



Mitteilungen der Fachgruppe

Umweltchemie und Ökotoxikologie

Gesellschaft Deutscher Chemiker

- PFAS-Freisetzung im Boden?
- Quecksilber in deutschen Flüssen
- Einfluss extremer Hochflutereignisse auf sedimentgebundene Schwermetalle
- Workshop zum Immissionsmonitoring persistenter Chemikalien
- Kurz vorgestellt:
 - Forschungsgruppe Umweltmonitoring und Endokrinologie
 - Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA)
 - ABF Analytisch-Biologisches Forschungslabor GmbH
- Tagungen, Kurznachrichten und Personalien



2/2025

31. Jahrgang, Juni 2025 ISSN 1618-3258

Impressum

Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie

Herausgegeben von der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der Gesellschaft Deutscher Chemiker
www.gdch.de/umweltchemie

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

Abkürzung:

Mitt Umweltchem Ökotox

Design/ Technische Umsetzung:

Dr. Matthias Kudra, Universität Leipzig
E-Mail: 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:

Quelle: <https://edsteinink.com/trumps-epa-ec7ba6a56836>

Editorial

32 Editorial

Originalbeiträge

- 33 **F. T. Lange et al.:** Werden PFAS im Boden durch Abbau von seitenkettenfluorierten Polymeren freigesetzt?
- 38 **J. Hahn et al.:** Quecksilber in deutschen Flüssen: heute und morgen eine Herausforderung
- 43 **A. Weber et al.:** Der Einfluss von extremen Hochflutereignissen auf fluviale Sedimente und ihr Schwermetallinventar
- 48 **C. Barkschat et. al.:** Zu viel, zu wenig, nie genug? Ergebnisse eines Expertenworkshops zu aktuellen Stärken und Schwächen des Immissionsmonitorings persistenter Chemikalien

Kurz vorgestellt

- 53 Forschungsgruppe Umweltmonitoring und Endokrinologie (EME), Fakultät Biologie, Technische Universität Dresden
- 55 Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA) Weimar
- 57 ABF Analytisch-Biologisches Forschungslabor GmbH

Aus der Fachgruppe

- 59 Bericht von der Fachgruppenvorstandssitzung am 21. März 2025
- 59 Ausführlicher Bericht über den Workshop der Fachgruppenarbeitskreise vom 17. bis 19.06.2024 in Schmallebenberg

Informationen

Tagungen

- 63 BAM-Workshop: Advancements of Analytical Techniques for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) 2025 - 16.09.2025, Berlin
- 63 Umwelt 2025, 22.-24.09.2025, Dessau Roßlau
- 64 Dioxin 2025, 1.-6.11.2025, Antalya
- 64 Europ. Meeting on Environmental Chemistry (EMEC 25), 23-25 Nov, Chania, Crete

Kurznachrichten

- 65 Nature Geoscience article: Anthropogenic organic aerosol in Europe
- 65 Science Advances article: Short-lived reactive components substantially contribute to particulate matter oxidative potential
- 65 Deutscher Satellit erfasst erstmals CO₂ und NO₂ gleichzeitig aus Kraftwerksabgasen
- 66 Angewandte Chemie article: Uncovering the photochemical conversion of atmospheric chlorinated organics on mineral dust: in-field evidence of a new source of dioxin
- 66 PFAS in Europa und Berlin: Das Projekt „PROMISCES“ liefert Antworten
- 66 OECD Synthesis Report on Understanding Perfluoropolyethers (PFPEs) and Their Life Cycle
- 67 Nature Sustainability article: Environmental impacts of polymeric flame retardant breakdown
- 67 The Zero Pollution Monitoring and Outlook 2025 Report and The Zero Pollution Monitoring Dashboard
- 68 European Metrology Network for Pollution Monitoring
- 68 Meetings of the conferences of the Parties to the Basel, Rotterdam and Stockholm conventions (BRS)
- 69 EAWAG News: Der verheerende Einfluss des Menschen auf die Biodiversität
- 69 Qualitätskriterien am Oekotoxzentrum – neue Werte und Substanzen, neue Gesamtliste

Redaktioneller Beitrag

- 70 "Make America dirty again" – Trumps Feldzug gegen Forschung, Umwelt- und Klimaschutz

Personalia

- 72 Eintritte in die FG vom 10.02. bis 22.05.2025
- 72 Geburtstage 3. Quartal 2025

Liebe Mitglieder der Fachgruppe „Umweltchemie und Ökotoxikologie“,

in dieser Ausgabe finden Sie endlich den versprochenen ausführlicheren Bericht zum Workshop der Arbeitskreise im letzten Sommer in Schmallenberg (17. - 19. Juni 2024). Dieser Bericht wurde in einer kleinen Runde erstellt, so dass auch die meisten Teilnehmenden diesen jetzt zum ersten Mal lesen. Die zwei Tage waren vor allem eine Bestandsaufnahme und es wurde rege über die zwei Oberthemen „Messunsicherheiten“ und „Umgang mit unbekanntem Stoffen“ diskutiert. So unterschiedlich, wie unsere Fachgruppe zusammengesetzt ist und die Interessen liegen, gibt es auch bei diesen Themen keine einheitliche Meinung innerhalb der Fachgruppe. Die Autoren hoffen, dass sie diese vielfältige Diskussion gut wiedergegeben haben. Der Bericht soll daher in erster Linie zu weiteren Diskussionen anregen, z.B. im Rahmen der nächsten Jahrestagung oder den Arbeitskreistreffen.

Gerade diese Arbeitskreistreffen sind ein wichtiger Bestandteil der Fachgruppe. So wird sich der AK Umweltmonitoring, nachdem zuletzt das Thema Abwassermonitoring im Fokus stand, bei seiner nächsten Sitzung mit neuen Herausforderungen für das Umweltmonitoring beschäftigen. Diese entstehen durch die anstehenden Novellierungen der Wasser-, Grundwasser- und Umweltqualitätsnormen-Richtlinien. Die virtuelle Sitzung wird voraussichtlich im Spätherbst 2025 stattfinden. Der AK Chemikalienbewertung hatte Anfang April ein Online-Treffen zum Thema „Essential Use / Sozio-ökonomische Analyse“ und die folgende AK Sitzung ist für Dienstag, den 17. Juni 2025 geplant, ebenfalls online. Dass diese Sitzung dann gemeinsam mit dem Fachausschuss "(Öko)toxikologische Wirkungen" der Wasserchemischen Gesellschaft der GDCh zum Thema „Endokrine Disruptoren in der Umwelt“ durchgeführt wird, zeigt die wichtige Zusammenarbeit zwischen den Fachgruppen der GDCh. Eine weitere Sitzung des AK Chemikalienbewertung ist für den Herbst angedacht, dann vermutlich hybrid aus Frankfurt. Das Thema ist noch nicht festgelegt, aber auf dem Tisch liegen Vorschläge wie Trends in der Ökotoxikologie (z.B. "low-dose-effects", Verhaltens- & Stresstests), Pflanzenschutzmittel (z.B. Regulatoren, Monitoring, Umgang mit Konzentrationsspitzen) und Verbraucherverhalten & Risikokommunikation.

Während die ICCE in Belgrad beim Erscheinen dieser Mitteilungen schon in den Startlöchern steht, ist unsere nationale Jahrestagung noch in der Aufwärmphase. Für die „Umwelt 2025“ bereiten wir gerade das wissenschaftliche Programm vor, wieder in bewährter Kooperation mit dem SETAC GLB, und freuen uns sehr, dass wir nach 2010 zum zweiten Mal ins Umweltbundesamt kommen dürfen. Das Motto der diesjährigen Tagung ist „Chemisches Universum trifft planetare Grenzen“. Das wissenschaftliche Programm wird vom 22. bis 24. September stattfinden und startet mit einem Get-together sowie einem Plenarvortrag am Montag, der uns auf das Thema der Tagung einstimmen soll. Wir wollen aber hier nicht

zu viel verraten, nähere Informationen des Programms sind hier (<https://www.setac-qlb.de/umwelt-2025>) erhältlich. Am 22. September - im Vorfeld der „Umwelt 2025“ - wird auch das „Junge Umweltforum“ (JUF) stattfinden, das die jUCÖT organisiert. Weitere Informationen und die Anmeldung finden Sie hier: JUF 2025. Ein wichtiger Bestandteil der Tagung wird zudem die Verleihung des Paul-Crutzen Preises sein und es ist mit der Hoffnung auf rege Teilnahme eine Mitgliederversammlung in Präsenz geplant. Nähere Informationen dazu folgen.

Wir freuen uns darauf, Sie bei einer der Veranstaltungen wieder persönlich treffen zu können und wünschen Ihnen nun eine spannende Lektüre der Mitteilungen!

Ihr Fachgruppen-Vorstand

Stefan Hahn, Jan Schwarzbauer, Stefanie Wieck, Martin Brüggemann, Patrick Riefer, Wolfgang Schrader und Christiane Zarfl

und Ihre junge Umweltchemie und Ökotoxikologie (jUCÖT)



Die SETAC Europe wurde für ein persönliches Treffen der anwesenden FG- und jUCÖT- Vorstandsmitglieder (und zur Finalisierung dieses Editorials) genutzt. Von links nach rechts: Angus Rocha Vogel, Dominik Nerlich, Stefanie Wieck, Stefan Hahn, Vanessa Saalman



Werden PFAS im Boden durch Abbau von seitenkettenfluorierten Polymeren freigesetzt?

Eine zweijährige Mikrokosmen-Studie gibt Hinweise

Frank Thomas Lange (frank.lange@tzw.de)¹, Volker Zeisberger (Volker.Zeisberger@hlnug.hessen.de)², Lukas Lesmeister (lukas.lesmeister@outlook.de)¹, Nadine Löffler (nadine.loeffler@tzw.de)¹

¹ TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruher Str. 84, 76139 Karlsruhe

² HLNUG: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Dezernat G3 „Boden und Altlasten“, Rheingaustraße 186, 65203 Wiesbaden

Abstract

In aeroben Mikrokosmen-Experimenten wurde die Freisetzung von Perfluorcarbonsäuren (PFCA) aus einem Textilhilfsmittel, das ein seitenkettenfluoriertes Polymer enthielt, untersucht. Die Mikrokosmen aus Boden (95 %) und Kompost (5 %) waren mit einem Textilimprägniermittel, einem imprägnierten Textil und einer Mischung aus zwei imprägnierten Papieren dotiert. Im Verlauf von nahezu zwei Jahren wurden die freisetzbaren, eluierbaren PFCA vor und nach TOP-Assay-Aufschluss bestimmt. Bis zum Versuchsende wurden vom Textilhilfsmittel weniger als 0,1 % (native Proben) und weniger als 0,5 % (nach TOP-Assay) des dotierten Organofluors freigesetzt. Dies ist mit der Freisetzung niedermolekularer Produktionsrückstände erklärbar. Eine nennenswerte Freisetzung fluorierter Seitenketten im Untersuchungszeitraum konnte nicht beobachtet werden.

1 Einleitung

Als per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS) wird eine sehr große Gruppe fluorierter organischer Stoffe bezeichnet, die in zahlreichen Industrie- und Haushaltsprodukten enthalten sind. Neben den Anwendungen als Imprägniermittel (z.B. bei fettichten Lebensmittelverpackungen, Sonnenschirmen, Markisen, Spezialpapieren, Bodenpflegemitteln) und Bestandteil von Löschschäumen (aqueous film forming foams, AFFF) gibt es vielfältige weitere Einsatzgebiete: Latex- und Fassadenfarben, Wärmeträgerflüssigkeiten, Skiwax, Zahnseiden usw. [1]. Weitere Informationen über Anwendungsgebiete, toxikologische Eigenschaften und analytische Möglichkeiten zur Erfassung von PFAS sowie zu deren Bewertung finden sich in der Literatur [2,3].

Wie so oft liegen Fluch und Segen auch bei PFAS dicht beieinander. Sie haben sehr attraktive Stoffeigenschaften, vor allem eine sehr hohe Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse, sodass PFAS in Produkten sehr langlebig sind bzw. die gewünschten positiven Produkteigenschaften lange anhalten. Diese Persistenz wird durch die sehr stabilen Fluor-Kohlenstoff-Bindungen bewirkt. Der genannte Vorteil erweist sich dann als Nachteil, wenn PFAS durch die Anwendung direkt oder mit Abwässern und Abfällen indirekt in die Umwelt gelangen und dort als Spurenstoffe Gewässer, Böden, Trinkwasser und Nahrungsmittel verunreinigen. Aufgrund ihrer

humantoxikologischen Eigenschaften sind einige PFAS mittlerweile reguliert. In der EU betrifft dies Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), Perfluorooctansäure (PFOA), Perfluorhexansäure (PFHxA), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und perfluorierte C₉-C₁₄-Carbonsäuren [4]. Zurzeit wird eine weitgehende Beschränkung der Herstellung, des Inverkehrbringens und der Verwendung von PFAS in der EU angestrebt [5].

Anstelle der früher verwendeten perfluorierten PFAS werden derzeit häufig polyfluorierte PFAS eingesetzt. Es gibt mehrere Tausend polyfluorierte PFAS im Handel. Davon stellen sog. Fluorcarbonharze als Imprägniermittel in verschiedenen Anwendungsgebieten eine mengenmäßig wichtige Stoffgruppe dar. Bei Fluorcarbonharzen handelt es sich um seitenkettenfluorierte Polymere (SCFP) auf der Basis von Polyacrylaten (Abb. 1), Polymethacrylaten oder Polyurethanen mit polyfluorierten Seitenketten.

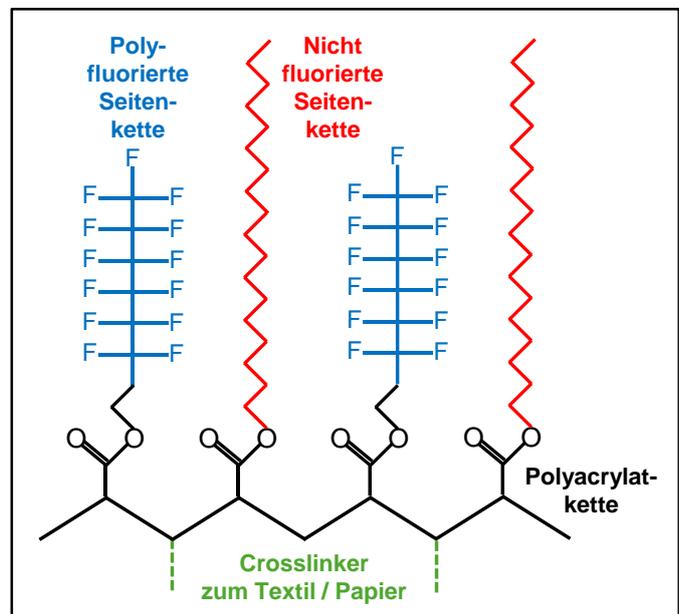


Abb. 1: Schematischer struktureller Aufbau eines SCFP auf Polyacrylatbasis.

Beispielsweise haben Polyacrylate ein Grundgerüst aus einer langen Kohlenstoffkette („Rückgrat“) mit Carbonsäurefunktionen. Die Seitenketten entstehen durch Veresterung dieser Säurefunktionen mit einem Fluortelomeralkohol (z. B. 6:2-Fluortelomeralkohol, 6:2 FTOH). Typischerweise treten in

SCFP neben fluorierten auch nicht-fluorierte Seitenketten auf. Durch Variation der Kettenlängen der Haupt- und Seitenketten sowie durch den Anteil nicht fluorierter Seitenketten können die chemischen Eigenschaften der SCFP beeinflusst werden. Sogenannte Crosslinker bewirken die Vernetzung der Polymerkette mit der Oberfläche des zu schützenden Materials, z.B. Papier oder Textil.

SCFP sind in der EU nicht registrierungspflichtig und dürfen auch ohne Bewertung der Stoffeigenschaften im freien Warenverkehr vermarktet werden. Solche Produkte enthalten in geringem Maße nicht-polymere, freisetzbare PFAS als Produktionsrückstände. Darüber hinaus ist bekannt, dass SCFP in der Umwelt unter Abspaltung der fluorierten Seitenketten mit Halbwertszeiten in der Größenordnung von Jahrzehnten abgebaut werden [6,7]. Im Gegensatz dazu verläuft der aerobe Abbau des Alkohols 6:2 FTOH, der als potentielle Verunreinigung in SCFP enthalten sein kann, im Boden schneller. Die Ausbeute an Perfluoralkancarbonsäuren (C₄-C₆) betrug nach 180 Tagen im geschlossenen Gefäß 39,9 % und im Durchflusssystem nach 84 Tagen 9,5% [8].

Für zahlreiche PFAS ist die LC-MS/MS-Analytik für die Umweltmedien Wasser und Boden mittlerweile gut etabliert [9,10]. Jedoch können viele PFAS mangels analytischer Standards entweder nicht oder nur mittels summarischer Parameter [z. B. Total Oxidizable Precursor (TOP)-Assay, adsorbierbares organisch gebundenes Fluor (AOF), extrahierbares organisch gebundenes Fluor (EOF)] nachgewiesen werden. Dies gilt auch für die SCFP. Sie sind stark an das jeweilige Produkt gebunden und daher nicht mobil. SCFP können nur mittels starker Aufschlussverfahren [wie z. B. dem direkten TOP-Assay (dTOP), dem PhotoTOP-Assay oder durch Hydrolyse] indirekt über die Analyse der dabei freigesetzten Reaktionsprodukte erfasst werden [11-13].

Perfluoralkylsäuren (PFAA) sind im Boden und der aquatischen Umwelt nicht abbaubar. Polyfluorierte Verbindungen sind zwar teilweise abbaubar, jedoch entstehen dabei perfluorierte Verbindungen als finale Abbauprodukte. Wenn bei SCFP die polyfluorierten Seitenketten langfristig abgespalten werden [6,7], entstehen durch weitere Transformation Perfluoralkyl-carbonsäuren (PFCA). Vermutlich sind dabei mikrobielle Abbauprozesse von Bedeutung.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Mikrokosmen-Experimente zum Abbau von realen SCFP-haltigen Materialien sollen Hinweise geben, ob und in welchem Maße dabei analysierbare PFAS freigesetzt werden, die in der Folge Böden, Gewässer und Nahrungsmittel verunreinigen können.

2 Experimentelles

2.1 Mikrokosmos-Experimente in Böden zum Abbau von SCFP und zur Mobilisierung von PFAA

In Laborversuchen wurden ein SCFP-Produkt sowie mit SCFP behandelte Materialien (Textil, Papier) untersucht. Laut Herstellerangaben enthalten SCFP Seitenketten mit sechs fluorierten Kohlenstoffatomen. Der angegebene Fluorgehalt im SCFP-Produkt lag bei 1,2 %.

Die gemeinsam vom TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser und vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) konzipierten Versuche fanden im TZW-Labor statt. Es wurden Gemische aus 95 % sandig/ schluffigem Ackerboden und 5 % Bio-Kompost (Siebfraction jeweils < 2 mm, Gesamtmenge: 5 kg) mit folgenden PFAS-haltigen Materialien versetzt (Tab. 1, Abb. 2).

Tabelle 1: Charakteristika der Mikrokosmen; jeder Ansatz enthielt 5 kg Substrat (95 % Boden, 5 % Kompost).

Nr.	Dotierung	Dauer [Tage]
1	Textil-Imprägniermittel (42 mL, 1,2 % Fluorgehalt, entspricht ca. 100 mg Fluor/kg Boden)	708
2	Textil (Stoff, 200 g, ca. 1 x 1 cm große Stücke), mit o.g. Imprägniermittel in einer Wäscherei behandelt	708
3	Fettdichtes Papier (Mischung aus zwei Papiermustern, 170 g, ca. 1 x 1 cm große Stücke), mit einem ähnlichen Imprägniermittel wie bei Nr. 1 behandelt. Größenordnung der Menge an Organofluor wurde aus Angaben der BfR-Empfehlung [14] abgeschätzt. Annahme: ca. 0,5 % (0,4-1,2 %) Wirksubstanz mit Fluorgehalten von ca. 40 % (35-54 %). Dies entspricht ca. 340 mg Organofluor (68 mg Fluor/kg Boden).	667
4	Ohne Dotierung	341

Die Boden-Kompost-Gemische wurden bis zu 708 Tage (annähernd 24 Monate) i. d. R. wöchentlich befeuchtet und durchmischt, um aerobe Bedingungen zu fördern. Zu sechs Zeitpunkten wurden Teilproben entnommen und analysiert. Zusätzlich wurde in den ersten 11 Monaten ein Kontrollansatz ohne Dotierung PFAS-haltiger Materialien mitgeführt.

2.2 Analysenverfahren

Von den entnommenen Teilproben wurden wässrige Schüttel-eluat nach DIN 19529 mit einem Wasser-/Feststoff-Verhältnis von L/S = 2 hergestellt. Dies erlaubte eine empfindliche Detektion eluierbarer PFAS mittels Flüssigkeitschromatographie-Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) nach DIN 38407-42 (Bestimmungsgrenzen bei 1 ng/L).

Von jedem Eluat wurde ein Teil direkt (native Probe) und ein Teil nach TOP-Assay jeweils in Doppelbestimmung analysiert. Beim TOP-Assay werden bekannte und unbekannte Vorläufer-

verbindungen (Präkursoren) in den Eluaten zu analysierbaren PFCA oxidiert [15]. Anschließend erfolgte die Analyse analog zur nativen Probe nach DIN 38407-42. Aus der Zunahme der PFCA-Konzentrationen konnte auf die Anwesenheit von Präkursoren geschlossen werden. Zusätzlich wurde das Imprägniermittel mittels dTOP-Assay analysiert. Hierzu wurde ein Aliquot des Imprägniermittels zur Trockene eingedampft und der feste Rückstand mit einem großen Überschuss einer konzentrierten, alkalischen Persulfatlösung aufgeschlossen [12].

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungen der drei Materialien zeigten mit wenigen Ausnahmen ein ähnliches Freisetzungverhalten (Abb. 2 und 3).

Im Verlauf der Versuche stiegen die PFAS-Konzentrationen in den nicht-oxidierten Eluaten in allen dotierten Ansätzen an. Nach einem knappen Jahr wurden etwa achtfach höhere Konzentrationen gemessen als zu Versuchsbeginn. Der Anstieg der Konzentrationen im Versuchsverlauf verlief annähernd linear. Mit steigender Versuchsdauer nahmen dabei die relativen Anteile der kürzerkettigen PFCA, also von Perfluorbutansäure (PFBA) und Perfluorpentansäure (PFPeA), gegenüber dem PFHxA-Anteil zu. Dies weist darauf hin, dass die Entstehung der kürzerkettigen PFCA über langsamere Zwischenschritte verläuft als die Entstehung von PFHxA [16].

Die PFCA-Konzentrationen nach TOP-Assay waren in fast allen Fällen größer als ohne oxidativen Aufschluss. In allen Ansätzen nahm der Anteil der eluierbaren und im TOP-Assay zu PFCA oxidierbaren Präkursoren tendenziell mit fortschreitender Versuchsdauer ab. Die Höhe der eluierbaren Fluor-Konzentrationen und die ausgetragenen Fluor-Frachten (zu allen Entnahmezeitpunkten < 0,1 % des Ausgangsgehalts bei den nativen Proben und < 0,5 % bei den Proben nach TOP-Assay-Aufschluss) deuten darauf hin, dass hauptsächlich nicht-polymere Rückstände und möglicherweise ein geringer Anteil aus Polymerseitenketten gebildeter PFCA im Eluat auftraten. Das Verteilungsmuster der im TOP-Assay entstandenen PFCA (Abb. 4) ist typisch für Materialien auf Basis von 6:2-Fluortelomer-Seitenketten [11].

Das in Ansatz 1 dotierte Textil-Imprägniermittel wurde mittels dTOP analysiert (Abb. 4). Bei diesem Experiment wurden auch die ultrakurzkettigen PFCA, Trifluoressigsäure (TFA) und Perfluorpropionsäure (PFPrA), bestimmt, um die Massenbilanz zu schließen. Die dTOP-Analyse ergab einen aus PFCA ermittelten Fluorgehalt von 1,18 %, der gut mit dem vom Hersteller angegebenen Fluorgehalt von 1,2 % übereinstimmte. Dies belegt, dass die Seitenketten mit dem im Vergleich zum TOP-Assay nach Houtz und Sedlak [15] wesentlich härteren dTOP-Aufschluss [12] durch Hydrolyse und Oxidation quantitativ erfasst wurden.

Textil-Imprägniermittel

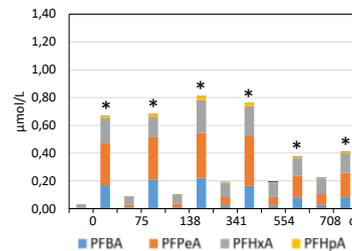
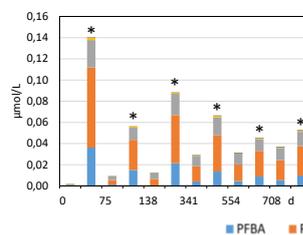


Abb. 2: Molare PFAS-Konzentrationen (Mittelwerte, n = 2) in den Eluaten des mit einem SCFP-haltigen Textil-Imprägniermittel dotierten Mikrokosmos vor und nach (*) TOP-Assay in Abhängigkeit von der Versuchsdauer.

Imprägniertes Textil



Imprägniertes Papier

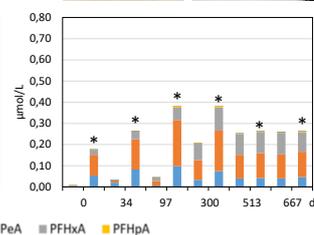


Abb. 3: Molare PFAS-Konzentrationen (Mittelwerte, n = 2) in den Eluaten der mit SCFP-haltigen Materialien dotierten Mikrokosmos vor und nach (*) TOP-Assay in Abhängigkeit von der Versuchsdauer.

