

Mitteilungen der Fachgruppe

# Umweltchemie und Ökotoxikologie

Gesellschaft Deutscher Chemiker

Pyrethroide und deren Risiken für  
Oberflächengewässer

Fischzellkulturen als Alternative zu  
Tierversuchen

Aminoreaktivität als tierversuchsfreier  
Indikator

Stoffbewertung im Lichte des  
Vorsorgeprinzips

Aktuelles aus der Fachgruppe

**2/2026**

32. Jahrgang  
Juni 2026

ISSN 1618-3258



**Perspektiventag  
am UFZ Magdeburg**

## Impressum

Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie

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

### Redaktion

Timm Knautz, Projectmanager at ÖKO-TEST  
 Nadin Ulrich, UFZ Leipzig  
 Angus Rocha Vogel, UFZ Magdeburg  
 Charlotte Henkel, UFZ Leipzig  
 E-Mail: [ucoet-mitteilungen@go.gdch.de](mailto:ucoet-mitteilungen@go.gdch.de)

### GDCh-Geschäftsstelle

Dr. Carina S. Kniep  
 Varrentrappstr. 40-42  
 60486 Frankfurt  
 Telefon: +49(0) 7917-499  
 E-Mail: [c.kniep@gdch.de](mailto:c.kniep@gdch.de)

### Abkürzung:

Mitt Umweltchem Ökotox

### 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:

Perspektiventag am UFZ Magdeburg

## Editorial

- 30 Beziehungen zur Fachgruppe Wasserchemie

## Originalbeiträge

- 32 **Kristina L. Hitzfeld et. al.:** Pyrethroid-Insektizide und deren Risiko für Oberflächengewässer  
 36 **Fabian Balk, Kristin Schirmer:** Fischzellkulturen als Alternative zu Tierversuchen  
 40 **Alexander Böhme et al.:** Aminoreaktivität als tierversuchsfreier Indikator  
 44 **Klaus Günter Steinhäuser, Markus Große Ophoff:** Stoffbewertung im Lichte des Vorsorgeprinzips

## Aus der Fachgruppe

- 49 Bericht aus dem Vorstand  
 49 Perspektiventag 2026 (#10; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Magdeburg)

## Informationen

### Veranstaltungshinweise

- 50 Umwelt 2026 „Zwischen Krise und Wandel: Schadstoffe, Gesundheit und Ökosysteme im Anthropozän“, 02.-04.09., Universität Duisburg-Essen  
 50 Dioxin 2026 – 46th International Symposium on POPs and Related Pollutants & BFR 2026 13. bis 18. September, Riva del Garda,  
 50 Water Research Horizon Conference (#WRHC2026) , 14. bis 15.09, IGB Berlin,  
 50 Mülheimer Wasseranalytisches Seminar (MWAS 2026), 16.-17.09., Mülheim an der Ruhr  
 50 Aktuelle Kurse des Postgradualstudienganges “Fachökotoxikologie”, 05.-09.10., Umweltbundesamt in Dessau-Roßlau, Deutschland  
 51 First International Conference on the Global Framework on Chemicals, 16.-20.11., Genf,

### Kurznachrichten

- 51 Kinder und Jugendliche auch in 2025 mit verbotenen Weichmacher belastet  
 51 Luftqualität nur auf den ersten Blick gut  
 51 Planetare Grenze „Novel Entities“ weiterentwickelt  
 52 Mapping pesticide mixtures to cancer risk at the country scale with spatial exposomics  
 52 Fipronil belastet die Fließgewässer. Antiparasitäre Tierarzneimittel für Heimtiere als wahrscheinlichste Quelle  
 52 Behandeltes kommunales Abwasser in Oberflächengewässern in Deutschland  
 52 Spiegelmoleküle als Indikatoren für Trockenstress im Amazonas-Regenwald  
 53 Meilenstein für grünen Stahl: SuSteelAG-Konsortium gelingt wasserstoffbasierte Erzreduktion im Industriemaßstab  
 53 Pflanzenkohle in der Schweizer Landwirtschaft – Risiken und Chancen für Boden und Klima  
 53 Corona-Lockdowns: Seen wurden weltweit klarer  
 53 Renaturierung an der Altmühl zeigt deutliche Erfolge - Fisch- und Wirbellosenbestände erholen sich  
 53 BAuA aktualisiert Job-Exposure-Matrix zu berufsspezifischen Arbeitsbelastungen  
 53 Bundesumweltministerium startet Förderprogramm zur Renaturierung von Auen an kleinen Flüssen  
 54 Koalition von Ländern treibt beschleunigte Abkehr von fossilen Energien während Energiekrise voran  
 54 Stellenwert von Chemikalien im Alltag - Bevölkerungsbefragung zu Chemikalien  
 54 Abfälle aus dem Austausch PFAS-haltiger Feuerlöschschäume - Einstufung und Entsorgung

## Personalia

- 55 Eintritte in die FG vom 21.01.- 06.05.2026  
 55 Geburtstage: April bis Juni 2026 (Nachtrag) und Juli bis August 2026

## Liebe Mitglieder der Fachgruppe „Umweltchemie und Ökotoxikologie“,

vor 100 Jahren wurde die Fachgruppe Wasserchemie der GDCh gegründet, die Gründungsmitglieder erkannten bereits damals die Bedeutung von Wasser für die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Wie heißt es in dem Artikel in der Zeitschrift „Vom Wasser“ zur Entstehung der Fachgruppe Wasserchemie: *„Man war sich einig, dass das Wasser durch seine vielfältige Nutzung und durch seine Notwendigkeit für das Leben eines umfassenden Schutzes bedarf“*.

Im Vergleich zur Wasserchemie sind die Umweltchemie und unsere Fachgruppe, die deutlich später im November 1990 gegründet wurde, eine sehr junge Disziplin. Viele unserer Mitglieder sind allerdings auch Mitglied in der Wasserchemischen Gesellschaft (genau genommen mehr als 250!), da es starke thematische Überschneidungen gibt. Zu den Überschneidungen zählen unter anderem die wissenschaftliche Betrachtung und Bewertung der Auswirkung von Xenobiotika auf die gesamte Umwelt oder im speziellen auf den Wasserkreislauf, sowie die Lösung der damit einhergehenden Herausforderungen, wie in der Vergangenheit am Beispiel von typischen POPs wie PCB hervorgehoben werden kann.

Themen, die beide Fachgruppen in den letzten Jahren sehr beschäftigt haben, sind Substanzen wie per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) einschließlich Trifluoressigsäure (TFA), aber auch Mikroplastik. Diese Themen finden sich unter anderem als ein Hauptthema auf der Wasser 2026, aber auch der Umwelt 2026. Autoren beider Fachgruppen waren an dem Beitrag zu TFA in den Nachrichten aus der Chemie beteiligt, der in Kürze erscheinen wird.

PFAS sind eine Gruppe von Chemikalien, die mehrere tausend kommerziell hergestellte Verbindungen umfassen, die in vielen verschiedenen Produkten und technischen Prozessen aufgrund ihrer Haltbarkeit und ihrer nützlichen Eigenschaften wie Antihafteigenschaft, wasserabweisend und fettabweisend verwendet werden. Diese Eigenschaften sind jedoch auch für ihre extreme Persistenz in der Umwelt mitverantwortlich, und damit zusammen mit ihrer zum Teil hohen Mobilität Grund für die aktuellen Sicherheitsbedenken gegenüber dieser Stoffgruppe. Die Gruppe der PFAS-Produkte umfasst fluorierte Gase (F-Gase) sowie Pestizide, Arzneimittel und Industriechemikalien. Es sind hochflüchtige Substanzen enthalten sowie ionische Substanzen, aber auch Fluorpolymere. Es ist offensichtlich, dass die Eigenschaften und das Verhalten in der Umwelt innerhalb dieser großen Gruppe stark variieren können. Am besten untersucht sind insbesondere Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS).

