Bei den möglichen anthropogenen Quellen war und ist das wichtigste Verwendungsgebiet von Chrom(VI)-Verbindungen die Galvanotechnik [4]. Ferner wurden Chrom(VI)-Verbindungen in der Vergangenheit zum Beizen und Ätzen von Metallen (metallverarbeitende Industrie) und in Holzschutzmitteln (Holz imprägnierung, Sägewerke) eingesetzt [4, 5]. Dreiwertiges Chrom wird zur Ledergerbung verwendet [5]. Freigesetztes Chrom(III) kann sich in der Umwelt in Chrom(VI) umwandeln. Zudem werden unterschiedliche Chrom-Verbindungen für die Herstellung von Farbpigmenten genutzt [6]. Darüber hinaus geht von Deponien ein Chrom-Freisetzungs-potential aus, weil beispielsweise Kernsteine von Elektro-speicher-Heizgeräten teilweise hohe Gehalte an Chromat aufweisen [7].

### Übersichtsmonitoring

Um einen Überblick über die Chromatgehalte in zur Trinkwasserversorgung genutzten Rohwässern zu erhalten, wurden bei 52 Wasserversorgern in der Oberrheinregion insgesamt 177 Wasserproben auf drei- und sechswertiges Chrom untersucht. Die Analysen erfolgten durch die Kopplung aus Ionenchromatographie (IC) und induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) [1]. Die Bestimmungsgrenze dieser Methode liegt für jede Chromspezies bei 0,02 µg/L.

Die ermittelten Konzentrationen an sechswertigem Chrom lagen in einem Bereich zwischen < 0,02 µg/L und 2,9 µg/L. Insgesamt wiesen 7 Proben Gehalte über 1 µg/L auf, was einem Anteil von 4 % entspricht. Ferner enthielten 47 Proben

bzw. 27 % Chrom(VI) in Konzentrationen > 0,3 µg/L. Diese statistische Verteilung deckt sich mit anderen in Deutschland in den letzten Jahren durchgeführten Monitoringprogrammen [1, 2].

Dreiwertiges Chrom konnte in keiner der 177 Proben in einer Konzentration oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

Bei den untersuchten Rohwässern handelt es sich im Wesentlichen mit je 48 % der untersuchten Proben um Quell- und Grundwässer. Das Ergebnis einer statistischen Auswertung der Chrom(VI)-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Art des Wassers ist in Tabelle 1 aufgeführt. Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass in Grundwässern häufiger erhöhte Chrom(VI)-Gehalte auftreten als in Quellwässern. Beispielsweise wurden bei den Grundwässern in 7 % der Proben Cr(VI)-Gehalte über 1 µg/L ermittelt, während dies bei den Quellwässern nur in 1 % der Proben der Fall war. Auch die Anteile der Proben, die Konzentrationen an Chrom(VI) über 0,5 µg/L oder 0,3 µg/L aufweisen, sind bei den Grundwässern deutlich höher.

Auf der Basis der Ergebnisse des Übersichtsmonitorings wurden insgesamt sechs Modellgebiete mit auffälligen Chromkonzentrationen ausgewählt, die detaillierter untersucht wurden. Nachfolgend sind die Untersuchungsergebnisse eines Gebietes exemplarisch dargestellt, um die Vorgehensweise im Rahmen des Vorhabens zu demonstrieren.

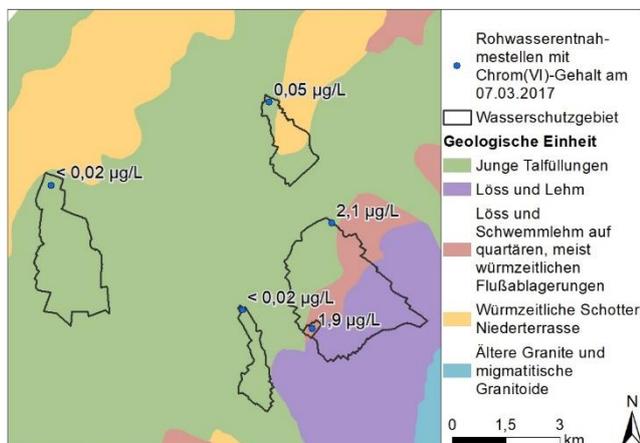
### Aufklärung möglicher Chromat-Quellen

Das betrachtete Modellgebiet befindet sich in der Rheinebene am Rand der Vorbergzone des Schwarzwaldes. Im betrachteten Gebiet wurden zunächst fünf Brunnen aus insgesamt vier Wasserschutzgebieten beprobt, die zur Trinkwasserversorgung genutzt werden. Bei der ersten Untersuchung der fünf Brunnenwässer auf ihre Chrom-Gehalte wiesen die Wässer zweier Brunnen aus einem Schutzgebiet deutlich erhöhte Cr(VI)-Konzentrationen um 2 µg/L auf, während die drei anderen Brunnenwässer sehr geringe Cr(VI)-Gehalte von < 0,02 bis 0,05 µg/L enthielten.

In Abbildung 1 sind die im Gebiet vorhandenen geologischen Einheiten sowie die bei der ersten Beprobung gemessenen Cr(VI)-Gehalte dargestellt. Wie aus der Lage der Schutzgebiete ersichtlich ist, fließt das Grundwasser in diesem Gebiet von Süd-Ost nach Nord-West.

**Tabelle 1:** Statistische Auswertung der Chrom(VI)-Konzentrationen [c] nach Wasserherkunft aus Quellen oder Brunnen

	Quellwässer		Grundwässer	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
Untersuchte Proben	86		85	
c > 1 µg/L	1	1 %	6	7 %
c > 0,5 µg/L	5	6 %	14	16 %
c > 0,3 µg/L	19	22 %	28	33 %



**Abb. 1:** Lage der Brunnen und Wasserschutzgebiete sowie geologische Einheiten

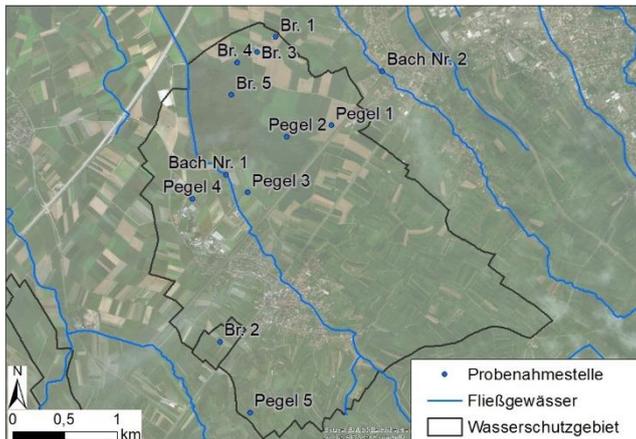
Im Gegensatz zu den drei nicht belasteten Brunnen fördern die beiden Brunnen mit erhöhten Chromatgehalten Grundwasser, das innerhalb der Schutzgebiete durch Löss und Lehm fließt.

Ferner zeichnen sich die hydrogeologischen Verhältnisse im Umfeld dieser beiden Brunnen durch einen Einfluss des Schwarzwaldmaterials (beispielsweise Granite) aus. Die Einzugsgebiete der drei anderen Brunnen, welche in der Rheintalebene liegen, werden hingegen durch einen Kiesgrundwasserleiter aus alpinem Material dominiert.

Bei dem weitergehenden Monitoring wurden mehrere Brunnen, Grundwassermessstellen und Oberflächengewässer in dem Wasserschutzgebiet um die belasteten Brunnen zu mehreren Zeitpunkten auf drei- und sechswertiges Chrom untersucht. Die Lage der untersuchten Messstellen ist in Abbildung 2 dargestellt.

Sämtliche Brunnen weisen Tiefen von ca. 40 m auf und sind ab ca. 10 m streckenweise verfiltert. Sie fördern jeweils Grundwasser aus allen in diesem Bereich verfügbaren Grundwasserleitern.

Die Messergebnisse hinsichtlich der Gehalte an sechswertigem Chrom zu einem Zeitpunkt sind in Abbildung 3 aufgeführt. Aus der Darstellung ist zu erkennen, dass innerhalb der nördlichen Brunnenreihe (Brunnen Nr. 1 und Brunnen Nr. 3 bis Nr. 5) Br. Nr. 1 mit 1,9 µg/L deutlich höhere Cr(VI)-Gehalte aufweist als die weiter südlich gelegenen Brunnen (0,9 bis 1,2 µg/L). Brunnen Nr. 2, der am südlichen Rand des Schutzgebietes liegt, weist mit 1,8 µg/L wiederum höhere Chromatgehalte auf.

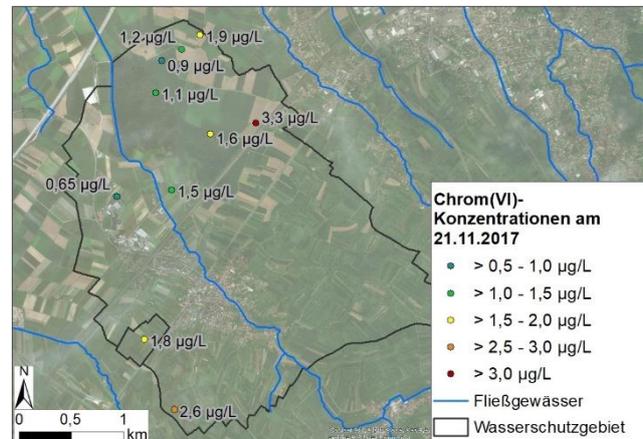


**Abb. 2:** Lage der weiteren untersuchten Probenahmestellen (Hintergrundkarte: ESRI und dessen Lizenzgeber)

Die Verdünnung durch Infiltration der Fließgewässer und Grundwasserneubildung durch Niederschlag ist eine mögliche Erklärung für die geringeren Chromatkonzentrationen in den Brunnen im Vergleich zu den oberstromig gelegenen Pegeln. Die Infiltration der Fließgewässer wurde durch mehrere hydrogeologische Gutachten in der Vergangenheit bestätigt.

Die Cr(VI)-Gehalte in den beiden Oberflächengewässern, die innerhalb des Schutzgebietes (Bach Nr. 1) bzw. nördlich davon (Bach Nr. 2) verlaufen, betragen jeweils 0,16 µg/L (einmalig beprobt). Im Vergleich zu den Grundwasserkonzentrationen sind diese Werte deutlich geringer. Eine Infiltration der Oberflächengewässer als Ursache für die erhöhten Chromatwerte ist demnach auszuschließen. In dem Wasserschutzgebiet befinden sich nach Angaben des zuständigen Landratsamtes sechs Altlasten bzw. altlastverdächtige Flächen. Vier hiervon (ein Bauunternehmen, ein Schrotthandel, eine Drahtwarenfabrikation und eine Altablagerung) befinden sich in einer Entfernung von 200 bis 300 m im Zustrom von Brunnen Nr. 5, der deutlich geringere Cr(VI)-Konzentrationen aufweist als die Brunnen Nr. 1 und Nr. 2. Deshalb ist nicht davon auszugehen, dass die Chrombelastung von diesen Altlasten verursacht wird. Ferner befindet sich im Zustrom von Brunnen Nr. 3 und Nr. 4 ein ehemaliger Lackierbetrieb, der ebenso wie der Altstandort einer Sondermüllentsorgung vom Landratsamt als B-Fall eingestuft wurde, so dass nicht von einer Freisetzung von Schadstoffen auszugehen ist. Da die Chromatkonzentrationen des Grundwassers in dem betrachteten Gebiet im Norden und im Süden erhöht sind und dazwischen deutlich niedrigere Werte

auftreten, ist zudem nicht von einer einzigen punktförmigen Quelle auszugehen.



**Abb. 3:** Chrom(VI)-Konzentrationen an einem Probenahmest datum (Hintergrundkarte: ESRI und dessen Lizenzgeber)

Daher kann für das betrachtete Modellgebiet angenommen werden, dass die erhöhten Chromatkonzentrationen im Grundwasser nicht anthropogenen, sondern mit hoher Wahrscheinlichkeit geogenen Ursprungs sind.

Die zur Trinkwassergewinnung genutzten Brunnen 1 bis 4 sind in den grundwasserführenden quartären Lockergesteinen des Oberrheingrabens bis zur Quartärbasis in ca. 40 m Tiefe abgeteuft. Die Brunnen sind in unterschiedlichen Tiefen verfiltert, so dass verschiedene Schichten des Aquifers erfasst werden. Diese weisen unterschiedlich hohe Anteile an Schwarzwaldmaterial sowie Lössenflüsse auf. Es liegt ein sehr inhomogener, anisotroper Grundwasserleiter vor, der bereits bei der Erstellung des hydrogeologischen Gutachtens zum Wasserschutzgebiet die Auswertung der Pumpversuche erschwerte. Deutlich zeigte sich jedoch eine starke unterirdische Einspeisung von Grundwasser vom nahegelegenen Gebirgsrand.