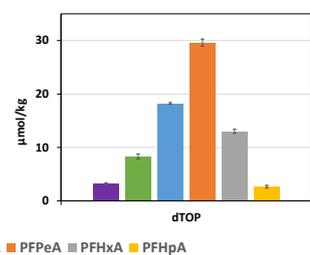
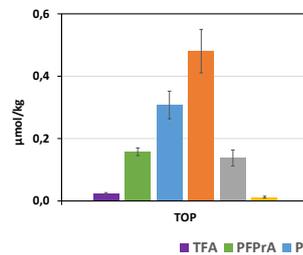


Abb. 4: Entstehung von PFCA bei TOP- und dTOP-Analyse eines Imprägniermittels auf SCFP-Basis; bitte unterschiedliche Ordinaten-Skalierungen beachten.

4 Schlussfolgerungen

Die beschriebenen Laborversuche lassen folgende Interpretationen zu:

- Gelangen SCFP in Böden oder Gewässer, ist von einer Freisetzung von PFCA auszugehen.

- Bei den nicht-oxidierten Eluaten wurden nach ungefähr einem Jahr PFCA-Konzentrationen gemessen, die etwa um eine Zehnerpotenz höher lagen als zu Versuchsbeginn. Bei längerer Versuchsdauer ist einer weiteren Konzentrationszunahme zu erwarten.
- Bei den Eluaten nach oxidativem Aufschluss im TOP-Assay wurden deutlich höhere PFCA-Konzentrationen als bei den nativen Proben gefunden (ca. Faktor 4 nach 11 Monaten). Im Versuchsverlauf wurde allerdings kein stetiger Anstieg der PFCA-Konzentrationen festgestellt, sondern gegen Ende sogar eine Abnahme. Dies könnte auf eine beginnende Erschöpfung des eluierbaren Anteils an Präkursoren (z. B. 6:2-FTOH etc.) hindeuten.
- Es ist zu erwarten, dass bei einer längeren Versuchsdauer (mehrere Jahre) in den nativen Eluaten und in den Eluaten nach TOP-Assay eine Angleichung der Konzentrationen stattfindet. Somit ermöglicht der TOP-Assay einen „Blick in die Zukunft“.
- Bis zum Versuchsende waren auch mit dem TOP-Assay nur max. 0,5 % des eingesetzten und im Falle des Textil-imprägniermittels mittels dTOP-Analyse bestimmten Fluors aus SCFP eluiert worden. Dies deutet darauf hin, dass über 99 % der PFAS (SCFP) noch im Boden vorhanden sind, entweder gebunden am eingesetzten Material (Textil, Papier) oder in der Bodenmatrix. Eine Bindung über ggf. im SCFP enthaltene Crosslinker an die Bodenmatrix ist denkbar und bedarf weiterer Untersuchung.

Somit sind zwei Szenarien denkbar:

- I. Die nicht-eluierten SCFP sind so stabil, dass eine Freisetzung mobiler PFAS in die Umwelt nur extrem langsam erfolgt. Mobilisiert werden vor allem Produktverunreinigungen; dies sind nicht-umgesetzte Ausgangsverbindungen (6:2-FTOH und Abbauprodukte davon), die nicht im Polymer gebunden sind. Für den Pfad Boden-Grundwasser besteht aufgrund der sehr langsamen Freisetzung nur eine geringe Gefährdung. Über andere Wirkungspfade (z. B. Boden-Nutzpflanze-Mensch) können keine Aussagen getroffen werden.
- II. Die nicht-eluierten SCFP sind zwar stabil, dennoch werden in der Umwelt in absehbarer Zeit relevante Mengen mobiler PFAS freigesetzt. Auch wenn im Boden bzw. Bodeneluat nur geringe PFAS-Konzentrationen auftreten, kann ein Depot unerkannt vorliegen und eine bedeutende Quelle für eine lang anhaltende PFAS-Freisetzung darstellen. Das Freisetzungspotenzial wird also stark unterschätzt.

Ob das optimistische Szenario I oder das pessimistische Szenario II zutreffend ist, sollte mit weiteren Versuchen geklärt werden. Bis dahin ist es aus Umwelt- und Vorsorgegründen sinnvoll, vom Szenario II auszugehen. Die ubiquitäre Verbreitung von PFAS in der Umwelt (Blut, Muttermilch, Wildschweinleber etc. [17,18] zeigt, dass bereits jetzt zu hohe Konzentrationen mobiler PFAS vorliegen.

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Michael Merklinger für die sorgfältige Herstellung der Eluate und die Durchführung der PFAS-Analysen.

Literatur

- [1] Brunn, H.; Arnold, G.; Körner, W.; Rippen, G.; Steinhäuser, K.; Valentin, I. (2023): PFAS. Forever chemicals—persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites. *Environ Sci Eur* 35 (1): 20. DOI: 10.1186/s12302-023-00721-8.
- [2] Umweltbundesamt (2020): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen. UBA-Texte 137/2020. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas> (aufgerufen am 12.05.2025).
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Leitfaden zur PFAS-Bewertung - Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials <https://www.bmu.de/download/leitfaden-zur-pfas-bewertung> (aufgerufen am 12.05.2025).
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, <https://www.bmu.de/faq/welche-pfas-wurden-bislang-reguliert> (aufgerufen am 12.05.2025).
- [5] European Chemicals Agency (ECHA). <https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas> (aufgerufen am 12.05.2025).
- [6] Washington, J.W.; Ellington, J.; Jenkins, T.M.; Evans, J.J.; Yoo, H.; Hafner, S.C. (2009): Degradability of an acrylate-linked, fluorotelomer polymer in soil. *Environ Sci Technol* 43 (17), 6617–6623. DOI: 10.1021/es9002668.
- [7] Washington, J.W.; Jenkins, T.M.; Rankin, K.; Naile, J.E. (2015): Decades-scale degradation of commercial, side-chain, fluorotelomer-based polymers in soils and water. *Environ Sci Technol* 49 (2), 915–923. DOI: 10.1021/es504347u.
- [8] Liu, J.; Mejia Avendaño, S. (2013): Microbial degradation of polyfluoroalkyl chemicals in the environment. A review. *Environ Int* 61, 98–114. DOI: 10.1016/j.envint.2013.08.022.
- [9] Teymoorian, T.; Munoz, G.; Vo Duy, S.; Liu, J.; Sauvé, S. (2023): Tracking PFAS in drinking water. A review of analytical methods and worldwide occurrence trends in tap water and bottled water. *ACS EST Water*. DOI: 10.1021/acsestwater.2c00387.
- [10] DIN 38414-14, 2011-08: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und

massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14).

- [11] Lange, F.T.; Freeling, F.; Göckener, B. (2024): Persulfate based total oxidizable precursor (TOP) assay approaches for advanced PFAS assessment in the environment—a review. *Trends Environ Anal Chem* 18 (20), e00242. DOI: 10.1016/j.teac.2024.e00242.
- [12] Göckener, B.; Eichhorn, M.; Lämmer, R. Kotthoff, M.; Kowalczyk, J.; Numata, J.; Schafft, H.; Lahrssen-Wiederholt, M.; Bücking, M. (2020): Transfer of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from feed into the eggs of laying hens. Part 1: Analytical results including a modified Total oxidizable precursor assay. *J. Agric. Food Chem* 68 (45), 12527–12538. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c04456.
- [13] Zweigle, J.; Capitain, C.; Simon, F.; Roesch, P.; Bugsel, B.; Zwiener, C. (2023): Non-extractable PFAS in functional textiles - characterization by complementary methods. Oxidation, hydrolysis, and fluorine sum parameters. *Environ Sci Process Impacts*. DOI: 10.1039/D3EM00131H.
- [14] BfR-Empfehlung XXXVI. Papiere, Kartons und Pappen für den Lebensmittelkontakt, XXXVI-Papiere--Kartons-und-Pappen-fuer-den-Lebensmittelkontakt.pdf (aufgerufen am 12.05.2025).
- [15] Houtz, E.F.; Sedlak, D.L. (2012): Oxidative conversion as a means of detecting precursors to perfluoroalkyl acids in urban runoff. *Environ Sci Technol* 46 (17), 9342–9349. DOI: 10.1021/es302274g.
- [16] Lee, H; Mabury, S.A. (2014): Global distribution of polyfluoroalkyl and perfluoroalkyl substances and their transformation products in environmental solids. In D.A. Lambropoulou, L.M.L. Nollet (Eds.): *Transformation products of emerging contaminants in the environment. Analysis, processes, occurrence, effects and risks*. Chichester: Wiley, pp. 797–825.
- [17] Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/pfc-im-menschen?parent=74774> (aufgerufen 19.03.2025).
- [18] Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat, <https://landwirtschaft.hessen.de/presse/pressearchiv/umweltchemikalie-pfc-in-wildschweinlebern-nachgewiesen> (aufgerufen am 19.03.2025).

Korrespondenzautor

Dr. Frank Thomas Lange
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser
Abteilung Wasserchemie
Sachgebiet Wasserchemische Forschung
Karlsruher Str. 84
76139 Karlsruhe
Tel.: 0721 9678-157
Email: frank.lange@tzw.de



Quecksilber in deutschen Flüssen: heute und morgen eine Herausforderung

Jens Hahn^{1*}, Andreas Wittmann¹, Stephan Krisch^{1,2}, Andreas Breidenbach¹, Lars Duester¹, Jan G. Wiederhold¹

¹ Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Abteilung G - Qualitative Gewässerkunde, Koblenz.

² Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Umweltgeochemie, Braunschweig.

* Korrespondenz an jens.hahn@bafg.de

Abstract

In Schwebstoffen und Sedimenten deutscher Flüsse verzeichnet Quecksilber (Hg) seit Jahrzehnten rückläufige Konzentrationen. Die in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) festgelegte Umweltqualitätsnorm (UQN) für Hg in Biota wird allerdings weiterhin nahezu flächendeckend überschritten. Als Ursache gilt die innerhalb der Gewässer stattfindende Umwandlung des Hg in Methylquecksilber (MeHg), das sich aufgrund seiner besonderen Eigenschaften in Nahrungskettenendgliedern und Menschen anreichert. Im Rahmen dieses Artikels wird die Problematik der Hg-Belastung in deutschen Flüssen zusammenfassend dargestellt. Dabei werden ausgewählte Ergebnisse des derzeit an der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) laufenden Forschungsprojektes „QUISS“ (Quecksilber in Sedimenten und Schwebstoffen) beispielhaft präsentiert.

Was bereits bekannt ist

Quecksilber (Hg) ist ein giftiges Metall ohne bekannte biologische Funktion. Vulkanausbrüche, Gesteinsverwitterung und Waldbrände verursachen die wichtigsten natürlichen Quecksilberemissionen.¹ Anthropogene Hg-Emissionen überschreiten diese jedoch bei weitem. Schätzungen gehen davon aus, dass als Folge menschlicher Tätigkeiten zwischen 1850 und 2010 etwa 470 kt Hg in die Atmosphäre und etwa 1070 kt Hg in aquatische und terrestrische Bereiche freigesetzt wurden.² Quecksilber wurde Jahrhunderte lang in vielen Bereichen der Medizin und Technik verwendet (z.B. in Thermometern, Barometern, Schaltern und Relais, Leuchtmitteln) und in verschiedenen Industrieprozessen und in der Landwirtschaft (z.B. Chlor-Alkali-Elektrolyse, Beizmittel) eingesetzt. Im Rahmen des globalen Minamata-Abkommens der Vereinten Nationen verpflichteten sich ab dem Jahr 2013 viele Staaten zur Reduzierung ihrer Hg-Emissionen. Zwar sind bis dato bereits 152 Staaten, inklusive Deutschland, dem Abkommen beigetreten,³ über u. a. kleingewerbliche Goldgewinnung oder die Verbrennung fossiler Energieträger wird Hg jedoch weiterhin in die Umwelt freigesetzt und über die Atmosphäre global verteilt.⁴

Hg wird auf verschiedenen Wegen in Fließgewässer eingetragen (u. a. über Abwasser, atmosphärische Deposition, Bodenerosion), wo es in gelöster oder partikulärer Form transportiert und später am Gewässergrund in Sedimenten abgelagert werden kann (Abb. 1). Dabei liegt der Großteil des Hg in Form anorganischer Hg(II)-Verbindungen vor, die eine hohe

Affinität zur Bindung an Partikeloberflächen und organische Liganden aufweisen.⁵ Der partikuläre Transport von Hg im Schwebstoff dominiert daher in Fließgewässern in der Regel deutlich die Bilanzen, während im Vergleich dazu nur eine sehr geringe Hg-Menge in gelöster Form transportiert wird.⁶ Dabei unterliegen die Konzentrationen des partikulären Hg, je nach Abflussverhältnissen sowie Menge und Zusammensetzung der Schwebstofffracht, saisonalen Variationen.

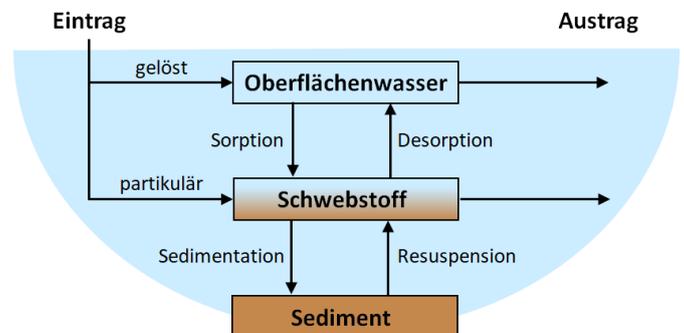


Abb. 1: Schematische Darstellung der relevanten Teilprozesse des Hg-Transports in Fließgewässern.

Schwebstoffe sind somit ein wichtiger Hg-Vektor über teils sehr weite Distanzen. Zugleich fungieren Fließgewässer und ihre Sedimente sowohl als Langzeitsenken, als auch als mögliche Sekundärquellen von Hg. Die Funktion als Sekundärquelle verdeutlicht sich durch die Tatsache, dass weltweit der über Flüsse in Küstenmeere erfolgende Hg-Eintrag die Mengen atmosphärischer Depositionen bei weitem übertrifft.⁷ Andererseits können in fluvialen Depositionen wie Sedimenten und Auenböden große Mengen an historisch eingetragenen Hg dem Gewässer über Dekaden hinweg entzogen werden, sofern keine Resuspension und erneute Umverteilung dieses Materials stattfindet.⁸ Insbesondere besteht während rasch einsetzender Hochwasserereignisse die Möglichkeit der Resuspension Hg-haltiger Altsedimente. Dabei können die in kurzen Zeiträumen remobilisierten Hg-Mengen ähnliche Größenordnungen erreichen wie die innerhalb eines Kalenderjahres transportierten Hg-Gesamtfrachten des betroffenen Fließgewässers.⁹

Was liefern langfristige Zeitreihen?

Resultierend aus rückläufigen Hg-Einträgen lässt sich in Deutschland in jüngerer Vergangenheit ein grundsätzlicher Rückgang der Konzentrationen an Gesamt-Hg (THg) in Fluss-

wasser und Schwebstoffen feststellen (Abb. 2). Dabei bestehen regionale Unterschiede. Die Elbe und ihre Nebenflüsse Mulde und Saale zeigen ab Mitte der 1980er Jahre einen besonders ausgeprägten Konzentrationsrückgang, jedoch gleichzeitig ein weiterhin höheres Konzentrationsniveau des THg als andere große Flüsse in Deutschland. Diese auffällig hohen Konzentrationen sind maßgeblich auf die industrielle Verwendung von Hg in den Chemie-Kombinaten Bitterfeld und Buna zurückzuführen, aus denen große Mengen an Hg in Mulde und Saale eingeleitet und in die Elbe verfrachtet wurden.¹⁰

Gegenüber den Schwebstoffen ist das Belastungsniveau von THg in Fischen in der Regel weniger stark rückläufig, sodass

die gemäß OGewV geltende UQN von 20 µg/kg Frischgewicht in deutschen Fließgewässern nahezu flächendeckend überschritten wird. Unter Berücksichtigung des Ausmaßes der aktuellen UQN-Überschreitungen und den Verläufen der Konzentrationszeitreihen ist eine Einhaltung der UQN in der näheren Zukunft weitgehend ausgeschlossen.¹¹⁻¹³ Der Umstand, dass die UQN auch zumeist in Gewässern mit vergleichsweise niedrigen THg-Konzentrationen in Schwebstoffen und Sedimenten nicht eingehalten wird, unterstreicht die Schlüsselrolle des MeHg bei der Anreicherung von Hg in aquatischen Organismen.

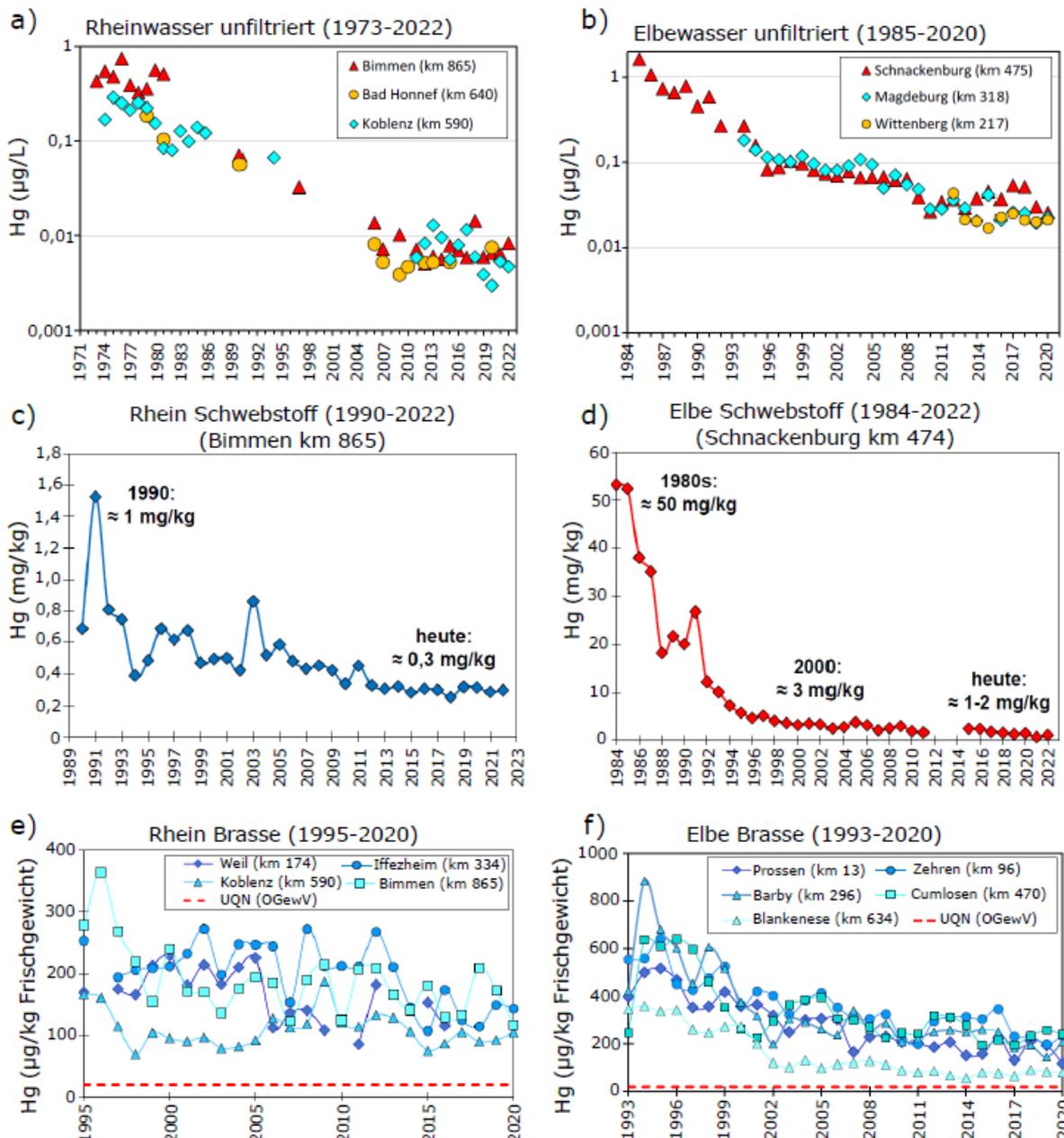


Abb. 2: Historischer Verlauf der THg-Jahresmittelwerte in unfiltriertem Flusswasser des Rheins (a) und der Elbe (b), in Schwebstoffen des Rheins (c) und der Elbe (d) sowie in Muskelgewebe der Brasse (*Abramis brama*) an verschiedenen Dauermessstellen des Rheins (e) und der Elbe (f) im Vergleich zur UQN (eigene Darstellung, basierend auf veröffentlichten Daten der FGG Elbe¹⁴, FGG Rhein¹⁵ sowie der Umweltprobenbank des Bundes¹⁶).

Unsicherheitsfaktor Methylierung

Die Hg-Methylierung stellt einen Schlüsselprozess zum Verständnis der Hg-Anreicherung in aquatischen Organismen dar. Dabei werden Hg(II)-Verbindungen unter sauerstofffreien Bedingungen von anaeroben Mikroorganismen in MeHg umgewandelt.¹⁷ Sulfatreduzierende Bakterien spielen dabei eine wichtige Rolle, jedoch zeigen neuere genetische Studien, dass auch andere anaerobe Mikroorganismen an der MeHg-Bildung beteiligt sind.¹⁸ Der Methylierung wirkt simultan dem ebenfalls vorwiegend mikrobiell ablaufendem Prozess der Demethylierung entgegen. Somit ist die in einer Umweltprobe zum Untersuchungszeitpunkt gemessene MeHg-Konzentration als „Netto-MeHg“ zu betrachten, das sich aus dem Verhältnis der Methylierungs- und Demethylierungsraten ergibt.¹⁷ Die Konzentration an „Netto-MeHg“ in natürlichen Fließgewässern wird von einer Vielzahl biotischer und abiotischer Umweltfaktoren beeinflusst, die zudem starken räumlichen und zeitlichen Variationen unterliegen.¹⁹ Während THg in kontaminierten Sedimenten und Schwebstoffen im Bereich von ca. 1-100 mg/kg auftritt, sind die Konzentrationen des MeHg in Abhängigkeit der Bildungsbedingungen hoch variabel, liegen zumeist aber im Bereich von ca. 0,1-10 % der THg-Konzentrationen.²⁰ Aufgrund des amphiphilen Charakters des MeHg ergibt sich eine sehr starke Neigung zur Bioakkumulation und Biomagnifikation, so dass MeHg in Nahrungskettenendgliedern in bis zu millionenfach höheren Konzentrationen vorliegen kann als in der gelösten Phase von Fließgewässern.²¹ Dies liefert einerseits eine Erklärung der UQN-Überschreitungen in deutschen Flüssen mit einer vergleichsweise geringen Hg-Belastung und bewirkt andererseits, dass der Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten den Haupteintragspfad für Quecksilber in den Menschen darstellt.¹

Bisherige Erkenntnisse aus „QUISS“

Ein tieferes Verständnis der Hg-Dynamik in Fließgewässern ist unabdingbar, um Maßnahmen zur Erreichung eines guten chemischen Gewässerzustands abzuleiten. Zwar sind zahlreiche Steuerungsgrößen der Hg-Methylierung bereits bekannt, durch das komplexe Wechselspiel von Prozessen der Methylierung und Demethylierung ist es aber nur schwer zu prognostizieren, unter welchen Umweltbedingungen hohe „Netto-Gehalte“ des MeHg auftreten. An der BfG wird daher in Kooperation mit der Technischen Universität Braunschweig derzeit ein durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr finanziertes Forschungsprojekt durchgeführt.^{22,23} Dabei werden insbesondere Untersuchungen (1) zur Mobilität und Bioverfügbarkeit verschiedener Hg-Spezies, (2) zu den die Balance zwischen Methylierung und Demethylierung kontrollierenden Umweltfaktoren und Mikroorganismen und (3) zur Rolle der Sediment-Wasser-Grenzschicht im Kontext der Dynamiken von Hg-Spezies vorgenommen.

Erste Ergebnisse der Untersuchungen an Proben aus Schwebstoffsammlern, im Folgenden als „schwebstoffbürtige Sedimente“ bezeichnet, geben dabei neue Einblicke in Dynamiken des THg und MeHg in deutschen Flüssen. Die angewandte

Methodik schließt dabei die Schockfrostung und Kryokonservierung der gesammelten Proben mit flüssigem Stickstoff im Feld ein, um Um- und Abbauprozesse der Hg-Spezies zu minimieren. Die mikrobielle Gemeinschaft in den frisch getauten Proben wird mittels „long-read“ PacBio 16S rDNA Sequenzierung, wenn möglich, bis auf Artebene bestimmt. Potentielle Hg-Methylierer werden anschließend mit Hilfe der Hg-MATE-Db Datenbank identifiziert.²⁴ Chemische Analysen werden an den gefriergetrockneten Teilproben durchgeführt. Die THg-Bestimmung erfolgt mittels Hg-Feststoffanalysator, in dem die Proben bei 650 °C verascht und das Hg nach Anreicherung auf einer Goldfalle mit Atomabsorptionsspektrometrie detektiert wird. Die Analyse des Methylquecksilbers erfolgt mittels alkalischer Extraktion und anschließender Quantifizierung durch Atomfluoreszenzspektrometrie nach vorheriger gaschromatographischer Trennung der Hg-Spezies.

Die mikrobielle Gemeinschaft der potentiellen Hg-Methylierer kann, je nach Beschaffenheit und Herkunft einer Probe, stark variieren. Die exemplarisch dargestellten Hg-Methylierer der in Schwebstoffsammelboxen an Mulde (Dessau), Elbe (Tangermünde), Saale (Wettin) und Donau (Jochenstein) gesammelten Proben ließen hierbei eine deutliche Dominanz der Gattungen *Clostridium*, *Geobacter*, *Syntrophorhabdus* und *Desulfobulbus* erkennen (Abb. 3).