Aufgrund ihrer extremen Persistenz und Mobilität sind PFAS ein globales Problem für Wasserquellen, wobei TFA den Schwerpunkt der jüngsten Aufmerksamkeit bildet. Alle bisher bekannten Fälle zeigen, dass PFAS von ihrer ursprünglichen Kontaminationsquelle direkt in Gewässer oder indirekt über

Luft oder den Boden in Gewässer oder ins Grundwasser gelangen. Die Konzentrationen in den Gewässern werden wahrscheinlich in den nächsten Jahren weiter zunehmen, die Reinigung ist herausfordernd. Dies ist der Grund, warum PFAS und insbesondere TFA von großem Interesse für die Wasserchemische Gesellschaft sind. Neben dem Wasser sind aber auch andere Umweltkompartimente wie Böden einschließlich terrestrischer Organismen betroffen und die Kontaminationskette kann bis zur Nahrungsmittelproduktion gehen. Das Umweltverhalten der PFAS und ihre Reaktionen in verschiedenen Medien sind deshalb auch für die Umweltchemie von Interesse. Dies betrifft z. B. ihre analytische Überwachung in verschiedenen Umweltkompartimenten sowie weitere Regulierungsoptionen, (öko)toxische Wirkungen, die Einstufung als persistent und mobil, die Bioakkumulation oder Aufnahme durch Pflanzen, und die darauf basierenden Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit, etc., um nur einige zu nennen. Dabei erfordern die Vielfalt der Verbindungen und ihre spezifischen Eigenschaften besonders angepasste spezifische Ansätze, Tests und Überlegungen für die Bewertung. Zum Beispiel wird die Bioakkumulation üblicherweise, z. B. für CLP oder REACH, mittels aquatischer Organismen wie Fisch gemessen und bewertet. Hinweise darauf, wie die potenzielle Pflanzenaufnahme zu berücksichtigen ist, sind begrenzt. Bisher sind keine Bioakkumulationsgrenzwerte für Pflanzen verfügbar, und die Bewertung ist nicht standardisiert. Die in Pflanzen enthaltenen Stoffe können aber anschließend über die Nahrung vom Menschen aufgenommen werden. Einige Modelle enthalten Vorgehensweisen zur Abschätzung der Exposition des Menschen über die Umwelt, und es sind aktuelle Expositionsbewertung über die Nahrung z. B. der EFSA verfügbar, die meist aber einen möglichen Konzentrationsanstieg nicht berücksichtigen. Im menschlichen Körper erstreckt sich die Halbwertszeit der verschiedenen PFAS über mehrere Größenordnungen. Die Ausscheidung erfolgt meist über den Urin, sodass die Stoffe in der Kläranlage und damit wieder im Wasserkreislauf landen.

Insgesamt stellen die PFAS damit eine große Herausforderung dar für die Wasserchemie, die Umweltchemie, sowie der Lebensmittelchemie, Analytische Chemie, etc. Alles ist am Ende miteinander verbunden, und wir benötigen einen Blick über die Grenzen einzelner Disziplinen hinaus.

Obwohl es bereits ein Verbot für PFAS und für einige Anwendungen gibt und in Europa eine Beschränkung von PFAS als Gruppe vorgesehen ist, werden PFAS und insbesondere TFA noch mehrere Jahre im Fokus unserer Fachgebiete stehen, auch wenn oder gerade weil die planetaren Grenzen wahrscheinlich bereits überschritten sind. PFAS sind extrem persistent, und die Arbeit, die zu leisten ist, ist ebenfalls „extrem persistent“, zumindest als langfristig anzusehen – sowohl für Wasser-, als auch für Umweltchemiker:innen. Wir benötigen neue Ansätze und deutlich mehr Wissen, um das Verhalten

von PFAS oder TFA zu verstehen und zu bewerten und um ähnliche Bedenken für andere Substanzen, wie PFAS-freie Alternativen, ausschließen zu können. Um weitere Auswirkungen auf Umwelt und menschliche Gesundheit zu verhindern, ist ein Verbot der Anwendungen so weit wie möglich unvermeidlich. Weitere Emissionen sind zu begrenzen, und Lösungen zur Sanierung sind zu entwickeln, um die potenzielle Exposition von Mensch und Natur zu reduzieren. Dafür ist eine Zusammenarbeit zwischen mehreren Disziplinen erforderlich, aber auch zwischen verschiedenen Interessengruppen (Wissenschaft, Industrie, Behörden), sowie ein nachhaltiges Gleichgewicht zwischen Ökologie, Wirtschaft und sozialen Belangen.

Das Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, dass verschiedene Disziplinen zusammenarbeiten. Das gilt nicht nur für die Zusammenarbeit zwischen den interdisziplinären Mitgliedern unserer Fachgruppen, sondern auch über die vielseitigen Fachgruppen der GDCh hinweg. Der PFAS-Thinktank ist ein schönes Beispiel hierfür.

Unsere Jahrestagung, die „Umwelt 2026“, wird wieder zusammen mit dem SETAC GLB diesmal vom 02. bis 04.09. 2026 in Essen stattfinden. Das [Junge Umweltforum](#) ist für den 02.09. geplant, ebenfalls in Essen. Die Planungen sind schon weit fortgeschritten und die Einreichung von Abstracts ist [hier](#) bis zum 31. Mai möglich. Wir hoffen auf eine rege Beteiligung mit vielen Abstracts aus unserer Fachgruppe. Auf der Tagung wird auch die Mitgliederversammlung stattfinden, und der Paul-Crutzen-Preis wird verliehen. Dazu haben wir einen neuen Preis, den UCÖT Lecture, ins Leben gerufen, ein Vortragsangebot für die GDCh-Ortsverbände zu Themen der Fachgruppe, um die Arbeit der Fachgruppe bekannter zu machen, die Vernetzung zu stärken und neue Mitglieder zu gewinnen. Dazu aber dann mehr auf der Tagung. Wir freuen uns jetzt schon, Sie zahlreich auf der Tagung begrüßen zu können und aktuelle Themen zu diskutieren.

Stefan Hahn, sowie der Fachgruppen- und jUCÖT-Vorstand



## Pyrethroid-Insektizide und deren Risiko für Oberflächengewässer - Warum sich in Regulierung, Verwendung, Management und Monitoring etwas ändern muss

Kristina L. Hitzfeld ([kristina.hitzfeld@uba.de](mailto:kristina.hitzfeld@uba.de)), Arne Hein ([Arne.Hein@uba.de](mailto:Arne.Hein@uba.de)), Sonja Krezmer ([Sonja.Krezmer@lfu.bayern.de](mailto:Sonja.Krezmer@lfu.bayern.de)), Uwe Kunkel ([Uwe.Kunkel@lfu.bayern.de](mailto:Uwe.Kunkel@lfu.bayern.de)), Christiane Meier ([Christiane.Meier@uba.de](mailto:Christiane.Meier@uba.de)), Mario Schaffer ([Mario.Schaffer@nlwkn.niedersachsen.de](mailto:Mario.Schaffer@nlwkn.niedersachsen.de)), Syaleen Sharuddin ([Syaleen.Sharuddin@nlwkn.niedersachsen.de](mailto:Syaleen.Sharuddin@nlwkn.niedersachsen.de)), Arne Wick ([Wick@bafg.de](mailto:Wick@bafg.de)), Korinna Ziegler ([Korinna.Ziegler@uba.de](mailto:Korinna.Ziegler@uba.de))

### Zusammenfassung

Ein im Fachjournal „Environmental Sciences Europe“ veröffentlichter Artikel wertete Konzentrationen von Pyrethroiden in Oberflächengewässern aus verschiedenen europäischen Überwachungsprogrammen aus und setzte diese ins Verhältnis zu Vorschlägen für Umweltqualitätsnormen (UQN) (Hitzfeld *et al.*, 2025). Die Auswertungen zeigten, dass die Bestimmungsgrenzen (BG) der verfügbaren Analysetechniken meist zu hoch sind, um die Einhaltung der UQN für Pyrethroide zuverlässig bewerten zu können. Wo Konzentrationen ausreichend bestimmt werden konnten, wurden hingegen häufig Überschreitungen beobachtet. Auch die Änderung der rechtlichen Anforderungen nach Wasserrahmenrichtlinie für Pyrethroide erfordern Anpassungen beim Umweltmonitoring und der Umsetzung von Maßnahmen. Für die Mitteilungen der GDCh werfen die Autoren einen detaillierteren Blick auf die aktuelle Situation in Deutschland.