Am Gebirgsrand liegen in einigen Bereichen Gesteine vor, die dem Tertiär des Oberrheingrabens zuzurechnen sind. Nach Angaben des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) gehört das Tertiär des Oberrheingrabens zu den Gesteinen mit den höchsten durchschnittlichen Chromgehalten [3]. Mögliche geogene Chrom-Quellen könnten demnach das aufgearbeitete Oberrheintal-Tertiär an der Quartärbasis, der hydraulische Kontakt mit wasserführenden Tertiärgesteinen oder Löss, z. B. aus den Schwemmfächern der Fließgewässer, sein.

Wie in Abbildung 1 erkennbar, liegen in der Nähe des untersuchten Wasserschutzgebietes weitere Schutzgebiete. In deren Grundwasser wurden deutlich geringeren Chromgehalte ermittelt. Die Ursache hierfür liegt vermutlich in der größeren Entfernung zum Grabenrand. Das Lockermaterial des Aquifers ist hier hauptsächlich alpin, der Anteil von Schwarzwaldmaterial ist deutlich geringer. Zudem erfolgt die Anströmung

eher aus südlicher Richtung und es gibt keinen bedeutenden Zustrom vom Grabenrand.

Analog zu der Untersuchung dieses Modellgebietes wurden insgesamt sechs Einzugsgebiete betrachtet. Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann zusammengefasst werden, dass lediglich in einem Fall erhöhte Chromatgehalte im Grundwasser auf eine Altlast zurückzuführen sind, also anthropogen verursacht wurden. In allen anderen Fällen waren erhöhte Chromgehalte in Grund- und Quellwässern geogenen Ursprungs.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Förderung bei dem Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co.KG.

## Literatur

- [1] Mertineit S., Raue B., Thoma A., Sacher F. (2013) Studie zur Belastung von Trinkwasser in Deutschland mit Chromat, Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 2/02/11
- [2] Allendorf A., Huschens O., Post B., Weygand A., Riegel M., Schlitt V., Sacher F. (2016) Untersuchungen zum Vorkommen von sechswertigem Chrom und seiner Entfernung bei der Trinkwasseraufbereitung, Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 4/02/13
- [3] Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2009) LGRB-Information 24. Geogene Grundgehalte (Hintergrundwerte) in den petrogeochemischen Einheiten von Baden-Württemberg
- [4] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2004) Chrom-Verbindungen, 505
- [5] McNeill L.S., McLean J.E., Parks J.L., Edwards M.A. (2012) Hexavalent chromium review, part 2: Chemistry, occurrence, and treatment, Journal - American Water Works Association
- [6] Schliebs R. (1980) Die technische Chemie des Chroms, Chemie in unserer Zeit, 14
- [7] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2004) Elektrospeicher-Heizgeräte, 413

## Korrespondenzadresse

Dr.-Ing. Marcel Riegel  
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Karlsruhe Straße 84  
76139 Karlsruhe  
E-Mail: [marcel.riegel@tzw.de](mailto:marcel.riegel@tzw.de)  
Tel.: 0721 9678-132  
Fax: 0721 9678-109  
Web: [www.tzw.de](http://www.tzw.de)

## Quartäre Ammoniumverbindungen im Boden - Implikationen für die Entwicklung von Antibiotika-Resistenzen

Ines Mulder<sup>1</sup> ([ines.mulder@umwelt.uni-giessen.de](mailto:ines.mulder@umwelt.uni-giessen.de)), Benjamin Heyde<sup>1</sup> ([benjamin.heyde@umwelt.uni-giessen.de](mailto:benjamin.heyde@umwelt.uni-giessen.de)), Linda Bisping<sup>1,2</sup>, Stefanie P. Glaeser<sup>2</sup> ([stefanie.glaeser@umwelt.uni-giessen.de](mailto:stefanie.glaeser@umwelt.uni-giessen.de)), Valerie Sentek<sup>3</sup> ([valerie.sentek@uni-bonn.de](mailto:valerie.sentek@uni-bonn.de)), Wulf Amelung<sup>3</sup> ([wulf.amelung@uni-bonn.de](mailto:wulf.amelung@uni-bonn.de)), Kornelia Smalla<sup>4</sup> ([kornelia.smalla@julius-kuehn.de](mailto:kornelia.smalla@julius-kuehn.de)), Sven Jechalke<sup>4,5</sup> ([sven.jechalke@julius-kuehn.de](mailto:sven.jechalke@julius-kuehn.de)), Jan Siemens<sup>1</sup> ([jan.siemens@umwelt.uni-giessen.de](mailto:jan.siemens@umwelt.uni-giessen.de))

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung, iFZ, Justus-Liebig-Universität Gießen, 35239 Gießen

<sup>2</sup> Institut für Angewandte Mikrobiologie, iFZ, Justus-Liebig-Universität Gießen, 35239 Gießen

<sup>3</sup> Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn, 52115 Bonn

<sup>4</sup> Institut für Epidemiologie und Pathogeniagnostik, Julius-Kühn-Institut, 38104 Braunschweig

<sup>5</sup> Institut für Phytopathologie, iFZ, Justus-Liebig-Universität Gießen, 35392 Gießen

### Zusammenfassung

Quartäre Alkylammoniumverbindungen (QAAV) sind grenzflächenaktive, biozide „High Production Volume Chemicals“ mit breitem Anwendungsspektrum auch in der Landwirtschaft. Mit Gülle und Mist gelangen die Verbindungen in Böden. Wir fassen den Wissensstand zu Umweltkonzentrationen, -verhalten und -effekten von QAAV zusammen. Die positiv geladenen QAAVs werden hauptsächlich von Tonmineralen adsorbiert. Wir postulieren, dass QAAVs in die Zwischenschichtregionen aufweitbarer Schichtsilikate sequestriert werden können, wodurch ihre akute Toxizität gepuffert und potentiell sub-inhibitorische Konzentrationen in der Bodenlösung verursacht werden, die ausreichen, um Antibiotika-Resistenzen in der Umwelt zu selektieren. Erste Versuche zum Einfluss von Tonmineralen auf minimale Hemmkonzentration von QAAVs stützen diese Hypothese.

### Einleitung

Die Entwicklung von multi-resistenten pathogenen Bakterien stellt eine der Herausforderungen des 21. Jahrhunderts und eine potentielle Bedrohung für die Gesundheit der Menschen dar. Um die Verbreitung solcher Bakterien zu unterbinden ist eine Verringerung des Einsatzes von Antibiotika auf medizinisch notwendige Fälle erforderlich. Dies gilt insbesondere auch für die Viehhaltung, in der die Risiken der Verbreitung multi-resistenter Bakterien minimiert werden könnten, indem Antibiotika noch zielgerichteter als bislang üblich eingesetzt werden (DART 2020; European Commission 2009). Im Gesundheitswesen wie auch in der Landwirtschaft geht die Reduzierung des Antibiotikakonsums einher mit steigenden Ansprüchen an Hygienestandards. Strengere Hygienevorgaben bedeuten allerdings wiederum oft eine steigende Anwendung von Desinfektionsmitteln, die nun ihrerseits das Risiko der Entwicklung antimikrobiell-resistenter Bakterien bedingen.

Unter den am häufigsten verwendeten Desinfektionsmitteln ist die Gruppe der quartären Alkylammoniumverbindungen (QAAVs) weit verbreitet (Zhang 2015). Unter dem Begriff QAAV sind all jene Verbindungen zusammengefasst, deren vierfach substituierter kationischer Stickstoff mindestens eine Alkylkette der Kettenlänge C8-C22 trägt. Je nach Sub-

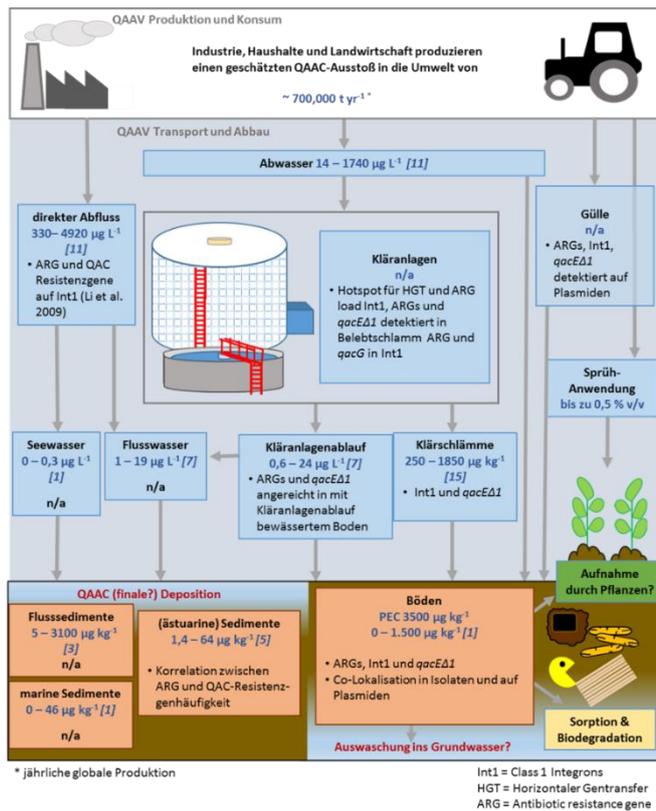
stituenten können die QAAVs ihrerseits in Benzylalkylammoniumverbindungen (BACs), Dialkyldimethylammoniumverbindungen (DADMACs) und Alkyltrimethylammoniumverbindungen (ATMACs) differenziert werden. Die Alkylketten tragen mit steigender Kettenlänge zur zunehmenden Hydrophobie der Verbindungen bei, während die permanente positive Ladung den QAAVs deren ionischen Charakter und Wasserlöslichkeit erklärt. Insgesamt sind die QAAVs also amphiphile Verbindungen, die grenzflächenaktiv sind und daher vielfach als Tensid eingesetzt werden. Wie alle Tenside bilden die QAAVs Mizellen, nachdem ihre kritische Mizellbildungskonzentration (KMK) überschritten ist, was ihre Eignung in tensidspezifischen Applikationen erklärt. Die desinfizierende Wirkung der QAAV beruht darauf, dass sich zwischen QAAV-Mizellen und Zellmembranen ein dynamische Gleichgewicht einstellen kann, das je nach QAAV-Verbindung und Konzentration zu Zell-Lysis führt (Ishiguro et al. 2007).

Im Folgenden stellen wir Ergebnisse aus Literatur und Experimenten vor, die im Rahmen der DFG-Nachwuchsakademie „Agrarökosystemforschung und Pflanzenproduktion“ gefördert wurden (Projekt MU3988/1-1). Zunächst werfen wir einen Blick auf das Vorkommen von QAAVs und Resistenzgenen gegen QAAVs in der Umwelt. Anschließend werden Sequestrierungsmechanismen in Böden basierend auf physikochemischen Eigenschaften und chemischer Struktur der QAAVs beleuchtet. Möglichen Auswirkungen der Sorption an Tonmineralen auf den Verbleib von QAAVs sowie deren mögliche Rolle in zunehmend auftauchenden Resistenzgenen in der Umwelt werden diskutiert. Für eine Zusammenfassung und Details zu analytischen Herausforderungen der QAAV-Detektion, die Effekte von QAAV auf die mikrobielle Bodengemeinschaft und die Rolle von QAACs für die Antibiotikaresistenzentwicklung sei an dieser Stelle auf unseren Review-Artikel hingewiesen (Mulder et al. 2018).

### Auftreten von QAAVs und QAAV-Resistenzgenen in der Umwelt

QAAVs sind Bestandteile vieler Desinfektionsmittel und Tenside und finden in nahezu allen Bereichen des Lebens Anwendung: im Haushalt, in der Industrie und in der Landwirtschaft. QAAVs werden beispielsweise in Weichspülern, Flächen-

desinfektions- und Reinigungsmitteln, Haarpflegemitteln und Kosmetika, als Korrosionsinhibitor, Benetzungsvermittler in Pestiziden, als Stabilisatoren in Bohrflüssigkeiten oder in Holzschutzmitteln eingesetzt, um nur einige zu nennen. Produktions- und Konsumdaten sind schwer zugänglich und über viele Quellen verteilt, aber es erscheint eine recht sichere Annahme, dass die Mengen an QAAVs, die nach ihrer Anwendung in die Umwelt gelangen, die Menge der Pharmazeutika, wie sie auch in der Umwelt nachgewiesen werden, um einige Größenordnungen übersteigt.



**Abb. 1:** Transport und Verbleib von QAAV Konzentrationen. In Blau sind jeweils QAAV-Konzentrationen als Summe aller BAC, DADMAC und ATMAC angegeben. In eckigen Klammern ist die Anzahl der Studien, auf der die Konzentrationsangaben beruhen, vermerkt. In Schwarz ist das Auftauchen von QAAV-Resistenzen benannt. Abbildung modifiziert aus Mulder et al. 2018.