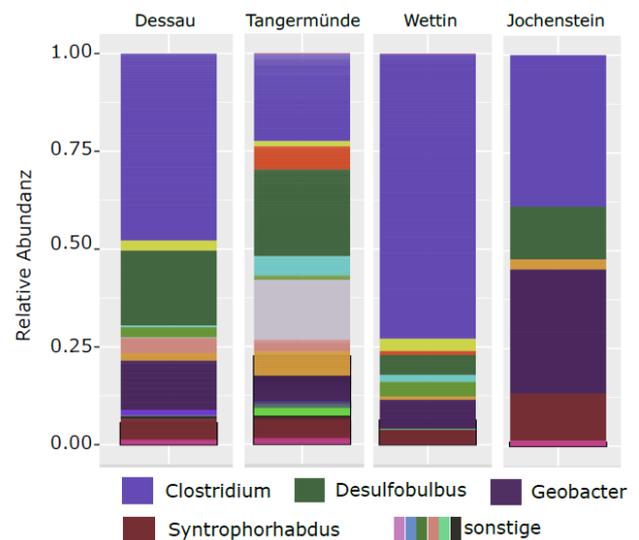


Abb. 3: Relative Abundanz potentieller Hg-Methylierer in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Messstellen Dessau (Mulde), Tangermünde (Elbe), Wettin (Saale) und Jochenstein (Donau).

Die THg-Konzentrationen zeigten bisher, in Übereinstimmung mit den zuvor erwähnten Quellen, höhere Werte an den stark von historischen Hg-Einträgen geprägten Standorten Dessau (1,12–2,24 mg/kg), Tangermünde (0,69–1,89 mg/kg) und Wettin (0,77–3,49 mg/kg), als an der weniger von historischen Hg-Einträgen geprägten Donau bei Jochenstein (0,03–0,13 mg/kg) (Abb. 4). Bemerkenswert ist, dass regionale Unterschiede in den MeHg-Konzentrationen weniger stark ausgeprägt waren (Dessau: 3,4–20,1 µg/kg; Tangermünde: 4,7–19,5

µg/kg; Wettin: 3,7–8,7 µg/kg; Jochenstein: 0,2–2,2 µg/kg). Das MeHg/THg-Verhältnis variierte an allen Untersuchungslokalitäten zwischen 0,2 und 2,7 %, wobei höhere Werte in den wärmeren Sommermonaten auftraten. In Jochenstein wurden trotz niedriger THg-Konzentrationen ähnliche prozentuale Anteile erreicht wie in Tangermünde, während die MeHg/THg-Verhältnisse der Standorte Dessau und Wettin deutlich übertrafen wurden.

Die Ergebnisse bestätigen, dass die mikrobielle Produktion des MeHg, und damit das Potential der Anreicherung des Hg in aquatischen Nahrungsnetzen, sich nicht ausschließlich mit der THg-Belastung eines Gewässers erklären lässt. Erste Erkennt-

nisse weisen darauf hin, dass zwischen den in Suspension befindlichen Schwebstoffen und den Sedimenten eines Flusses deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der in ihnen vorhandenen mikrobiellen Gemeinschaften bestehen und dass wahrscheinlich insbesondere frisch abgelagerte Jungsedimente von hoher Bedeutung für die MeHg-Dynamik in Flüssen sind. Zukünftig kommt der Identifizierung von Determinanten und „Hot-Spots“ der Hg-Methylierung in Flüssen eine herausragende Bedeutung zu, um eine Wissensgrundlage zu bilden, auf der basierend im Rahmen des Fließgewässermanagements zukünftige Handlungsoptionen zur Verringerung der Hg-Methylierung abgeleitet werden können.

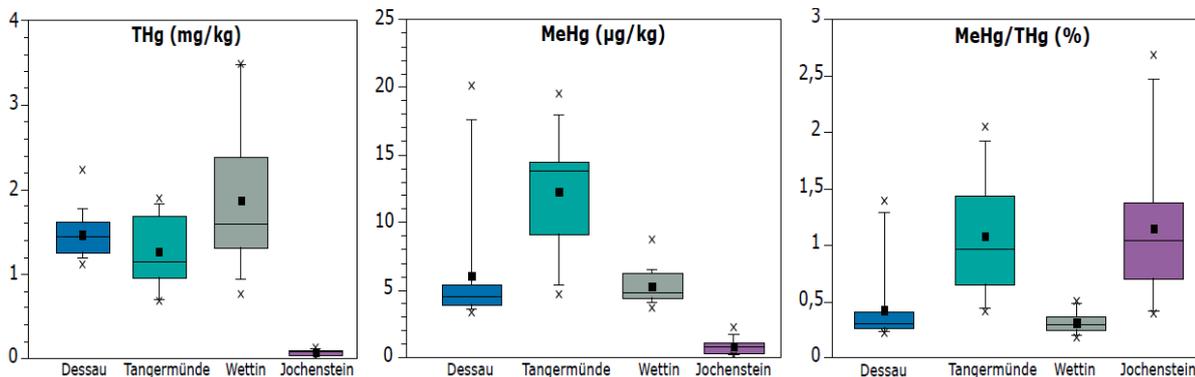


Abb. 4: Boxplotdiagramm der Konzentrationen an THg, MeHg und des MeHg/THg-Verhältnisses in schwebstoffbürtigen Sedimenten (2022–2024) der Messstellen Dessau (Mulde), Tangermünde (Elbe), Wettin (Saale) und Jochenstein (Donau).

Literatur

- [1] UNEP Global Mercury Assessment 2018 (UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch 2018). <https://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018>
- [2] Streets, D.G., Horowitz, H.M., Jacob, D.J., Lu, Z., Levin, L., ter Schure, A.F.H., Sunderland, E.M., 2017. Total mercury released to the environment by human activities. *Environ. Sci. Technol.* 51 (11), 5969–5977. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00451>
- [3] “Minamata Convention on Parties”; <https://minamataconvention.org/parties/overview> (Zugriff 02/2025)
- [4] Brocza, F.M., Rafaj, P., Sander, R., Wagner, F., Jones, J.M., 2024. Global scenarios of anthropogenic mercury emissions. *Atmos. Chem. Phys.*, 24, 7385–7404, <https://doi.org/10.5194/acp-24-7385-2024>
- [5] Liu, G.; Cai, Y.; O’Driscoll, N. (Eds.) *Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury*. John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2011. <https://doi.org/10.1002/9781118146644>
- [6] Amos, H. M., Jacob, D. J., Kocman, D., Horowitz, H. M., Zhang, Y., Dutkiewicz, S., Horvat, M., Corbitt, E.S., Krabbenhoft, D. P., Sunderland, E. M., 2014. Global biogeochemical implications of mercury discharges from rivers and sediment burial. *Environ. Sci. Technol.* 48 (16), 9514–9522. <https://doi.org/10.1021/es502134t>
- [7] Liu, M., Zhang, Q., Maavara, T. Liu, S., Wang, X., Raymond, P. A., 2021. Rivers as the largest source of mercury to coastal oceans worldwide. *Nat. Geosci.* 14, 672–677. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00793-2>
- [8] Lazareva, O., Sparks, D.L., Landis, R., Ptajek, C.J., Ma, J., 2019. Investigation of legacy industrial mercury in floodplain soils: South River, Virginia, USA. *Environ. Earth Sci.* 78:246. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8253-9>
- [9] Saniewska, D., Beldowska, M., Beldowski, J., Jędruch, A., Saniewski, M., Falkowska, L., 2014. Mercury loads into the sea associated with extreme flood. *Environ. Poll.* 191, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.04.003>
- [10] Schwartz, R., Bergemann, M., Keller, I., 2015. Entwicklung der partikulären Schadstoffbelastung der Elbe. *Hydrol. Wasserbewirts.* 59 (6), 396–413. https://doi.org/10.5675/HyWa_2015_6_8
- [11] LAWA, 2017. Handlungsempfehlung zur Ableitung der bis 2027 erreichbaren Quecksilberwerte in Fischen. (https://www.wasserblick.net/servlet/is/142651/WRRL_AO_17_Handlungsempfehlung_Quecksilber_20170524.pdf?command=downloadContent&filename=WRRL_AO_17_Handlungsempfehlung_Quecksilber_20170524.pdf) (Zugriff 02/2025)
- [12] FGG Rhein (Hrsg.), 2021. Überblicksbericht der Flussgebietsgemeinschaft Rhein zur Bewirtschaftungsplanung

- nach Wasserrahmenrichtlinie für den 3. Bewirtschaftungszeitraum. Online Dokument, abrufbar unter: <https://fgg-rhein.de/servlet/is/436> (Zugriff 02/2025)
- [13] FGG Elbe (Hrsg.), 2021. Zweite Aktualisierung des Bewirtschaftungsplans nach § 83 WHG bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe für den Zeitraum von 2022 bis 2027. Online Dokument, abrufbar unter: <https://www.fgg-elbe.de/berichte/aktualisierung-nach-art-13-2021.html> (Zugriff 02/2025)
- [14] Datenportal der FGG Elbe. <https://www.elbe-datenportal.de/> (Zugriff 02/2025)
- [15] Flussgebietsgemeinschaft Rhein. <https://fgg-rhein.bafg.de/dkrr/> Zugriff 02/2025)
- [16] Umweltprobenbank des Bundes. <https://www.umweltprobenbank.de> (Zugriff 02/2025)
- [17] Regnell, O., Watras, C. J., 2019. Microbial mercury methylation in aquatic environments: a critical review of published field and laboratory studies. *Environ. Sci. Technol.*, 53 (1), 4-19. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02709>
- [18] Parks, J. M., Johs, A., Podar, M., Bridou, R., Hurt, R. A., Smith, S. D., Tomanicek, S. J., Qian, Y., Brown, S. D., Brandt, C. C., Palumbo, A. V., Smith, J. C., Wall, J. D., Elias, D. A., Liang, L. Y., 2013. The genetic basis for bacterial mercury methylation. *Science* 339 (6125), 1332-1335. <https://doi.org/10.1126/science.1230667>
- [19] Bravo, A. G.; Cosio, C., 2020. Biotic formation of methylmercury: a bio-physico-chemical conundrum. *Limnol. Oceanogr.* 65 (5), 1010-1027. <https://doi.org/10.1002/lno.11366>
- [20] Hsu-Kim, H., Eckley, C. S., Acha, D., Feng, X. B., Gilmour, C. C., Jonsson, S., Mitchell, C. P. J., 2018. Challenges and opportunities for managing aquatic mercury pollution in altered landscapes. *Ambio* 47 (2), 141-169. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1006-7>
- [21] Lavoie, R. A., Jardine, T. D., Chumchal, M. M., Kidd, K. A., Campbell, L. M., 2013. Biomagnification of mercury in aquatic food webs: a worldwide meta-analysis. *Environ. Sci. Technol.* 47 (23), 13385–13394. <https://doi.org/10.1021/es403103t>
- [22] QUISS (Fraktionierung, Speziierung, Umwandlungsprozesse und Mobilität von Quecksilber in Sedimenten und Schwebstoffen deutscher Fließgewässer). https://www.bafg.de/SharedDocs/Projekte/Importer/QUISS_M39600001214.html
- [23] BfG-Pressemitteilung 16.12.2024, <https://www.bafg.de/DE/Service/Presse/doc/2024/241216 QUISS.html>
- [24] Capo, E., Peterson, B. D., Kim, M., Jones, D. S., Acinas, S. G., Amyot, M., Bertilsson, S., Björn, E., Buck, M., Cosio, C., Elias, D. A., Gilmour, C., Goñi-Urriza, M., Gu, B., Lin, H., Liu, Y-R, McMahon, K., Moreau, J. W., Pinhassi, J., Podar, M., Puente-Sánchez, F., Sánchez, P., Storck, V., Tada, Y., Vigneron, A., Walsh, D.A., Vandewalle-Capo, M., Bravo, A.G., Gionfriddo, C. M., 2023. A consensus protocol for the recovery of mercury methylation genes from metagenomes. *Mol. Ecol. Resour.* 23, 190–204. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13687>

Korrespondenzadresse

Dr. Jens Hahn
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Abteilung G - Qualitative Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/1306 5803
Email: Jens.Hahn@bafg.de



Der Einfluss von extremen Hochflutereignissen auf fluviale Sedimente und ihr Schwermetallinventar

Alexandra Weber (alexandra.weber@geo.rwth-aachen.de), Johannes Keßels (johannes.kessels@geo.rwth-aachen.de), Frank Lehmkuhl (flehmkuhl@geo.rwth-aachen.de)
Geographisches Institut, RWTH Aachen University, Wüllnerstr. 5b, 52062 Aachen

Abstract

Der Abfluss eines Gewässers ist der entscheidende Einflussfaktor für die Dynamik fluvialer Sedimente. Insbesondere Hochwasserereignisse spielen deshalb eine entscheidende Rolle für sedimentgebundene Schadstoffe. Allerdings ist bisher wenig über die Schwermetalldynamik bei Extremereignissen bekannt. Am Beispiel der Inde, NRW, die stark vom Hochwasser im Juli 2021 betroffen war, konnte gezeigt werden, dass extreme Abflussereignisse zu längerfristig anhaltenden erhöhten Schwermetallgehalten in fluvialen Sedimenten führen können. Da feinere Sedimente eine größere spezifische Oberfläche haben, ist der Gehalt in der besonders feinen Suspensionsfracht höher als in den auf Auen und an Ufern abgelagerten Sedimenten.

Einleitung

Trotz ambitionierter Vorgaben des Gesetzgebers, haben nach wie vor alle deutschen Gewässer keinen „guten chemischen Zustand“ [1]. Einer der Gründe hierfür ist die Belastung fluvialer Sedimente mit Schwermetallen (trotz kritischer Diskussion des Begriffs [2, 3] haben wir uns bewusst entschieden ihn Zhang et al. [4] folgend in diesem Kontext zu verwenden). Fluviale Sedimente sind als Träger von Schwermetallen bekannt; ihnen kommt seit Jahrzehnten ein entsprechendes Forschungsinteresse zu. Doch obwohl deren räumliche Dynamik insbesondere durch den Abfluss und die daraus resultierende Fließgeschwindigkeit gesteuert wird [5], ist der bisherige Wissensstand zum Einfluss von extremen Hochwasserereignissen auf die Schadstoffdynamik fluvialer Sedimentsysteme unzureichend. Das liegt nicht zuletzt an der Schwierigkeit, Hochwasserereignisse zu beproben und der immanenten Seltenheit von Extremereignissen.

An der Inde, einem Fluss am Übergang zwischen dem Mittelgebirgsraum der Eifel und der Niederrheinischen Bucht in NRW, wird seit 2018 ein Hochwassersediment-Monitoring betrieben [6, 7]. Aufgrund des über viele Jahrhunderte betriebenen Buntmetallerzbergbaus und den damit verbundenen Industriezweigen, ist das Einzugsgebiet von deutlich erhöhten Schwermetallanreicherungen in Sedimenten betroffen [8]. Insbesondere rund um die beiden größten Städte des Einzugsgebietes, Stolberg und Eschweiler, entwickelten sich industrielle Zentren der Metallverarbeitung [9], deren Erbe sich heute in Form von Altlasten bzw. Altstandorten in großer Zahl entlang der Inde und ihres Tributärs, der Vicht, befindet [10]. Ein Großteil der heutzutage mit Schwermetallen belasteten Einzugsgebiete in Mitteleuropa sowie global wurde durch Buntmetallbergbau geprägt [1, 11].

Im Rahmen des Monitorings werden entlang des gesamten Flussverlaufs unmittelbar nach Hochwasserereignissen frisch auf den Auen abgelagerte Feinsedimente (< 2mm) beprobt. Ebenso nach dem Extremhochwasser im Juli 2021, das in den engen, steil eingeschnittenen Tälern des Ober- und Mittellaufs der Inde sowie ihres wichtigsten Tributärs, der Vicht, die Pegel rasant auf ungekannte Höhen ansteigen ließ [12, 13]. In Ergänzung hierzu wurde während eines Hochwassers im Dezember 2023 die Suspensionsfracht beider Flüsse durch Entnahme von 10-20 L Flusswasser beprobt, das nach dreiwöchiger Stehzeit abdekantiert und anschließend eingedampft wurde.

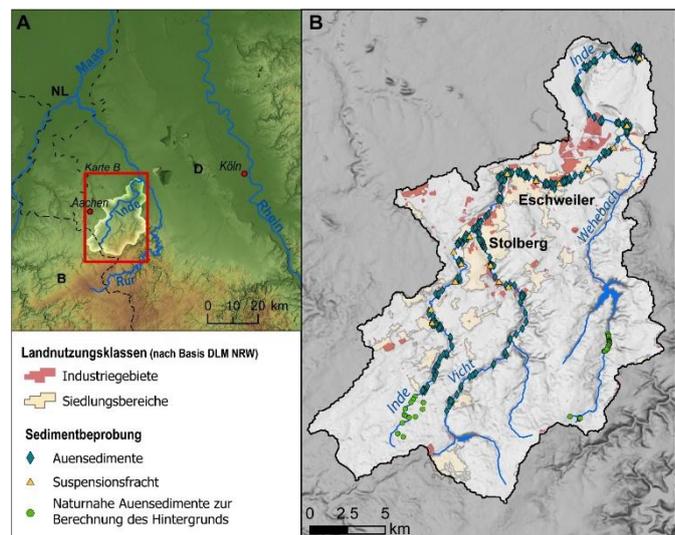


Abb. 1: Übersichtskarte des Inde-Einzugsgebietes. In Karte B sind alle im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten beprobten Standorte verzeichnet. Eine differenziertere Darstellung aller Probenpunkte findet sich in Weber & Lehmkuhl [14].

Alle Probenotypen wurden getrocknet und auf 2 mm abgesiebt, anschließend fein gemahlen und mit Hoechst-Wachs zu Tabletten gepresst, die mittels energiedispersiver polarisierter Röntgenfluoreszenz (Spectro Xepos) auf ihre elementare Zusammensetzung hin untersucht wurden. Um die natürlicherweise in Gebieten mit Buntmetallvorkommen auftretenden erhöhten Schwermetallkonzentrationen und weitere, die Stoffkonzentration beeinflussende Sedimentcharakteristika zu berücksichtigen, werden im Rahmen dieser Arbeit anstelle von Konzentrationen Anreicherungen gezeigt. Sie basieren auf einer Doppelnormalisierung an einem lokalen geochemischen Hintergrund (ermittelt aus naturnahen Auensedimenten, siehe Abb. 1) und Aluminium als Referenzelement. Der so entstandene Datensatz eröffnet die seltene Möglichkeit eines Vergleichs der Schwermetallkonzentrationen vor, während und

nach einem Extremhochwasser. Eine detaillierte Darstellung der Methoden und Ergebnisse findet sich in Weber & Lehmkuhl [14].

Transport von Sediment und assoziierten Schwermetallen in Abhängigkeit vom Abfluss

Bei der Untersuchung fluvialer sedimentärer Systeme im Kontext von Schadstofftransport ist eine grundsätzliche Unterscheidung dreier verschiedener Typen von Feinsediment notwendig: (a) die Suspensionsfracht, die vom fließenden Wasser mitgeführt wird, (b) die Flussbettsedimente, die vorwiegend durch Kriechen und Saltation nah an der Gewässersohle transportiert werden und die nur dann in Bewegung geraten, wenn eine Korngrößenabhängige kritische Schubscherspannung überschritten wird, und (c) die Auensedimente, die bei Hochwasser durch den Fluss auf den ihn umgebenden Flächen, den Auen, abgelagert werden und dort einen allmählich aufwachsenden Auenkörper bilden. Für den Transport sedimentär gebundener Schadstoffe durch ein Einzugsgebiet ist das von der Fließgeschwindigkeit abhängige Wechselspiel aus Erosion und Deposition von Sedimenten entscheidend (vgl. Abb. 2). Hochwasserereignisse sind durch ihre erhöhte Transportkapazität die wichtigste fluvialmorphologische Prozessphase für fluviale Sedimente [15].

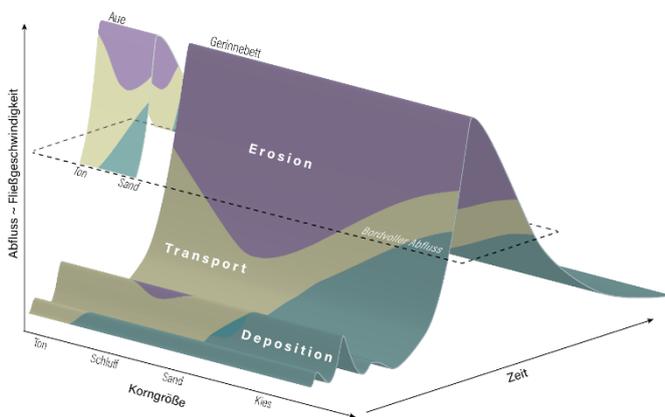


Abb. 2: Schematische Darstellung der Sedimentdynamik in Abhängigkeit vom Abfluss. Die Dynamik fluvialer Sedimente kann in die drei Teilprozesse Erosion, Transport und Deposition gegliedert werden, die direkt von der Fließgeschwindigkeit abhängen – ein Zusammenhang, der im „Hjulström-Diagramm“ wiedergegeben wird. Da die Fließgeschwindigkeit direkt proportional zum Abfluss ist, sind die Prozessbereiche des Hjulström-Diagramms hier auf eine Abflussganglinie aufgetragen. Durch die deutlich verschiedenen Fließgeschwindigkeiten im Gerinne im Vergleich zur Aue unterscheiden sich bei gegebenem Abfluss die dominanten Prozesse.

Während Phasen niedriger bis mittlerer Abflüsse, sammelt sich Feinmaterial zwischen den größeren Partikeln wie Kies und Steinen des Flussbettes, da deren Zwischenräume gut vor Strömung und damit vor Erosion geschützt sind. Aufgrund der großen spezifischen Oberfläche des Feinmaterials besteht hier ein besonders großes Potential zur Zwischenspeicherung von Schwermetallen [15]. Die Fließgeschwindigkeit ist der entscheidende Steuerungsfaktor für die Sortierungsprozesse im

Gewässerbett. Bei erhöhten Abflüssen nimmt durch die höhere Fließgeschwindigkeit auch die Erosivität des Gewässers zu und die im Gewässerbett zwischengespeicherte Feinfraktion wird remobilisiert (siehe Abb. 2) [16]. Bei einer nur leichten Erhöhung der Abflüsse erhöht sich die Transportkapazität des Gewässers derart, dass nur sehr feine Partikel in Suspension gehen und bis in den Vorfluter transportiert werden können, während etwas größere Partikel allenfalls über kürzere Distanzen transportiert werden.

Erst wenn der sogenannte bordvolle Abfluss überschritten wird, kommt es zur Überschwemmung der Auen, auf denen durch die dort verlangsamte Fließgeschwindigkeit vom Fluss mitgeführtes Material abgelagert wird (siehe Abb. 2). Bewachsene Auen sind vor flächenhafter Erosion geschützt und fangen durch ihre hohe Oberflächenrauigkeit Material auf. Sie werden an Prallhängen durch Uferabbrüche erodiert. Damit unterscheiden sich Auensedimente und Flussbettsedimente im Kontext von Schadstoffdynamiken ganz grundlegend: Während das Flussbett als Zwischenspeicher fungiert, in dem eher die rezente Belastung des Einzugsgebietes gespeichert wird, bieten Auen das Potential für langfristige Speicherung und dokumentieren so ein älteres Belastungsprofil ihrer Einzugsgebiete, das durch Ufererosion reaktiviert werden kann.

Aus den dargelegten Überlegungen lassen sich die folgenden zwei Thesen ableiten, die am Beispiel des Indeeinzugsgebietes, untersucht wurden.

These 1: Bei Extremereignissen, die durch ihre große erosive Kraft auch die Auen stark erodieren, ändert sich die geochemische Signatur der rezenten Flutsedimente entsprechend der früheren Landnutzung im Einzugsgebiet.

Die berechnete Schwermetallanreicherung zeigte bei kleineren Hochwasserereignissen (Beprobungen A-D) ein stabiles Signal, während das Extremereignis im Juli 2021 (Beprobung E) zu einem sprunghaften Anstieg führte (siehe Abb. 3). Bemerkenswert ist nicht nur die Zunahme einzelner Spitzenwerte, sondern auch die Verdopplung des Medians der Schwermetallkonzentrationen. Das liegt zum einen an der Erosion der Ufer, in denen sich eine Vielzahl von auf die Bergbauhistorie zurückgehende Altlasten befinden. Darüber hinaus werden bei extremen Hochwassern unerwartet große Flächen überflutet; darunter auch Industriestandorte, die aufgrund ihrer Lage außerhalb regulärer Hochwasserszenarien über keinerlei Hochwasserschutz verfügen.

Zwischen Januar 2022 und Juli 2023 (Beprobungen F-H) nahm die Anreicherung allmählich ab und näherte sich wieder dem Niveau vor dem Extremhochwasser an. Das zeigt, dass die während des Extremevents in das System gespülten stärker belasteten Sedimente zunächst teilweise im Flussbett zwischengespeichert werden und dann allmählich aus dem Einzugsgebiet heraustransportiert werden, sodass sich der Zustand wieder dem modernen Belastungsprofil annähert.