### Umweltqualitätsnormen für Pyrethroide – Neuerungen ab 2026

Mit Verabschiedung der Änderungsrichtlinie (EU) 2026/805 (Water Package) im April 2026 wurde im Rahmen einer größeren Reform des EU-Wasserrechts neben der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Grundwasserrichtlinie (GWRL) auch die Richtlinie über Umweltqualitätsnormen (UQN) angepasst. Die Änderungen betreffen zum Teil strengere beziehungsweise zusätzliche UQN für umweltrelevante Stoffe und ziehen somit neue Herausforderungen für die Gewässerbewirtschaftung nach sich. Bis 21. Dezember 2027 muss die UQN-Richtlinie in den Mitgliedstaaten umgesetzt werden, das heißt die Grenzwerte werden in nationales Recht überführt. Für die Stoffgruppe der Pyrethroide war bisher nur Cypermethrin als prioritärer Stoff im Rahmen der WRRL mit einer UQN gelistet. Vier weitere Pyrethroide – Bifenthrin, Deltamethrin, Esfenvalerat und Permethrin – sind nun nach Verabschiedung der UQN-RL als prioritäre Stoffe aufgeführt und müssen im Umweltmonitoring zukünftig regelmäßig überwacht werden. Bei Überschreitungen der UQN sind entsprechende Maßnahmen zur Reduktion einzuleiten.

Pyrethroide sind hochwirksame Insektizide. Sie werden als Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft, als Arzneimittel für Haus- und Nutztiere sowie zur Behandlung von Krätze oder Läusen bei Menschen eingesetzt. Außerdem finden sie Verwendung in Biozidprodukten im Haushalt oder im Materialschutz. Als Pflanzenschutzmittel werden Pyrethroide in großen Mengen von insgesamt bis zu 150 Tonnen Wirkstoffe pro Jahr (BVL) offen in die Umwelt ausgebracht und gelangen vom Acker auch in Gewässer. Aber auch in Arzneimitteln werden in Deutschland einige Tonnen an Pyrethroidwirkstoffen eingesetzt (Abbildung 1). Für die Menge der in Biozidprodukten in Deutschland verwendeten Pyrethroide gibt es leider nach wie vor keine veröffentlichten Zahlen. Pyrethroide zählen bei den Haushaltsprodukten zu den am häufigsten eingesetzten insektiziden Wirkstoffen (Wieck *et al.*, 2016). Nach Anwendung pyrethroidhaltiger Produkte können Einträge dieser Stoffe in Gewässer im urbanen Bereich beispielsweise durch Mischwasserentlastungen stattfinden (UBA-Texte 09/2025). Wegen ihrer extrem hohen Ökotoxizität, insbesondere gegenüber wirbellosen Wassertieren, liegen die UQN für Binnengewässer im Bereich von einigen Pikogramm bis Nanogramm pro Liter (Tabelle 1) und damit um Größenordnungen niedriger, als die Grenzwerte für die meisten anderen, derzeit überwachten Pestizide. Für die mit der Gewässerüberwachung betrauten Behörden ist der Nachweis von Stoffen in diesen geringen Konzentrationen eine große Herausforderung. Ein Monitoring der Pyrethroide erfordert spezifisch angepasste Analysemethoden und Instrumente, die für routinemäßige Überwachungsprogramme in Deutschland bisher nicht zur Verfügung stehen.

**Tabelle 1:** Prioritäre Stoffe nach WRRL aus der Gruppe der Pyrethroide und deren Umweltqualitätsnormen (UQN)

Wirkstoff	In D zugelassen als <sup>#</sup>	ZHK-UQN		JD-UQN		EU Dossier <sup>°</sup> , Umsetzung in OGeWV
		zulässige Höchstkonzentration		Jahresdurchschnitt		
		(pg/L)	(µg/L)	(pg/L)	(µg/L)	
Bifenthrin	-	11000	0,011	95	0,000095	JRC 2022a, Anlage 8*
Cypermethrin	B, P, TAM	600	0,0006	30	0,00003	JRC 2022b, Anlage 8
Deltamethrin	B, P, TAM	17	0,000017	1,7	0,0000017	JRC 2022c, Anlage 8*
Esfenvalerat	P	8500	0,0085	17	0,000017	JRC 2022d, Anlage 8*
Permethrin	B, HAM, TAM	2500	0,0025	270	0,00027	JRC 2022e, Anlage 8*

<sup>#</sup> in Deutschland zugelassen als Wirkstoff in B-Bioziden (nach (EU) 528/2012), P-Pflanzenschutzmitteln (nach (EG) 1107/2009), TAM-Tierarzneimitteln (nach (EU) 2019/6), HAM-Humanarzneimitteln (nach (EU) 2001/83)

\* Mit Verabschiedung des Water Packages auf EU-Ebene im April 2026 werden diese Grenzwerte zukünftig in die Anlage 8 der Oberflächengewässerverordnung (OGeWV) aufgenommen, Cypermethrin ist bereits seit 2016 prioritärer Stoff.

<sup>°</sup> Final EQS Dossier after SCHEER final opinion: JRC (2022a) Bifenthrin; JRC (2022b) Cypermethrin; JRC (2022c) Deltamethrin; JRC (2022d) Esfenvalerate; JRC (2022e), Permethrin

## Gewässerbelastungen durch Pyrethroide

In dem 2025 veröffentlichten Artikel „Synthetic pyrethroids in European surface waters: sources, occurrence and need to reduce contamination“ (Hitzfeld *et al.*, 2025) wird ein Überblick über die Herausforderungen für die Umweltüberwachung, sowie Gewässerbelastungen durch Pyrethroide gegeben. Einerseits werden Pyrethroide als hochwirksame Insektizide auch in Deutschland häufig in Pflanzenschutzmitteln, Bioziden und Arzneimitteln genutzt (Abbildung 1) und gelangen nach der Nutzung in unsere Gewässer. Andererseits sind sie auf Grund ihrer Stoffeigenschaften (sehr unpolar, hoch sorptiv und bereits in geringsten Mengen ökotoxikologisch relevant) für die Umweltanalytik so schwer messbar, dass in Deutschland bis heute kaum aussagekräftige Monitoringdaten vorliegen.

**Abbildung 1:** Einsatzmengen von synthetischen Pyrethroiden als Pflanzenschutzmittel (grün), Biozide (orange), Human- (blau) und Tierarzneimittel (lila) in Deutschland soweit bekannt oder durch das Umweltbundesamt (UBA) abschätzbar.



Pflanzenschutzmittel (Stand 2024): [BVL](#)  
 Biozide (Stand 2026): Tonnage unbekannt, Anzahl Wirkstoffe ([ECHA](#)), Abschätzung Produkte (eBIOMELD Datenbank der Biozid-Produkte)

Humanarzneimittel (Stand 2024): Hitzfeld *et al.* (2025); PharmNet.Bund-Arzneimittel-Informationssystem

[https://www.pharmnet-bund.de/PharmNet/DE/Oeffentlichkeit/Arzneimittel-Informationssystem/\\_node.html](https://www.pharmnet-bund.de/PharmNet/DE/Oeffentlichkeit/Arzneimittel-Informationssystem/_node.html); abgerufen am 08.05.2026

Tierarzneimittel für Nicht-Lebensmittelliefernde Tiere (Stand 2021): Arzneistoffeinträge - Befragungen und Bilanzierung der Emissionen. (2025). Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7958>; PharmNet.Bund-Arzneimittel-Informationssystem

[https://www.pharmnet-bund.de/PharmNet/DE/Oeffentlichkeit/Arzneimittel-Informationssystem/\\_node.html](https://www.pharmnet-bund.de/PharmNet/DE/Oeffentlichkeit/Arzneimittel-Informationssystem/_node.html); abgerufen am 08.05.2026

Die in dem Artikel zusammengetragenen und ausgewerteten verfügbaren Pyrethroidkonzentrationen in Oberflächengewässern aus mehreren EU-Ländern zeigen, dass dort wo Konzentrationen mit einer ausreichend niedrigen BG quantifiziert werden konnten, auch häufig Überschreitungen der jeweiligen UQN beobachtet wurden (siehe Figure 3, Hitzfeld *et al.*, 2025). Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass auch wenn keine Monitoringdaten vorliegen Pyrethroide in bedenklichen Mengen in die Oberflächengewässer eingetragen werden und dort die Gewässerökosysteme schädigen können. Insbesondere Daten aus der Schweiz, die Pyrethroide im Rahmen einer Task Force schon seit Jahren intensiv untersuchen, lassen Rückschlüsse auf vergleichbare Belastungen der Oberflächengewässer in Deutschland zu (siehe u.a. Barth und Doppler in Aqua&Gas 10/2025).