Aufgrund ihrer vielfältigen Nutzung ist es keine Überraschung, dass QAAV in teilweise beachtlichen Konzentrationen in der Umwelt dokumentiert sind. Abb. 1 fasst Ergebnisse der Literaturstudie zusammen und zeigt, dass QAACs (als Summenparameter aus BACs, ATMACs und DADMACs) nahezu ubiquitär auftauchen. Dabei liegen die Konzentrationen in Sedimenten mit bis  $3100 \mu\text{g kg}^{-1}$  und in Klärschlämmen mit bis zu  $1850 \mu\text{g kg}^{-1}$  besonders hoch und deuten auf die strukturell bedingte Neigung zur Anreicherung an (negativ geladenen) Feststoffen hin. Auffälligerweise zeigt das Schaubild (Abb. 1) ebenfalls, dass für Böden lediglich eine einzige Studie zur Verfügung stand, in der der beprobte Boden zuvor mit Klärschlamm beaufschlagt wurde. Es ist anzunehmen, dass ins-

besondere landwirtschaftlich genutzte Böden, die im Sinne des Nährstoffrecycling eine organische Düngung oder eine Bewässerung mit Abwässern erfahren, einen Eintrag erhöhter Mengen an QAAV erfahren. Nichtsdestotrotz ist der Verbleib und Transport von QAAV in Böden kaum erforscht. Basierend auf Gesprächen mit Schweinezüchtern und Produktinformationen zu Desinfektionsmitteln, die vor der jeweiligen Neubelegung der Ferkelbuchten verwendet werden, ließ sich eine erwartete Umweltkonzentration nach Gülledüngung von  $3.5 \text{ mg kg Boden}^{-1}$  abschätzen. Es besteht mehr Forschungsbedarf, um die Verbreitung und Konzentrationen in landwirtschaftlich genutzten Böden festzustellen.

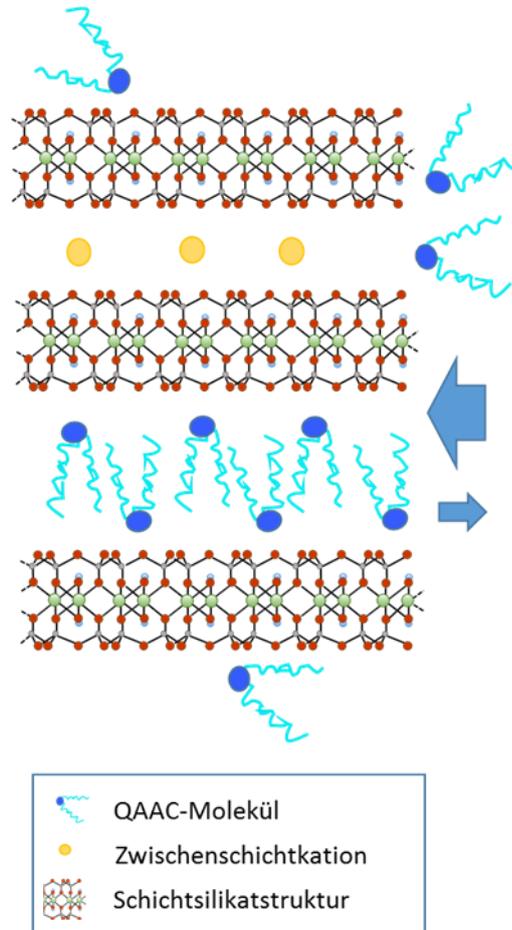
Vergleichsweise besser sieht die Datenlage zum Auftreten von qac-Resistenzgenen im Boden aus, das bereits von vier Studien dokumentiert wurde (Abb. 1). Auch in den meisten anderen Umweltkompartimenten tauchen QAAV-Resistenzen auf und häufig wurde eine Co-Lokalisation (z.B. auf Plasmiden) oder Korrelation mit Antibiotika-Resistenzgenen beobachtet. Dies ist insofern bedenklich, als sich die Frage stellt, ob nicht die Anwesenheit von QAAV die Selektion von Antibiotika-resistenzen mitverursacht.

## Persistenz von QAAV im Boden

Biodegradation beeinflusst maßgeblich die Dissipation von QAAV in der Umwelt, indem QAAV von Mikroorganismen als Kohlenstoff- und Energiequelle verwendet werden (Ivankovic and Hrenovic 2010; Jardak et al. 2016). Während unter aeroben Bedingungen ein mikrobieller Abbau bevorzugt mit abnehmender Zahl an Nicht-Methyl-Alkylgruppen am quartären Stickstoff stattfindet, so findet unter anaeroben Bedingungen kaum ein Abbau oder gar kein Abbau statt. Heterogene Testbedingungen erschweren jedoch eine Differenzierung zwischen einer Dissipation aufgrund von Sorption einerseits und der Dissipation durch biologischen Abbau andererseits (van Ginkel und Kolvenbach 1991; Tezel et al. 2006). Auf jeden Fall neigen QAAVs unter anaeroben Bedingungen dazu, in Klärschlamm und Sedimenten zu akkumulieren (García et al. 2000; Ying 2006; Zhang et al. 2011). Unter aeroben Bedingungen ist die Dissipation durch den biologischen Abbau schneller: eine enzymatische Biotransformation durch Aminoxydase wurde mit  $20 \text{ nmol mg protein}^{-1} \text{ min}^{-1}$  für BAC angegeben (Ertekin et al. 2016). QAAV-Halbwertszeiten unter aeroben Bedingungen liegen im Bereich von Stunden (Tezel et al. 2012). Allerdings kann aufgrund von Sorptionsprozessen und vermutlich der damit verbundenen schlechteren Bioverfügbarkeit selbst die aerobe Biodegradation oft nur unvollständig oder signifikant verlangsamt ablaufen (Fenger et al. 1973; Boethling 1984; Tezel et al. 2006; Hegstad et al., 2010). In Böden findet der Begriff Sequestration für all jene Prozesse Verwendung, die die Bioverfügbarkeit und -zugänglichkeit eines Stoffes minimieren; daher ist ein Verständnis der Sorptions- und Bindungsmechanismen im Boden außerordentlich wichtig.

Für QAAV ist mehr als ein Sorptionsmechanismus vorstellbar. Zunächst können QAAVs aufgrund ihres ionischen und hydro-

philen Teils, d. h. des Stickstoffkations, dem Kationenaustausch und der elektrostatischen Anziehung zu negativ geladenen Oberflächen unterliegen. Des Weiteren können QAAVs Ionenpaare mit anionischen Tensiden oder organischen Molekülen bilden. Zusätzlich fördert der Alkylketten-dominierte Molekülteil eine hydrophobe Sorption an andere hydrophobe Bereiche wie der organischen Bodensubstanz (Ren et al. 2011). Es stehen bereits einige Studien zur QAAC-Sorption an Bodenproben oder Bodenmodellsubstanzen zur Verfügung (Mulder et al. 2018). Interessanterweise konnten einige Studien zeigen, dass die QAAC-Sorption ( $K_d$ -Werte) mit sinkender Partikelgröße des Sorbenten ansteigt (Jürgensen et al. 2000; Wang und Keller 2008). Zanini et al. (2013) berechneten, dass für BAC-Einträge, die einer Konzentration in der Lösungsphase von  $<0,7 \text{ mg L}^{-1}$  entsprechen (wie in den meisten Böden zu erwarten wäre), hauptsächlich Tonminerale für die BAC-Sorption verantwortlich sind, während eine Bindung an bodenorganische Substanz erst bei höheren QAAV-Konzentrationen zu erwarten wäre. Die Beteiligung von Eisenoxiden an der Sorption von QAAVs erscheint bei typischen pH-Werten landwirtschaftlich genutzter Böden unwahrscheinlich, es fehlen dazu jedoch Studien. Auch Droge und Goss (2013) bestätigten eine wesentlich höher Sorptionsaffinität zu Tonmineralen als zu bodenorganischer Substanz. Das aufweitbare 2:1 Schichtsilikat Smektit wies eine um 1,4 log-Einheiten höhere Sorptionskapazität auf als die Tonminerale Kaolinit und Illit, d.h. die QAAV-Anreicherung in Böden könnte stark von der mineralogischen Zusammensetzung bestimmt sein. Aus der Organotonherstellung ist bekannt, dass QAAVs in den Zwischenschichten von Smektiten eingelagert und die Zwischenschichten von 1,3 nm bis auf 2,7 nm aufgeweitet werden können (de Paiva et al. 2008). Basierend auf diesen und weiteren Studien erscheint es wahrscheinlich, dass in smektitreichen Böden der Mechanismus der QAAV-Sequestration in die Zwischenschichten der Tonminerale von Bedeutung sein könnte. In Abbildung 2 ist eine solche Sorption für ein QAAV-Molekül schematisch dargestellt. Die akute Toxizität der QAAVs wäre somit gepuffert und die in Tonmineralen angereicherte QAAV-Fraktion könnte die mikrobielle Gemeinschaften von Böden über längere Zeiträume sub-inhibitorischen Konzentrationen aussetzen.



**Abb. 2:** Konzept zum Verbleib und den Effekten von QAAC im Boden. Der dicke Pfeil symbolisiert eine bevorzugte Anreicherung an 2:1 Schichtsilikaten, insbesondere in den aufweitbaren Zwischenschichten. Über diese Sequestration würde die akute Toxizität gepuffert und die Biodegradation verringert. Außerdem könnten sich über die Zeit QAAC in Böden anreichern. Der kleine Pfeil drückt aus, dass von Sorptionsplätzen oder aus den Zwischenschichten heraus beispielsweise bei Gradientenänderung Bodenorganismen über längere Zeiträume sub-inhibitorischen Konzentrationen von QAAC ausgesetzt sein könnten, was im Zusammenhang mit Resistenzgenentwicklung stehen könnte.

### Der Effekt von Tonmineralen auf die minimale Hemmkonzentration von QAAVs

Die Vorstellung der Sequestration und Pufferung von QAAVs in Tonmineralen wurde in einem Modellsystem überprüft. Ziel war es, den Einfluss von Dreischichttonmineralen auf die Toxizität von QAAVs auf ausgewählte Bakterienstämme zu untersuchen. Als Dreischichttonmineral wurde Smektit eingesetzt und als Kontrolle das Zweischichttonmineral Kaolinit verwendet. Zweischichttonmineralen wie Kaolinit fehlt das Quellvermögen und die Zwischenschicht. Zudem wurden zwei QAAV-Modellverbindungen hier für ausgewählt (Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Eigenschaften der beiden quartären Alkylammoniumverbindungen, die in der MHK-Studie verwendet wurden (SciFinder Scholar).

	BAC-C12	DADMAC-C10
<b>IUPAC-Name</b>	N-Benzyl-N,N-dimethyl-1-dodecanaminiumchlorid	N-Decyl-N,N-dimethyl-1-decanaminiumchloride
<b>Formel</b>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{N}(\text{C})(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{O}_6\text{H}_5$	$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9]_2\text{N}(\text{CH}_3)_2\text{Cl}$
<b>CAS#</b>	139-07-1	7173-51-5
<b>MW (g mol<sup>-1</sup>)</b>	339	362
<b>Smp. (°C)</b>	42	88
<b>KMK (mM)</b>	n/a	2.7 ± 0.4*

\* Marcotte et al. (2005)

Zunächst wurde die minimale Hemmkonzentration (MHK) beider Verbindungen gegenüber acht bakteriellen Teststämmen bestimmt. Bei den Teststämmen handelte es sich um Bakterien, die häufig in Gülle oder Gärresten von Biogasanlagen zu finden sind. Anschließend wurde die Verschiebung der MHK gegenüber BAC-C12 und DADMAC-C10 unter Zugabe von Smektit und Kaolinit an vier Teststämmen untersucht. Unter Zugabe von Smektit zeigten alle bakteriellen Teststämme eine deutliche Erhöhung der MHK (Tabelle 2). Unter Zugabe von Kaolinit gab es keine Verschiebung der MHK (nicht publizierte Daten). Sorptionsstudien zur bioverfügbaren QAAV-Konzentration bestätigten, dass die freie verfügbare QAAV-Konzentration im Versuch mit dem Dreischichttonmineral herabgesenkt war.

**Tabelle 2:** Minimale Hemmkonzentrationen (MHK) von BAC-C12 und DADMAC-C10 für vier verschiedene bakterielle Teststämme jeweils ohne und mit Zugabe von Tonmineral Smektit und Kaolinit. Für alle Teststämme zeigte sich nach der Zugabe von Smektit ein scheinbarer Anstieg der MHK.

Test-Bakterium	Zugabe Tonmineral	MHK	
		BAC-C12 ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	DADMAC-C10 ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )
<i>E. coli</i> ESBL 37	keine	12.5	2.5
	Smektit	25	20
	Kaolinit	< 6.25 / 12.5	2.5
<i>B15_13_1E</i>	keine	<6.25	1.25
	Smektit	25 / 12.5	10
	Kaolinit	<6.25	1.25
<i>E. coli</i> ConF4	keine	<6.25	<0.625 / 1.25
	Smektit	25 / 12.5	10
	Kaolinit	<6.25	1.25
<i>E. faecalis</i> DSM 20478 <sup>T</sup>	keine	12.5	2.5
	Smektit	25	10/20
	Kaolinit	12.5	2.5

## Schlussfolgerungen und Perspektive

Obwohl es zunehmende Anzeichen dafür gibt, dass die Anwesenheit von QAAVs zur Co-Selektion von antibiotica-resistenten Bakterien in der Umwelt beitragen könnte, sind unsere Kenntnisse von Umweltkonzentrationen, sowie unser Verständnis des Umweltverhaltens und der Effekte für Risikoabschätzungen zur Sicherung einer gesunde Umwelt unzureichend.