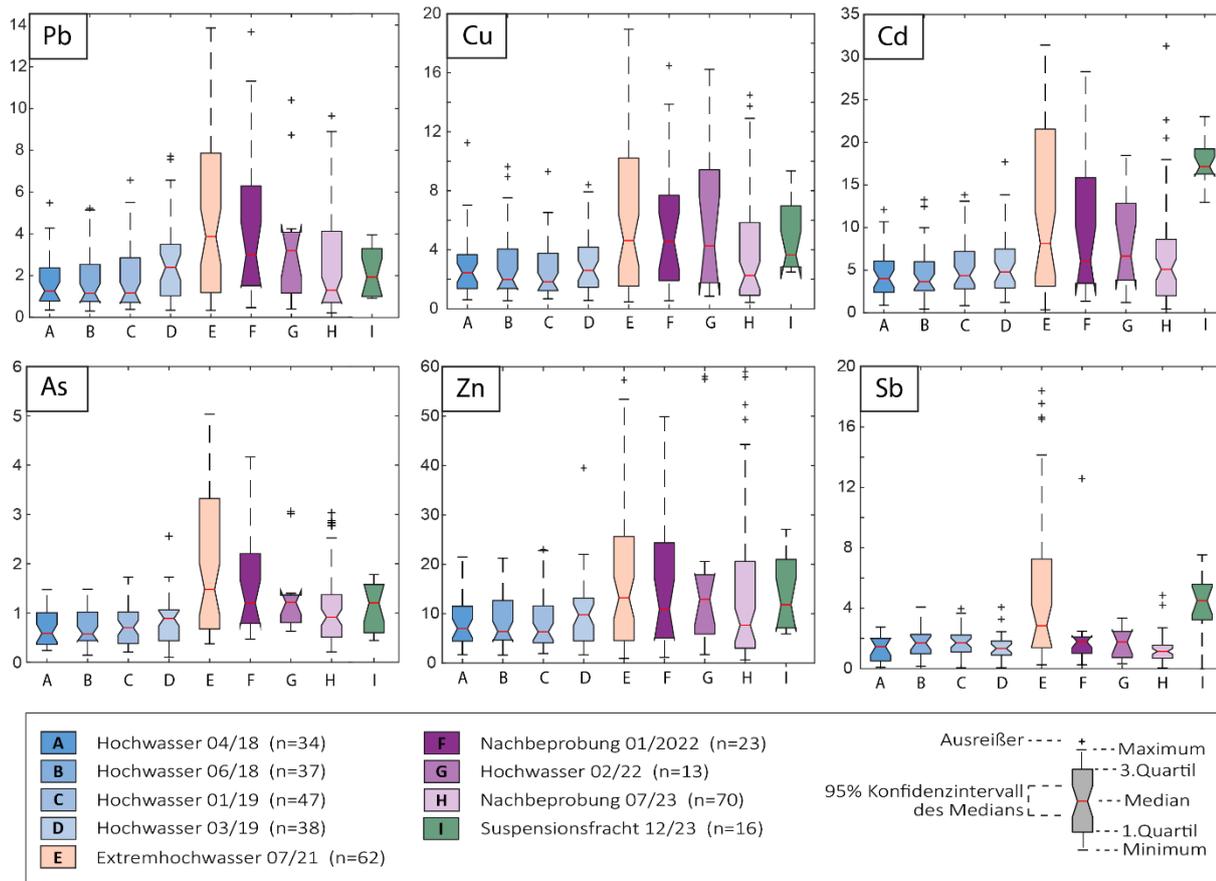


Abb. 3: Anreicherung der sechs ausgewählten Schwermetalle über verschiedene Beprobungskampagnen hinweg

These 2: *Bedingt durch den Korngrößeneffekt, d.h. großes Speicherpotential für Schwermetalle durch große spezifische Oberfläche, ist die besonders feine Suspensionsfracht des Gewässers stärker mit Schwermetallen angereichert als die in noch bewegtem Wasser abgelagerten Auensedimente.*

Neben den Schwermetallanreicherungen der Auensedimente, ist in Abb. 3 auch die Anreicherung in den Suspensionsedimenten (Dezember 2023) in grüner Farbe dargestellt. Für Pb, As, Cu und Zn wurden leicht höhere Anreicherungen in der Suspensionsfracht im Vergleich zu den zuvor beprobten Auensedimenten gefunden. Sie liegen jedoch deutlich unterhalb des Niveaus der Sedimente von Juli 2021 und bestätigen damit den Trend leicht rückläufiger Schwermetallanreicherungen. Auch räumlich zeigen Cu, Pb, Zn und As ein vergleichbares Muster mit deutlicher Anreicherung ab der Mündung der Vicht in die Inde (vgl. Abb. 4). Hier befindet sich der industrielle Schwerpunkt der Region. Das räumliche Muster der Anreicherung wird als Hinweis auf industrielle Aktivitäten als Quelle für Schwermetalle in fluvialen Sedimenten gewertet.

Für Cd und Sb zeigt sich dieses räumliche Muster nicht (vgl. Abb. 4) und die Anreicherung in der Suspensionsfracht ist um ein Vielfaches höher als in den Auensedimenten (vgl. Abb. 3). Das deutet darauf hin, dass diese beiden Elemente stärker als die anderen untersuchten Schwermetalle präferentiell an die besonders feine Sedimentfraktion binden. So kommt es auch zu den stark erhöhten Anreicherungen im Probensatz des Extremhochwassers: Bei den weitflächigen Überflutungen wurden insbesondere im städtischen Bereich viele kleinere Hohlformen überspült, in denen sich schließlich das im Wasser enthaltene Sediment inklusive der Feinstfraktion absetzte [17]. Dieser Zusammenhang ist besonders deutlich zu erkennen für Sb, dessen Anreicherung sich für alle regulären Hochwasserereignisse auf einem konstant moderaten Niveau bewegt. Für das Hochwasser im Juli 2021 wurde ein sprunghafter Anstieg gefunden. Bereits ein halbes Jahr später waren die Anreicherung in den Auensedimenten wieder auf dem ursprünglichen Niveau. Im Fall von Cd vermischt sich das Signal dieses Effektes mit den Auswirkungen verstärkter Emissionen während des Extremhochwassers.

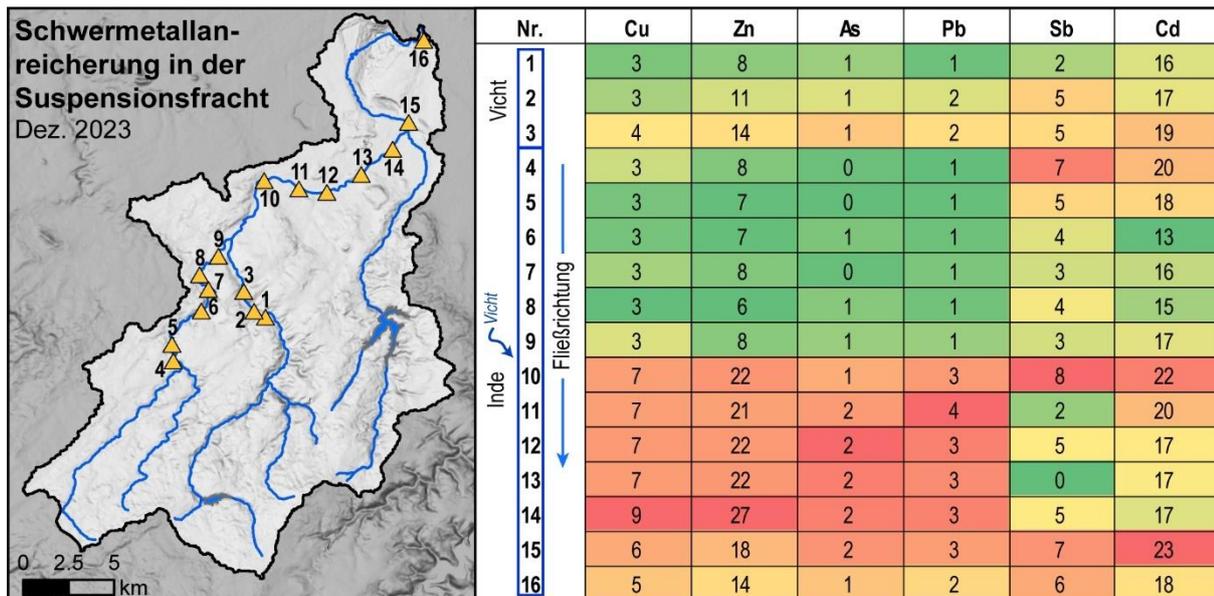


Abb. 4: Anreicherung der ausgewählten Schwermetalle/-metalloide in der während des Hochwassers im Dezember 2023 beprobten Suspensionsfracht.

Implikationen

Die Schwermetallanreicherungen in fluvialen Sedimenten hängen direkt von den Abflüssen des Gewässers ab: Wird eine untere Schwelle unterschritten, kommt es zur (Zwischen-) Speicherung feinkörniger Sedimente im Flussbett mit späterer Remobilisierung bei entsprechender Änderung des Abflusses und damit der Fließgeschwindigkeit. Wird eine obere Schwelle überschritten, kommt es durch Ufererosion und etwaiger Überspülung von anthropogen genutzten Flächen zu erhöhten Einträgen schwermetallhaltiger Sedimente.

Nur während besonders hoher Abflüsse ist die Transportkapazität des Gewässers hoch genug, um das gesamte im Flussbett zwischengespeicherte Feinmaterial aus dem Einzugsgebiet heraus zu transportieren. Sind die Fließgeschwindigkeiten hingegen geringer, wie bei regulären erhöhten Abflüssen, so geht nur der feinste Teil des zwischengespeicherten Sediments in Suspension und gelangt auf diesem Weg in den Vorfluter. Aufgrund dieses Sortierungseffektes, der besonders feine Sedimente bevorzugt in den Vorfluter spült, können bei Hochwasserereignissen mit nur leicht erhöhten Abflüssen die Schwermetallanreicherungen im transportierten Sediment besonders hoch sein. Allerdings unterscheiden sich Schwermetalle danach, an welche Korngrößenfraktion sie präferiert binden. Für das Inde-Einzugsgebiet konnte gezeigt werden, dass Cd und Sb präferiert mit der sehr feinen Fraktion assoziiert vorliegen.

Die Ergebnisse zeigen eindrücklich, welche Bedeutung einer durchdachten Auswahl von Probennahmestellen zukommt. Fluviale Systeme stellen durch kleinräumig sowie zeitlich differenzierte geomorphologische Prozesse eine besondere Herausforderung für eine repräsentative Probennahme dar. So muss beispielsweise präzise differenziert werden, zu welchem Zeitpunkt der Hochwasserwelle ein Sediment dem fluvialen Transport entzogen wird (sei es durch Deposition oder durch

Beprobung der Suspensionsfracht), als auch, welche Prozesse im Nachgang noch auf das Material einwirken (wie beispielsweise Sortierungsprozesse oder vollständige Deposition aller Partikel in abflusslosen Senken). Eine Beprobung muss unmittelbar während oder nach dem Hochwasserereignis durchgeführt werden, da sonst in den Auensedimenten eine schnelle Durchmischung durch Bioturbation stattfindet. Derartige Informationen müssen bei der Bewertung von Schwermetallinventaren in fluvialen Sedimenten Berücksichtigung finden.

Danksagung

Die Autor*innen danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung unserer Arbeiten im Rahmen des Projekts „Machbarkeitsstudie zur Beurteilung der Schadstoffbelastung von Sedimenten infolge des Juli-Hochwassers 2021 im Übergang vom Mittelgebirge zum Tiefland“ (Projektnummer 496274914).

Literatur

- Völker J, Arle J, Baumgarten C, Blondzik K, Frauenstein J, Hilliges F, et al. (2022) Die Wasserrahmenrichtlinie - Gewässer in Deutschland: Fortschritte und Herausforderungen.
- Duffus JH (2002) „Heavy metals“ a meaningless term? (IUPAC Technical Report). Pure Appl Chem 74:793–807. doi:10.1351/pac200274050793.
- Gustin MS, Hou D, Tack FMG (2021) The term “heavy metal(s)”: History, current debate, and future use. Sci Total Environ 789:147951. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147951.
- Zhang X, Barceló D, Clougherty RJ, Gao B, Harms H, Tefsen B, et al. (2022) Potentially toxic element“-something that means everything means nothing. Environ Sci Technol 56:11922–11925. doi:10.1021/acs.est.2c03056.

5. Strahler AH, Strahler AN (2009) *Physische Geographie*. 4. Aufl., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
6. Esser V (2020) *Investigations on fluvial morphodynamics and recent pollutant dispersion in river systems – examples from the border region of Belgium, the Netherlands and Germany*. Dissertation, Aachen: RWTH Aachen University.
7. Esser V, Buchty-Lemke M, Schulte P, Podzun LS, Lehmkuhl F (2020) Signatures of recent pollution profiles in comparable central European rivers – Examples from the international River Basin District Meuse. *CATENA* 193:104646. doi:10.1016/j.catena.2020.104646.
8. Schmidt-Wygasch C (2011) *Neue Untersuchungen zur holozänen Genese des Unterlaufs der Inde: chronostratigraphische Differenzierung der Auelehme unter besonderer Berücksichtigung der Montangeschichte der Voreifel*. Dissertation, Aachen: RWTH Aachen University.
9. Offermanns H (2019) Messing – Konfliktstoff im Aachener Raum. *Chem Unserer Zeit* 53:263–265. doi:10.1002/ciuz.201900871.
10. Sindern S, Görtz A, Gronen L (2016) Historic and recent anthropogenic emissions of heavy metals in the town of Stolberg (Rhine area, Germany). *Jber_oberrh* 98:15–31. doi:10.1127/jmogv/98/0003.
11. Macklin MG, Thomas CJ, Mudbhathkal A, Brewer PA, Hudson-Edwards KA, Lewin J, et al. (2023) Impacts of metal mining on river systems: a global assessment. *Science* 381:1345–1350. doi:10.1126/science.adg6704.
12. Lehmkuhl F, Weber A, Esser V, Schulte P, Wolf S, Schrupf H (2022) Fluviale Morphodynamik und Sedimentkontamination bei Extremereignissen: Das Juli-Hochwasser 2021 im Inde-Einzugsgebiet (Nordrhein-Westfalen). *Korrespondenz Wasserwirtschaft*:422–427.
13. Weber A, Wolf S, Becker N, Märker-Neuhaus L, Bellanova P, Brüll C, et al. (2023) The risk may not be limited to flooding: polluted flood sediments pose a human health threat to the unaware public. *Environ Sci Eur* 35: 58. doi:10.1186/s12302-023-00765-w.
14. Weber A, Lehmkuhl F (2024) Mixed response of trace element concentrations in fluvial sediments to a flash flood in a former mining area. *Environ Sci Eur* 36:109. doi:10.1186/s12302-024-00926-5.
15. Kurtenbach A, Bierl R, Schorer M, Eisold B, Symader W, Gallé T (2010) Kohäsive Feinpartikel in fluvialen Systemen: einige Gedanken zu Erkenntnissen und Forschungsdefiziten. *UWSF - Z Umweltchem Ökotox* 22:631–644. doi:10.1007/s12302-010-0168-8.
16. Ciszewski D, Grygar TM (2016) A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems. *Water Air Soil Pollut* 227:239. doi:10.1007/s11270-016-2934-8.
17. Bellanova P, Schwarzbauer J, Reicherter K (2024) Inventory of aqueous and sediment-associated organic pollutants released by the 2021 flood in the Vicht–Inde catchment, Germany. *Environ Sci Eur* 36:110. doi:10.1186/s12302-024-00925-6.

Korrespondenzadresse:

Alexandra Weber
Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie
RWTH Aachen University
Wüllnerstraße 5b
52062 Aachen
Mail: alexandra.weber@geo.rwth-aachen.de
Tel.: +49 241 80 96040



Zu viel, zu wenig, nie genug? - Ergebnisse eines Expertenworkshops zu aktuellen Stärken und Schwächen des Immissionsmonitorings persistenter Chemikalien

Christa Barkschat (christa.barkschat@lfu.bayern.de), Patricia Darmstadt (patricia.darmstadt@lfu.bayern.de), Korbinian Freier (korbinian.freier@lfu.bayern.de), Wolfgang Körner (wolfgang.koerner@lfu.bayern.de)

Zusammenfassung

Das stoffliche Monitoring ist ein grundlegender Schritt zum Verständnis des Verhaltens von Chemikalien in der Umwelt und den Eintragungspfaden in Ökosysteme. Im Rahmen der Abschlussveranstaltung des Projekts „OPTIMON“ („Optimierung des immissionsökologischen Umweltmonitorings“) wurde diskutiert, wie man stoffliches Monitoring trotz eingeschränkter Ressourcen realisieren kann, wie die gewonnenen Daten besser für die Reglementierung von Stoffen genutzt werden können und welche Erfolge verzeichnet werden können. Ein zentrales Ergebnis der Diskussion war, dass stoffliches Monitoring ein wichtiges Instrument für die Stoffbewertung ist, sowohl als Grundlage für komplexe Bewertungsmodelle als auch zur Validierung von Modellen.

Einleitung

Am 24. und 25. Juni 2024 fand am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) in Wielenbach die Abschlussveranstaltung des Projekts OPTIMON statt. Die Kernfrage des Projekts und der Veranstaltung war: Wie lässt sich das Umweltmonitoring von persistenten Chemikalien optimieren – und das nicht nur in Hinblick auf die konkrete Realisierung, sondern auch mit Blick auf die Datennutzung? Es diskutierten zu Strategien und Erfahrungen Vertreter von nationalen Behörden (Umweltbundesamt und Umweltbundesamt GmbH Österreich), Landesbehörden (LfU Bayern und der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) und Forschungsinstitutionen (Max-Planck-Institut für Chemie, Deutscher Wetterdienst, Umweltforschungsstation Schneefernerhaus und Masaryk-Universität in Brno).

Im Workshop wurden, basierend auf Präsentationen wesentlicher Projektergebnisse und weiterer Monitoringprogramme anderer Institutionen, die Zukunftsmöglichkeiten eines stoffbezogenen Umweltmonitorings besprochen. Der folgende Artikel spiegelt nicht die Meinung des LfU wider, sondern präsentiert die Diskussionsinhalte. Die Zusammenfassung hat nicht den Anspruch vollständig zu sein, sondern bezieht sich auf Aspekte, die die Autorinnen und Autoren auf Basis der Diskussionsintensität als Schwerpunktthemen bewerten.

Das LfU-Projekt OPTIMON und ein Überblick über die Vorträge

Der erste Tag widmete sich dem Thema „Schadstoffmonitoring in der Luft - Monitoring realisieren“. Michael Gierig, Patricia Darmstadt, Jutta Köhler und Christa Barkschat stellten die

neuesten Entwicklungen am LfU in Bayern im Monitoring von Umweltchemikalien in der Luft vor.



Abb. 1. Luftprobenahme zu Dioxinen und PCB im alpinen Raum. Quelle: LfU.

Im Projekt OPTIMON wurde das Dauerbeobachtungsprogramm zum Eintrag von Schadstoffen über die Luft und den Niederschlag in die Umwelt überarbeitet und neu strukturiert. Dabei wurden das Messnetz, das Parameterspektrum sowie die Untersuchungsmethoden angepasst. Das bis 2024 projektbasierte Monitoring persistenter organischer Schadstoffe (POP) in den Alpen wurde in ein gesichertes Langzeitmonitoring überführt (Abb. 1), im Flachland eine neue Referenzstation im städtischen Hintergrund in Nürnberg (Abb. 2) zur Messung von POP eingerichtet und ein Messnetz zur Bestimmung von PFAS in Depositionsproben aufgebaut. Details hierzu enthält der Abschlussbericht zum Projekt OPTIMON [1].

Wolfgang Moche von der Umweltbundesamt GmbH Österreich stellte die Ergebnisse des Monitorings am Hohen Sonnblick vor, welches in Kooperation mit dem Monitoring an der Zugspitze durch das LfU stattfindet. Wie an der Zugspitze werden zahlreiche verschiedene POPs im Alpenraum nachgewiesen. Im Rahmen der Diskussion zeigte sich, dass die bestehende

19-jährige Messreihe nur aufgrund von hohem Eigenengagement der Beteiligten weitergeführt werden konnte. Zum Abschluss des ersten Tages stellte Manfred Sengl (LfU) die Datenbanken des NORMAN-Networks und deren Nutzung vor [2].



Abb. 2: Probenahme an einer Station im städtischen Flachland. Quelle: LfU.

Der zweite Tag stand unter dem Motto „Daten nutzen und Zusammenarbeit stärken“. Ludovic Mayer von der RECETOX-Masaryk Universität präsentierte die Ergebnisse der PESPAT (Pan-European Study of Pesticides Atmospheric Transport)-Studie, bei der im Frühjahr 2020 in 17 europäischen Ländern Luftproben gesammelt und auf 76 Pestizide untersucht wurden [3]. Die Studie zeigte, dass 22 Pestizide an entlegenen Orten weitab ihrer Verwendung nachgewiesen werden konnten und das Potential zum atmosphärischen Ferntransport (LRAT) bei der Risikobewertung unterschätzt wird.

Caren Rauert (UBA) verwies in ihrem Vortrag ebenfalls auf die Nützlichkeit von Monitoringdaten, um die Bewertung und Regulierung von Stoffen als POP unter der Stockholm-Konvention und unter dem EU-Chemikalienrecht REACH zu verbessern. Gleichzeitig zeigte sie die Problematik der Verwertung von Monitoringdaten in hoch standardisierten Regulierungsprozessen wie REACH auf, da sie durch ihre Heterogenität im Studiendesign oft als ungeeignet oder nicht repräsentativ bewertet werden und sehr differenziert betrachtet werden müssen. Im Anschluss präsentierte Jan Koschorreck (UBA) die Umweltprobenbank und wie diese für das Biodiversitätsmonitoring genutzt werden kann. Es wurde schnell deutlich, dass in einer Multistressoren-Umwelt einige Faktoren besser kontrolliert werden können als andere: So kann die Belastung durch Chemikalien durch Regulierungen zielgerichtet reduziert

werden, während weiche Faktoren, wie beispielsweise die Veränderung der Ökosysteme, eher schwierig zu beeinflussen sind.

Die Kernfrage: Was kann Monitoring leisten?

2009 entwickelten Rockström et al. ein Modell, das die planetaren Belastungsgrenzen veranschaulicht [4]. Die Belastung der Erde durch den Eintrag von Chemikalien in die Ökosysteme ist einer der multiplen Stressoren, die auf unsere Umwelt einwirken.

In der Diskussion kristallisierten sich drei Bereiche heraus, in denen das stoffliche Monitoring unverzichtbar oder durch gesetzliche Aufträge obligatorisch ist: (1) nach dem Prinzip der Vorsorge neu in der Umwelt auftretende Stoffe oder Stoffmischungen zu identifizieren und deren Umweltverhalten zu verstehen, (2) die Regulierung bekannter Stoffe durch Dokumentation ihres Vorkommens zu unterstützen und (3) die Überwachung feststehender Grenzwerte sicherzustellen.

Im Folgenden möchten wir Denkanstöße der Diskussions Teilnehmer wiedergeben, die besonders intensiv diskutiert wurden.

Die Herausforderungen bei der Vorsorge

Die Gesellschaft steht vor einer immensen Herausforderung: Nahezu täglich kommen neue Chemikalien auf den Markt; insbesondere Chemikalien, die außerhalb der EU oder in kleinen Mengen produziert werden, sind schwer zu erfassen. Das Gefühl, Entwicklungen hinterher zu hinken, nur im Bereich der Nachsorge tätig zu sein und sehenden Auges *regrettable substitutions* [5] hinnehmen zu müssen, dominierte die vergangenen Jahre und wurde auch beim OPTIMON-Workshop immer wieder ins Feld geführt.

Entsprechend wichtig ist die Frage, ob die richtigen bzw. relevanten Stoffe gemessen werden [6]. Diese Frage – darüber herrschte Einigkeit – muss in regelmäßigen Abständen gestellt werden. Neben der laufenden Priorisierung von Stoffen, die noch nicht gesetzlich geregelt sind [7] oder gerade neu in die Beschränkung aufgenommen wurden, wie beispielsweise UV-Lichtschutzmittel [8], ist es auch nötig, offen über die Vor- und Nachteile eines gesetzlichen Auftrags zu sprechen. So kann beispielsweise die Überwachung von bereits weit unterschrittenen Immissionsgrenzwerten, wie es beispielsweise für den Benzoljahresmittelwert der Fall ist, Messkapazitäten binden, die dann für aktuelle Stoffe fehlen.

Mit der Non-Target-Analytik [9] eröffnet sich die Möglichkeit bis dato unbekannte Stoffe zu identifizieren und in eine Routineüberwachung zu integrieren. Über eine Kopplung mit Struktur-Aktivitäts-Beziehungen (Quantitative Structure Activity Relationship - QSAR) könnten zumindest ein Teil der problematischen Stoffe schnell identifiziert werden. Vereinzelt gelungen ist dies bisher im Bereich Oberflächengewässer. Allerdings besteht auch hier die Einschränkung, dass man bei der

Non-Target-Analytik je nach Probenaufarbeitung und Messmethoden immer noch keine vollständige Erfassung der Inhaltsstoffe einer Probe hat. Nichtsdestotrotz ließe sich durch die Verbindung von Non-Target-Analytik und QSAR und einer Ausweitung der Methodik auf Luft und Biota der für die *ex-post* Regulierung von Chemikalien zeitlich limitierende Faktor des Umweltmonitorings erheblich beschleunigen.

Da niemand sicher vorhersagen kann, welches die Problemstoffe der Zukunft sein werden, ist es unerlässlich, repräsentative Probandatenbanken aufzubauen. Durch rückwirkende Analysen kann eine Zeitreise in die Vergangenheit unternommen werden und nach dem ersten Auftauchen eines Stoffes oder seinen Metaboliten gesucht werden. Die große Herausforderung besteht darin, die Probenahme, Lagerung und Konservierung so zu vereinheitlichen, dass diese später auch nutzbar sind. Probandatenbanken sind aber *per se* in den eingelagerten Mengen an Proben finanziell und technisch limitiert. Ein regelmäßiger Abgleich zwischen laufenden Monitoringprogrammen und Probenbanken ist daher erforderlich.