Gleichzeitig zeigt der in der Publikation erarbeitete Überblick, dass die derzeitigen Analysemethoden noch weitgehend unzureichend sind, da die in den meisten europäischen Ländern erreichten BG zu hoch sind, um die Einhaltung der UQN für Pyrethroide zuverlässig zu bewerten. In Deutschland konnten in den zwischen 2016 bis 2024 betrachteten Umweltproben nur in weniger als 7% aller Proben überhaupt Konzentrationen im Pikogramm-Bereich bestimmt werden. Die meisten Proben wurden mit Analysemethoden untersucht, deren BG deutlich höher lagen als die nun vorliegenden UQN (Tabelle 1). Im Falle von Cypermethrin war die verwendete Methode sogar nur in weniger als 1% aller Untersuchungen hinreichend sensitiv, um

eine UQN-Überschreitung analytisch überhaupt nachweisen zu können (siehe Figure 3, Hitzfeld *et al.*, 2025).

Bis die Analytik in Deutschland flächendeckend die benötigte Sensitivität erreicht, wird noch einige Zeit erforderlich sein. Es besteht daher die Besorgnis, dass für Deutschland in den nächsten Jahren weiterhin Monitoringdaten fehlen, um das tatsächliche Ausmaß der Gefahr durch Pyrethroide für die Oberflächengewässerqualität zu erfassen.

Um die Ziele der WRRL hinsichtlich der Oberflächengewässerqualität zu erreichen sind dringende und koordinierte Maßnahmen aller an der Regulierung, Verwendung und Überwachung beteiligten Akteure erforderlich.

Folgende Schlüsselmaßnahmen werden empfohlen: (i) Reduktion des Gesamteinsatzes von Pyrethroiden in Pflanzenschutzmitteln, Biozidprodukten und Arzneimitteln auf der einen Seite. (ii) Andererseits die Verringerung der Emissionen in Oberflächengewässer durch Maßnahmen, die den Eintrag von Rückständen nach der Verwendung begrenzen. (iii) Investitionen in verbesserte routinemäßige Analysekapazitäten sowie Austausch und Zusammenarbeit auf Ebene der Bundesländer und des Bundes, um Methoden in der Umweltüberwachung schnell und flächendeckend in Deutschland und der EU zu etablieren, mit denen die UQN auch überprüft bzw. die in der Umwelt auftretenden Konzentrationen nachgewiesen werden können.

## Methodenetablierung in deutschen Behörden

Die WRRL räumt sehr großzügige Zeithorizonte ein, bis die neuen UQN in den EU-Mitgliedstaaten eingehalten werden müssen. Die Umsetzung in nationales Recht (OGewV) muss jedoch bereits bis Ende 2027 erfolgen und mit den Überwachungen der UQN begonnen werden. In der Schweiz wurde für die Etablierung geeigneter Messmethoden für Pyrethroide eine Task-Force gegründet, da sich bei dieser schwierigen Stoffgruppe zeigte, dass eine Kooperation zwischen den verschiedenen Messlaboren unerlässlich ist, um vergleichbare und belastbare Monitoringdaten zu erhalten. In Deutschland bereiten sich bereits die Bundesländer und die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) auf die Messungen von Pyrethroiden vor und haben erste Schritte unternommen, um die Analytik von Gewässerproben auf die neuen Anforderungen anzupassen.

Bayern begann 2021 mit der Entwicklung einer sensitiven Methode zur Erfassung von Pyrethroiden als Vorbereitung der Messverpflichtung im Rahmen der sogenannten zweiten nationalen Beobachtungsliste, für die auch die Pyrethroide Cyfluthrin, Bifenthrin, Deltamethrin, Esfenvalerat und Permethrin zu untersuchen waren. Zudem wurden auch Cypermethrin und Cyhalothrin analysiert. Mit einer Large-Volume EI-GC-MS/MS-Methode konnten Bestimmungsgrenzen zwischen 0,00005 und 0,0001 µg/L (50 bzw. 100 pg/L) erreicht werden. Darüber hinaus wurden orientierende

Messungen an ausgewählten Oberflächengewässern durchgeführt. Hier wurden vor allem Bifenthrin und Permethrin mit Fundhäufigkeiten von 8% bzw. 34% in den über 150 untersuchten Proben nachgewiesen.

Der Parameterumfang wurde 2025 auf insgesamt elf Pyrethroide ausgeweitet (siehe Tabelle 2). Neben der Wasserphase wurden erste Arbeiten zur Bestimmung von Pyrethroiden in Schwebstoffen und Fischen durchgeführt. Aktuell liegt der Fokus aber auf der Validierung der neu aufgenommenen Parameter und der Absenkung der BG durch Optimierung der Probenaufbereitung. In 2026 werden erstmals flächendeckende Untersuchungen in der Wasserphase durchgeführt. Ein routinemäßiges Monitoring gemäß den Vorgaben der WRRL ist derzeit ab 2027 geplant.

In Niedersachsen wurde ebenfalls in 2021 vor dem Hintergrund der zweiten nationalen Beobachtungsliste die bestehende Pyrethroid-Analytik für Cypermethrin um weitere fünf Stoffe (Cyfluthrin, Bifenthrin, Deltamethrin, Esfenvalerat und Permethrin) erweitert und auf eine sensitive GC-MS/MS Analysenmethode mit einer vorgeschalteten Anreicherung mittels Polydimethylsiloxan-Twister umgestellt. Die erreichten BG lagen im Bereich 0,00005-0,0001 µg/L (50-100 pg/L) (siehe Tabelle 2). Aufgrund technischer Probleme wurde jedoch zusehends eine Methodenanpassung notwendig. Durch den Kontakt und regelmäßigen Erfahrungsaustausch mit Pyrethroid-Experten aus der Schweiz, Österreich und Deutschland in der „Pyrethroid Task-Force“ konnte in 2024/2025 eine alternative Analysenmethode, auf Basis einer Cyclohexan-Flüssigextraktion und Large-Volume-Injektion, mit vergleichbaren BG etabliert werden. Im Zuge dieser Umstellung wurde auch ein zusätzlicher Stoff im Analysenspektrum ergänzt (Cyhalothrin) und mit der Methodenentwicklung für sechs weitere Stoffe (Fenprothrin, Etofenprox, Transfluthrin, Tefluthrin, Fluvalinat, Pyrethrin I) begonnen. Parallel wird derzeit außerdem an der Methodenentwicklung zur Analyse von Pyrethroiden in Sedimenten/Schwebstoffen gearbeitet. Seit Herbst 2025 werden überblicksweise erste flächendeckende Untersuchungen in der Wasserphase im Rahmen des sogenannten Basismessprogramms zum [„Niedersächsischen Weg“](#) durchgeführt. Eine Ausweitung des routinemäßigen Monitorings ist im Rahmen der Untersuchungen zur nächsten WRRL-Bestandsaufnahme ab 2028 geplant.