Um die Rolle von Tonmineralen und insbesondere der Zwischenschichtsorptions für die Sequestration und Akkumulation von QAAVs in Böden zu bewerten, sind weitere (kinetische) Studien nötig. Die Funktion von Tonmineraloberflächen als „Hot Spots“ für die Selektion von Antibiotika-resistenzen wird noch dadurch unterstützt, dass auch die mikrobielle Biomasse im Boden in der Tonfraktion angereicherter ist (Kandeler et al. 2000; Amelung et al. 2002). Zukünftige Forschungen sollten also nicht nur tatsächliche Konzentrationen der QAAVs im Boden bestimmen, sondern auch deren feinaufgelöste Verteilung in Mikroaggregaten beleuchten. Inwieweit eingetragene QAAVs als Tenside auch die Mobilität und Effekte anderer Schadstoffe beeinflussen, bleibt ebenfalls zu klären.

## Literatur

- Amelung W, Lobe I, Du Preez CC (2002) Fate of microbial residues in sandy soils of the South African Highveld as influenced by prolonged arable cropping. *Eur J Soil Sci* 53:29–35. doi: 10.1046/j.1365-2389.2002.00428.x
- Boethling R (1984) Environmental fate and toxicity in wastewater treatment of quaternary ammonium surfactants. *Water Res* 18:1061–1076. doi: 10.1016/0043-1354(84)90220-3
- Commission E (2009) Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Assessment of the antibiotic resistance effects of biocides. Available at: [http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/04\\_scenih/docs/scenih\\_o\\_021.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenih/docs/scenih_o_021.pdf).
- “DART 2020” continues the German Antibiotic Resistance Strategy. <https://www.bmel.de/EN/Animals/AnimalHealth/Texte/DART2020.html;nn=5088178>. Accessed 11 Feb 2019
- de Paiva LB, Morales AR, Valenzuela Díaz FR (2008) Organoclays: Properties, preparation and applications. *Appl Clay Sci* 42:8–24. doi: 10.1016/j.clay.2008.02.006
- Droge STJ, Goss K-U (2013) Sorption of organic cations to phyllosilicate clay minerals: CEC-normalization, salt dependency, and the role of electrostatic and hydrophobic effects. *Environ Sci Technol* 47:14224–14232. doi: 10.1021/es403187w
- Ertekin E, Hatt JK, Konstantinidis KT, Tezel U (2016) Similar microbial consortia and genes are involved in the biodegradation of benzalkonium chlorides in different environments. *Environ Sci Technol* 50:4304–4313.

- Fenger BH, Mandrup M, Rohde G, Kjær Sørensen JC (1973) Degradation of a cationic surfactant in activated sludge pilot plants. *Water Res* 7:1195–1208. doi: 10.1016/0043-1354(73)90072-9
- Garcia M, Ribosa I, Guindulain T, et al (2001) Fate and effect of monoalkyl quaternary ammonium surfactants in the aquatic environment. *Environ Pollut* 111:169–175. doi: 10.1016/S0269-7491(99)00322-X
- Hegstad K, Langsrud S, Lunestad BT, et al (2010) Does the wide use of quaternary ammonium compounds enhance the selection and spread of antimicrobial resistance and thus threaten our health? *Microb Drug Resist* 16:91–104.
- Ishiguro M, Tan W, Koopal LK (2007) Binding of cationic surfactants to humic substances. *Colloids Surf Physicochem Eng Asp* 306:29–39. doi: 10.1016/j.colsurfa.2006.12.024
- Ivankovic T, Hrenovic J (2010) Surfactants in the environment. *Arh ZA Hig RADA Toksikol-Arch Ind Hyg Toxicol* 61:95–110. doi: 10.2478/10004-1254-61-2010-1943
- Jardak K, Drogui P, Daghrir R (2016) Surfactants in aquatic and terrestrial environment: occurrence, behavior, and treatment processes. *Environ Sci Pollut Res Int* 23:3195–3216. doi: 10.1007/s11356-015-5803-x
- Juergensen L, Busnarda J, Caux P-Y, Kent RA (2000) Fate, behavior, and aquatic toxicity of the fungicide DDAC in the Canadian environment. *Environ Toxicol* 15:174–200. doi: 10.1002/1522-7278(2000)15:3<174::AID-TOX4>3.0.CO;2-P
- Kandeler E, Tschirko D, Bruce KD, et al (2000) Structure and function of the soil microbial community in microhabitats of a heavy metal polluted soil. *Biol Fertil Soils* 32:390–400. doi: 10.1007/s003740000268
- Mulder I, Siemens J, Sentek V, et al (2018) Quaternary ammonium compounds in soil: implications for antibiotic resistance development. *Rev Environ Sci Biotechnol* 17:159–185. doi: 10.1007/s11157-017-9457-7
- Ren R, Li K, Zhang C, et al (2011) Biosorption of tetradecyl benzyl dimethyl ammonium chloride on activated sludge: kinetic, thermodynamic and reaction mechanisms. *Biores Technol* 102:3799–3804. doi: 10.1016/j.biortech.2010.12.032
- Tezel U, Pierson JA, Pavlostathis SG (2006) Fate and effect of quaternary ammonium compounds on a mixed methanogenic culture. *Water Res* 40:3660–3668. doi: 10.1016/j.watres.2006.06.019
- Tezel U, Tandukar M, Martinez RJ, et al (2012) Aerobic biotransformation of n-tetradecylbenzyltrimethylammonium chloride by an enriched pseudomonas spp. community. *Environ Sci Technol* 46:8714–8722.
- van Ginkel CG, Kolvenbach M (1991) Relations between the structure of quaternary alkyl ammonium salts and their biodegradability. *Chemosphere* 23:281–289. doi: 10.1016/0045-6535(91)90184-F
- Wang P, Keller AA (2008) Partitioning of hydrophobic organic compounds within soil-water-surfactant systems. *Water Res* 42:2093–2101. doi: 10.1016/j.watres.2007.11.015
- Ying G-G (2006) Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *Environ Int* 32:417–431. doi: 10.1016/j.envint.2005.07.004
- Zanini GP, Ovesen RG, Hansen HCB, Strobel BW (2013) Adsorption of the disinfectant benzalkonium chloride on montmorillonite. Synergistic effect in mixture of molecules with different chain lengths. *J Environ Manage* 128:100–105. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.04.056
- Zhang C, Cui F, Zeng G, et al (2015) Quaternary ammonium compounds (QACs): A review on occurrence, fate and toxicity in the environment. *Sci Total Environ* 518–519:352–362. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.007
- Zhang C, Tezel U, Li K, et al (2011) Evaluation and modeling of benzalkonium chloride inhibition and biodegradation in activated sludge. *Water Res* 45:1238–1246. doi: 10.1016/j.watres.2010.09.037

## Korrespondenzadresse

Dr. Ines Mulder  
 Justus Liebig University Gießen  
 Forschungszentrum  
 Research Centre for Biosystems, Land Use and Nutrition (IFZ)  
 Institute of Soil Science and Soil Conservation  
 Heinrich-Buff-Ring 26-32  
 35392 Giessen, Germany  
 Fon: +49-(0)641-99-37103  
 Fax: +49-(0)641-99-37109

## Neuer Fachgruppenvorstand für die Amtsperiode vom 1.01.2019 bis zum 31.12.2022 gewählt

Die Mitglieder der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie haben Ende des vergangenen Jahres mit einer Beteiligung von 24,1% folgende Kandidatinnen und Kandidaten in den Vorstand der Fachgruppe für die neue Amtsperiode gewählt:

Dr. Stefan Hahn, Hannover  
Prof. Dr. Jan Schwarzbauer, Aachen  
Dr. Markus Telscher, Monheim  
Dr. Stefanie Wieck, Dessau-Roßlau  
Prof. Dr. Christiane Zarfl, Tübingen

Der/Die Vorsitzende und der/die Stellvertreter/in werden bei der konstituierenden Sitzung gewählt.

---

## AK Umweltmonitoring: Jahresrückblick 2018

Der Arbeitskreis Umweltmonitoring wird gemeinschaftlich von Heinz Rüdel (Fraunhofer IME), Jan Schwarzbauer (RWTH Aachen) und Winfried Schröder (Uni Vechta) geleitet. Im Jahr 2018 trafen sich die Mitglieder des AK zu einer Sitzung, auf der Kollegen von UBA, Ufz, TZW Karlsruhe, TU München und LfU Bayern das Thema „Persistente, Mobile und Toxische Stoffe“ aus verschiedenen Blickwinkeln vorgestellt haben. An der Sitzung, die im Umweltbundesamt in Berlin stattfand, nahmen ca. 20 AK-Mitglieder und Gäste teil. Ein Protokoll der Sitzung ist auf Anfrage erhältlich. Die nächste Sitzung ist für Frühjahr 2019 geplant. Weitere Informationen zum AK Umweltmonitoring stellt die AK-Leitung gerne zur Verfügung.

### Kontakt:

Dr. Heinz Rüdel  
Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME)  
Abteilung Umweltprobenbank und Elementanalytik  
Auf dem Aberg 1  
57392 Schmallenberg  
E-Mail: [heinz.ruedel@ime.fraunhofer.de](mailto:heinz.ruedel@ime.fraunhofer.de)  
Tel. +49 (0) 2972 302 301 Fax +49 (0) 2972 302 319

## Frau Dr. Schwarz-Schulze in den Ruhestand eingetreten

Frau Dr. Beatrice Schwarz-Schulze vom Umweltbundesamt (UBA) in Dessau ist zum Jahresende 2018 in den wohlverdienten Ruhestand eingetreten. Frau Schwarz-Schulze hat an der Humboldt Universität Berlin Chemie studiert und dort 1982 promoviert. Ihre wissenschaftliche Karriere setzte sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Uni Bayreuth und an der TU Berlin fort, bis sie 1991 eine Stelle am Umweltbundesamt im Fachgebiet "Alte Stoffe" antrat. Das Thema Umweltbewertung und Risikomanagement von Altstoffen - diese waren bis zur Implementierung von „REACH“ nicht wirklich reguliert - bearbeitete sie dort mit großem Engagement, bis sie von 2004 bis 2007 das Chemikalienteam im Joint Research Center der EU-Kommission in Ispra, Italien, verstärkte. 2008 kehrte sie an das UBA zurück und leitete seitdem im Fachgebiet Biozide das Sachgebiet Ökotoxikologie, Bioakkumulation, Gesamtbewertung Hygiene und Schädlingsbekämpfungsmittel.

Frau Schwarz-Schulze hat sich immer mit großer Fachkompetenz und großem Engagement für eine zielführende und sachgerechte Umweltprüfung und entsprechendes Risikomanagement von Chemikalien und Biozidprodukten eingesetzt. Sie ist hervorragend mit Fachleuten und Kooperationspartnern aus anderen Behörden, Verbänden und wissenschaftlichen Einrichtungen national und auf EU-Ebene vernetzt, was in vielen Fällen bei fachlichen Fragen auch für andere Kollegen von großem Vorteil war.

Auch in der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie war Frau Schwarz-Schulze engagiert tätig; von 2007 bis 2010 war sie Mitglied im Vorstand der Fachgruppe. Der Vorstand der GDCh Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie dankt Frau Schwarz-Schulze für ihre langjährige Mitwirkung und ihre wichtigen Beiträge für die Fachgruppen-Arbeit und wünscht ihr für den Eintritt in den neuen Lebensabschnitt herzlich alles Gute!

Der Vorstand der FG und Andreas Schäffer



## **Juniorprofessur für Umweltsystemanalyse, Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Eberhard Karls Universität Tübingen** **Prof. Dr. Christiane Zarfl**

### **Werdegang**

Schon früh in ihrem Studium der Angewandten Systemwissenschaft in Osnabrück entdeckte Christiane Zarfl ihre Begeisterung für die Welt der Wissenschaft: Als studentische Hilfskraft am Institut für Umweltsystemforschung (USF) unterstützte sie Forschungsprojekte zur Modellierung des Umweltverhaltens von organischen Schadstoffen in Flüssen und wendete dieses Wissen auch während eines dreimonatigen Projekts an der Eawag in Dübendorf, Schweiz, an, um die Ausbreitung von Pharmazeutika im Einzugsgebiet der Glatt zu untersuchen. Für ihre im Jahr 2005 abgeschlossene Diplomarbeit zur Modellierung von Arsen im Fließgewässer erhielt sie 2006 den Universitätspreis des Rotary Club für innovativen Umweltschutz. Mit ihrer Doktorarbeit am USF wechselte Christiane Zarfl dann das Kompartiment und entwickelte im Rahmen einer DFG-Forschungsgruppe zu Veterinärantibiotika in Böden mathematische Modelle, die neben dem Umweltverhalten auch die Aufnahme der Antibiotika in Mikroorganismen beschreiben und damit Effekte erklären können. Ihre dreijährige Tätigkeit als wissenschaftliche Referentin am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei in Berlin führte sie zurück zu den Fließgewässern. Neben dem Sammeln von Erfahrungen im Wissenschaftsmanagement und zur europäischen Forschungspolitik während eines einmonatigen Aufenthalts im Leibniz-Büro in Brüssel beschäftigten Christiane Zarfl weiterhin Forschungsfragen zur Gewässerqualität – ein Thema, das sie auch seit ihrem Ruf 2014 auf die Juniorprofessur für Umweltsystemanalyse in Tübingen vorantreibt.