Der Beitrag der Umweltüberwachung bei der Regulierung von Chemikalien

Bereits 2019 kritisierte ein Evaluierungsbericht zu REACH, dass europäische Behörden über ein Jahrzehnt benötigen, um schädliche Chemikalien in ihrer Verwendung zu stoppen beziehungsweise einzuschränken [10]. Ob Monitoringdaten in ihrer aktuellen Form einen wesentlichen Beitrag zur Beschleunigung der Verfahrens leisten können, wird in den Berichten nicht diskutiert. Was jedoch häufig unterschätzt wird ist, dass bereits die Diskussion über eine potentielle Regulierung häufig zu Wendepunkten in der Produktion und Nutzung führt und dadurch verringerte Emissionen zur Folge hat. So veröffentlichte die ECHA im März 2023 eine Strategie für die Regulierung bromierter Flammschutzmittel, die in der Umwelt als persistent gelten [11]. Darunter fällt auch Decabromdiphenylethan (DBDPE), das als Ersatzstoff für den bereits regulierten Decabromdiphenylether gilt. Doch obwohl für DBDPE als Ersatzstoff ein anhaltender Anstieg der Umweltkonzentrationen zu erwarten wäre, können wir diesen aus den bisherigen Luft- und Depositionsmessungen an der Zugspitze nicht bestätigen.

Ein anderer Bereich, in dem Umweltmonitoring nach Ansicht der Teilnehmer wertvolle Beiträge bei der Chemikalienregulierung liefern kann, ist die Festlegung von Bewertungsfaktoren für Mischungstoxizitäten, da die Monitoringdaten eindeutig belegen, dass in der Umwelt verschiedene Mischungen an Chemikalien nachweisbar sind [12]. Die Europäische Kommission beabsichtigt, einen Mixture Assessment Factor (MAF) in die REACH-Verordnung aufzunehmen, um Mischungstoxizitäten aus unbeabsichtigt auftretenden Gemischen zu berücksichtigen. Mit einem breit gefächerten Analytenspektrum aus bereits regulierten, noch in der Evaluierung befindlichen Stoffen und Non-Target-Analytik kann durch die Umweltüberwachung das simultane Auftreten mehrerer Substanzen dokumentiert werden. Der Abgleich mit realen Szenarien aus dem

Monitoring und vorhergesagter unwirksamer Konzentrationen (PNEC) ist wichtig, um möglichst spezifische Berechnungsfaktoren für Kombinationseffekte zu erstellen.

Unerlässlich ist das Umweltmonitoring, wenn es darum geht, das tatsächliche Vorkommen von Chemikalien in der Umwelt zu überprüfen. Es bestehen bereits sehr gute Modelle zur Vorhersage des Potentials zur Persistenz und zum atmosphärischen Ferntransport [13], die auch bei der Evaluierung neuer POPs im Rahmen der Stockholm Konvention genutzt werden. Diese Modelle sind besonders bei stark hydrophoben Verbindungen wie PCB sehr zuverlässig. Bei polaren Verbindungen, die nicht hauptsächlich in Biota akkumulieren, den PMT-Substanzen (persistent, mobil, toxisch), werden Persistenz und Ferntransport unvollständig erfasst. In solchen Fällen dienen Umweltmonitoringdaten als Referenz und tragen dazu bei, diese Modelle weiter zu verfeinern [14].

Einige Monitoringdaten können allerdings nicht im standardisierten Vorgehen der Chemikalienregulierung genutzt werden, da die Studien nicht die Kriterien zur Reproduzierbarkeit und Replikation erfüllen oder zu heterogen in ihrem Design sind. Hier wäre es hilfreich, die Anforderungen an das Monitoring durch sogenannte Guidance Dokumente zu definieren.

Einheitliche Standards sind auch nötig, um die Daten für die Chemikalienregulierung besser nutzbar zu machen. Welche Daten müssen zwingend hinterlegt werden, wie sieht ein repräsentatives Studiendesign beim Monitoring aus? Dies sind Fragen, die idealerweise auf europäischer Ebene geklärt werden müssen.

Wohin mit den Daten?

Die besten Daten sind wertlos, wenn sie nicht genutzt werden. Die Bandbreite der Datenbanken reicht von öffentlich zugänglichen, in denen nicht nur Daten bereitgestellt, sondern auch Bewertungshilfen mitgeliefert werden, bis hin zu vertraulichen Fachdatenbanken.

Die Umweltprobenbank des Bundes besticht mit ihrer ansprechenden, klaren Aufmachung und kann auch von interessierten Laien genutzt werden [15]. Sie ermöglicht nicht nur die Datenrecherche, sondern stellt auch ein Archiv an repräsentativen Proben bereit. Das europäische Äquivalent dazu ist die NORMAN Datenbank [2]. Die Daten spezifischer internationaler Luftmonitoring-Programme zu POP werden unter anderem in die EBAS Datenbank eingespeist [16]. Zusätzlich gibt es die IPCHEM-Plattform (IPCHEM = Information Platform for Chemical Monitoring) der Europäischen Kommission, die eine webbasierte Infrastruktur bietet, über die der Zugriff auf Monitoringdaten aus verschiedenen Datenquellen möglich wird [17].

So wurde im Laufe der Diskussionen schnell klar: Datenbanken gibt es zahlreiche. Die Daten einzuspeisen gelingt manchen Institutionen automatisiert ohne viel Aufwand (so zum Beispiel

für Stationen des europäischen Kooperationsprogramms zur Überwachung und Bewertung der weiträumigen Transports von Luftschadstoffen in Europa). Anderen fehlen Kapazitäten, um Daten entsprechend aufzuarbeiten und einzupflegen.

Kommunikation: Tue Gutes und rede darüber

Umweltüberwachung ist ohne Zweifel das aussagekräftigste Mittel, um Veränderungen unserer Ökosysteme erfassen zu können und als solches sollte dies auch an die Bevölkerung kommuniziert werden. Nur eine offene Kommunikation kann aufklären und die Unterstützung für die Förderung von Messprogrammen sicherstellen. Beispielhaft ist dies für PFAS geschehen, wenngleich der überwiegende Teil der Kommunikations-Initiativen nicht von Fachbehörden, sondern von Massenmedien ausgingen. So wurde durch Karten [18], Schaubilder und teils auch griffigen Termini wie „Ewigkeitschemikalien“ ein Bewusstsein für die Umweltbelastung geschaffen.

In diesem Zusammenhang wurde auf dem Workshop intensiv über die Frage diskutiert, in wie weit es gewollt ist, spezifische Fachdaten öffentlich zugänglich zu machen, wie viele Metadaten zur Verfügung gestellt werden sollten, ob eine Bewertung der Daten zwangsläufig mitgeliefert werden sollte. Die Diskussionen zeigten, dass es von enormer Bedeutung ist, sich fachlich einig zu sein, auf welche Art und Weise das Ziel der Verfügbarmachung von Daten verfolgt werden soll. Die Rolle der Behörden bei der Bereitstellung der Daten ist essenziell, um eine Qualitätssicherung zu gewährleisten. Analytikdaten auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen ist zeitaufwendig und erfordert Expertise, wie sie von Umweltämtern gewährleistet werden kann. Gleichzeitig ist eine Einordnung der Daten hilfreich und wichtig, um Fehlinterpretationen zu verhindern; auch hier sind die Umweltbehörden gefragt. In unserer Umwelt treten anthropogene Chemikalien ubiquitär auf, allerdings überwiegend in Spurenkonzentrationen, für die keine problematische Wirkungen anzunehmen sind. Das Verständnis für den Unterschied zwischen Spurenkonzentrationen und Wirkungsschwellen liegt in der Öffentlichkeit überwiegend nicht vor. Es geht also zum einen darum, über die Daten zu informieren und zum anderen, die Bedeutung der gemessenen Konzentrationen einzuordnen und die Funktion des Chemikalienmonitorings als Frühwarnsystem zu betonen.

Der Klimawandel: Ein dringender Appell, Monitoringprogramme langfristig zu betreiben und zu fördern!

Durch den Klimawandel kommt es zu einer umfassenden Veränderung der Ökosysteme und auf vielen Ebenen kann es somit auch zu einer veränderten Chemikalienbelastung kommen. Er kann physikalisch-chemische sowie biologische Prozesse beeinflussen, wodurch indirekt die Bioakkumulation und der Ferntransport von persistenten Chemikalien betroffen ist. Darüber hinaus kann es zur Freisetzung von Sekundäremissionen kommen. [19, 20, 21]

Einzelne Messdaten geben allerdings immer nur eine Momentaufnahme wieder. Um Veränderungen, wie die oben genann-

ten, zu verstehen, sind beständige Messreihen notwendig. Ebenso werden für Modelle und Vorhersagen langfristig angelegte Messprogramme gebraucht. Alle Teilnehmer wünschten sich hier dauerhafte Förderungen, vor allem in länderübergreifenden Programmen.

Literatur

- [1] Abschlussbericht des Projekts OPTIMON, https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/projekte_alpenschutz/purealps/publikationen/index.htm
- [2] NORMAN Database System, <https://www.norman-network.com/nds/common/>, aufgerufen am 28.01.2025.
- [3] L. Mayer, C. Degrendele, P. Šenk, J. Kohoutek, P. Přibylková, P. Kukučka, L. Melymuk, A. Durand, S. Ravier, A. Alastuey, A. R. Baker, U. Baltensperger, K. Baumann-Stanzer, T. Biermann, P. Bohlin-Nizzetto, D. Ceburnis, S. Conil, C. Couret, A. Degórska, E. Diapouli, S. Eckhardt, K. Eleftheriadis, G. L. Forster, K. Freier, F. Gheusi, M. I. Gini, H. Hellén, S. Henne, H. Herrmann, A. Holubová Šmejkalová, U. Hörrak, C. Hüglin, H. Junninen, A. Kristensson, L. Langrene, J. Levula, M. Lothon, E. Ludewig, U. Makkonen, J. Matejovičová, N. Mihalopoulos, V. Mináriková, W. Moche, S. M. Noe, N. Pérez, T. Petäjä, V. Pont, L. Poulain, E. Quivet, G. Ratz, T. Rehm, S. Reimann, I. Simmons, J. E. Sonke, M. Sorribas, R. Spoor, D. P. J. Swart, V. Vasilatou, H. Wortham, M. Yela, P. Zampas, C. Zellweger Fäsi, K. Tørseth, P. Laj, J. Klánová, G. Lammel, Widespread pesticide distribution in the European atmosphere questions their degradability in air, *Environ Sci Technol.* 2024, 58(7):3342-3352. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08488>
- [4] J. Rockström, W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer M., C. Folke, H.-J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, K. P. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, J. A. Foley, A safe operating space for humanity, *Nature* 2009, 461 (24), 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- [5] A. Maertens, E. Golden, T. Hartung, Avoiding regrettable substitutions: green toxicology for sustainable chemistry, *ACS Sustainable Chem Eng* 2021, 9 (23), 7749-7758. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c09435>
- [6] W. Körner, Terrestrisches Umweltmonitoring – Messen wir die richtigen Stoffe?, *Mitt Umweltchem Ökotox* 2023, 29 (3), 68-72.
- [7] ECHA, Verzeichnis der zulassungspflichtigen Stoffe, <https://echa.europa.eu/de/authorisation-list>, aufgerufen am 28.01.2025.
- [8] The new POPs under the Stockholm Convention, SC-11/11: Listing of UV-328, <https://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>, aufgerufen am 28.01.2025

- [9] E. L. Schymanski, H. P. Singer, J. Slobodnik, I. M. Ipolyi, P. Oswald, M. Krauss, T. Schulze, P. Haglund, T. Letzel, S. Grosse, N. S. Thomaidis, A. Bletsou, C. Zwiener, M. Ibáñez, T. Portolés, R. de Boer, M. J. Reid, M. Onghena, U. Kunkel, W. Schulz, A. Guillon, N. Noyon, G. Leroy, P. Bados, S. Bogialli, D. Stipaničev, P. Rostkowski, J. Hollender, Non-target screening with high-resolution mass spectrometry: critical review using a collaborative trial on water analysis, *Anal Bioanal Chem* 2015, 407, 6237–6255. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-8681-7>
- [10] Chemical evaluation. Achievements, challenges and recommendations after a decade of REACH. European Environmental Bureau. 2019. <https://eeb.org/wp-content/uploads/2019/07/Report-Substance-Evaluation-under-REACH.pdf>
- [11] ECHA, Regulatory strategy for flame retardants 2023, Link: https://echa.europa.eu/documents/10162/2082415/flame_retardants_strategy_en.pdf, <https://data.europa.eu/doi/10.2823/854233>
- [12] G. Treu, J. Schulze, W. Galert, E. Hassold, Regulatory and practical considerations on the implementation of a mixture allocation factor in REACH, *Environ Sci Eur* 2024, 36: 101, 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00910-z>
- [13] OECD Screening tool for overall persistence (Pov) and long-range transport potential (LRTP), <https://www.oecd.org/en/data/tools/screening-tool-for-overall-persistence-and-long-range-transport-potential.html>
- [14] R. Sühring, M. Scheringer, T. F. M. Rodgers, L. M. Jantunenae, M. L. Diamond, Evaluation of the OECD POV and LRTP screening tool for estimating the long-range transport of organophosphate esters, *Environ Sci Processes Impacts*, 2020, 22, 207-216. <https://doi.org/10.1039/C9EM00410F>
- [15] Umweltprobenbank des Bundes, <https://www.umweltprobenbank.de/de>, aufgerufen am 28.01.2025.
- [16] EBAS ist eine Datenbankinfrastruktur, die vom NILU - Norwegisches Institut für Luftforschung - entwickelt und betrieben wird. Als die Datenbank 1995 eingerichtet wurde, sollte sie nur als Speicher für EMEP-Daten (www.emep.org) dienen. Damals stand EBAS als Akronym für „EMEP-Database“. Im Laufe der Zeit wurde die Datenbank auch von anderen internationalen Organisationen als Infrastruktur genutzt. Der Name EBAS wurde beibehalten, bezieht sich aber nicht mehr allein auf das EMEP Programm. <https://ebas.nilu.no/>
- [17] S. Comero, S. D. Costa, A. Cusinato, P. Korytar, S. Kephapoulos, S. Bopp, B. M. Gawlik, A conceptual data quality framework for IPCHEM – The European Commission Information Platform for chemical monitoring, *TrAC Trends Anal Chem* 2020, 127, 115879. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115879>
- [18] The Forever Pollution Project journalists tracking PFAS across Europe, <https://foreverpollution.eu/>, aufgerufen am 28.01.2025.
- [19] C. A. de Wit, K. Vorkamp, D. Muir, Influence of climate change on persistent organic pollutants and chemicals of emerging concern in the Arctic: state of knowledge and recommendations for future research, *Environ Sci Processes Impacts*, 2022, 24, 1530-1543. <https://doi.org/10.1039/D1EM00531F>
- [20] H. Hung, C. Halsall, H. Ball, T. Bidleman, J. Dachs, A. De Silva, M. Hermanson, R. Kallenborn, D. Muir, R. Sühring, X. Wang and S. Wilson, Climate change influence on the levels and trends of persistent organic pollutants (POPs) and chemicals of emerging Arctic concern (CEACs) in the Arctic physical environment – a review, *Environ Sci Processes Impacts*, 2022,24, 1577-1615. <https://doi.org/10.1039/D1EM00485A>
- [21] D. Costopoulou, L. Leondiadis, M. Rose, Climate change influence on the trends of BFRs in the environment and food, *Chemosphere*, 2024, 367, 143578. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143578>

Korrespondenzadressen

Dr. Christa Barkschat
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Referat 74 – Organische Analytik
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
E-Mail: christa.barkschat@lfu.bayern.de

Patricia Darmstadt
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Referat 76 – Stofftestlabor, Umweltmonitoring
Demollstraße 31
82407 Wielenbach
E-Mail: patricia.darmstadt@lfu.bayern.de

Forschungsgruppe Umweltmonitoring und Endokrinologie (EME), Fakultät Biologie, Technische Universität Dresden

Die Forschungsgruppe Umweltmonitoring und Endokrinologie (*Environmental Monitoring and Endocrinology*, EME) ist an der Fakultät Biologie der Technischen Universität Dresden beheimatet und wurde 2021 gegründet. Sie besteht aus 5 Wissenschaftler*innen und versteht sich als interdisziplinäre Schnittstelle zwischen Umweltchemie, Molekularbiologie und Toxikologie. Die Forschung fokussiert auf die Themen Adverse Outcome Pathway (AOP), endokrin wirksame Substanzen inklusive Dopinganalytik, und auf die Entwicklung biologischer Sensor-Aktorsysteme, z.B. für die Umweltanalytik. Die EME interessiert sich für die Weiterentwicklung bioanalytischer Werkzeuge zum molekularbiologischen Verständnis zur Wirkung anthropogener Spurenstoffe, zur Bewertung chemischer Umwelteinflüsse und zur Überwachung anthropogener Spurenstoffe im Umwelt- und Gesundheitsschutz. Die Methodik reicht von der Arbeit mit ganzen Organismen (Abbildung 1), über Zellkulturen von Wirbeltieren bis zur Entwicklung von Systemen mit Hefen (Abbildung 2). Moderne histologische und mikroskopische Verfahren in Kombination mit molekularbiologischen Techniken erlauben die Aufklärung von Wechselwirkungen in der Zelle oder im Organismus; biochemische Analysen und Analytik zielen auf die molekularen Interaktionen.

Die Forschung in verschiedenen Teilgebieten ergibt sich aus starker interdisziplinärer Zusammenarbeit mit akademischen Forschungseinrichtungen und Partnern aus der Industrie im In- und Ausland.

Forschungsschwerpunkte

Zur systematischen Risikobewertung von gentoxischen und hormonaktiven Substanzen arbeitet die Gruppe im Rahmen des AOP-Konzepts (Adverse Outcome Pathways). Hierbei werden molekulare Initiationsereignisse, wie etwa die Bindung hormonaktiver Substanzen an spezifische Rezeptoren, mit den biologischen Endpunkten der darauffolgenden Ereigniskette verknüpft. Im Fokus der EME stehen Endpunkte wie z.B. Genotoxizität, Reproduktionstoxizität oder Entwicklungsstörungen.

In vivo Systeme

In experimentellen Fischmodellen stehen Nilbuntbarsche und Medakas zur Verfügung. Beide sind molekularbiologisch hinsichtlich ihrer Geschlechtsbestimmung und –reifung sehr gut charakterisiert. Männliche Nilbuntbarsche bilden stabile soziale Hierarchien und werden von uns als Modell für eine unterschiedlich stark aktivierte Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse verwendet. Für den Medaka steht ein Portfolio an transgenen Reporter- und Überexpressionslinien bereit (Abb.1), welche sowohl für die Embryonalentwicklung wie auch Endpunkte im adulten Organismus genutzt werden können. Die Embryonalentwicklung findet im Medaka in transparenten Eiern statt und erlaubt eine Kombination von klassischen toxikologischen Analysen der Embryonalentwicklung (Entwick-

lung, Herzschlag, Überlebensrate) mit spezifischen transgenen Parametern und auch eine Korrelation mit dem Geschlecht, da der Genotyp visuell bestimmt werden kann (Abb. 1). Fischembryonen stellen außerdem eine Reduktion im Sinne der 3R-Regel des Tierschutzes in der Europäischen Union dar.

In vitro Systeme

Neben der Verwendung von Modellfischen verwenden wir je nach Fragestellung auch davon abgeleitete primäre Zell- und Organkultursysteme oder kontinuierliche Fisch- und Säugertierzelllinien. Diese Arbeiten sind sowohl für die Grundlagenforschung als auch für die Bewertung der Toxikologie und hormonellen Aktivität von Substanzen relevant. Auch hier erlauben spezielle transgene Eigenschaften der Zelllinien, spezifische Wirkmechanismen oder deren Ergebnis nachzuweisen. So wirken zum Beispiel endokrin wirksame Substanzen wie Hormone hochspezifisch an ihrem Rezeptor in der Zielzelle. Unbekannte Stoffe oder neue Stoffklassen können absichtlich oder unabsichtlich ähnliche Wirkungen aufweisen, oder nur deren Metaboliten haben diese Wirkung.

Deshalb ist ein spezieller Themenschwerpunkt die Aufklärung der molekularen Wirkungsweise und der Nachweis illegaler Dopingmittel und deren Metaboliten. *In vitro* kann die biologische Wirkung über Rezeptoren wie dem Androgen- oder Östrogenrezeptor erfasst werden. Außerdem werden Wirkungen und Effekte von Hormonanaloga in zellbasierten Assays untersucht.

Biologische Sensor-Aktorsysteme

Die AG entwickelt Sensor- und Aktorzellen, vornehmlich auf der Basis von Hefen. Während Sensorzellen auf bestimmte Analyte bzw. Schadstoffe z.B. mit der Bildung von fluoreszierenden Proteinen reagieren, exprimieren Aktorzellen z.B. katalytisch aktive Enzyme zur Umwandlung der detektierten Substanzen. Die kontrollierte Kommunikation zwischen diesen Zelltypen wird durch Hefepheromon-basierte Systeme gesteuert. Damit lassen sich Netzwerke aufbauen, die chemische Signale detektieren, verstärken und darauf reagieren können.

Zudem werden für technische Applikationen maßgeschneiderte Fusionsproteine, die durch modulare Kombination von funktionalen Domänen (z. B. Rezeptoren, Enzymaktivitäten) mit Selbstassemblierungsdomänen entstehen, generiert. Diese können zur gezielten Funktionalisierung von Grenzflächen oder zur Integration in biohybride Systeme genutzt werden. Die Ansätze bieten neue Perspektiven für Anwendungen in der Umweltanalytik, Bioverfahrenstechnik und synthetischen Biologie.

Kurz vorgestellt

Lehre

Mitglieder der EME sind zentraler Bestandteil der Ausbildung in verschiedenen Studiengängen der Fakultät Biologie der TU Dresden, wie im Bachelorstudiengang „Molekulare Biologie und Biotechnologie“ sowie in den Masterstudiengängen „Biology in Society“ und „Molecular Biosciences and Productive Biosystems“. Die Lehre umfasst Vorlesungen, Seminare, verschiedene Blockpraktika, Laborrotationen sowie die Betreuung von Abschlussarbeiten.

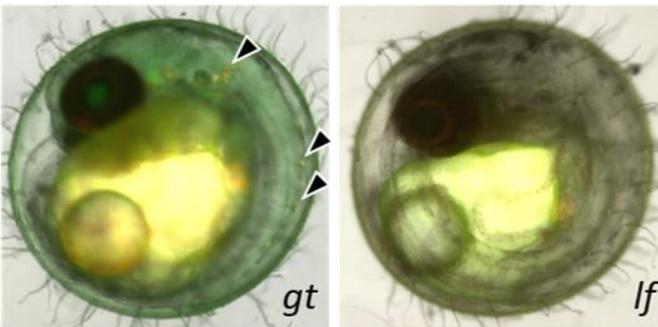
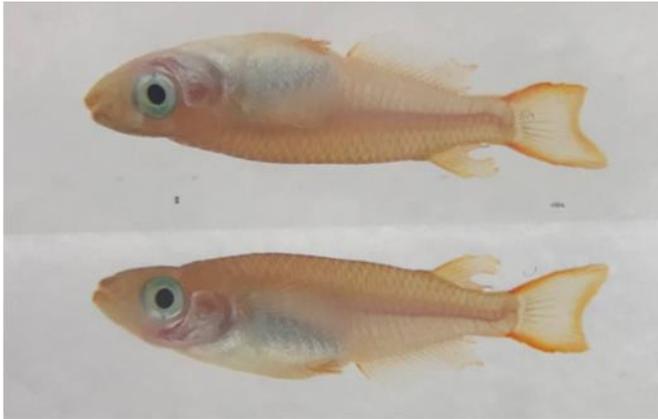


Abb 1: Der Modellfisch Medaka zeigt ausgeprägten Sexualdimorphismus. Ein männliches Tier mit charakteristischer Flossenform als sekundäres Geschlechtsmerkmal spiegelt sich an der Wasseroberfläche, die orange-rote Farbe wird durch das Y-Chromosom vererbt. Unten: Schon im Embryo können die Geschlechtschromosomen aufgrund gelber Pigmentzellen (links, Pfeile) oder transgener grüner Fluoreszenz (links, gt-Embryo) nachgewiesen werden. Der rechte Embryo trägt keine dieser Marker (XX, lf). Bildmaterial: Froschauer

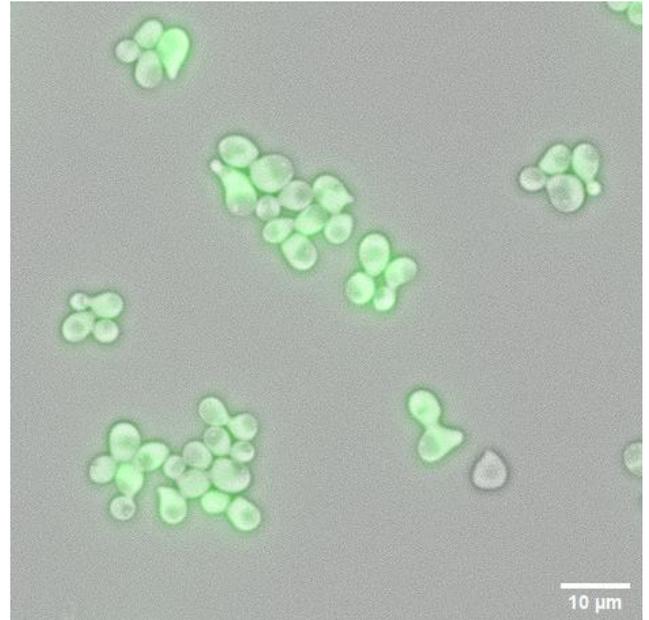


Abb. 2: Hefen bilden als Antwort auf ein Signal fluoreszierende Proteine (Bildmaterial J. Döring).