**Tabelle 2:** Derzeitige Bestimmungsgrenzen (BG) in Bayern (BY) und Niedersachsen (NI) für verschiedene Pyrethroide in Oberflächengewässer-Proben

Wirkstoff	Bestimmungsgrenzen [pg/L]	
	BY	NI
Bifenthrin	50	50
Cypermethrin	100	50
Deltamethrin	100	50
Esfenvalerat	100	50
Permethrin	50	200
Cyfluthrin	100	50
Etofenprox	50	-
Cyhalothrin	100	50
Fluvalinat	200	-
Tefluthrin	50	-
Transfluthrin	50	-

An der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) wird eine Methode zur hochsensitiven Analyse von Pyrethroiden in Schwebstoffen und Sedimenten entwickelt. Hintergrund ist, dass i) trotz der hohen Sorptionsaffinität nur sehr wenige Methoden für Feststoffe verfügbar sind, deren BG unterhalb der bisher abgeleiteten PNEC-Werte für Sedimente liegen und ii) die Qualität der Gewässersedimente von Bundeswasserstraßen für die Beratungsaufgaben der BfG besonders im Fokus stehen. Die Methode umfasst derzeit neben den fünf Pyrethroiden der neuen UQN-Richtlinie (Tabelle 1) auch noch sieben weitere Pyrethroide (Acrinathrin, Cyfluthrin, Flucythrinat, Cyhalothrin, Tefluthrin und Transfluthrin). Die Substanzen werden mittels beschleunigter Lösemittelextraktion (PLE) mit einem iso-Hexan/Aceton-Gemisch extrahiert und unter anderem mittels Florisil-Clean-up aufgereinigt. Durch eine Messung mittels GC-NCI-MS/MS mit Ammoniak als Reaktantgas wird eine äußerst sensitive Detektion ermöglicht. Derzeit erfolgen noch abschließende Untersuchungen zur Optimierung durch Anpassungen des Extraktionsmittels und des Clean-ups. Deshalb liegen aktuell noch keine finalen BG vor, aber erste Abschätzungen zeigen, dass für die meisten Analyten BG unterhalb von 10 ng/kg Trockenmasse erreichbar sind. Nach der Validierung der Methode für Feststoffe soll die Pyrethroid-Analytik mit Hilfe des von UBA initiierten Forschungsvorhabens „Schutz der Gewässer vor hochtoxischen Insektiziden: Gewässerbelastungen durch Pyrethroide aus urbanen Quellen untersuchen“ (FKZ 3726 63 404 0) weiter vorangetrieben und insbesondere auf die Analyse der Gesamtwasserphase ausgeweitet werden. Da die Detektionsfähigkeit mit NCI auf Pyrethroide beschränkt ist, deren Säureseite des Pyrethroidesters halogeniert ist, soll dabei auch die Detektion mittels GC-APCI-MS/MS nach Roesch *et al.* (2019) etabliert werden. Im Rahmen des Projekts werden die Messmethoden bei Untersuchungen an urbanen Gewässerstandorten zum Einsatz kommen, um abzuschätzen, wie

diese zur Belastung beitragen und welche Maßnahmen gegebenenfalls zur Reduzierung notwendig wären.

## Fazit

- Pyrethroide werden in Pflanzenschutzmitteln, Bioziden und Human- sowie Tierarzneimitteln in Deutschland in beträchtlichen Mengen genutzt.
- Zukünftig sind fünf hochtoxische Pyrethroid-Insektizide als prioritäre Substanzen nach WRRL geregelt und müssen in Deutschland in Gewässern überwacht werden.
- Deutsche Behörden bereiten sich analytisch auf die Umsetzung der Änderungen der WRRL vor.
- Vorhandene Monitoringuntersuchungen deuten darauf hin, dass auch in Deutschland Maßnahmen zur Reduktion von Pyrethroideinträgen in die Umwelt notwendig sein werden.
- Eine koordinierte Herangehensweise aller an der Regulierung, Verwendung und Überwachung beteiligten Akteure ist erforderlich, um Einträge in die Umwelt zu minimieren.

## Literatur

- Hitzfeld, K.L., Aldrich, A., Barth, S.N. et al. Synthetic pyrethroids in European surface waters: sources, occurrence and need to reduce contamination. *Environ Sci Eur* **37**, 191 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01249-9>
- 2026/805 DIRECTIVE (EU) OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 30 March 2026 amending Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, Directive 2006/118/EC on the protection of groundwater against pollution and deterioration and Directive 2008/105/EC on environmental quality standards in the field of water policy [Directive - EU - 2026/805 - EN - EUR-Lex](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2026/805/oj)
- Wieck et al. Possible underestimation of risks for the environment due to unregulated emissions of biocides from households to wastewater. *Environment International* **94**, 695-705 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.07.007>
- UBA-Texte 09/2025. Abschlussbericht. Einträge von Bioziden in Gewässer über Mischwasserentlastungen und Regenwassereinträge und die Auswirkungen auf die Gewässerqualität am Beispiel der Stadt Karlsruhe. ISSN 1862-4804. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7746>
- Barth, S. & Doppler, T. 2025. Aqua & Gas. 105 (10). 80-88. Ursachen der Pestizid-Verunreinigung. Mögliche Quellen und Eintragswege in Fließgewässer eingrenzen.
- Rösch, A., Beck, B., Hollender, J. et al. Picogram per liter quantification of pyrethroid and organophosphate insecticides in surface waters: a result of large enrichment with liquid-liquid extraction and gas chromatography coupled to mass spectrometry using atmospheric pressure chemical ionization. *Anal Bioanal Chem* **411**, 3151–3164 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01787-1>

## Korrespondenzadresse

Dr. Kristina L. Hitzfeld  
 FG Pflanzenschutzmittel  
 Umweltbundesamt  
 Wörlitzer Platz 1  
 06844 Dessau-Roßlau



## Fischzellkulturen als Alternative zu Tierversuchen

Fabian Balk ([Fabian.Balk@oekotoxzentrum.ch](mailto:Fabian.Balk@oekotoxzentrum.ch)), Kristin Schirmer ([Kristin.Schirmer@eawag.ch](mailto:Kristin.Schirmer@eawag.ch))

### Abstract

Für die Zulassung von Industriechemikalien und Pflanzenschutzmitteln auf dem Europäischen Markt wird das Potenzial zur Anreicherung in der aquatischen Umwelt mittels Fischen getestet, welche als Tierversuche gelten und wofür die Fische getötet werden. In der präsentierten Studie wurden Fischzellkulturen aus Regenbogenforellen für ihre Brauchbarkeit als Ersatz zu diesem Tierversuch untersucht und dafür positiv geladene Tenside als Testsubstanzen genutzt. Diese Tenside werden als Biozide, in Waschlösungen, Kosmetikprodukten und Industrieprozessen verwendet. Einige zeigen Potential zur Anreicherung in Fischen und, wie wir demonstrieren konnten, auch in Fischzellkulturen.

### Einleitung

Diese Studie (Balk et al., 2024) ist Teil von Forschungsaktivitäten rund um permanente Fischzellkulturen als alternative Testsysteme zu diversen Tests mit Fischen, welche zur regulatorischen Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln und Industriechemikalien verlangt werden. Dabei werden insbesondere Zellkulturen aus Leber (RTL-W1, Lee et al. (1993); ISSN:0742-2091), Kieme (RTgill-W1, Bols et al. (1994)) und Darm (RTgut-GC, Kawano et al. (2011)) der Regenbogenforelle erforscht. Diese Zellkulturen, auch als Zelllinien bezeichnet, wurden bereits vor Jahrzehnten isoliert, wegen ihrer fortwährenden Zellteilung, bis heute in der akademischen (Revel et al., 2025) und industriellen (Natsch et al., 2018) Forschung in verschiedenen Biotests verwendet.

Im prominentesten Beispiel kann die akute Toxizität von Testsubstanzen in Fischen mittels des international standardisierten akuten Toxizitätstest mit RTgill-W1 Zellkulturen ermittelt werden (OECD 249, ISO21115), ohne jegliche Testung mit Fischen. In einer anderen Studie konnte die Bioakkumulation, genauer der Biokonzentrationsfaktor (BCF), einer Modellsubstanz in Regenbogenforellen mittels Eliminationsraten aus Biotransformationstests mit RTL-W1 Zellen vorhergesagt werden (Stadnicka-Michalak et al., 2015). Dabei beschreibt der Biokonzentrationsfaktor die Anreicherung einer Substanz über das umgebende Wasser statt der Nahrung. Die Forschung zu diesen zellbasierten alternativen zu Tierversuchen jedoch noch am Anfang, wenn es darum geht diese als regulatorisch akzeptierte Standardtests anzuerkennen (Revel et al., 2025).