### **Forschungsausrichtung**

Der Schwerpunkt der Forschung in der Arbeitsgruppe Umweltsystemanalyse liegt auf der modellgestützten Analyse von Umweltprozessen, vor allem in Hinblick auf anthropogene Einflüsse auf Gewässerökosysteme und Wasserqualität. Die Umwelt ist mit einer Reihe anthropogener Beeinflussungen wie Klimawandel, Umweltverschmutzung, Lebensraumverschlechterung, Verlust der biologischen Vielfalt, Erschöpfung der natürlichen Ressourcen und vielem mehr konfrontiert. Kontinuierlich werden Chemikalien entweder zweckgebunden wie bei Pestiziden oder Düngemitteln, als "Nebenwirkungen" (z.B. bei Produktionsprozessen) oder aus Gedankenlosigkeit in die Umwelt abgegeben. Mit der Zunahme der Weltbevölkerung und dem Wirtschaftswachstum kann auch ein Anstieg der Emissionen von Abfällen und Chemikalien einhergehen. Daher ist die Reduzierung der Emissionen und des damit verbundenen Risikos der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit und der Umwelt eines der wichtigsten globalen

Ziele. Die Forschungsgruppe möchte dazu beitragen, Lösungen für diese globalen Herausforderungen zu finden, indem sie zum Verständnis der grundlegenden physikalischen und biogeochemischen Prozesse und zugrundeliegenden Mechanismen beiträgt. Dazu verknüpft Christiane Zarfl mathematische Prozessmodelle mit empirischen und experimentellen Daten, um einerseits Grundlagenwissen zu schaffen, andererseits aber auch die Grundlage für Risikoabschätzungen zu liefern. Aktuelle Projekte konzentrieren sich z.B. im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Campos – Catchments as Reactors“ unter Federführung von Peter Grathwohl auf den Verbleib und die Umsetzung organischer Mikroschadstoffe im Fließgewässer auf Einzugsgebietsskala. In Kooperation mit ihren Kollegen zur chemischen Analytik und Bioanalytik werden hydrologische und biogeochemische Daten in umfassenden Feldstudien erhoben, um Transport- und Transformationsprozesse von organischen Schadstoffen zu analysieren. Dazu werden in der Arbeitsgruppe mathematische Modelle (weiter-)entwickelt, die die identifizierten Prozesse abbilden und damit deren Quantifizierung aus den erhobenen Daten unterstützen können. Hierbei helfen Christiane Zarfl auch ihre Projekte, in denen sie auf Laborskala die Bedeutung von Partikeln für den Schadstofftransport untersucht. Besondere Aufmerksamkeit erhalten dabei die Studien zur Sorption von Schadstoffen an Mikroplastikpartikel und zur Änderung der Schadstoffeffekte in Kombination mit Mikroplastikpartikeln auf Süßwasserorganismen und Mikroorganismengemeinschaften. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen lassen sich auch auf natürliche Partikel übertragen und spielen daher generell für den Verbleib und die Auswirkungen von Schadstoffen in der Umwelt eine Rolle.

### **Lehre**

Die Professur ist in den Bachelorstudiengängen „Geoökologie“, „Geowissenschaften“ und „Umweltnaturwissenschaften“ sowie im internationalen Masterstudiengang „Applied Environmental Geoscience“ verankert. Zum Beispiel werden in der Bachelor-Veranstaltung „Systemanalyse“ die wissenschaftlichen Methoden zur Analyse und zum Verständnis komplexer Umweltsysteme vermittelt. Anhand spezifischer Ziele oder Forschungsfragen lernen die Studierenden, Systemelemente, Interaktionen und Grenzen zu identifizieren, Prozesse in mathematische/quantitative Beschreibungen zu übersetzen und diese mathematischen Modelle in ihrer Dynamik, aber auch im Hinblick auf Unsicherheiten und Sensitivität zu untersuchen. Auch wenn die Beispiele hauptsächlich aus dem Bereich der Geo- und Umweltwissenschaften gewählt sind, wird die universelle Anwendbarkeit der methodischen Konzepte auf ver-

schiedene Systeme verdeutlicht. In der Master-Veranstaltung „Aquatic and Environmental Chemistry“ liegt der Schwerpunkt auf der Umweltchemie und umfasst Themen wie die Verteilung der Schadstoffe in der Umwelt, Sorptionsverhalten von unpolaren und polaren Verbindungen, Diffusion und Transport von Schadstoffen in verschiedenen Medien und Bioakkumulation. Neben dem Verständnis der Prozesse werden Kenntnisse zu experimentellen Methoden und mathematischen Analysen vermittelt. Darüber hinaus werden die Studierenden sowohl aus dem Bachelor als auch aus dem Masterbereich bereits möglichst früh in Forschungsprojekte im Rahmen von Studienprojekten oder als studentische Hilfskräfte eingebunden.

### Gremien

Christiane Zarfl ist seit 2014 Co-Sprecherin der Plattform Umweltsystemanalytik, gefördert durch die Exzellenzinitiative an der Universität Tübingen. Diese Plattform ist eine interdisziplinäre Forschungsplattform, die die unterschiedlichen Forschungsbereiche an der Universität vernetzt, auf gesellschaftlich relevante Fragestellungen ausgerichtet ist und als Ansprechpartner für Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik fungiert. Christiane Zarfl ist seit 2016 außerdem im erweiterten Beirat des Netzwerks Wasserforschung Baden-Württemberg tätig.

### Kontakt

Prof. Dr. Christiane Zarfl  
Juniorprofessorin für Umweltsystemanalyse  
Zentrum für Angewandte Geowissenschaften  
Eberhard Karls Universität Tübingen  
Hölderlinstr. 12  
D-72074 Tübingen  
Telefon: +49 (0) 7071 29 76076  
E-Mail: [christiane.zarfl@uni-tuebingen.de](mailto:christiane.zarfl@uni-tuebingen.de)  
Homepage:  
<https://uni-tuebingen.de/en/faculties/faculty-of-science/departments/geosciences/work-groups-contacts/applied-geoscience/center-for-applied-geoscience-zag/umweltsystemanalyse>

## Arbeitsgruppe 'Organische Umweltgeochemie' am Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle, RWTH Aachen University



Die Arbeitsgruppe *Organische Umweltgeochemie* ist am Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle an der RWTH Aachen University angesiedelt. Seit 1998 arbeitet die Arbeitsgruppe an der Erfassung der anthropogenen stofflichen Einflüsse in Oberflächen- und Grundwässern sowie Bodensystemen. Im Vordergrund der Aktivitäten stehen die organischen Schadstoffe, ihre Quellen und Verteilungswege sowie die wesentlichen Akkumulationspunkte in den unterschiedlichen Ökosystemen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf einer möglichst nichtdiskriminierenden Erfassung der Schadstoffe. Daher sind wesentlicher Bestandteil der Forschungstätigkeiten die Strukturaufklärung bislang unbekannter Kontaminanten, die Anwendung von umfassenden non target-screening Ansätzen auf GC/MS-Basis, die umweltchemische Charakterisierung von gebundenen Rückständen, sowie die qualitative und quantitative Analyse von synthetischen Polymeren.

Innerhalb der RWTH besteht eine enge Kooperation mit den Kollegen der anorganischen Umweltanalytik und Geochemie. Ebenso besteht eine intensive Zusammenarbeit mit den Bereichen Hydrogeologie, Georisiken, Ökotoxikologie und Chemodynamik, Wasserbau, sowie physische Geographie.

Als Bestandteil eines Hochschulinstituts sind die Forschungstätigkeiten der Arbeitsgruppe hauptsächlich in Abschlussarbeiten (Master- und Bachelorarbeiten) sowie Promotionen eingebettet. Dabei arbeiten wissenschaftliche Mitarbeiter aus den Disziplinen Geowissenschaften und Chemie eng miteinander zusammen. Alle Forschungsprojekte sind Drittmittel-finanziert und hauptsächlich durch die DFG und das BMBF gefördert. In geringerem Umfang gibt es auch Projekte mit Förderung durch Bundesämter, Landesministerien oder kommunale Wasserversorger.

Die Arbeitsgruppe ist natürlich auch intensiv in der Lehre, hier mit den Themen Umweltgeochemie und Geochemische Analyseverfahren, engagiert. Neben Vorlesungen und Tutorien werden Laborpraktika in den BSc- und MSc-Studiengängen 'Angewandte Geowissenschaften', 'Georessourcenmanagement' sowie 'Umweltingenieurwesen' angeboten

(Informationen zu den Studiengängen: [http://www.fb5.rwth-aachen.de/cms/Georessourcen/Studium/Studiengaenge/~cgf\\_u/Liste-der-Studiengaenge/](http://www.fb5.rwth-aachen.de/cms/Georessourcen/Studium/Studiengaenge/~cgf_u/Liste-der-Studiengaenge/)).

Zudem stellt die Arbeitsgruppe zurzeit auch den Studiendekan der Fakultät.

## Labor für organisch-geochemische Analytik

Wesentliche Ressource der Arbeitsgruppe ist das Labor für organisch-geochemische Analytik, kurz LOGA. Zusammen mit dem Labor für Geochemie und Umweltanalytik bildet das LOGA den Laborverbund Umweltgeochemie Aachen, in dem die umweltgeochemisch-analytischen Kompetenzen der Fachgruppe Geowissenschaften und Geographie an der RWTH Aachen gebündelt werden. Die Aufgaben des Laborverbundes umfassen (i) die gemeinsame Bearbeitung von umweltgeochemischen Forschungsprojekten mit Schwerpunkten im Bereich der Böden, Grund- und Oberflächengewässer, (ii) die Bereitstellung und Entwicklung eines breiten Spektrums umweltanalytischer Methoden zur Durchführung von Forschungsprojekten innerhalb und außerhalb der Fachgruppe Geowissenschaften sowie (iii) der Betreuung eines umfassenden Angebots moderner analytischer Großgeräte für eine qualifizierte, den Anforderungen des Arbeitsmarktes entsprechende Ausbildung in den geowissenschaftlichen Studiengängen.

Dabei umfasst die apparative Ausstattung des Labors für organisch-geochemische Analytik verschiedene GC/MS-Systeme mit Ionenfallen- und Quadrupoltechnik, einer hochauflösenden GC-LC/MS Kombination, sowie eine LC/MS-Kopplung. Weiterhin können komponentenspezifische Isotopenanalysen an einem GC/irmMS-System durchgeführt werden. Für die Analytik polymerer Kontaminanten stehen einerseits verschiedene Pyrolyse-GC/MS-Kopplungen und ein offline Pyrolyse-System, andererseits ein  $\mu$ FTIR-Gerät zur Verfügung.

## Ausgewählte Forschungsprojekte

*Der 2011'er Tōhoku-Oki Tsunami, Japan (laufendes DFG-Projekt)*

Im März 2011 traf der Tōhoku-oki Tsunami die Ostküste Japans mit einer Flutwelle von bis zu 10m Höhe, die bis 4.5km landeinwärts für immense Zerstörung gesorgt hat. Dabei wurden neben der nuklearen Belastung aus der Fukushima Katastrophe insbesondere auch eine große Menge an Schadstoffen freigesetzt. Ein DFG-gefördertes Projekt soll aufzeigen, inwiefern organische Kontaminanten als Indikatoren zur Erfassung des Ausmaßes und der Verteilung von Tsunami-induzierten Belastungen geeignet sind. In diesem Projekt arbeiten Sedimentologen, Umweltchemiker und Tsunami-Forscher eng zusammen

*Anthropogene Einflüsse auf fluviale Morphodynamik und Schadstoffausbreitung in kleinen Flusseinzugsgebieten am Beispiel der Wurm (abgeschlossenes DFG-Projekt)*

Im Fokus dieses Projektes stand die Quantifizierung des anthropogenen Einflusses auf die fluviale Morphodynamik und dessen Konsequenzen für die Schadstoffverbreitung in einem ausgewählten kleinen Einzugsgebiet, dem Fluss Wurm. Dabei wurde der anthropogene Einfluss in Form von bergbaulich induzierten Schadstoffkontaminationen und Subsidenzen sowie die anthropogenen Veränderungen durch die Errichtung und den Rückbau von Querbauwerken und Flusslaufbegrädiungen betrachtet. Weiterführend wurde eine Rekonstruktion der Belastungshistorie in ihrer historischen als auch räumlichen Ausprägung erstellt. Es konnte deutlich aufgezeigt werden, dass die Schadstoffverbreitung in Flusseinzugsgebieten eine Funktion der gewässermorphologischen Entwicklung ist.