Link zur Publikationsliste

<https://tu-dresden.de/mn/biologie/zoologie/eme/die-einrichtung/publikationen>

Kontaktdaten

Sprecher der Forschergruppe EME
Prof. Dr. Oliver Zierau
FG Umweltmonitoring und Endokrinologie
Fakultät Biologie, TU Dresden
Zellescher Weg 20b
01217 Dresden
Telefon: +49 351 463-37841
Fax: +49 351 463-38714
Mail: oliver.zierau@tu-dresden.de

Weitere Informationen finden Sie auf unserer Website:

<https://tu-dresden.de/mn/biologie/eme/>



Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA) Weimar – Ihr Partner für Materialinnovation und Qualitätssicherung

Über uns

Die Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar (MFPA) ist eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung und die amtliche Materialprüfanstalt des Freistaats Thüringen. Seit ihrer Gründung im Jahr 1992 steht sie für exzellente Forschung, innovative Entwicklungen und praxisnahe Dienstleistungen in den Bereichen Materialwissenschaften, Werkstoffprüfung und –entwicklung sowie Bau- und Umwelttechnik. Als unabhängiges Prüf- und Kalibrierlabor sowie Inspektions- und Zertifizierungs- und RAP Stra 15 Prüfstelle bietet die MFPA umfassende Analysen, Überwachungen und Zertifizierungen für Werkstoffe, Bauteile, Bauprodukte und Bauwerke an.

Mit einem interdisziplinären Team aus Ingenieuren, Chemikern, Physikern und Materialwissenschaftlern arbeitet die MFPA an der Schnittstelle zwischen Forschung und industrieller Anwendung. Ein besonderer Fokus liegt auf der nachhaltigen Entwicklung neuer Baustoffe, der Optimierung von Produktionsprozessen sowie der Integration digitaler Technologien in Material- und Bauprozesse. Die MFPA unterstützt insbesondere mittelständische Unternehmen dabei, ihre Produkte effizienter, langlebiger und nachhaltiger zu gestalten.

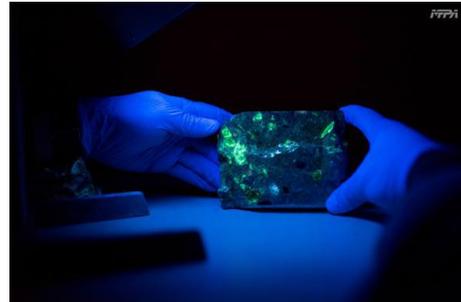
Unsere Anwendungsfelder

1. Nachhaltiges Bauen & innovative Werkstoffe

Im Bereich des nachhaltigen Bauens entwickelt und erforscht die MFPA innovative Baustoffe, die eine ressourcenschonende und energieeffiziente Bauweise ermöglichen. Dabei liegt der Fokus auf der Nutzung umweltfreundlicher Alternativen zu knapper werdenden Rohstoffen sowie auf der Optimierung von Herstellungsverfahren zur CO₂-Reduktion.

2. Qualitätssicherung & Produktoptimierung

Ergänzend dazu bietet die MFPA die Qualitätssicherung und Produktoptimierung durch chemische und mechanisch-physikalische Materialanalysen. Es stehen vielfältige zerstörende und zerstörungsfreie Analyse- und Messverfahren zur Verfügung. Moderne digitale Technologien wie digitale Zwillinge und Simulationsmodelle ermöglichen eine präzise Vorhersage des Materialverhaltens, während intelligente Sensorsysteme zur Echtzeitüberwachung von Bauteilen und Bauwerken eingesetzt werden. Diese Technologien helfen dabei, Schäden frühzeitig zu erkennen und vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen zu entwickeln.



3. Umwelttechnik & Wertstoffrückgewinnung

Ein weiterer zentraler Forschungsbereich ist die Umwelttechnik und Wertstoffrückgewinnung. Die MFPA entwickelt innovative Verfahren zur Schadstoffabtrennung bzw. -minderung, Kreislaufführung und Wiederverwertung von Ressourcen. Besonderes Augenmerk liegt auf der Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammaschen und anderen biogenen Reststoffen, um wertvolle Rohstoffe nachhaltig nutzbar zu machen und Umweltbelastungen zu minimieren. Die Forschung in diesem Bereich trägt zur Entwicklung umweltfreundlicher Kreislaufsysteme bei und leistet einen wichtigen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen.

Unsere Leistungsbausteine

Bauwerksprüfung & Monitoring

Neben der Forschung bietet die MFPA ein breites Spektrum an praxisnahen Dienstleistungen an. In der Bauwerksprüfung und im Monitoring wird der Zustand von Ingenieurbauwerken, Infrastrukturbauten und historischen Gebäuden erfasst. Mithilfe präziser Materialprüfungen, Schadensanalysen und intelligenter Überwachungssysteme werden fundierte Lebensdauerprognosen erstellt und effiziente Instandhaltungsstrategien entwickelt.



Digitale Lösungen & Simulation

In der digitalen Material- und Bauteilentwicklung setzt die MFPA auf Multiskalen- und –parameter-Modellierung sowie thermo-mechanische und elektrodynamische Simulationen,

Kurz vorgestellt

um die Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten neuer Werkstoffe, Bauteile und Herstellungsverfahren zu optimieren.

Akkreditierung & Zertifizierung

Als nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüf- und Kalibrierlabor, nach DIN EN ISO/EC 17020 akkreditierte Inspektionsstelle Typ A sowie anerkannte RAP Stra 15 Prüf- und nach DIN EN ISO/EC 17065 akkreditierte Zertifizierungsstelle für Bauprodukte bietet die MFPA mechanisch-technologische und chemische Prüfungen, Kalibrierungen sowie die Zertifizierung von Bauprodukten gemäß EU-Bauproduktenverordnung und Landesbauordnung an.

Chemische Bau- und Umweltanalytik – Präzision für Ihre Materialien

Die chemische Bau- und Umweltanalytik ist ein weiterer zentraler Leistungsbereich. Hier untersucht die MFPA anorganische und organische Stoffe mit modernster instrumenteller Ausstattung. Sie bietet standardisierte und maßgeschneiderte Analysen, darunter die Untersuchung bauschädlicher Salze, die Chloridgehaltbestimmung in Festbeton, die Alkaligehaltmessung in Betonzusatzmitteln, die Kohlenstoffmessung zur CO₂-Ermittlung sowie die Spurenanalytik für Raumluft, Wasser und Böden. Auch die Materialcharakterisierung und Zementprüfung gehören zu ihrem Leistungsspektrum. Unsere Labore setzen auf moderne Analysemethoden, wie u.a. AAS, ICP-OES, ICP-MS, RFA sowie chromatographische Methoden wie GC-MS/MS und LC-MS/MS.

Forschung zur Chemie und Umwelt

Hier stehen organische und anorganische Spurenanalytik und hochsensitive Gasmessstechnik zur Verfügung, um die photokatalytische Reinigung von Luft und Wasser zu charakterisieren sowie anthropogene Spurenstoffe zu analysieren. Des Weiteren stellt die Untersuchung von Bodenproben auf Rückstände aus Pharmazeutika und Bioziden einen wichtigen Bereich dar, um Abbauprozesse und Umweltauswirkungen besser zu verstehen. Die Nachhaltigkeitsforschung konzentriert sich auf die Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe aus Abfällen und biogenen Reststoffen, um daraus zukunftsfähige Produkte wie Düngemittel zu entwickeln.



Darüber hinaus engagiert sich die MFPA im Wissenstransfer und bietet Qualifizierungsmaßnahmen, berufliche Weiterbil-

dungen und Firmenschulungen als AZAV-zertifizierter Bildungsträger an. Die Bildungsangebote richten sich an Fachkräfte aus dem Bauwesen und den Materialwissenschaften und können sowohl vor Ort als auch als In-house-Schulungen durchgeführt werden.

Setzen Sie auf geprüfte Qualität und nachhaltige Innovation! Kontaktieren Sie uns für eine individuelle Beratung oder besuchen Sie uns online.

KONTAKT



Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA) Weimar

Coudraystraße 9 99423 Weimar

Tel: +49 (3643) 564-0

E-Mail: info@mfpa.de

Web: www.mfpa.de



Über uns

Die ABF Analytisch-Biologisches Forschungslabor GmbH mit Sitz in Planegg bei München ist ein renommiertes, unabhängiges Auftragslabor mit mehr als 40 Jahren Erfahrung in der bioanalytischen Untersuchung von humanbiologischen Proben. Das Unternehmen hat sich auf die quantitative Bestimmung von Biomarkern in Matrices wie Urin, Serum, Plasma, Speichel und Ausatemluft spezialisiert und bedient ein breites Kundenspektrum aus Industrie, Behörden, Forschungseinrichtungen und der pharmazeutischen Entwicklung.

Gegründet im Jahr 1980, hat sich die ABF GmbH kontinuierlich weiterentwickelt und zählt heute zu den führenden Laboratorien auf dem Gebiet des Human-Biomonitorings, insbesondere in den Bereichen Umwelt-, Arbeits- und Produktanalytik sowie der analytischen Unterstützung klinischer Studien.

Leistungsportfolio

Die ABF GmbH deckt eine Vielzahl von Anwendungsfeldern ab, insbesondere:

- Human-Biomonitoring zur Beurteilung der internen Belastung durch Umweltchemikalien, Tabakrauchbestandteile, Lebensmittelkontaminanten, Arbeitsstoffe oder pharmazeutische Wirkstoffe
- Bioanalytik für klinische Studien - Validierung nach ICH M10 und Support bei regulatorischen Fragestellungen
- Untersuchung von Ausatemluft als nicht-invasives Matrixkonzept
- Untersuchung des Exposoms durch non-targeted Analysen mit hochauflösender Massenspektrometrie

Ein besonderes Merkmal ist das umfangreiche Methodenportfolio: Die ABF GmbH bietet eine Vielzahl validierter LC-MS/MS- und GC-MS-Methoden zur Analyse von Biomarkern und Metaboliten an. Neue Analyten können flexibel und zielgerichtet entwickelt und validiert werden – je nach Bedarf des Projekts.

Im Bereich der non-targeted Analytik kommen fortschrittliche hochauflösende MS-Technologien zur Anwendung, z. B. zur umfassenden Charakterisierung des internen Exposoms.

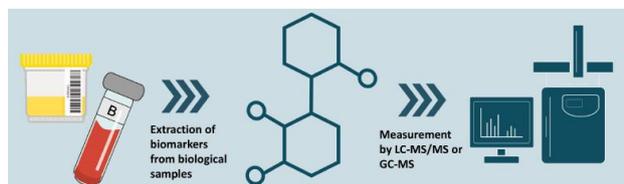


Abb. 1: Schematische Darstellung des Analyseprozesses im ABF

Qualitätssicherung und Akkreditierungen

Die ABF GmbH ist seit 2004 nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Alle analytischen Methoden sind gemäß den ICH M10-Richtlinien validiert und werden unter Einhaltung der Grundsätze von GLP und GCP durchgeführt (GLP-Zertifizierung seit 2023). Das Qualitätsmanagementsystem wird regelmäßig intern sowie von externen Stellen wie der DAkkS und dem LGL auditiert. Darüber hinaus nimmt das Labor regelmäßig an Ringversuchen teil und fungiert darüber hinaus als Referenzlabor für zahlreiche Analyten.



Abb. 2: ABF-Akkreditierung

Technische Ausstattung

Die ABF GmbH verfügt über modernste LC-MS/MS- und GC-MS/MS-Systeme:

- **LC-MS/MS-Systeme:**

2x Sciex QTrap6500+

1x Waters Xevo TQS

- **GC-MS/MS-Systeme:**

1x Shimadzu TQ8050

- **Hochauflösende Massenspektrometrie (HRMS):**

1x Thermo QExactive HF-X

- 1x Markes GC-TOF-MS



Abb. 3: QExactive HFX-hochauflösendes Massenspektrometer

Zusätzlich steht eine Thermodesorptions-Einheit zur Verfügung, um Ausatemluftanalysen durchführen zu können. Diese technische Ausstattung ermöglicht die sensitive und selektive Analyse selbst niedrigster Konzentrationen in komplexen Matrices – essenziell für zuverlässige Ergebnisse im Human-Biomonitoring.



Abb. 4: Thermodesorptions-Einheit zur Ausatemluftanalytik

Forschung und Entwicklung

Neben der Auftragsanalytik engagiert sich die ABF GmbH aktiv in wissenschaftlichen Forschungsprojekten. In den letzten 20 Jahren wurden mehr als 50 wissenschaftliche Artikel in peer-reviewed Fachzeitschriften veröffentlicht.

Ein aktueller Schwerpunkt liegt in der Weiterentwicklung analytischer Methoden zur Erfassung des menschlichen Exposoms. So wurden allein im Jahr 2024 drei neue, innovative Methoden zur non-targeted Exposomanalyse in Urin, Plasma und Ausatemluft etabliert.

Durch ihre Forschungstätigkeit trägt die ABF GmbH wesentlich zur Weiterentwicklung des Human-Biomonitorings und zur Aufklärung von Umwelteinflüssen auf die menschliche Gesundheit bei.

Kontakt

ABF Analytisch-Biologisches Forschungslabor GmbH

Semmelweisstraße 5
82152 Planegg, Deutschland

☎ Telefon: +49 89 4114796 11

✉ E-Mail: info@abf-lab.com

🌐 Web: www.abf-lab.com

Berichte aus dem Fachgruppenvorstand am 21. März 2025

Am 21. März 2025 traf sich der Vorstand der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie zu einer virtuellen Sitzung. Zentrale Themen waren die Finanzlage der FG, die Planung von Veranstaltungen und die Sichtbarkeit der FG-Preise. Langfristig wird angestrebt, über Spenden und Sponsorings den finanziellen Spielraum der FG zu vergrößern. Es wurde über die Einreichungen für den Paul-Crutzen-Preis 2025 diskutiert und Maßnahmen zur Steigerung der Sichtbarkeit beschlossen. Zudem wurde die Einrichtung einer Vorlesungsreihe vorgeschlagen, um jüngere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler (Postdocs, Juniorprofessuren) zu fördern und die Themen der Umweltchemie und Ökotoxikologie sichtbarer zu machen. Die Planung der anstehenden Jahrestagung „Umwelt 2025“ am Umweltbundesamt in Dessau wurde besprochen. Zudem wurde bereits ein möglicher Austragungsort für die Umwelt 2026 gefunden. Auf einer Klausurtagung im Juli wird sich der Vorstand ausgiebig mit den Themen „Zukunft der FG-Mitteilungen“ und „Spenden / Sponsorings“ beschäftigen.

Ausführlicher Bericht über den Workshop der Fachgruppenarbeitskreise vom 17. bis 19.06. 2024 in Schmallenberg am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME

Claus Bornemann, Stefan Hahn, Kevin Klipsch, Nadin Ulrich

Eine saubere Umwelt (toxic-free environment): Erreichbar und wenn ja, wie? Was können die GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie (und deren Arbeitskreise) dazu beitragen? Eine Bestandsaufnahme auf dem ersten gemeinsamen Workshop der Arbeitskreise der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie im Juni 2024.



Teilnehmende am Fachgruppenworkshop in Schmallenberg
(© Fraunhofer IME)

Nach einem ersten Kurzbericht [1] folgt nun ein vollständiger Bericht des ersten gemeinsamen Workshops der Arbeitskreise

Atmosphärenchemie, Boden, Chemikalienbewertung und Umweltmonitoring der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie (kurz, aber informell „UCÖT“), gemeinsam mit der Gruppe Junge Umweltchemie & Ökotoxikologie (JUCÖT). Zum einen hatte der Workshop das Ziel des gegenseitigen Kennenlernens der Arbeitskreise: Wer und wie viele sind wir, wie laufen unsere Gruppentreffen ab und welche Themen bearbeiten wir? Zum anderen hatten wir uns als inhaltlichen Schwerpunkt das Thema „*Toxic Free Environment*“ gegeben mit dem Ziel eines offenen Gedankenaustausches und der übergreifenden Frage, was die Fachgruppe und die Arbeitskreise zu einer sauberen Umwelt beitragen können. Zweiunddreißig Mitglieder der Fachgruppe waren dem Ruf ins Sauerland gefolgt - wie sich zeigen sollte, eine sehr gute Gruppengröße für lebhaftes, teils kontroverse Diskussionen. Wir hatten unserem Workshop im Vorfeld eine grobe Struktur gegeben: Zur Einführung gab es einen Vortrag von Kevin Klipsch zum aktuellen Stand der Umsetzung des EU Green Deals, gefolgt von Impulsvorträgen aus den Arbeitskreisen zu zwei vorab gesetzten Oberthemen: „Messunsicherheiten“ und den „Umgang mit unbekanntem Stoffen“ und dazugehörigen Diskussionsrunden. Interessanterweise – und auch durchaus erwünscht – brachen wir oft aus den gewählten Oberthemen aus, und vielfach wurde ein großer Bogen rund um den Stand der Chemikalienregulierung in Deutschland und der EU und auch zu stoffpolitischen Fragen gespannt. Die EU stellt die Herstellerverantwortung und das Vorsorgeprinzip in den Vordergrund und möchte damit eine weltweite Vorreiterrolle einnehmen. Die Programme werden von einigen Wirtschaftsvertretern als Maßnahme zur Deindustrialisierung kritisiert, aber auch als positive Herausforderung angenommen [2].

Recht schnell waren wir uns einig, dass die schier unerschöpfliche Anzahl der existierenden chemischen Verbindungen ein einzelnes Abarbeiten und die Erstellung individueller Dossiers zu jedem Schadstoff – womöglich auch noch getrennt nach Umweltkompartiment - unmöglich macht und jeden realistischen analytischen Untersuchungsumfang bei weitem sprengt. Wolfgang Körner trug kürzlich folgende Zahlen zusammen [3]: Rund 350.000 weltweit kommerziell produzierte Chemikalien, davon mehr als 10.000 Zutaten für Kunststoffe (Monomere, Verarbeitungshilfsstoffe oder Additive), aber „nur“ ca. 27.000 bei der ECHA registrierte Stoffe (> 1 t/a). Demgegenüber stehen genormte spurenanalytische Messverfahren für ca. 400 Substanzen/Parameter.

Vor diesem Hintergrund hat uns die Frage, was wir als Fachgruppe der GDCh zu der von der Europäischen Union in ihrem *Green Deal* postulierten *Toxic Free Environment*, der schadstofffreien Umwelt, beitragen können, erstmal ziemlich erschlagen. Die lebhaften Diskussionen zeigten, dass diese Frage für alle Anwesenden mit einigem Herzblut verbunden ist. Und es zeigte sich auch, wie unterschiedlich wir alle damit arbeiten und dass wir oft zu wenig voneinander wissen. Die teils erschreckende Uninformiertheit der Laien und der breiten Öffentlichkeit brauchen wir hier nicht erneut beklagen, aber auch wir

Fachleute untereinander haben zu wenig Vorstellung davon, was jeweils bei den anderen die eigentlichen Probleme sind. Bereits zur Behebung dieses Missstands war das Treffen ein erster verdienstvoller Beitrag. Für diesen Bericht haben wir versucht, kurze Überschriften zu den zahlreichen erörterten Themen zu finden und wesentliche Punkte unserer Bestandsaufnahme zusammenzufassen. Wenn möglich, ergänzen wir mit ersten Lösungsansätzen oder zumindest Denkanstößen. Wie in der Diskussion in Schmallenberg auch, ist eine klare Trennung der Themen kaum möglich – ebenso wenig wie die Erwähnung aller einzelnen Teilnehmenden und ihrer Beiträge, sei es in Form der Impulsvorträge oder in der Diskussion.

Grenzwerte und Messunsicherheiten

Gegenüber der großen Anzahl von Schadstoffen und einer geringen Anzahl genormter Analyseverfahren steht der Bedarf der Überwachungsbehörden nach Rechtssicherheit bei etwaigen Maßnahmen gegen Verursacher einer Verschmutzung. Chemikalienbelastungen in der Umwelt sind für Behörden nur handhabbar, wenn die betreffenden Substanzen gesetzlich mit Grenzwerten erfasst und in hinreichend zuverlässigen Verfahren analytisch quantifizierbar sind. Der nicht geregelte Bereich und damit – und wir können erschreckenderweise nur schätzen – über 90% der tatsächlichen schädlichen Umweltveränderungen durch Chemikalien ist bisher juristisch nicht fassbar [4]. Selbst die Entwicklung hochkarätiger Analyseverfahren und deren Normung sind nutzlos und werden nicht nachgefragt, solange die konkrete gesetzliche Regelung ausbleibt. Aus dem AK Atmosphärenchemie kam beispielsweise die Anmerkung, dass bisher nur für sehr wenige Luftschadstoffe Grenzwerte existieren, und dieses Kompartiment unterreguliert im Vergleich zu Boden und Wasser ist.

Exemplarisch für den Bereich Wasser wurde aus dem AK Chemikalienbewertung vom mühsamen Prozess der Erarbeitung von Umweltqualitätsnormen (UQN) nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie und ihren Nachfolgeverordnungen (2013/39/EU) berichtet. In diesem Zusammenhang gibt es einen Stakeholderdialog, der zu einem besseren gegenseitigen Verständnis zwischen Industrie und Behörden führt, und es zeigte sich auch, dass mit freiwilligen Maßnahmen der Industrie teils in kürzerer Zeit mehr erreicht werden kann als über gesetzlich geregelte Grenzwerte. Es besteht allerdings noch Uneinigkeit, ob eine Stoffauswahl aufgrund der bekannten Eintragsmengen erfolgen kann oder ob sie durch konkrete Befunde in der Umwelt gestützt werden muss, und inwiefern die neuartigen Datenmodellierungen akzeptabel sind.

Beim Vergleich von Grenz- mit Messwerten ist zu beachten, dass analytische Ergebnisse grundsätzlich mit Messunsicherheiten behaftet sind, welche – wenn überhaupt – von Juristen zu Ungunsten des Beweispflichtigen ausgelegt werden können. Die Teilnehmenden des Workshops waren sich einig, dass die Kommunikation von Messunsicherheiten, aber auch von Kennzahlen wie Nachweis- und Bestimmungsgrenze wichtig ist und dass hier in der Praxis sicher noch Verbesserungs-

bedarf besteht. Vor allem der AK Boden hob hervor, dass bei dieser heterogenen Probenmatrix schon die Probenahme und -vorbereitung riesige Unsicherheitsfaktoren sind. Der AK Atmosphäre demonstrierte, dass selbst für bekannte Luftschadstoffe wie NO_x noch an neuen analytischen Verfahren gearbeitet wird, da etablierte Techniken Unsicherheiten aufweisen, vor allem durch Interferenzen. Vor diesem Hintergrund sind Grenzwerte zu vermeiden, deren Einhaltung analytisch gar nicht messbar ist. Auf der anderen Seite gibt es immer bessere, empfindlichere analytische Verfahren, die noch so kleine Spuren eines Analyten nachweisen können.

Messen wir die richtigen Stoffe? Wie kann sinnvoll priorisiert werden?

Angesichts der Diskrepanz zwischen der Vielfalt der Umweltchemikalien und der unentrinnbaren Begrenztheit unserer regulatorischen und analytischen Ansätze muss als erstes eine Entscheidung getroffen werden, welchen Substanzen und Substanzklassen wir uns überhaupt zuwenden und welche wir zunächst – oder, realistisch gesehen, eigentlich für immer – außer Acht lassen. Der Streit um diese notwendige Priorisierung durchzog den Workshop wie ein roter Faden, es wurde leidenschaftlich diskutiert. Rein logisch betrachtet scheint eine Priorisierung sinnlos, denn wirklich sauber kann die Umwelt nur entweder ganz oder gar nicht sein. Eine unbekannt teilkontaminierte Umwelt ist nicht schadstofffrei entsprechend der Utopie der EU. Mit realistisch verfolgbareren Ansätzen ist also (nur) eine allgemein verringerte oder eine gezielt verringerte Schadstoffbelastung erreichbar. Ziel ist eher eine unbeeinträchtigte Umwelt, nicht notwendigerweise eine „schadstofffreie“.

Allgemeine Verbesserungen lassen sich mit den neuen Ansätzen der wirkungsbezogenen Analytik (WBA, engl. *effect directed analysis*, EDA) erreichen. Gezielte Verbesserungen sind durch die Benennung, Regulierung und stoffspezifische Spurenanalytik einzelner Stoffe oder ganzer Stoffgruppen möglich. Parallel können anthropogene Emissionen zukünftig auch generell reduziert bzw. gänzlich vermieden werden.

Eine mögliche Option der WBA ist z.B. die Auftrennung des Schadstoffinventars einer Probe in der Dünnschichtchromatographie gefolgt von der Detektion von toxikologisch aktiven Banden mit Biotests, z. B. durch Aufsprühen einer sensiblen Bakterienkultur. Ein in Gießen entwickeltes Open-Source-Selbstbausystem mit diesem Prinzip wurde uns auf dem Workshop durch Professorin Gertrud Morlock (Justus-Liebig-Universität Gießen) vorgestellt [5].

Eine solche WBA ist auch eine Weiterentwicklung von Summenparametern wie adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX), extrahierbares organisch gebundenes Fluor (EOF) oder gesamter gebundener organischer Kohlenstoff (TOC). Diese werden seit langem für das Auffinden unbekannter Kontaminationen eingesetzt, werden aber generell als nicht ausreichend empfindlich kritisiert. Die WBA ist hier empfindlicher und viele im Workshop waren der Meinung, dass stärker

wirkungsbezogen gearbeitet werden sollte. Mit grenzwertbasierter Einzelstoff- oder Summenparameteranalytik ignoriert man unbekannte Schadstoffe. Zudem kann die WBA auch eher Mischtoxizitäten erfassen. Bei der Diskussion über WBA sind wir immer wieder auch bei den fehlenden Rechtsgrundlagen gelandet.