In der Forschung zur Bioakkumulation ist es gängig, diese mittels des Oktanol-Wasser Verteilungskoeffizienten einer Substanz,  $K_{ow}$ , und der Eliminationsrate vom Organismus zu beschreiben. Für ungeladene Substanzen ( $\log K_{ow}$  2-4.5)

funktioniert dieses Konzept zur Vorhersage der Bioakkumulation (Arnot and Gobas, 2006) im allgemeinen recht gut und wird ebenfalls in der Regulatorik als gängige Methode zur Abschätzung von Bioakkumulation genutzt. Geladene Substanzen können jedoch ein anderes Verhalten in ihrer Anreicherung in Organismen zeigen. Solche Substanzen akkumulieren nicht zwingend entsprechend ihres  $K_{ow}$ -Wertes, sondern können sich zum Beispiel in proteinreichen Geweben anreichern (Armitage et al., 2017). Speziell wurden kationische (positiv geladene) Tenside in den letzten Jahren auf ihre Bioakkumulation in Fischen getestet, wobei einige der Substanzen regulatorische Schwellenwerte überschritten.

Eine der entscheidenden Parameter zur Beschreibung der Akkumulation von kationischen Tensiden in Fischen ist das pH-abhängige Membranlipid-Wasser Verteilungsverhältnis,  $D_{MLW}$ . Genau wie der  $K_{ow}$ -Wert beschreibt es die Affinität einer Substanz zwischen zwei Phasen, in diesem Fall, die Affinität der Substanz (geladenes als auch ggf. ungeladenes Molekül) zwischen Membranlipid und Wasser. Der  $D_{MLW}$  wurde als geeigneter Parameter befunden, um die Sorption kationischer Tenside in Fischgewebe vorherzusagen.

In dieser Studie untersuchten wir die Anreicherung von drei kationischen Tensiden in RTgill-W1 und RTL-W1 Zellkulturen (Balk et al., 2024). Unsere *in vitro* Beobachtungen evaluierten wir anschliessend mit verschiedenen Modellen, welche die  $K_{ow}$  oder  $D_{MLW}$  zur Akkumulationsvorhersage in den Zellen nutzen als auch mit Literaturwerten der Bioakkumulation dieser Tenside in Regenbogenforellen.

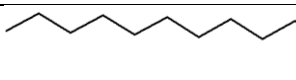
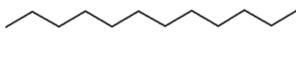
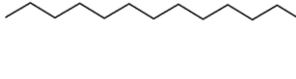
### Testsubstanzen und Versuchsaufbau

In der Studie wurden drei strukturell verwandte kationische Tenside untersucht: N-methyldodecylamin (S12), N,N-dimethyldodecylamin (T10) und ein permanent geladenes quartäres Ammonium (Q14). Diese unterscheiden sich in ihrer Alkylkettenlänge und dem Substitutionsgrad am Stickstoffatom (Tabelle 1), wodurch sich Unterschiede in ihrer Bioakkumulation vermuten lassen. Alle drei Substanzen sind bei Umwelt pH-Werten von 6-8 überwiegend oder vollständig positiv geladen und wurden ausgewählt, weil bereits hochwertige *in vivo* Bioakkumulationsdaten, in Form von BCF, aus Fischstudien vorliegen.

Der zentrale Versuchsansatz bestand in standardisierten Bioakkumulationsexperimenten mit zwei etablierten Zelllinien der Regenbogenforelle. Dabei wurden die Zellkulturen bis zu 72 Stunden über das Kulturmedium mit nicht-toxischen Konzentrationen der Tenside ausgesetzt. Ein Fokus lag auf vollstän-

digen Massenbilanzen der Tenside: Neben den Zellen selbst wurden auch das Medium, die Zelloberfläche und das Kunststoffgefäß beprobt und somit die Verteilung der Substanzen im Testsystem zu erfassen.

**Tabelle 1:** Übersicht über die Testsubstanzen. Die getesteten Stoffe sind entsprechend ihrer Säuredissoziationskonstanten ( $pK_a$ ) in den getesteten pH-Werten (pH 7 bis 8) nahezu vollständig positiv geladen. Wegen der permanenten Ladung des Q14 sind einige Parameter für diese Substanz nicht messbar/modellierbar. Tabelle entnommen und modifiziert von Balk *et al.* (2024)

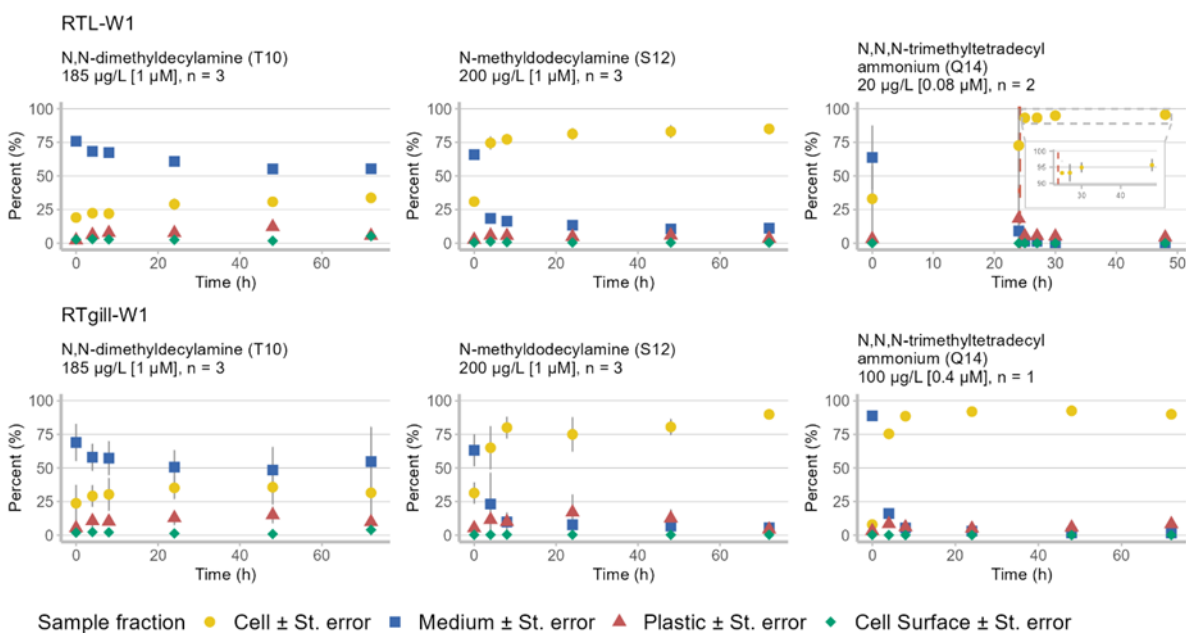
Struktur (geladene Spezies)	Kation	Akronym	$pK_a$	Log $D_{MLW}$	Log $D_{OW}$	Log $K_{OW}$
	N,N-dimethyldodecylamin	T10	9.79	3.7	2.5	6.1
	N-methyldodecylamin	S12	10.78	5.4	4.8	6.6
	N,N,N-trimethyltetradecylammonium	Q14	Nicht verfügbar	5.5	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar

### Akkumulationsverhalten der Tenside

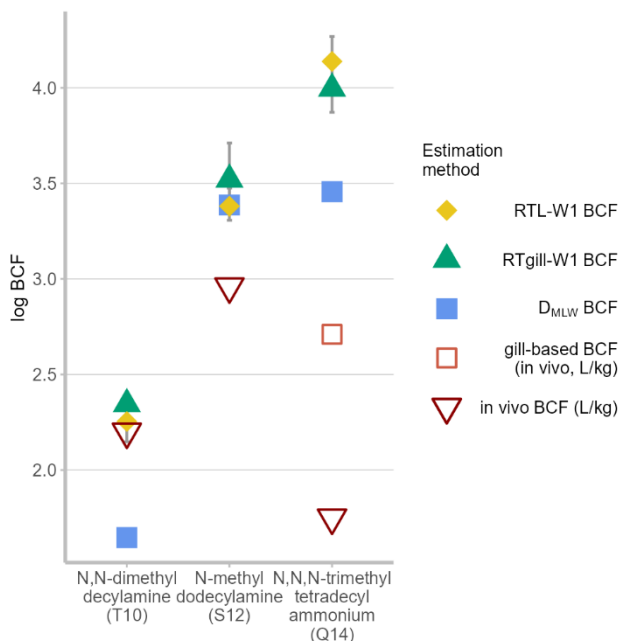
Die Ergebnisse zeigen eine ausgeprägte und schnelle Anreicherung der Tenside in den Zellen (Abbildung 1). Bereits nach 24 Stunden waren zwischen rund 31 % (T10) und über 90% (Q14) der Gesamtmasse mit den Zellen assoziiert. Diese Akkumulation korrelierte klar mit der Alkylkettenlänge sowie mit der Membranaffinität der Substanzen ( $D_{MLW}$ ). Gleichzeitig wurde gezeigt, dass nur ein sehr kleiner Anteil an der Zelloberfläche gebunden war, was auf eine tatsächliche Aufnahme in die Zellstruktur hindeutet (grünen Rauten, Abbildung 1).