*Erfassung der chemischen Kontamination in einem durch Aquakulturabwässer beeinflussten Küstenökosystem als Basis für die Effektbewertung (abgeschlossenes BMBF-Projekt im Rahmen des Verbundvorhabens ECOLOC)*

Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen war eine umfassende Bewertung des Vorkommens organischer Schadstoffe in den Küstengewässern Hainans und der Rolle der verschiedenen Eintragsquellen dieser Schadstoffe in den küstennahen Ökosystemen. Darüber hinaus wurde bewertend abgeschätzt, ob von den Kontaminationen eine Gefährdung für aquatische Organismen ausgeht. Dazu wurden nicht nur ausgewählte prioritäre Schadstoffe (z.B. Antibiotika) sondern auch wenig bekannte aber ökotoxikologisch relevante Kontaminanten wie z.B. Tetraphenylzinn oder Griseofulvin identifiziert und quantitativ verfolgt.

*Quellen und Risiken der organischen und anorganischen Schadstoffbelastung von Fischen und benthischen Organismen aus der Bucht von Jakarta (abgeschlossenes BMBF-Projekt im Rahmen des Verbundvorhabens SPICE 3)*

Für Indonesien bildet Nahrung aus dem Meer nicht nur eine essentielle Versorgungsgrundlage, sondern auch eine wichtige ökonomische Ressource. Im Spannungsfeld von anthropogener Nutzung und korrespondierender Kontamination mit der Notwendigkeit einer sauberen aquatischen Umwelt für den Fischfang nimmt die stoffliche Verschmutzung von Küstenbereichen und ihren Ökosystemen eine zentrale umweltrelevante Rolle ein. Dies gilt ganz besonders für die Bucht von Jakarta. Im Rahmen dieses BMBF-geförderten Projekts wurde daher in einem 'source-to-cell'-Ansatz der Verschmutzungszustand der Bucht von Jakarta insbesondere im Hinblick auf die Relevanz für die marinen Nahrungsmittelressourcen erfasst. Dazu wurden die Umweltpfade wichtiger organischer und anorganischer Schadstoffe von den Emissionsquellen über die Anreicherung in marinen Organismen bis hin zum menschlichen Verzehr quantitativ verfolgt.

## Kontaktadresse

Prof. Dr. Jan Schwarzbauer

Labor für organisch-geochemische Analytik

Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle

Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik  
RWTH Aachen University, Lochnerstrasse 4-20,  
52064 Aachen

Tel: +49 241 80 95750/ Fax: +49 241 80 695750

E-Mail: [jan.schwarzbauer@emr.rwth-aachen.de](mailto:jan.schwarzbauer@emr.rwth-aachen.de)

## Veranstaltungsankündigungen

### Plastik in der Umwelt – Statuskonferenz, 9.-10.04.2019, Berlin

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung



Quellen • Senken • Lösungsansätze

Die Belastung durch Plastik in der Umwelt nimmt stetig zu und erhält zunehmend auch öffentliche Aufmerksamkeit. Mit dem BMBF-Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“ soll dem immer noch lückenhaften Kenntnisstand entgegengewirkt werden.

Die insgesamt 20 Forschungsprojekte mit mehr als 100 beteiligten Institutionen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis befassen sich dabei mit ganz unterschiedlichen Aspekten der Problematik Plastikmüll und möglichen Quellen, Senken und Wirkungen von Plastik in unserer Umwelt. Das Spektrum reicht dabei von grundlegender Forschung zum Auffinden und Analysieren von Plastikpartikeln bis hin zu Konsum- und Verbraucherverhalten, Verantwortung der Industrie, Vermeidung von Plastikmüll und anderen Lösungsansätzen, die gesellschaftlich relevant sind.

Auf der **Statuskonferenz** des Forschungsschwerpunkts "Plastik in der Umwelt – Quellen • Senken • Lösungsansätze" am **9. und 10. April 2019** werden erste Ergebnisse aus den Verbundprojekten präsentiert.

Weitere Informationen:

<https://bmbf-plastik.de/veranstaltung/statuskonferenz2019>



### Gordon Research Seminar and Conference on Environmental Nanotechnology,

**1.-2. & 2.-7.06.2019, Newry, ME, US**

The Gordon Research Seminar on Environmental Nanotechnology is a unique forum for graduate students, post-docs, and other scientists with comparable levels of experience and education to present and exchange new data and cutting edge ideas.

The 2019 meeting will host three engaging science sessions, featuring talks from submitted student and post-doc abstracts. Topics include 1) the design and use of nanomaterials for environmental applications, 2) novel methodologies enabling the study of the potential negative impacts of nano-enabled products, and 3) public policy and educational outreach as they apply to the sustainable use of nanotechnology. An important goal of the 2019 meeting is to inspire attendees to consider the broader context of their research efforts.

The goals of the 2019 Environmental Nanotechnology Gordon Conference are to highlight the potential environmental benefits of nanoscale materials and technologies while managing potential risk of implementation. There still exists a number of important unresolved questions concerning the potential environmental and health impacts of the use and production of these materials. This 5th GRC on environmental nanotechnology will focus on the development of nanotechnology to minimize environmental impacts as well as the potential of nanotechnology to solve critical environmental problems in energy, agriculture, food, and health that can have positive environmental impact. The conference will focus on topics such as in-situ measurement(s) of nanomaterials in complex matrices, cutting-edge research to determine the molecular interactions of these materials with biological entities and model these interactions. In addition, the meeting will discuss nanomaterials that may provide new solutions to pressing environmental problems – especially those associated with the food-water-energy nexus. These include nanotechnology-based sensors for humidity, nutrients, water quality, and biological and chemical contamination as well as biosensors for pathogens, nanotechnology enabled agricultural plant-based products, and nanomaterials for remediation of contaminants in water, soil, and air.

Additional information: <https://www.grc.org/environmental-nanotechnology-conference/2019/>



### The PFAS Management, Mitigation, and Remediation Conference, 19.-20.06. 2019, Westerville, Ohio, US

This NGWA conference focuses on approaches for the management, mitigation, and remediation of sites contaminated with per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).

PFAS is a unique class of emerging contaminants widespread in groundwater, surface water, sediment, soil, and air. Due to their human health and environmental effects, an increasing number of PFAS are becoming the focus of environmental

protection agencies worldwide. The chemistry and environmental behavior of PFAS, as well as regulatory and toxicological evolution, create significant challenges for project planning, risk communication, and programmatic management. This conference is intended to provide an opportunity to share lessons learned and present state-of-the-practice in scientific and management approaches to addressing this high-profile issue.

Conference' homepage:

<https://www.ngwa.org/detail/event/2019/06/19/default-calendar/5010jun19>

## **Gordon Research Conference: Atmospheric Chemistry - New Science in Air Quality and Climate, 28.07.- 2.08.2019, Newry, ME, US**

In the 40 years since the Charney Report to the National Academy of Sciences, Atmospheric Chemistry has progressed from isolated and largely disconnected research communities to an interconnected whole. During that time, advances in instrumentation have repeatedly led to revolutionary advances in our understanding. Forty years ago, there were separate disciplines of global atmospheric chemistry (exemplified by the ground-breaking publication of Logan et al 3 years after the Charney Report); local air pollution and air-quality engineering focused on photochemical smog; and climate science. Now we understand the connections between all of these, with the global role of air pollution, especially fine particles, driven by progressive oxidation chemistry associated with global atmospheric chemistry leading directly to the leading climate uncertainties of forcing associated with light scattering by particles and clouds.

In both computational and observational atmospheric science, resolution is a critical but still poorly understood parameter. Human exposure to air pollution varies over scales of 100 m or less, and key length scales in clouds are equally small, yet transport and chemistry occurs on a global scale as well. Our ability to observe and simulate dynamics, composition and chemistry over this wide range of scales is growing rapidly. Likewise, we are gaining a progressively more refined view of the relationships between gas- and condensed-phase atmospheric constituents, and how that cocktail may influence human health, particle formation, and climate. The connections between those areas, recent advances in each, and remaining key unknowns form the core of this meeting.

Conference' homepage:

<https://www.grc.org/atmospheric-chemistry-conference/2019/>



## **IPTC 2019 - 12th International Particle Toxicology Conference, 11.-13.09. 2019, Salzburg**

The IPTC series of conferences brings together experts on particle toxicology.

The audience is worldwide and all types of particles are considered. The conference covers basic research issues, but has a strong focus on applications of particle toxicology, which are in work place safety, environmental safety, consumer safety, medical and diagnostic developments and other fields. A focus of the Salzburg meeting will be the challenges to translate knowledge derived from particle safety research into regulation and legislation, which is now a main issue in the field. The first IPTC in Austria will contribute to developing solutions for the benefit of workers, consumers, patients and environment. A young scientist forum (YSF) for PhD students will precede the IPTC.

Conference' homepage: <http://iptc2019.eu/>

## **13. Langenauer Wasserforum, 11.-12.11.2019, 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 Hersteller bieten und den Erfahrungsaustausch fördern. Das

LWF wird von der Landeswasserversorgung (LW) alle zwei Jahre veranstaltet.

Den Kern des 13. Langenauer Wasserforum bildet ein Vortrags- und Diskussionsprogramm mit Postern und Kurzvorträgen zu den Themenschwerpunkten:

- Neue Anwendungen der Chromatographie und Massenspektrometrie
- Polare Spurenstoffe und Mikroplastik im Kontext der Trinkwasseraufbereitung
- Moderne mikrobiologische und molekularbiologische Methoden
- Datenauswertung, Prozessbeschreibung, Bewertung

Weitere Informationen: [www.lw-online.de](http://www.lw-online.de)

## Kurznachrichten

### UBA-Hintergrunddokument: Luftqualität 2018 Vorläufige Auswertung

Diese Auswertung der Luftqualität im Jahr 2018 in Deutschland basiert auf vorläufigen, noch nicht abschließend geprüften Daten aus den Luftmessnetzen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes, Stand Januar 2019. Aufgrund der umfangreichen Qualitätssicherung in den Messnetzen stehen die endgültigen Daten erst Mitte 2019 zur Verfügung. Die jetzt vorliegenden Daten lassen aber eine generelle Einschätzung des vergangenen Jahres zu. Betrachtet werden die Schadstoffe Feinstaub (PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) sowie Ozon (O<sub>3</sub>), da bei diesen nach wie vor Überschreitungen der geltenden Grenz- und Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit auftreten.

Download:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2018>

### Studie des MPI für Chemie Mainz: Massentierhaltung Hauptverursacher für Feinstaub

Einer Untersuchung zufolge verursacht Feinstaub offenbar mehr Todesfälle als bisher angenommen. Wie das ARD-Magazin Monitor am 17.01.2019 berichtete, spricht eine Studie des Max-Planck-Instituts (MPI) für Chemie von rund 120.000 vorzeitigen Todesfällen durch Feinstaub in Deutschland. Die Landwirtschaft gilt demnach als Hauptverursacher. Weltweit kommt die Studie demnach auf rund neun Millionen vorzeitige Todesfälle durch Feinstaub.

Das Mainzer Max-Planck-Institut stützte sich bei seiner Untersuchung auf 40 internationale Studien aus 16 Ländern, deren Daten über Jahrzehnte erhoben wurden. Die gestiegene Datengrundlage sei einer der Gründe, dass die Forscher nun zu höheren Zahlen kämen, sagte Studienleiter Jos Lelieveld in dem Bericht. Damit sei Feinstaub für etwa ebenso viele vorzeitige Todesfälle verantwortlich wie das Rauchen.

Mit einem Anteil von etwa 45 Prozent gilt den Forschern zufolge die Landwirtschaft und dabei vor allem die Massentierhaltung als Hauptverursacher für die in Deutschland herrschende Feinstaubbelastung. Der Grund: Ammoniak entweicht durch die Zersetzung von Gülle und durch die Düngung von Nutzpflanzen in die Atmosphäre und verbindet sich dort mit anderen Gasen wie Schwefel- und Salpetersäure. Daraus entstehen Feinstaubpartikel.

(Aerzteblatt.de:

<https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/100445/Massentierhaltung-Hauptverursacher-fuer-Feinstaub>)

MPI für Chemie: Fragen und Antworten zum ARD-Monitor-Beitrag vom 17.1.2019, „Feinstaub durch Landwirtschaft: Seit Jahren verharmlost“ (aktualisiert am 19.02.2019):

<https://www.mpic.de/aktuelles/pressemeldungen/news/fragen-und-antworten-zum-monitor-beitrag-vom-1712019-feinstaub-durch-landwirtschaft-seit-jahren-verharmlost.html>

### Positionspapier der DGP (Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.) erschienen:

#### 'Atmen: Luftschadstoffe und Gesundheit':



Die Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. (DGP), die bedeutendste medizinische Fachgesellschaft für Atemwegserkrankungen und Lungenheilkunde in Deutschland, veröffentlicht wissenschaftliches Positionspapier.