Bezüglich des zukünftigen Verzichts auf Gefahrstoffe bzw. der generellen Reduktion von anthropogenen Emissionen in die Umwelt ist der *Safe and Sustainable by Design*-Ansatz (SSbD) der EU-Chemikalienstrategie zu nennen, also die Entwicklung neuer Substanzen, Materialien oder Prozesse, die von Hause aus sicher und nachhaltig sind. Als sicherlich unerwünscht ist die Austreibung des Teufels mit dem Beelzebub zu nennen, die *Regrettable Substitution*. Hier besteht die Gefahr, dass ein gefährlicher Stoff durch einen anderen ersetzt wird, der evtl. nur aufgrund einer geringeren Datenbasis oder bisher fehlender Regulierung (noch) als ungefährlich eingeschätzt wird.

Wolfgang Körners fünf Thesen zum Umweltmonitoring

Als weitere Diskussionsgrundlage brachte der AK Boden die „5 Thesen zum Umweltmonitoring“ von Wolfgang Körner in den Workshop ein, die wir in Auszügen in Schmalleben vorliegen hatten und diskutierten. Als langjähriger Referatsleiter für Organische Analytik im Bayerischen Landesamt für Umwelt hat Körner aus Sicht der terrestrischen Umwelt zunächst ausgehend von Eintragsmengen und -mechanismen sowie von Stoffeigenschaften angemessene Kriterien für eine vernünftige Stoffauswahl für die Überwachung abgeleitet [3]: Wenn wir Chemikalien überwachen wollen, die allgemein in die Umwelt freigesetzt werden, ergibt es zuerst einmal Sinn, sich über die Fracht Gedanken zu machen. Erster Schritt der Priorisierung können also Produktions- und Handelsvolumen sein. Für einen Stofftransport durch die Atmosphäre und anschließende Ablagerung als Voraussetzung einer Schädigung müssen physikalische Eigenschaften der Substanzen in einem klar umrissenen Bereich liegen, sie müssen SVOC (*semivolatile organic compounds*) sein. Eine weitere Betrachtung lohnt sich, wenn sie stabil und fettlöslich sind, also persistent, bioakkumulierend und toxisch (PBT/vPvB-Kriterien). Über den Punkt „Priorisierung“ hinaus hat Wolfgang Körner diese fünf Thesen zum Umweltmonitoring abgeleitet:

1. Umweltmonitoring ist essenziell für die Regulierung, d.h. wir sollten wissen, dass und wo die Substanzen gefunden werden (z. B. Waldboden).
2. Eine systematische Priorisierung, wie beschrieben, ist notwendig.
3. Die Einführung von Grenzwerten bringt durch die Diskussionen im Vorfeld und freiwillige/vorwegnehmende Aktionen der Industrie mehr als am Ende die Grenzwertüberwachung.
4. Es gibt bei der Stoffauswahl im Umweltmonitoring starke Bewahrungskräfte – Substanzen werden jahrzehntelang überwacht, obwohl (fast) nichts mehr gefunden wird.

5. Das Monitoring alter Stoffe frisst Kapazitäten, die besser auf aktuelle Stoffe verwendet würden.

Ein wichtiger Schritt zu einer schadstoffärmeren Umwelt sind also nachvollziehbare Kriterien zur Priorisierung von Schadstoffen für die Überwachung und die Durchsetzung in Form aktueller und regelmäßig aktualisierter grenzwertbehafteter Stofflisten.

Spezialfall Altlasten

Wolfgang Körner schreibt aber auch, dass diese Kriterien natürlich für Altlasten wie Deponien und Gewerbestandorte genau nicht gelten. Auf der Ebene der Einzelstoffanalytik wird Anlagenbetreibern mit der Industrieemissionsrichtlinie 2010/75/EU eine Vorher-Nachher-Betrachtung auferlegt [6]. Hier wird aufgrund der Liste der gehandhabten Stoffe ein Ausgangszustandsbericht (AZB) erstellt und eine anlagenspezifische Kontamination bei der Betriebseinstellung überprüft. Für eventuelle darüberhinausgehende Befunde, also zusätzliche Altlasten, besteht derzeit keine Regelung. Listenanalytik versagt bei Altlasten komplett, denn jeder Standort hat aus seiner Nutzungshistorie sein eigenes Stoffinventar. Möglicherweise wurden standortspezifisch Stoffe eingesetzt, die reaktiv waren und daher nur in Form von Transformationsprodukten nachweisbar sind; evtl. sind sie polar oder schwer extrahierbar. Grenzwerte und genormte Analytik liegen oft nicht vor. An dieser Stelle können zukünftig Wirkungsbezogene Analytik oder *Non-Target-Screening* (NTS) zum Einsatz kommen. Der AK Boden war z. B. an der Normung einer qualitativen und halbquantitativen Übersichtsanalyse von organischen Substanzen in Feststoffen mittels GC/MS beteiligt [7]. Wie oben bereits angedeutet, müssten solche Verfahren aber juristisch gefasst und damit ihre Ergebnisse behördlich bewertbar werden.

Gewässerschutz und Trinkwasseranalytik

Am – im Vergleich zu Altlasten – anderen Ende der „Verschmutzungsskala“, nämlich beim Gewässerschutz und in der Trinkwasseranalytik, kämpft man ebenfalls mit dem Problem, dass immer mehr und neue Stoffe gefunden und quantifiziert werden, für die es keine Grenzwerte gibt. Für einige davon sind nicht einmal ausreichend ökotoxikologische Daten vorhanden, um ihre Gefährlichkeit bzw. letztlich das Risiko einer schädlichen Wirkung zu bestimmen. Diesem Thema nimmt sich in Deutschland u. a. das Spurenstoffzentrum des Bundes an und arbeitet an einer Kombination von Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität [8]. Neben dem Nachweis bekannter und durch Grenzwerte regulierter Schadstoffe wird auch vermehrt auf NTS gesetzt. Eine schöne Einführung hierzu gibt es auf der Plattform „Faszination Chemie“ der GDCh [9]. Als Beispiel für zahlreiche NTS-Projekte im Hinblick auf Gewässerschutz und Trinkwasser wurde das der Internationalen Rheinkommission (IKSR) genannt, in dem ein harmonisiertes Analysenprotokoll und eine Datenbank für Ergebnisse entwickelt werden [10], [11].

Analyse der Analytik

Im Zuge der Erstellung dieses Berichts wurde der Begriff „Analyse der Analytik“ geprägt. Dahinter verbergen sich einige Punkte und Fragen, die Umweltchemiker bzw. -analytiker, aber auch Regulatoren nutzen könnten, um ihre Arbeiten einzuordnen. Als Denkanstöße sind diese Punkte teilweise bewusst provokativ formuliert:

Welche Analytik wird welchem Sachverhalt gerecht? Welche Aussagekraft hat ein Messwert? Größenordnung, Bezug zu Toxizitätsschwellen, Messunsicherheit, ... und wie kann ich dies über den reinen Wert hinaus kommunizieren?

Welchen Ausschnitt aller möglichen Analyten in einer Probe sehen wir und wie relevant / repräsentativ ist dieser Ausschnitt? Welche Diskriminierungsschritte habe ich bei der Probenaufbereitung und Extraktion, also welche Substanzklassen sind mit diesem Verfahren nachweisbar und welche werden absichtlich, unbewusst oder unvermeidlich ausgeblendet?

Lohnt es sich, Grenzwerte aufzustellen, wenn die Messunsicherheiten das teilweise nicht hergeben? Andererseits wird die Spurenanalytik immer empfindlicher, sodass wir Dinge sehen, die gar nicht erheblich sind. Vieles was nachweisbar ist, ist (möglicherweise) toxikologisch irrelevant (beispielsweise Glyphosat im Bier, Dioxine im Ei...).

In welchen Fällen können wir uns die Mühe, noch so kleine Konzentrationen genauestens zu bestimmen, auch sparen?

Was können Fachgruppe und Arbeitskreise sonst noch beitragen?

Angesichts dieses komplexen Themenfelds mit vielen Baustellen stellte sich in Schmallenberg also die Frage, was wir als Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der GDCh, in den Arbeitskreisen und auch als Einzelpersonen tun können, wenn wir zu einer Verbesserung der Umwelt beitragen wollen.

Ein „*toxic free environment*“ im Wortsinn ist ganz offenkundig eine Vision und wir müssen mit der unvollkommenen Wirklichkeit klarkommen. Bereits bestehende Umweltverschmutzungen sind aufgrund chemisch-physikalischer Gesetzmäßigkeiten nur begrenzt rückholbar, was der Öffentlichkeit auch so vermittelt werden sollte. Die weitere Reduktion bzw. vollständige Vermeidung von Emissionen von Schadstoffen sind vor diesem Hintergrund möglichst anzustreben. Der Umweltchemie und Ökotoxikologie kommt eine wichtige Rolle bei der Bewertung des Ist-Zustandes und im Hinblick auf die Zukunft zu: Sei es durch die analytische Erfassung von (anthropogenen) Stoffen in der Umwelt, der Erforschung von Transport-, Verteilungs- und Abbauprozessen, oder der Bestimmung der Schadwirkung auch von neuen Stoffen.

Als eine wesentliche Aufgabe für die Fachgruppe hat der Workshop gute Kommunikation zwischen Disziplinen sowie aus der Wissenschaft heraus identifiziert. Ein großer Kommunikations-

bedarf wird zwischen Umweltchemie, Ökotoxikologie und Synthesechemie gesehen, sodass letztere die Umwelteigenschaften neuer Stoffe direkt einbeziehen können (Stichwort „*sustainable by design*“). Wie bei der GDCh insgesamt, ist auch für die Fachgruppe UCÖT und deren Arbeitskreise das Netzwerken wesentlich. Unser Workshop in Schmallenberg hat gezeigt, dass wir voneinander lernen können – und sollten. Nicht nur angesichts stagnierender oder gar rückläufiger Mitgliederzahlen lohnt es sich, Werbung für unsere Arbeitsgebiete, die Fachgruppe und die Arbeitskreise zu machen, nicht zuletzt unter Nachwuchswissenschaftlern (z.B. jUCÖT, JCF). Sinnvoll erscheint zudem eine Bestandsaufnahme von umweltchemischen Themen in Studiengängen und im Schulunterricht, um dort letztlich mehr Sichtbarkeit unserer Arbeitsgebiete zu erreichen. Auch die Zusammenarbeit mit anderen GDCh Fachstrukturen könnte erweitert werden (Stichwort: Wasserchemische Gesellschaft, Analytische Chemie, Chemie-didaktik...).

Zu diesem Bericht haben durch Kommentierung beigetragen: Bernd Göckener, Hartmut Herrmann, Wolfgang Körner und Angus Rocha Vogel

Referenzen

- [1] C. Bornemann, S. Hahn, und K. Klipsch, „Erster gemeinsamer Workshop der UCÖT-Arbeitskreise“, *Mitt Umweltchem Ökotox*, Bd. 30, Nr. 3, S. 122, 2024.
- [2] „Transformation zu zukunftsfähigen Chemiewerkstoffen. Veranstaltung zur Kreislaufwirtschaft der Vereinigung für Chemie und Wirtschaft (VCW)“, online, 8. Juli 2024. Zugegriffen: 17. Dezember 2024. Verfügbar unter: <https://www.chemanager-online.com/news/transformation-zu-zukunftsfahigen-chemiewerkstoffen>
- [3] W. Körner, „Terrestrisches Umweltmonitoring – Messen wir die richtigen Stoffe?“, *Mitt Umweltchem Ökotox*, Bd. 29, Nr. 3, S. 68–72, 2023.
- [4] „Diskussion und persönliche Kommunikation auf dem Workshop zum Ausgangszustandsbericht am 07.11.2022 in Berlin im Rahmen des Workshops der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).“
- [5] L. Sing, W. Schwack, R. Götsche, und G. E. Morlock, „2LabsToGo— recipe for building your own chromatography equipment including biological assay and effect detection“, *Anal. Chem.*, Bd. 94, Nr. 42, S. 14554–14564, Okt. 2022, doi: 10.1021/acs.analchem.2c02339.
- [6] „Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial and livestock rearing emissions (integrated pollution prevention and control)“, *Official Journal of the European Union*, Bd. 53, Nr. L334, S. 17, Dez. 2010, doi: 10.3000/17252555.L_2010.334.eng.
- [7] DIN, „DIN 3599:2022-02, Feststoff GC-MS-Screening - Qualitative und halbquantitative Übersichtsanalyse“, DIN Media GmbH, 2022. doi: 10.31030/3319271.

- [8] „Das Spurenstoffzentrum des Bundes“. Zugegriffen: 17. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/das-spurenstoffzentrum-des-bundes>
- [9] „Auf Spurensuche: Non-Target-Screening in der Wasseranalytik“. Zugegriffen: 17. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.faszinationchemie.de/wissen-und-fakten/news/auf-spurensuche-non-target-screening-in-der-wasseranalytik/>
- [10] „Pilot project on non-target screening“. Zugegriffen: 17. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iksr.org/en/iksr/rhein-2040/rhine-project-non-target-screening>
- [11] „Workshop Report, NTS Workshop, Koblenz: A new harmonized approach for non-target screening – exploring its potential to track contaminants in environmental monitoring“. 18. September 2023. Zugegriffen: 17. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Symposien-Workshop/EN/symp_En_NTS_Workshop.pdf

Tagungen



BAM-Workshop: Advancements of Analytical Techniques for Per- and Polyfluoroalkyl

Substances (PFAS) 2025 - AATP3: PFAS Analytics for Industrial Emissions, 16.09.2025, Berlin

BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) is working on the development of analytical techniques for PFAS as well as remediation of PFAS contaminated matrices. Moreover, BAM is involved in the European Metrology Network for Pollution Monitoring (POLMO), which brings together calibration laboratories, proficiency tests providers, standardization and accreditation bodies in the pollution monitoring sector.

The main goal within this workshop will be the discussion of advantages and drawbacks of current state-of-the-art methods in contrast to various novel and less well-known techniques for PFAS analytics. After the first two successful workshops in 2021 and 2023, this year we will focus on PFAS analytics for industrial emissions. In this context, the Euramet project MetZeroPol will also be launched in summer 2025.

Link:

<https://www.bam.de/Content/DE/Veranstaltungen/2025/2025-09-16-pfas-workshop.html>



Die Umwelt 2025 am UBA in Dessau-Roßlau

Die gemeinsame Jahrestagung der SETAC GLB und der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie findet 2025 am Hauptsitz des Umweltbundesamts (UBA) in Dessau-Roßlau statt. Unter dem Motto "Chemisches Universum trifft

planetare Grenzen" stellt die Jahrestagung die Problematik in den Vordergrund, dass unser modernes Leben ohne die vielfältigen Anwendungen chemischer Stoffe nicht vorstellbar ist – ihre Freisetzung in die Umwelt jedoch weitreichende Folgen haben. Vom Anstieg der Konzentrationen langlebiger Schadstoffe in Böden und Gewässern bis hin zur Belastung der Atmosphäre tragen chemische Substanzen dazu bei, dass das natürliche Gleichgewicht der Erde mit potenziell irreversiblen Folgen für Mensch und Umwelt gestört wird. Die Tagung widmet sich diesen Herausforderungen und diskutiert, wie Wissenschaft, Politik, Industrie und Gesellschaft nachhaltige Lösungen entwickeln können.

Traditionell für diese seit 1996 stattfindenden gemeinsamen Tagungen ist die Diskussionen innerhalb des Spannungsfeldes von Industrie, Behörden und Forschung. Hier wollen wir insbesondere den wissenschaftlichen Nachwuchs motivieren, sich aktiv an diesem Geschehen zu beteiligen. Dafür findet im Vorfeld der Tagung am Montagvormittag bereits das Junge Umwelt Forum statt.

Wir freuen uns über Ihre aktive Teilnahme und laden Sie herzlich ein, am Erkenntnisfortschritt in der Umweltchemie, der Umweltanalytik und der Ökotoxikologie mitzuwirken!

Weitere Informationen: <https://www.setac-qlb.de/umwelt-2025>



45th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs)- (Dioxin 2025), 1th-6th 11 2025, Antalya

We are delighted to invite scientists, researchers, policy-makers, industry leaders, and environmental advocates to Dioxin2025, the 45th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), which will be held from November 1-6, 2025, at the Titanic Deluxe Golf Resort Belek in Antalya, Türkiye.

Set against Antalya's beautiful Mediterranean coast, this event will gather leading experts to advance knowledge and tackle challenges related to halogenated POPs. With opportunities for knowledge exchange, networking, and collaboration, Dioxin 2025 offers a unique platform to share innovations in both legacy and emerging POPs.

More information: <https://www.euchems.eu/events/45th-international-symposium-on-halogenated-persistent-organic-pollutants-pops-dioxin-2025/>



23-25 Nov, Chania, Crete

The 25th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC25) will take place in Chania, Crete from 23rd to 25th November 2025. The event is recognized by EuChemS and supported by EuChemS-DAC Sample Preparation Study Group and Network.

The EMEC events are organized on an annual basis on behalf of the Association of Chemistry and the Environment (ACE). This year, as we celebrate the 25th anniversary of ACE, EMEC25 will continue its tradition of bringing together scientists, researchers, and industry professionals to share and discuss the latest advancements in environmental chemistry. This year's meeting will focus on advancing sustainable solutions, addressing environmental challenges, and exploring the latest breakthroughs in environmental science and technology. With a diverse program of invited lectures, oral presentations, interactive sessions, and poster exhibitions, EMEC25 aims to spark meaningful dialogue, promote innovative research, and drive impactful solutions for a sustainable future.

More information: <https://www.emec25.tuc.gr/en/home>

Kurznachrichten

Nature Geoscience article: Anthropogenic organic aerosol in Europe produced mainly through second-generation oxidation

Abstract. Exposure to anthropogenic atmospheric aerosol is a major health issue, causing several million deaths per year worldwide. The oxidation of aromatic hydrocarbons from traffic and wood combustion is an important anthropogenic source of low-volatility species in secondary organic aerosol, especially in heavily polluted environments. It is not yet established whether the formation of anthropogenic secondary organic aerosol involves mainly rapid autoxidation, slower sequential oxidation steps or a combination of the two. Here we reproduced a typical urban haze in the 'Cosmics Leaving Outdoor Droplets' chamber at the European Organization for Nuclear Research and observed the dynamics of aromatic oxidation products during secondary organic aerosol growth on a molecular level to determine mechanisms underlying their production and removal. We demonstrate that sequential oxidation is required for substantial secondary organic aerosol formation. Second-generation oxidation decreases the products' saturation vapour pressure by several orders of magnitude and increases the aromatic secondary organic aerosol yields from a few percent to a few tens of percent at typical atmospheric concentrations. Through regional modelling, we show that more than 70% of the exposure to anthropogenic organic aerosol in Europe arises from second-generation oxidation.

M. Xiao et al., Nature Geoscience 2025, 18, 239–245, <https://doi.org/10.1038/s41561-025-01645-z>

Science Advances article: Short-lived reactive components substantially contribute to particulate matter oxidative potential

Abstract. Exposure to airborne particulate matter (PM) has been attributed to millions of deaths annually. However, the PM components responsible for observed health effects remain unclear. Oxidative potential (OP) has gained increasing attention as a key property that may explain PM toxicity. Using online measurement methods that impinge particles for OP quantification within seconds, we reveal that 60 to 99% of reactive oxygen species (ROS) and OP in secondary organic aerosol and combustion-generated PM have a lifetime of minutes to hours and that the ROS activity of ambient PM decays substantially before offline analysis. This implies that current offline measurement methods substantially underestimate the true OP of PM. We demonstrate that short-lived OP components activate different toxicity pathways upon direct

deposition onto reconstituted human bronchial epithelia. Therefore, we suggest that future air pollution and health studies should include online OP quantification, allowing more accurate assessments of links between OP and health effects.

S. J. Campbell et al., Science Advances 2025, 11 (12), DOI: 10.1126/sciadv.adp8100

Deutscher Satellit erfasst erstmals CO₂ und NO₂ gleichzeitig aus Kraftwerksabgasen

Neuer Ansatz zur satellitengestützten Emissionsüberwachung von Luftschadstoffen mit hoher Detailgenauigkeit

Ein Forschungsteam des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz und der Universität Heidelberg hat mithilfe des deutschen Umweltsatelliten EnMAP (*Environmental Mapping and Analysis Program*) erstmals gleichzeitig die beiden zentralen Luftschadstoffe Kohlendioxid (CO₂) und Stickstoffdioxid (NO₂) in Abgasfahnen von Kraftwerken beobachtet – mit einer bislang unerreichten räumlichen Auflösung von nur 30 Metern. Die neu entwickelte Methode erlaubt es, industrielle Emissionen aus dem All hochpräzise zu erfassen und atmosphärische Prozesse detailliert zu analysieren.

Kernaussagen der Studie

- *Weltpremiere:* Erste gleichzeitige Satellitenmessungen von NO₂ und CO₂ über einzelnen Kraftwerken.
- *Hohe räumliche Auflösung:* EnMAP-Daten ermöglichen die Verfolgung von Abgasfahnen über mehrere zehn Kilometer.
- *Quantitative Auswertung:* Direkte Abschätzungen von Emissionen und Analyse chemischer Umwandlungen in der Atmosphäre.
- *Emissionskennzahlen:* NO_x/CO₂-Verhältnisse liefern Hinweise auf die Eigenschaften und Effizienz der Kraftwerke.

Originalpublikation:

Borger, C. et al., High-resolution observations of NO₂ and CO₂ emission plumes from EnMAP satellite measurements, Environmental Research Letters 2025, 20: 044034, DOI 10.1088/1748-9326/adc0b1

Quelle: <https://www.mpic.de/5704950/deutscher-satellit-erfasst-erstmal-co2-und-no2?print=yes>

Angewandte Chemie article: Uncovering the photochemical conversion of atmospheric chlorinated organics on mineral dust: in-field evidence of a new source of dioxin

Abstract. Hazardous chemicals are typically assessed based on their inherent toxicity, often neglecting the fact that their atmospheric secondary transformation products may exhibit increased toxicity and persistence, potentially exceeding the risks associated with the parent chemicals. Chlorinated volatile organic compounds (CVOCs) are a significant class of commercial chemicals, but their secondary conversion in the atmosphere remains largely unknown. Herein, by combining laboratory and in-field experiments, we have identified a new conversion pathway that the CVOCs can be photochemically transformed into polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) on mineral dust particulates under atmospheric conditions. We showed that mineral components, particularly Fe- and Al-related oxides, can efficiently convert monochlorobenzene, dichloromethane, and perchloroethylene into PCDD/Fs under light irradiation. By combining reaction product measurements and density functional theory (DFT) calculations, we found that the α -Fe₂O₃ exhibited much higher propensity for dioxin formation than γ -Al₂O₃, as evidenced by its lower reaction energy barriers for both the initial phenol formation and subsequent chlorination processes. In particular, histopathological assays showed the photochemically-reacted α -Fe₂O₃ can cause severe damage to the lung and brain tissues of mice, underscoring the need to reassess the toxicity of commercial CVOCs and their secondary transformation products.,

M. Chen et al., *Angewandte Chemie, Int. Edition*,
First published: 22 April 2025,
<https://doi.org/10.1002/ange.202500854>

PFAS in Europa und Berlin: Das Projekt „PROMISCES“ liefert Antworten

Der europäische Green Deal hat einen Wettlauf um die Förderung der Ressourcennutzung und den Übergang von einer linearen zu einer Kreislaufwirtschaft ausgelöst. Eine der größten Herausforderungen für das Erreichen der Kreislaufwirtschaftsziele der EU stellt das Vorliegen von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) im Boden und im Wasserkreislauf dar, da diese nachweislich negative Auswirkungen auf Umwelt und menschliche Gesundheit haben. Um die Ziele des europäischen Green Deals sowie des Aktionsplans zur Vermeidung von Umweltverschmutzung und des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft zu erreichen, sind innovative Ansätze notwendig, um das Vorkommen und die Beseitigung dieser synthetischen Verbindungen zu adressieren. Genau darauf konzentrierte sich

das im April 2025 beendete Projekt PROMISCES (Preventing Recalcitrant Organic Mobile Industrial chemicals for Circular Economy in the Soil-sediment-water system).

Das PROMISCES-Projektteam, unter der Leitung des französischen geologischen Dienstes (BRGM), vereinte über dreieinhalb Jahre 27 Partner aus neun Ländern. Gemeinsam untersuchten sie in sieben europäischen Fallstudien das Vorkommen von PFAS und iPM(T) entlang fünf spezifischer Kreislaufwirtschafts-Routen, in denen Ressourcen wie Wasser oder Nährstoffe recycelt werden.

Eine ausführliche Darstellung des Projektes und dessen Ergebnisse findet sich unter

<https://kompetenzwasser.de/de/newsroom/news/pfas-in-berlin>

OECD Synthesis Report on Understanding Perfluoropolyethers (PFPEs) and Their Life Cycle

Executive Summary. Developed within the framework of the OECD/UNEP Global PFC group, this report presents recent efforts in gathering and synthesizing publicly available information on PFPEs, with the aim of elucidating the identities of PFPEs on the global market and analyzing their life cycle (including production and use, presence of other PFASs as impurities in commercial formulations, degradation mechanisms, and environmental releases of PFPEs and other PFASs present in commercial formulations).

Despite the abundance of knowledge and data gaps identified, the following key points can be concluded from the analysis. A variety of structurally diverse PFPEs exist on the global market, and their use in various industrial applications and consumer products is extensive. Most, if not all, PFPEs belong to four main families and are differentiated based on their brand names and synthesis processes. Notably, many PFPEs have rather low molecular weight, even below 1000 Da in some cases, and may warrant further examination. Production volumes of PFPEs are often reported as confidential business information. Some evidence demonstrates that other PFAS may be present in PFPE commercial formulations from different origins, but further investigation is needed to capture this comprehensively.