Für die beiden Amine T10 und S12 lagen die berechneten Bio-konzentrationsfaktoren *in vitro* BCF-Werte nahe an den entsprechenden *in vivo* Daten aus Regenbogenforellen (Abweichung maximal Faktor 3.5, Abbildung 2). Im Gegensatz dazu zeigte Q14 deutlich höhere *in vitro* BCF-Werte – mehr als zwei Größenordnungen über den *in vivo* Werten und die Anreicherung fand vor allem im Kiemengewebe der Fische statt.

**Abbildung 1:** Massenbilanzen der Tenside im Testsystem mit RTL-W1 und RTgill-W1 Zellen. Die obere Reihe zeigt Versuche mit RTL-W1, die untere Reihe Versuche mit RTgill-W1. Die verwendeten nominalen Expositionskonzentrationen sind unter den Namen der Verbindungen angegeben; Bei Q14 (RTL-W1) die Datenpunkte für die Medienkonzentrationen teilweise von anderen Datenpunkten überdeckt werden. Abbildung entnommen aus Balk *et al.* (2024).  $n$  = Anzahl der biologischen Replikate, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Abbildung entnommen aus Balk *et al.* (2024)



**Abbildung 2:** Vergleich von *in vitro* BCF-Werten mit Modellvorhersagen und *in vivo* BCF Werten. Die Fehlerbalken stellen die Schwankungen der Zellzahl und der Quantifizierung der Testsubstanzen zwischen den biologischen Replikaten dar; die Datenpunkte geben den Mittelwert wieder. Die BCF Bestimmung für Q14 (RTgill-W1) wurde bei 100 µg/l durchgeführt, während die BCF Bestimmung (RTL-W1) für Q14 bei 20 µg/l erfolgte (Abbildung 1).  $D_{MLW}\text{-BCF} = D_{MLW}\text{-basierte Vorhersage des BCF in Zellen}$ , kiemenbasierter BCF = gewebe-normalisierter BCF, Abbildung entnommen aus Balk *et al.* (2024)



## Einordnung und Limitationen der Zellversuche

Die Akkumulation der untersuchten Tenside geschieht primär wegen ihrer Affinität zu Membranlipiden in den Zellkulturen. Dies bestätigt die Hypothese, dass elektrostatische Wechselwirkungen und Einlagerung in Zellmembranen zentrale Mechanismen der Bioakkumulation der Tenside darstellen. Die klassische Vorhersage mittels des  $K_{OW}$  erwies sich hingegen als ungeeignet (nicht dargestellt), während der  $D_{MLW}$  die experimentellen Daten deutlich besser beschreibt (Abbildung 2).

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist die geringe Rolle der Bio-transformation in den Zellversuchen. Obwohl Hinweise auf langsame metabolische Prozesse gefunden wurden (z.B. schwache Demethylierung von T10), konnte insgesamt keine signifikante Umwandlung der Substanzen nachgewiesen werden. Dies legt nahe, dass die starke Bindung der Tenside an Zellmembranen ihre Verfügbarkeit für biotransformierende Enzyme einschränkt.

Die Studie zeigt jedoch auch klare Limitationen der Zellmodelle, was am Beispiel von Q14 klar wird: Während *in vitro* eine sehr hohe Akkumulation beobachtet wurde, ist die Bioakkumulation im ganzen Organismus (*in vivo*) deutlich geringer. In Fischen verbleibt Q14 beispielsweise überwiegend in den Kiemen (siehe «gill-based BCF», Abbildung 2), während die Verteilung in andere Gewebe begrenzt ist – ein Prozess,

der in diesem Versuchsaufbau mit Zellkulturen nicht simuliert werden kann.

## Fazit

Die vorliegende Studie liefert einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung zellbasierter Alternativen zu Tierversuchen in der Umwelttoxikologie. Sie zeigt, dass permanente Fischzelllinien wie RTgill-W1 und RTL-W1 in der Lage sind, die Bioakkumulation bestimmter geladener Substanzen in Fischen recht akkurat darzustellen – insbesondere für kationische Tenside mit variabler Membranaffinität. Allerdings sollte das Testsystem mit einer größeren Palette von geladenen Testsubstanzen weiter evaluiert werden, um die Vergleichbarkeit zur *in vivo* Bioakkumulation besser etablieren zu können.

Gleichzeitig wird deutlich, dass solche Systeme derzeit vor allem als konservative Screening-Methoden geeignet sind. Vor allem vereinfachen diese Zellsysteme komplexe Prozesse und ermöglichen somit das gezielte Studium einzelner physiologischer Vorgänge. Im Kontext aktueller Forschungsinitiativen zu zellbasierten Testsystemen unterstreicht die Studie das Potenzial modularer, *in vitro* basierter Ansätze für die zukünftige Risikobewertung. Der Weg zur regulatorischen Anerkennung bleibt jedoch eine zentrale Herausforderung, die weitere methodische Validierung und Integration unterschiedlicher Testsysteme erfordert.

## Referenzen

- ARMITAGE, J. M., ERICKSON, R. J., LUCKENBACH, T., NG, C. A., PROSSER, R. S., ARNOT, J. A., SCHIRMER, K. & NICHOLS, J. W. 2017. Assessing the bioaccumulation potential of ionizable organic compounds: Current knowledge and research priorities. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36, 882-897.
- ARNOT, J. A. & GOBAS, F. A. P. C. 2006. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environmental Reviews*, 14, 257-297.
- BALK, F., HÜSSER, B., HOLLENDER, J. & SCHIRMER, K. 2024. Bioconcentration Assessment of Three Cationic Surfactants in Permanent Fish Cell Lines. *Environmental Science & Technology*, 58, 1452-1461.
- BOLS, N. C., BARLIAN, A., CHIRINO-TREJO, M., CALDWELL, S. J., GOEGAN, P. & LEE, L. E. J. 1994. Development of a cell line from primary cultures of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), gills. *Journal of Fish Diseases*, 17, 601-611.
- KAWANO, A., HAIDUK, C., SCHIRMER, K., HANNER, R., LEE, L. E. J., DIXON, B. & BOLS, N. C. 2011. Development of a rainbow trout intestinal epithelial cell line and its response to lipopolysaccharide. *Aquaculture Nutrition*, 17, e241-e252.

- LEE, L. E. J., CLEMONS, J. H., BECHTEL, D. G., CALDWELL, S. J., HAN, K.-B., PASITSCHNIAK-ARTS, M., MOSSER, D. D. & BOLLS, N. C. 1993. Development and characterization of a rainbow trout liver cell line expressing cytochrome P450-dependent monooxygenase activity. *Cell Biology and Toxicology*, 9, 279-294.
- NATSCH, A., LAUE, H., HAUPT, T., VON NIEDERHÄUSERN, V. & SANDERS, G. 2018. Accurate prediction of acute fish toxicity of fragrance chemicals with the RTgill-W1 cell assay. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37, 931-941.
- REVEL, M., GROH, K., BERTOLI, J., DEGERATU, M.-O., FISCHER, M., FISCHER, S., HOEKMAN, J., JOZEF, B., LI, R., MOSIMANN, S. L., VOM BERG, C., ŽUPANIČ, A., TRUFFER, B. & SCHIRMER, K. 2025. Development of the fish invitrome for animal-free environmental risk assessment of chemicals. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 44, 2648-2658.
- STADNICKA-MICHALAK, J., SCHIRMER, K. & ASHAUER, R. 2015. Toxicology across scales: Cell population growth in vitro predicts reduced fish growth. *Science Advances*, 1, e1500302.