Es fasst den aktuellen Wissensstand zu den Gesundheitseffekten von Luftschadstoffen zusammen und leitet daraus Empfehlungen für einen umweltbezogenen Gesundheitsschutz ab. Das Positionspapier entstand unter der Federführung des Helmholtz Zentrums München, Institut für Epidemiologie, in Zusammenarbeit mit der Charité – Universitätsmedizin Berlin, der Universität Bielefeld und der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

Das Positionspapier wurde am 27. November 2018 vom DGP Vorstand und den beteiligten Wissenschaftlern in der Deutschen Parlamentarischen Gesellschaft in Berlin einem Kreis aus Gesundheits-, Verkehrs- und Umweltpolitikern vorgestellt. Das Papier fasst die aktuellen Erkenntnisse internationaler Studien zu Gesundheitseffekten auf Atemtrakt, Herz-Kreislaufsystem, metabolische Prozesse, das zentrale Nervensystem und das ungeborene Leben, den Fötus, zusammen. Daraus abgeleitet stellt es zudem vier Forderungen an Politik und Gesellschaft, die Emissionen aus Industrie, Landwirtschaft und Verkehr weiter zu verringern. Allen voran plädiert die DGP für eine weitere Senkung der EU-Grenzwerte für Feinstaub, Stickoxide und anderer Luftschadstoffe.

Der Schirmherr der Veranstaltung, Michael Hennrich (MdB), Obmann des Ausschusses für Gesundheit, betont in seiner Eröffnung die Bedeutung der DGP-Initiative für Deutschland und Europa: Umweltschadstoffe verursachten allein in Europa jährlich Kosten von 280 Milliarden Euro, 5,2 Millionen Lebensjahre gingen verloren. Gesunde Luft für alle sei ein zentrales Ziel. Hierfür gelte es, vom isolierten Betrachten einzelner Luftschadstoffe und Maßnahmen wegzukommen und stattdessen die Zusammenhänge in den Fokus zu nehmen.

Professor Klaus Rabe, Präsident der DGP, kritisierte die bislang eher schwache Lobby für Umweltmedizin und wies auf die vielfältigen gesundheitlichen Folgen von erhöhter Luftschadstoffbelastung hin. In der Diskussion käme zudem der Aspekt der Prävention bislang zu kurz.

Im Hauptvortrag präsentierte Professor Holger Schulz die wichtigsten Aspekte des Positionspapiers. In der anschließenden Diskussion beantwortete er Fragen der Gäste mit Unterstützung der anwesenden Autoren Professorin Barbara Hoffmann, Dr. Alexandra Schneider, Dr. Josef Cyrys und Professor Christian Witt. Um die Luftqualität in Deutschland nachhaltig zu verbessern, sei ein gesellschaftliches Umdenken notwendig. Sowohl Industrie als auch Einzelpersonen könnten durch saubere Technologien und bewusstes Verhalten dazu entscheidend beitragen. Die Aufgabe der Politik ist die entsprechenden Anreize und Regularien dafür zu schaffen.

Das Positionspapier kann auf der Website der DGP als [pdf heruntergeladen](#) werden.  
(Pressemitteilung vom 27.11.2018)

---

## **UBA-Texte 106/2018 und 107/2018: Impacts of Heavy Metal Emission on Air Quality and Ecosystems across Germany – Sources, Transport, Deposition and potential Hazards**

Part 1 (106/2018): Assessment of the atmospheric heavy metal deposition to terrestrial ecosystems in Germany  
The study investigates spatial and temporal trends of airborne deposition of arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, vanadium and zinc in Germany using modelled and measured data, among these results of bioaccumulation surveys. A risk assessment is provided by comparing the results with environment quality targets and criteria from regulations.

Download:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/impacts-of-heavy-metal-emission-on-air-quality>

Part 2 (107/2018): Integrative Datenanalyse, Erheblichkeitsbeurteilung und Untersuchung der gegenwärtigen Regelungen und Zielsetzungen in der Luftreinhaltung

Download:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkung-n-der-schwermetall-emissionen-auf>

---

## **Pestizide: EU-Parlament billigt Vorschläge für ein besseres EU-Zulassungsverfahren**

Pressemitteilung (gekürzt) des Europäischen Parlaments vom 16-01-2019

- Die Öffentlichkeit sollte Zugang zu Studien erhalten, die bei Zulassungsverfahren verwendet werden
- EU-Maßnahmen sollten Innovationen anschieben und Pestizide mit geringem Risiko fördern
- Experten sollten Studien über krebsauslösende Eigenschaften von Glyphosat überprüfen
- Datenanforderungen für Pflanzenschutzmittel sollten auch langfristige toxische Wirkungen umfassen

## **Das Vertrauen in das EU-Zulassungsverfahren für Schädlingsbekämpfungsmittel soll durch mehr Transparenz und bessere Rechenschaftspflicht gestärkt werden.**

Die Abgeordneten waren sich in einer am Mittwoch verabschiedeten Entschließung einig, dass der Öffentlichkeit Zugang zu den Studien gewährt werden sollte, die im Verfahren zur Zulassung eines Schädlingsbekämpfungsmittels verwendet werden, einschließlich aller unterstützenden Daten und Informationen im Zusammenhang mit den Anträgen. Damit unterstützten sie eine der zahlreichen Forderungen des Sonderausschusses für das Genehmigungsverfahren der EU für Pestizide (PEST), der sich im vergangenen Jahr mit diesem Thema beschäftigt hat.

Antragsteller sollten im Verlauf des Verfahrens verpflichtet werden, sämtliche Zulassungsstudien, die durchgeführt werden sollen, in einem öffentlichen Register zu verzeichnen und einen Kommentierungszeitraum zu ermöglichen, in dem Interessenträger vorhandene Daten vorlegen können, um sicherzustellen, dass alle maßgeblichen Informationen berücksichtigt werden, bevor eine Entscheidung

## **Überwachung nach dem Inverkehrbringen und Auswirkungen auf die Gesundheit**

Die Abgeordneten fordern die EU-Kommission auf, spezifische Maßnahmen für den konkreten Schutz gefährdeter Personengruppen in die Verordnung aufzunehmen, damit die großflächige Verwendung von Pestiziden in der Nähe von Schulen, Kinderbetreuungseinrichtungen, Spielplätzen, Krankenhäusern, Geburtskliniken und Pflegeheimen unverzüglich und ausnahmslos eingestellt wird.

Die Überwachung nach dem Inverkehrbringen sollte verstärkt werden, und die EU-Kommission sollte eine epidemiologische

Untersuchung der tatsächlich auftretenden Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die menschliche Gesundheit durchführen, so die Abgeordneten. Sie schlugen ferner eine systematische Überprüfung aller verfügbaren Studien bezüglich der krebserregenden Eigenschaften von Glyphosat sowie die Festlegung von Höchstgrenzen für Rückstände in den Böden und in Oberflächengewässern vor.

Quelle: <http://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20190115IPR23551/pestizide-parlament-billigt-vorschlaege-fur-ein-besseres-eu-zulassungsverfahren>

PEST-Bericht vom 18.12.2018:

[http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2018-0475\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2018-0475_EN.pdf)

Recherche des Bayerischen Rundfunks zu Pestizidzulassungen in der EU vom 4.12.2018: <https://web.br.de/interaktiv/pestizide/>

“non-compliance” was at 19 % for substances at 100-1000 tpa. It should be noted that the evaluation methodology did not allow deciding for all dossiers whether they were in compliance with the REACH requirements: Therefore for both tonnage bands, averaged over the assessed endpoints about 37 % of the dossiers remained without conclusion.

The outcome of the project indicates that increased efforts by industry and authorities are needed to achieve a higher rate of compliance for the chemical dossiers.

Essentials of the BfR Communication No 030/2018 of 25 September 2018

Program and presentations of the workshop: [https://www.bfr.bund.de/en/event/reach\\_compliance\\_a\\_workshop\\_on\\_data\\_quality\\_in\\_registration\\_dossiers-205356.html](https://www.bfr.bund.de/en/event/reach_compliance_a_workshop_on_data_quality_in_registration_dossiers-205356.html)



## REACH Compliance Workshop at the BfR

More efforts in increasing the quality of registrations under the European REACH regulation are necessary in order to achieve a higher compliance of the registration dossiers. This is one of the outcomes of the workshop ‘REACH Compliance – A workshop on data quality in registrations dossiers’ which took place at the German Federal Institute for Risk Assessment (BfR) in Berlin, on the 23/24 of August 2018. REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) is a regulation of the European Union, adopted to improve the protection of human health and the environment from the risks that can be posed by chemicals.

According to REACH, chemical substances are only allowed to be marketed in the EU, when they have been registered and when the registrants deliver required information to ensure a safe use for workers, consumers and the environment.

The project, ongoing since 2014, found that – related to the endpoints assessed and considering that the evaluation work has not been fully completed at the date of the workshop – the current average rate of “compliance” was 31 % for substances registered at 1000 tpa and more and 44 % for substances at tonnages between 100 and 1000 tpa. The option to deviate from standard testing requirements and to provide justifications for such deviations was commonly used by registrants – for the assessed endpoints on average of about 70 % (range 50-93 %). However, alternative data (e. g. using read-across to other substances) or justifications for data waiving or adaptations were often not sufficient. For example, 32 % of the dossiers for substances at tonnage levels of 1000 tpa and more were found to be “noncompliant” with REACH requirements on average over the assessed endpoints. The average rate of



## Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER) Statement on emerging health and environmental issues (2018), adopted on 20th December 2018.

**Abstract.** The purpose of this SCHEER statement is to draw the EU Commission Services’ attention to emerging issues in the non-food area that SCHEER members have identified as having the potential to impact human health and /or on the environment in the future. The Secretariat will use this list when discussing potential new mandates with relevant Commission services.

### Introduction

The primary purpose of this position statement is to draw the attention of the EU Commission Services to emerging issues in the non-food area that have been identified by the SCHEER members as having the potential to significantly impact human health and /or on the environment in the future.

Identifying emerging issues early on may greatly help for ensure a high level of public safety and environmental protection. However, the data available to correctly identify emerging issues and their impacts is inevitably likely to be very limited. It is therefore important that each issue that is identified is regularly reviewed. The SCHEER aims, therefore, to regularly review any relevant new developments and to produce an updated position statement twice during the Scientific Committee term (this term is from 2016-2021). The

Committee can also submit an urgent issue to the Commission at any time. In considering emerging issues, the SCHEER would like to work closely with other EU scientific advisory committees whose mandates also include looking at emerging issues.

The SCHEER recognised the need to establish a very flexible framework to aid the correct identification of emerging issues and their potential impacts (see document 'Emerging Issues and the Role of the SCHEER, Position Paper').

SCHEER members have been asked during plenary meetings, in dedicated 'brainstorming sessions', to identify emerging/relevant issues that they think should be flagged for the Commission Services.

The criteria used to identify an emerging issue were as follows:

- Novelty of the stressor or process
- Scale of possible impacts on man and /or the environment
- Severity of impacts for particular organisms (priority for life threatening)
- Urgency i.e. the temporal nature of the likely changes (priority for rapid increases)
- Not investigated in depth recently by a reputable scientific body
- Anticipated to be increasingly important over time

To aid this, a standardised format has been used and issues have been placed in particular categories. It is acknowledged that further consideration of some of the issues that have been identified should be led by other scientific committees.

[PDF-Document](#) download

## Der stumme Frühling – Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes



### Diskussion 16 / 2018 der Leopoldina - Nationale Akademie der Wissenschaften Halle (Saale)

Aus dem Fazit:

Insgesamt halten wir fest, dass es bei Weitem unzureichend wäre, die Pestizidproblematik mit punktuellen, spezifischen Maßnahmen anzugehen, da sie eng mit verschiedenen anderen Faktoren gekoppelt und daher schwerer zu bearbeiten und zu lösen ist als isolierte Probleme. Deshalb ist es dringend geboten, die Pestizidproblematik als systemisches Problem zu sehen und zu behandeln. Andernfalls werden sich Entwicklungen wie Insektenschwund, Aussterben von Vogelarten, Grundwasser- und Bodenbelastung durch Pestizidrückstände

etc. weiter verschärfen. Neben spezifischen und lokalen Maßnahmen müssen in der europäischen Agrar- und Chemikalienpolitik unbedingt neue Perspektiven gefunden werden.