PFPEs are generally considered to be stable, demonstrating elevated thermal stability. However, they are vulnerable to Lewis acid-catalyzed decomposition. During use, several degradation mechanisms may take place, and the fate of PFPEs depends largely on the nature of the industrial application or process. Possible mechanisms of degradation for PFPE lubricants include thermal decomposition, catalytic decomposition, mechanical scission and triboelectric decomposition. A variety of degradation products have been identified for various PFPEs, including per-/polyfluoroalkylether carbo-

xylic acids. Evidence of environmental releases of PFPEs remains limited, although efforts to identify PFPEs in New Jersey (United States) soil and water samples have shown that PFPEs have been detected in varying concentrations across several environmental matrices, and may undergo transformation and degradation.

These findings are only a first step towards understanding the life cycle of PFPEs and the extent of their use on the global market. The gaps in knowledge and data clearly demonstrate how little is known about these substances and why concern may be warranted. Concerted action by all stakeholders is needed to address PFPEs efficiently and effectively.

Download: https://www.oecd.org/en/publications/synthesis-report-on-understanding-perfluoropolyethers-pfpe-and-their-life-cycle_99ee2d3e-en.html

Nature Sustainability article: Environmental impacts of polymeric flame retardant breakdown

Abstract. The industrial use of monomeric halogenated flame retardants has now gradually been phased out due to their toxicity to humans and ecosystems. Polymeric flame retardants are emerging as a 'safe' alternative and so have a high production and consumption volume. However, the environmental fate and toxicity of their derivatives remain unknown, making it difficult to understand and adequately manage the associated risk. We take two tetrabromobisphenol A-based polymers (polyTBBPAs) that are widely used in electronics as model flame-retardant chemicals, and we study their behaviour when they break down in the environment and the toxicity of the derivative products. Our results show that polyTBBPAs break down into smaller products in the environment. Using a non-target screening strategy called BrMiner developed by us, we identified 76 breakdown products of polyTBBPAs with molecular weights in the range 400–2,000 Da. These were detected in environmental samples taken from electronic waste recycling facilities in South China. Toxicity tests with zebrafish embryos showed that when they break down in the environment, polyTBBPAs become more toxic, with mitochondrial dysfunction representing a key toxicity mechanism. This study reveals that there are environmental risks associated with polymeric flame retardants, and therefore, their use should be adequately assessed and regulated.

Liu, X., Xiong, Y., Gou, X. et al.,
Nature Sustainability 2025, 8, 432–445 /
doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-025-01513-z>

The Zero Pollution Monitoring and Outlook 2025 Report and The Zero Pollution Monitoring Dashboard

The second Zero Pollution Monitoring and Outlook 2025 report, jointly published by the European Commission's Joint Research Centre (JRC) and the European Environment Agency (EEA), serves as a biennial assessment of the EU's progress in achieving its zero-pollution targets. According to the report, pollution remains one of the most pressing environmental challenges, threatening ecosystems, economic stability, and public health. The European Green Deal (EGD) and its Zero Pollution Action Plan (ZPAP) have reinforced the EU's regulatory efforts to curb pollution and move towards more sustainable practices.

The Zero Pollution Monitoring and Outlook Report, now in its second edition, offers a detailed assessment of the EU's progress in pollution reduction. This comprehensive analysis highlights both achievements and ongoing challenges, shedding light on the primary sources of pollution and their environmental and societal impacts. While improvements have been made, particularly in air quality and reducing pesticide and antimicrobial use, sectors such as agriculture, transport, and waste management continue to pose significant risks. Additionally, Europe's high levels of resource consumption contribute to unsustainable pollution levels, not only within the EU but also in countries that supply imported goods. These findings emphasise the urgency of strengthening circular economy initiatives, ensuring stricter enforcement of environmental laws, and advancing waste prevention strategies.

Challenges and areas for improvement

Despite some positive developments, progress toward zero pollution remains uneven across different targets. While reductions in air pollution-related health impacts are on track, the EU is struggling to meet objectives related to noise pollution and nutrient loss reduction. Ammonia and nitrogen oxide emissions continue to degrade ecosystems, making it unlikely that the 25% pollution reduction target for air pollution impacts on nature will be met. Similarly, while pesticide risk reduction has been reported, inconsistencies in the measurement methodology suggest the need for more precise indicators. Plastic pollution, particularly marine litter, is showing signs of improvement, yet microplastics remain a challenge due to gaps in monitoring and regulation.

The success of the zero pollution agenda will largely depend on the full implementation of environmental laws, such as the Industrial Emissions Directive, the Urban Wastewater Treatment Directive, and the Nature Restoration Regulation. Moving forward, aligning pollution reduction policies with industrial innovation, sustainability efforts, and social equity will be essential to ensure a fair and effective transition toward a cleaner and healthier Europe.

The Zero Pollution Monitoring Dashboard

In addition to legislative measures, the European Commission has developed new digital tools, such as the Zero Pollution Monitoring Dashboard, to enhance transparency and accountability in pollution reduction efforts. The Zero Pollution Monitoring Dashboard is an interactive digital platform designed to provide stakeholders with a real-time overview of pollution trends and environmental indicators across the EU. This tool facilitates monitoring efforts by tracking key variables such as air pollution levels, industrial emissions, urban wastewater discharge, and ecosystem health. By allowing for comparisons between different regions and assessing progress against EU-wide targets, the dashboard serves as an essential resource for policymakers, researchers, and industry leaders.

Report download:

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/zero-pollution-monitoring-and-outlook-report>

Dashboard:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrjoiNjJhYTFkY2YtNzdjO00MmU2LWlxNGQqZDhmMjI5YzJjYzZiliwidCI6ImlyNGM4YjA2LUyMmMtNDZmZS05MDgwLTcwOTI2ZjhkZGRiMSlslmMiOj9>

Source: <https://www.euchems.eu/zero-pollution-monitoring-outlook-2025-report-summary/>

European Metrology Network for Pollution Monitoring

Monitoring creates a sustainable metrology infrastructure to support European and international regulations and directives targeting pollution monitoring.

The EU has highlighted the need for high quality data to support Europe's progress towards a zero-pollution ambition. This network provides measurement science expertise to society, the environmental community and industry to metrologically support monitoring of chemicals, radionuclides, biological/microbiological and particulates pollution in air, water and soil. The EMN for Pollution Monitoring acts as a bridge between stakeholder and end-user communities and contributes to environmental sustainability by pollutant measurements.

Pollutants covered:

- Chemical pollutants
- Radionuclide pollutants
- Natural radionuclides
- Artificial radionuclides
- Biological and microbial parameters
- Particles

Homepage: <https://www.euramet.org/european-metrology-networks/pollution-monitoring>



Meetings of the conferences of the Parties to the Basel, Rotterdam and Stockholm conventions (BRS) in Geneva, 28th April – 9th May

Highlights: The seventeenth meeting of the Conference of the Parties to the Basel Convention (BC COP-17), the twelfth meeting of the Conference of the Parties to the Rotterdam Convention (RC COP-12) and the twelfth meeting of the Conference of the Parties to the Stockholm Convention (SC COP-12) were held back-to-back in Geneva from 28 April to 9 May 2025. The theme of the meetings and its high-level segment was "Make visible the invisible: sound management of chemicals and wastes".

The meetings included a high-level segment on the afternoon of Wednesday, 30 April 2025 and the morning of Thursday, 1 May 2025. The high-level segment fostered constructive dialogue and strong political engagement, as ministers and senior officials shared national experiences and reaffirmed their commitment to scaling up action on chemicals and waste. Additional information on the high-level segment is available in the section "High-level segment".

The meetings were attended by over 2,000 participants from 182 country Parties and 205 observer entities. A total of 56 decisions were adopted strengthening the sound management of chemicals and wastes for the protection of human health and the environment, including 20 decisions adopted by BC COP-17, seven decisions by RC COP-12 and 21 decisions by SC COP-12, as well as eight decisions on joint issues adopted by the three conferences.

Among the key outcomes, the three conferences of the Parties committed to stronger collaboration with other environmental agreements and initiatives. BC COP-17 adopted amendments to Annex IV to the Convention; updated technical guidelines on the environmentally sound management of persistent organic pollutants wastes; and a new strategic framework for the implementation of the Convention for 2025-2031. The Conference furthermore initiated a new area of work related to addressing transboundary movements of textile wastes. RC COP-12 listed two new chemicals in Annex III to the Convention, the pesticide carbosulfan and the severely hazardous pesticide formulation fenthion (ultra-low-volume formulations at or above 640 g active ingredient/L). The Conference also agreed on further activities to enhance the effectiveness of the Convention and adopted the programme of work of the Compliance Committee for 2026-2027. SC COP-12 amended Annex A to the Convention to list three new chemicals therein, namely the pesticide chlorpyrifos and two groups of industrial chemicals, long-chain perfluorocarboxylic acids (LC-PFCAs) and medium-chain chlorinated paraffins (MCCPs). Additionally, Parties adopted the inaugural programme of work of the Convention's Compliance Committee and transmitted the

funding needs for the Convention's implementing to the Global Environment Facility.

Meeting reports and decisions adopted available at <https://www.brsmeas.org/2025COPs/Overview/tabid/9742/language/en-US/Default.aspx>

EAWAG News: Der verheerende Einfluss des Menschen auf die Biodiversität

Der Mensch beeinträchtigt die Biodiversität weltweit und in hohem Ausmass. Nicht nur die Artenzahlen nehmen ab, auch die Zusammensetzung der Artengemeinschaften verändert sich. Das zeigt eine im Fachmagazin «Nature» erschienene Studie der Eawag und der Universität Zürich. Es handelt sich um eine der grössten je durchgeführten Untersuchungen zu diesem Thema.

Um diese Forschungslücken zu schliessen, hat nun ein Team des Wasserforschungsinstituts Eawag und der Universität Zürich eine Synthesestudie durchgeführt, die ihresgleichen sucht. Die Forschenden trugen Daten aus rund 2100 Studien zusammen, welche die Biodiversität an fast 50'000 vom Menschen beeinträchtigten Standorten mit fast 50'000 unbeeinflussten Referenz-Standorten verglichen. Die Studien decken Land-, Süswasser- und Meereslebensräume auf der ganzen Welt ab sowie sämtliche Organismengruppen, von Mikroben und Pilzen über Pflanzen und wirbellose Tiere bis zu Fischen, Vögeln und Säugetieren. [...].

Artenzahlen nehmen deutlich ab

Die Resultate der im Fachmagazin «Nature» publizierten Studie sind eindeutig – und lassen keinen Zweifel daran, wie verheerend der Mensch weltweit auf die Biodiversität einwirkt. «Wir haben die Effekte der fünf wichtigsten menschlichen Einflussfaktoren auf die Biodiversität untersucht: Lebensraumveränderungen, direkte Ausbeutung wie Jagd oder Fischerei, Klimawandel, Umweltverschmutzung und invasive Arten», sagt François Keck, Postdoktorand in Altermatts Forschungsgruppe und Erstautor der Studie. «Unsere Ergebnisse zeigen, dass alle fünf Faktoren starke negative Einflüsse auf die Biodiversität haben – und zwar weltweit, in allen Organismengruppen und sämtlichen Ökosystemen.» [...].

Artengemeinschaften verschieben sich

Die Auswirkungen gehen aber weit über den Verlust von Arten hinaus. «Es nehmen nicht nur die Artenzahlen ab», sagt François Keck. «Aufgrund des menschlichen Drucks verändert sich auch die Zusammensetzung der Artengemeinschaften.» [...]. Besonders negativ auf die Artenzahl und die Zusammensetzung der Artengemeinschaften wirken laut der Studie Umweltverschmutzungen und Lebensraumveränderungen.

Gekürzte Pressemitteilung vom 26. März 2025; vollständiger Text: <https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/news/der-verheerende-einfluss-des-menschen-auf-die-biodiversitaet/>

Originalpublikation: Keck, F. et al. (2025) The global human impact on biodiversity, Nature, 26 March 2025, DOI: 10.1038/s41586-025-08752-2.

Qualitätskriterien am Oekotoxzentrum – neue Werte und Substanzen, neue Gesamtliste

Müssen Sie Umweltkonzentrationen von Chemikalien bewerten? Das schweizer Oekotoxzentrum führt eine umfangreiche Datenbank mit Umweltqualitätskriterien (UQK) und anderen ökotoxikologischen Schwellenwerten, die wir die nun um neue Informationen erweitert haben.

Wir haben ein **neues UQK** für das Insektizid Tefluthrin erarbeitet, das zur Gruppe der Pyrethroide gehört: Das Dossier finden Sie auf unserer Webseite. Dort stellen wir auch ad hoc UQK zur Verfügung, die wir auf Basis der Zulassungsdaten bestimmt haben. Ausserdem UQK, die von anderen Ländern oder Institutionen hergeleitet wurden und die wir zur Bewertung von Gewässerproben vorschlagen – die Gesamttabelle aller verfügbaren UQK – haben wir für Sie aktualisiert. Bei einigen Stoffen gibt es Änderungen, andere haben wir neu in die Liste aufgenommen. Darunter sind **zusätzliche ad hoc UQK**, Qualitätskriterien für Metalle und zusätzliche Qualitätskriterien für Antibiotika.

Die **Qualitätskriterien für Metalle** stammen aus der Schweizer Gewässerschutzverordnung und wurden noch nicht mit dem heute verwendeten Verfahren für die Herleitung von UQK hergeleitet. Sie sind zu verwenden wie akute UQK, da die Konzentrationen zu keinem Zeitpunkt überschritten werden sollten.

Die **zusätzlichen Qualitätskriterien für Antibiotika** unterscheiden sich von herkömmlichen UQK, da nicht der Schutz des Ökosystems im Mittelpunkt steht, sondern die Vermeidung einer Selektion von Antibiotikaresistenzen bei Umweltbakterien. Resistente Bakterien sollen keinen Überlebensvorteil haben, da sich die Resistenzen sonst weiter ausbreiten könnten. Diese Qualitätskriterien haben in der Schweiz keine rechtliche Bedeutung. Wenn Sie aber Antibiotika-Konzentrationen messen, die diese Werte überschreiten, hören wir gerne von Ihnen, da wir dieses Thema wissenschaftlich verfolgen.

Eine Aufstellung aller vom Oekotoxzentrum hergeleiteten UQK finden sie weiterhin [auf unserer Homepage](#). Zusätzlich bieten wir dort auch eine [Excel-Datei](#) zum Download der UQK mit Indikatoren zur Mischungstoxizitätsbewertung an.

Quelle: <https://www.oekotoxzentrum.ch/news-publikationen/news/qualitaetskriterien-am-oekotoxzentrum-neue-werte-und-substanzen-neue-gesamtliste>

Redaktioneller Beitrag

„Make America dirty again“ – Trumps Feldzug gegen Forschung, Umwelt- und Klimaschutz

US-Präsident Donald Trump hat offensichtlich bestens vorbereitet und strategisch ausgerichtet seine zweite Amtszeit begonnen. Mit einer Fülle von Anordnungen, den „Executive Orders“, bereits am ersten Tag der Amtsführung, wurde eine radikale Kehrtwendung in vielen gesellschaftlichen Bereichen eingeleitet. Dabei wurden grundlegende Ziele politischen Handelns, z.B. im Gesundheitswesen, im Umwelt- und Klimaschutz, in Bildung und Forschung für obsolet erklärt oder in ihr Gegenteil verkehrt. Kennzeichnend für dieses Agieren sind die Bandbreite der Maßnahmen und die atemberaubende Geschwindigkeit (in der amerikanischen Presse gerne mit dem Begriff „Blitzkrieg“ versehen), mit der Dekrete erlassen, Personal entlassen, Finanzmittel gestrichen, Projekte beerdigt, Gesetze umgangen und Institutionen ausgehöhlt werden. Diese als „flood the zone“ bezeichnete Taktik zielt darauf ab, durch massive Überforderung die verfassungsmäßig verankerten Mechanismen der Machtkontrolle, der „checks and balances“, unwirksam werden zu lassen [1], um Fakten schaffen zu können, die tendenziell irreparable Wirkungen bereits entfaltet haben, wenn irgendwann die Unrechtmäßigkeit ihrer Herbeiführung festgestellt werden sollte. Das spektakulärste Beispiel, wie Forschungs- und Bildungseinrichtungen der Staatsräson unterworfen und ihrer Unabhängigkeit beraubt werden sollen, bildet das Vorgehen der Trump Administration gegen die Privatuniversität Harvard. Zusätzlich zu massiven Kürzungen staatlicher Fördermittel wurde der Universität untersagt, ausländische Studierende aufzunehmen. Bereits immatrikulierte Studierende sollen die Universität wechseln müssen, um ihren Aufenthaltsstatus zu wahren. Zwar hat eine Bundesrichterin diese Anordnungen inzwischen gestoppt; damit ist aber noch keine endgültige juristische Entscheidung gefallen.

Da mit Trump ein Leugner des anthropogen verursachten Klimawandels Einzug ins Weiße Haus gehalten hat, der Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Lebensgrundlagen als Ausfluß einer „woken“, anti-amerikanischen und wirtschaftsfeindlichen Ideologie brandmarkt, sind Umweltforschung, Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung in besonderer Weise der Deregulation und Demontage ausgesetzt. Die Mehrzahl der bereits am ersten Amtstag von Trump erlassenen Anweisungen zielte auf den Umwelt- und Klimabereich. Unter anderem wurde der erneute Austritt aus dem Pariser Klimaschutzabkommen beschlossen. Bis Ende April wurden 145 Initiativen auf den Weg gebracht, die die Schwächung oder Beendigung von Umweltschutzprogrammen und die Aufhebung von Einschränkungen der Ausbeutung fossiler oder mineralischer Lagerstätten verfolgen [2]. Mit der Ausrufung eines (fiktiven) „Energienotstands“ werden die Kohleindustrie wiederbelebt, Kohlekraftwerke von der Einhaltung von Luftreinigungsvorgaben befreit, Begrenzungen von Treibhausgasemissionen

aufgehoben und die Neuzulassung von Wind- und Solaranlagen unterbunden. Auch besonders sensible Umweltbereiche wie arktische Gebiete oder der pazifische Meeresboden werden für die Rohstoffausbeutung zugänglich gemacht [2].



Abbildungsnachweis:

<https://www.flickr.com/photos/tupinicomics/36658644831>

Originalfassung: CC BY-NC-ND 2.0

Um die Klimaforschung zu torpedieren, wurden Ende April die Arbeiten am fast fertig gestellten 6. Nationalen Klimazustandsbericht eingestellt und mehrere hundert beteiligte Wissenschaftler/innen entlassen. Auch die Neuauflage des Nationalen Naturzustandsberichts, die u.a. die Auswirkungen anthropogener Eingriffe in Ökosysteme auf verschiedene gesellschaftliche Bereiche wie etwa das Gesundheitswesen dokumentieren sollte, wurde ad acta gelegt [3]. Klimaschutzmaßnahmen werden nicht nur auf Bundesebene attackiert. Vielfach wird zu diesem Zweck auch Druck auf die Regierungen der Bundesstaaten und auf lokale Verwaltungen ausgeübt oder es wird versucht, diesen Entscheidungsbefugnisse zu entziehen und auf die Bundesebene zu verlagern [4].

Die EPA wird durch ein ganzes Maßnahmenbündel gelähmt und ihrer ursprünglichen Funktion beraubt. Mit Beginn des nächsten amerikanischen Fiskaljahres am 1. Oktober soll der EPA-Etat um 55% schrumpfen [5], flankiert von der Entlassung von mehreren tausend Mitarbeitenden und der Schließung des Scientific Research Office [6]. Zentrale Aufgaben der EPA wie das Schadstoffmonitoring und die Mitwirkung beim Vollzug grundlegender Umweltgesetze wie dem Clean Water Act, dem Safe Drinking Water Act, oder dem National Environmental Policy Act stehen zur Disposition [6]. Für die Transformation der EPA zu einem Steigbügelhalter amerikanischer Wirtschaftsinteressen steht ihr neuer, von Trump eingesetzter Präsident Lee Zeldin. Dieser formulierte am 29. Januar 2025 fünf Grundpfeiler der Neuausrichtung der EPA. Darunter befindet sich ein Bekenntnis zur Weiterverfolgung des Ziels der Reinhaltung der Umweltmedien, das allerdings unter das Primat der Förderung der ökonomischen Entwicklung und der Kosteneffizienz gestellt wird. Als neue Aufgabenstellungen werden u.a. die Stärkung der amerikanischen „Energiesou-

veränität“, die Schaffung optimaler Rahmenbedingungen für die wirtschaftliche Entwicklung und die Weiterentwicklung von künstlicher Intelligenz sowie der Schutz und die Förderung der Autoindustrie genannt [7].

Diese geplante und teilweise bereits in Gang gesetzte Demontage aller Regelungen, die einer Ökonomisierung der Natur und ihrer Ressourcen entgegenstehen, birgt das Potential, nicht nur in den USA desaströse Wirkungen zu entfalten, sondern auch internationale Vereinbarungen zum Umwelt- und Artenschutz, zur nachhaltigen Entwicklung und insbesondere zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen zu unterminieren. Die amerikanische Justiz allein wird dem teilweise rechtswidrigen Vorgehen der neuen Regierung keinen hinreichenden Einhalt bieten, zumal das oberste Gericht, der Supreme Court, mehrheitlich mit Richtern besetzt ist, die zu den Republikanern tendieren. Die oppositionellen Demokraten haben sich in ihrer Mehrheit als unwillig oder unfähig erwiesen, dagegen Widerstand zu mobilisieren. Es bleibt abzuwarten, ob sich aus der amerikanischen Zivilgesellschaft heraus eine Gegenbewegung formieren wird, der es gelingen kann, die Handlungsspielräume der Trump Administration einzuengen, bevor ökologische und politische Kippunkte erreicht werden.

- [1] S. Tamm: Gewaltenteilung vs. demokratische Legitimation? Trump und die Checks and Balances. Friedrich Naumann Stiftung:
<https://www.freiheit.org/de/nordamerika/gewaltenteilung-vs-demokratische-legitimation-trump-und-die-checks-and-balances> (aufgerufen: 26.05.2025)
- [2] O. Milman 'A ruthless agenda': charting 100 days of Trump's onslaught on the environment. The Guardian, 1.05.2025
(<https://www.theguardian.com/environment/2025/may/01/trump-air-climate-pollution-regulation-100-days>)
- [3] A. Witze: Trump gutted two landmark environmental reports – can researchers save them? Nature News 2.05.2025, doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-025-01395-3>
- [4] J. Jacobo: These are the biggest 'anti-environment' policies enacted in Trump's 1st 100 days, according to experts. ABC News, 29.04.2025
(<https://abcnews.go.com/US/biggest-anti-environment-policies-enacted-trumps-1st-100/story?id=121125789>)
- [5] J. Tollefson et al.: Trump proposes unprecedented budget cuts to US science. Nature 2025, 641, 565-566.
- [6] J. Jacobo: These are the impacts some scientists fear most from EPA deregulation. ABC News, 26.03.2025
(<https://abcnews.go.com/US/impacts-scientists-fear-epa-deregulation/story?id=119983525>)
- [7] J.D. Brightbill, S. Borne: EPA administrator Lee Zeldin announces five pillars to guide the EPA's work. Winston's Environmental Law Update, 25.02.2025
(<https://www.winston.com/en/blogs-and-podcasts/winston-and-the-legal-environment/epa-administrator-lee-zeldin-announces-five-pillars-to-guide-the-epas-work>)

Klaus Fischer (fischerk@uni-trier.de)

Unsere neuen Mitglieder

Neuaufnahmen in die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie vom 10.02. - 22.05.2025

Baria, Manish; FG-Eintritt: 22.05.2025

Czech, Hendryk; FG-Eintritt: 29.04.2025

Herzog, Angelina; FG-Eintritt: 07.04.2025

Klotz, Marcel; FG-Eintritt: 17.02.2025

Koske, Daniel; FG-Eintritt: 27.02.2025

Nguyen, Sandra; FG-Eintritt: 08.05.2025

Penzhorn, Tristan; FG-Eintritt: 14.02.2025

Raff, Jonathan; FG-Eintritt: 10.02.2025

Schauerte, Steffen; FG-Eintritt: 24.03.2025

Schelhorn, Cedric; FG-Eintritt: 08.05.2025

Schmitz, Andreas; FG-Eintritt: 14.02.2025

Surmeneva, Anna; FG-Eintritt: 08.05.2025

Wengeler, Jan Niklas; FG-Eintritt: 24.04.2025

Zügel, Philipp; FG-Eintritt: 07.04.2025

Geburtstage

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

Geburtstagsliste Juli bis September 2025

60 Jährige

Dr. Christian Schall, Geburtstag 07.08.1965

65 Jährige

Dr. Birgit Faust, Geburtstag 11.08.1960

Prof. Dr. Rita Triebkorn, Geburtstag 21.09.1960

70 Jährige

Dr. Petra Steinbach, Geburtstag 03.07.1955

75 Jährige

Dr. Fred Walkow; Geburtstag 30.09.1950

- 05.10.2015–21.12.2021 OV-Vorsitzender: Bitterfeld-Wolfen

80 Jährige

Dr. Hans-Peter Köst, Geburtstag 16.08.1945

85 Jährige

Dr. Rolf Kümmel, Geburtstag 09.09.1940

90 Jährige

Prof. Dr. Dieter Lenoir, Geburtstag 24.07.1935

- 01.01.2000–31.12.2005 Arbeitskreis-Vorsitzender: Nachhaltige Chemie

Prof. Dr. Karl H. Becker, Geburtstag 21.09.1935

- 01.01.1991–31.12.1998 Arbeitskreis-Vorsitzender: AK Atmosphärenchemie