[PDF-Download](#) des Dokumentes

## BfR-Pressemitteilung 05/2019: EU Forschungsprojekt EDCMET



### Im EU Forschungsprojekt EDCMET wird die Wirkung von endokrinen Disruptoren auf den Stoffwechsel untersucht

Im Januar 2019 fiel der Startschuss für das EU-Forschungsprojekt EDCMET, an dem auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) beteiligt sind. EDCMET steht für "Metabolic effects of Endocrine Disrupting Chemicals: novel testing METHODS and adverse outcome path-ways" und hat zum Ziel, Methoden zu entwickeln, mit denen man chemische Verbindungen identifizieren kann, die Stoffwechselprozesse im Körper stören. Zugleich sollen im Forschungsprojekt auch biochemische Mechanismen aufgedeckt werden, die diese Störungen verursachen. „Die Identifizierung von solchen endokrinen Disruptoren und ihrer Wirkung auf die Körperfunktionen ist ein zentraler Aspekt bei der Risikobewertung von Chemikalien,“ sagt BfR-Präsident Professor Dr. Dr. Andreas Hensel, „der verlässliche Nachweis solcher Effekte mit validierten Methoden ist daher unabdingbar für gesetzliche Regulierungsmaßnahmen.“ Innerhalb des Forschungsprojektes EDCMET werden die Forscherinnen und Forscher am BfR mit Zellkultursystemen und am Tiermodell untersuchen, wie Chemikalien auf den Fett- und Energiestoffwechsel in Leberzellen wirken. Ziel des EU-Projektes ist es, neue Testsysteme so weit zu entwickeln und zu validieren, dass sie zur Routineprüfung von Chemikalien in der regulatorischen Toxikologie geeignet sind.

<https://www.uef.fi/en/-/ita-suomen-yliopistolle-h2020-rahoitusta-hormonihairikkojen-tutkimiseen>

Endokrine Disruptoren werden verdächtigt, an der Entstehung von Stoffwechselerkrankungen wie Fettleibigkeit, Fettleber, hohe Cholesteringehalte im Blut und Diabetes beteiligt zu sein. Ob und auf welchem Weg endokrine Disruptoren diese Stoffwechselprozesse beeinflussen, wurde bisher jedoch kaum wissenschaftlich untersucht. Folglich gibt es keine validierten Methoden zur Beurteilung ihrer metabolischen Wirkung.

Ziel des EU-Forschungsprojektes EDCMET ist es, validierte in silico-, in vitro- und in vivo-Methoden zur Beurteilung der metabolischen Effekte von endokrinen Disruptoren zu entwickeln. Der Schwerpunkt der Forschung liegt auf dem Energie- und Fettstoffwechsel mit der Frage, wie die Rezeptoren der Zellen

diese Prozesse über ihre Interaktion mit Fremdstoffen regulieren.

EDCMET wird im Rahmen des EU-Forschungsprogrammes Horizon 2020 gefördert (Grant Agreement Nr 825762). Koordiniert wird das Projekt EDCMET, an dem wissenschaftliche Institutionen aus acht Ländern der Europäischen Union beteiligt sind, vom A.I. Virtanen Institute der Universität Ostfinland.

Pressemitteilung (gekürzt) vom 25.01.2019. Originalfassung: [https://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2019/05/machen\\_chemikalien\\_dick\\_-239662.html](https://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2019/05/machen_chemikalien_dick_-239662.html)

## Drugs in Bugs: Wasserlebende Insekten reichern Pharmaka an und schleusen sie in Nahrungsketten ein.

Arzneien gelangen nicht nur in Gewässer, sondern sie reichern sich in Tieren an, die im Wasser und am Ufer leben und dringen damit in aquatische Nahrungsnetze ein. Ein Team australischer Forscher wies in wasserlebenden Insekten in Melbourne und Umgebung 69 verschiedene pharmazeutische Wirkstoffe nach. In den Körpern von Spinnen, die am Ufer lebten, waren es ähnlich viele. Die Forschungsarbeiten belegen eine Anreicherung der Pharmaka in den Organismen. Untersucht wurden dabei 190 wasserlebende Insekten, vor allem Köcherfliegen (Trichoptera), und andere wirbellose Tiere aus sechs Wasserläufen um Melbourne auf 98 Pharmaka.



Ein Köcherfliege (Trichoptera) und ein australisches Schnabeltier (*Ornithorhynchus anatinus*), Endglied einer aquatischen Nahrungskette. Nach Ergebnissen der Studie könnte ein Tier dieser Art, das in einem Bach mit behandelten Abwässern lebt, mit seiner Nahrung täglich die Hälfte der für Menschen empfohlenen Dosis Antidepressiva aufnehmen.

Originalpublikation:

Erinn K. Richmond, Emma J. Rosi, David M. Walters, Jerker Fick, Stephen K. Hamilton, Tomas Brodin, Anna Sundelin & Michael R. Grace (2018): A diverse suite of pharmaceuticals contaminates stream and riparian food webs. *Nature Communications* 9, Article number: 4491, DOI: 10.1038/s41467-018-06822-w

Post der Erstautorin:

<https://natureecoevocommunity.nature.com/users/182721-erinn-richmond/posts/40769-drugs-in-bugs-stream-insects-are-bioconcentrators-of-pharmaceuticals-capable-of-passing-them-onto-predators>

## Hunderte halogenierte Verbindungen erstmalig im Blutserum von Eisbären aus Mitte der 1980'er Jahren nachgewiesen



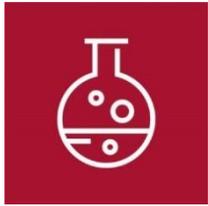
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polar\\_bear\\_after\\_unlucky\\_hunt\\_for\\_a\\_seal.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polar_bear_after_unlucky_hunt_for_a_seal.jpg)

**Abstract.** Exposure of polar bears (*Ursus maritimus*) to persistent organic pollutants was discovered in the 1970s, but recent evidence suggests the presence of unknown toxic chemicals in their blood. Protein and phospholipid depleted serum was stirred with polyethersulfone capillaries to extract a broad range of analytes, and nontarget mass spectrometry with "fragmentation flagging" was used for detection. Hundreds of analytes were discovered belonging to 13 classes, including novel polychlorinated biphenyl (PCB) metabolites and many fluorinated or chlorinated substances not previously detected. All analytes were detected in the oldest (mid - 1980s) archived polar bear serum from Hudson Bay and Beaufort Sea, and all fluorinated classes showed increasing trends. A mouse experiment confirmed the novel PCB metabolites, suggesting that these could be widespread in mammals. Historical exposure and toxic risk has been underestimated, and these halogenated contaminants pose uncertain risks to this threatened species.

Originalpublikation:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ange.201809906>

## CITEPro “Chemicals in the Environment Profiler”, managed by the Department Cell Toxicology, UFZ Halle-Leipzig



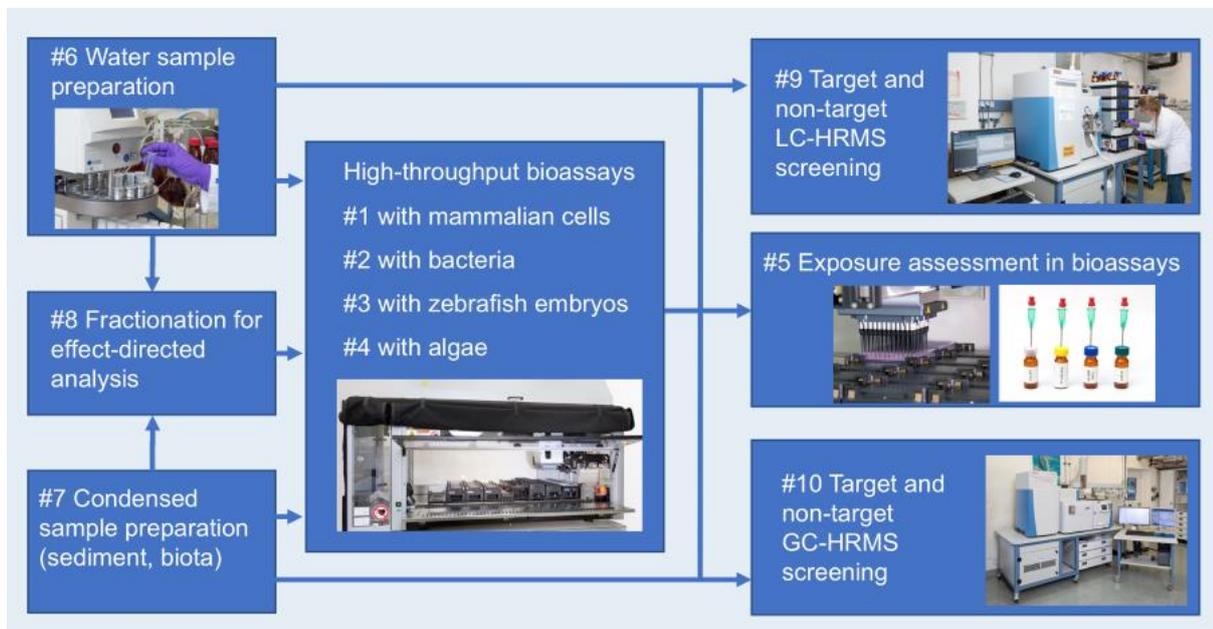
CITEPro is a platform for high-throughput sample preparation, the automated exposure of cell cultures and aquatic organisms, and the automated analysis of the effects and chemical concentrations for large numbers of chemicals and environmental samples.

The platform increases the sample throughput of established bioanalytical, toxicological and analytical methods and is therefore suited for a wide range of applications including the spatial and temporal resolution of contamination with

micropollutants in various environmental matrices from water, sediment and soil to biota and humans.

CITEPro is comprised of **10 modules**:

#	Title of the CITEPro Module
1	High-throughput bioassays with mammalian cells
2	High-throughput bioassays with bacteria
3	High-throughput bioassays with zebrafish embryos
4	High-throughput bioassays with green algae
5	Exposure assessment in bioassays
6	Water sample preparation with solid-phase extraction
7	Condensed sample preparation (sediment, biota)
8	Fractionation for effect-directed analysis
9	Target and non-target LC-HRMS screening in complex samples
10	Target and non-target GC-HRMS screening in complex samples



Source: <https://www.ufz.de/index.php?en=45706>

## Unsere neuen Mitglieder

Neuaufnahmen in die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie vom 26.11.2018.-20.02.2019

Alhusaini, Qasim, FG-Eintritt: 07.02.2019

Börner, Melanie Carolin, FG-Eintritt: 30.11.2018

Feister, Franziska, FG-Eintritt: 20.02.2019

Froin, Ann Kathrin, FG-Eintritt: 12.12.2018

Gurgenidze, Ana, FG-Eintritt: 20.12.2018

Hollstein, Julia, FG-Eintritt: 10.12.2018

Kreth, Fabian, FG-Eintritt: 10.01.2019

Markert, Clara, FG-Eintritt: 28.01.2019

Mürtz, Sonja, FG-Eintritt: 22.01.2019

Ohm, Matthias (Dr.), FG-Eintritt: 22.01.2019

Seyedkhademi, Seyedmohammad, FG-Eintritt: 03.12.2018

Wunderlich, Florian, FG-Eintritt: 28.01.2019

Zarfl, Christiane (Jun. Prof.), FG-Eintritt: 17.01.2019

## Geburtstage

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

### Geburtstagsliste April bis Juni 2019

#### 60 Jährige

Michael Robert (Dipl. Chem.), Geburtstag: 01.04.1959

Dr. Ursula Ebrahimzadeh-Klages, Geburtstag: 15.04.1959

Dr. Cornelia Angehrn-Bettinazzi, Geburtstag: 29.04.1959

Prof. Dr. Klaus Kümmerer, Geburtstag: 29.05.1959

Dr. Bernd Beißmann, Geburtstag: 15.06.1959

#### 65 Jährige

Prof. Dr. Michael Spiteller, Geburtstag: 24.04.1954

- Vorsitzender AK Bodenchemie und Bodenökologie 01.07.2000 - 31.12.2009
- Geschäftsführender Direktor des Institut für Umweltforschung
- Ehrenmitglied der Serbischen Chemischen Gesellschaft.
- 2006 Ehrendoktorwürde der Uni Novi Sad

Udo Pollmer (LM Chem.), Geburtstag: 14.05.1954

Dr. Lutz von Meyerinck, Geburtstag: 23.05.1954

Dr. Maria Sramek, Geburtstag 02.06.1954

Prof. Dr. Gerolf Marbach, Geburtstag 05.06.1954

Prof. Dr. Wilhelm Lorenz, Geburtstag 14.06.1954

- FG Beisitzer 01.01.2007 - 31.12.2010
- Vorsitzender AK Lehre und Forschung 01.01.2006 - 31.12.2011
- Venia legendi für Ökologische Chemie der TU Braunschweig

#### 70 Jährige

Dr. Gerhard Kirchner, Geburtstag: 26.04.1949

Prof. Dr. Wolfgang Rotard, Geburtstag: 30.05.1949

#### 75 Jährige

Dr. Hans Müller, Geburtstag: 12.04.1944

Prof. Dr. Rudolf Ahrens-Botzong, Geburtstag: 14.04.1944

Prof. Dr. Thomas Welsch, Geburtstag: 25.05.1944

Prof. Dr. Hans Siegel, Geburtstag: 07.06.1944

#### 80 Jährige

Prof. Dr. Hans E. Hummel, Geburtstag: 30.04.1939