## Korrespondenzadressen

Fabian Balk  
Oekotoxzentrum, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Schweiz

Kristin Schirmer  
Abteilung Umwelttoxikologie, Eawag, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Schweiz



## Aminoreaktivität als tierversuchsfreier Indikator zur Erkennung Respiratorischer Sensibilisierer

Alexander Böhme ([alexander.boehme@ufz.de](mailto:alexander.boehme@ufz.de)), Martin Simoneit ([martin.simoneit@ufz.de](mailto:martin.simoneit@ufz.de)), Nadin Ulrich ([nadin.ulrich@ufz.de](mailto:nadin.ulrich@ufz.de)), Helene Langer ([helene-regina.langer@ufz.de](mailto:helene-regina.langer@ufz.de))

### Abstract

Atemwegserkrankungen wie Asthma können durch Exposition mit reaktiven Chemikalien, sogenannten respiratorischen Sensibilisierern, ausgelöst werden. Allerdings existieren aktuell keine akzeptierten und validierten Verfahren, um diese Chemikalien hinreichend gut zu erkennen. Daher besteht ein hoher Bedarf, entsprechende Testverfahren zu entwickeln und anhand konkreter Fallbeispiele zu erproben.

### Originalpublikation

Simoneit, M.; Langer, H.; Ulrich, N; Böhme, A. Refining the amino reactivity-based identification of respiratory sensitizers. *Chem. Res. Toxicol.* 2025, 38, 1046–1060.

[10.1021/acs.chemrestox.4c00545](https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.4c00545)

### Einleitung

Der aktuelle Global-Asthma-Report aus dem Jahr 2022 schätzt die Zahl der Asthmaerkrankten weltweit auf über 260 Millionen. Jedes Jahr sterben zudem ca. 360000 Menschen in Zusammenhang mit Asthma.<sup>1</sup> Insbesondere bei Kindern tritt es in den letzten Jahren verstärkt auf.<sup>2</sup> Eine Ursache hierfür kann die Hypersensibilisierung des Immunsystems durch reaktive Chemikalien, sogenannter respiratorischer Sensibilisierer, sein. Hierzu zählen elektrophil-reaktive Chemikalien wie z.B. Isocyanate, Anhydride und einige Acrylate.<sup>3-5</sup> Viele dieser Verbindungen stehen zudem im Zusammenhang mit der Produktion und der Verwendung von Kunststoffen.<sup>6</sup> Gemäß der Verordnung zur Klassifizierung, Kennzeichnung und Verpackung von Chemikalien müssen respiratorische Sensibilisierer mit dem Signalwort „*danger*“, der Warnung „*May cause allergy or asthma symptoms or breathing difficulties if inhaled*“ und dem Gefahrensymbol „Gesundheitsgefahr“ (GHS08) gekennzeichnet werden.<sup>7</sup> Allerdings sind aktuell keine validierten und akzeptierten Verfahren zur Erkennung respiratorischer Sensibilisierer verfügbar.<sup>8-11</sup> Mechanistisch betrachtet, beginnt die Sensibilisierung des Immunsystems über die Atemwege durch die kovalente Bindung reaktiver organischer Chemikalien an nukleophile Gruppen von Proteinen.<sup>12</sup> Dies führt zu einer Veränderung der Proteinstruktur, wodurch zelluläre Schlüssel-schritte ausgelöst werden, welche schlussendlich zur Ausbildung von Th-2-Immunzellen führen. Kommt es nun zum erneuten Kontakt mit einem Allergen, verursachen diese Th-2-Zellen eine hypersensitive Reaktion des Immunsystems und können so Atemwegserkrankungen wie Asthma auslösen. Dieser Mechanismus ähnelt sehr dem der Hautsensibilisierung.<sup>13</sup> Daher hat man versucht, Methoden für die Bewertung des Hautsensibilisierungspotenzials auch für die Erkennung von respiratorischen Sensibilisierern zu nutzen.<sup>8-11</sup> Ein

Beispiel hierfür ist der OECD-validierte Direct Peptide Reactivity Assay (DPRA).<sup>14</sup> Dieser Chemoassay verwendet ein Cystein-haltiges sowie ein Lysin-haltiges Peptid, um so die für die Sensibilisierung wichtige Reaktivität von Chemikalien gegenüber SH- und NH<sub>2</sub>-Gruppen in Proteinen zu charakterisieren. Des Weiteren nahm man an, dass respiratorische Sensibilisierer bevorzugt mit Aminogruppen reagieren und daher eine Reaktivitätspräferenz für das DPRA-Lysin-Peptid zeigen sollten.<sup>3,15,16</sup> Umfangreiche Analysen zu DPRA-Daten konnten dies jedoch nicht bestätigen.<sup>3,15,16</sup> Während einige respiratorische Sensibilisierer (z.B. Anhydride) eine klare Reaktivitätspräferenz gegenüber dem Lysin-Peptid zeigten, konnte diese für andere (vorrangig Isocyanate) nicht beobachtet werden. Daher wurde geschlossen, dass der DPRA nicht hinreichend gut geeignet ist, um respiratorische Sensibilisierer anhand ihrer Lysin-NH<sub>2</sub>-Reaktivität zu erkennen. Eine Ursache dafür kann der im Lysin-DPRA verwendete Ammoniumacetat-Puffer sein. Die Ammonium-Komponente des Puffers bildet in wässrigen Lösungen Ammoniak. Dieser ist ebenfalls ein Amino-Nukleophil und steht daher in Konkurrenz zur Reaktion der Teststoffe mit dem Lysin-Peptid.<sup>17</sup> Entsprechend besteht hier Entwicklungsbedarf, um die Erkennung respiratorischer Sensibilisierer anhand ihrer Aminoreaktivität zu verbessern.

### Material & Methoden

Für die Entwicklung eines Verfahrens zur Erkennung respiratorischer Sensibilisierer anhand ihrer Aminoreaktivität wurde der bereits etablierte Chemoassay mit Glycin-*para*-nitroanilid (Gly-pNA; CAS 1205-88-5) genutzt.<sup>17-19</sup> Als Teststoffe wurden 20 bekannte respiratorische Sensibilisierer (sieben Isocyanate, ein Isothiocyanat, sieben Anhydride, 2,4-Dinitrobenzolsulfonsäurechlorid, 2,4,6-Trichloro-1,3,5-triazin, Ethyl-2-cyanoacrylate, Glutaraldehyd und Chloramin T) und sieben Nicht-Sensibilisierer (1-Fluor-2,4-dinitrobenzol, 1-Chlor-2,4-dinitrobenzol, 2,4-Dinitrobenzolsulfonsäure, und vier (Meth)Acrylate) hinsichtlich ihrer Reaktivität gegenüber Gly-pNA untersucht.<sup>17</sup> Hierfür wurden die prozentualen Abbauraten ( $D_{Gly}$ ) für deren Reaktionen mit Gly-pNA über 24 h bei 25°C ermittelt.<sup>17-19</sup>

$$D_{Gly}[\%] = \left( \frac{A_{Gly}^0 - A_{Gly}}{A_{Gly}^0} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

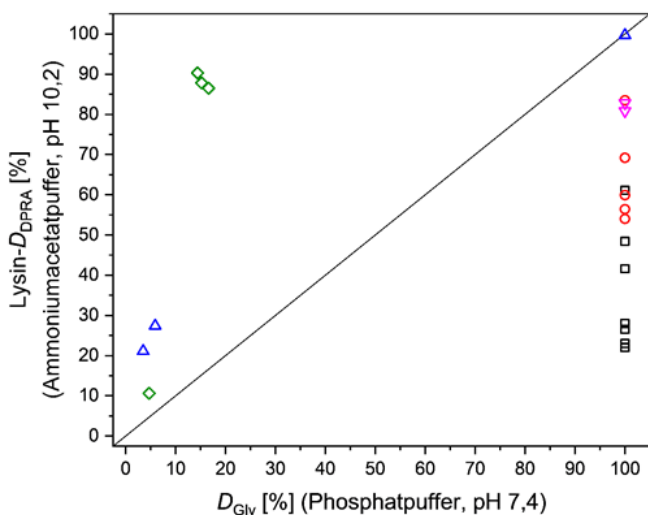
In Gleichung 1 sind  $A_{Gly}^0$  und  $A_{Gly}$  die Peakflächen für Gly-pNA, welche mittels HPLC-UV-vis-Analysen bei 315 nm in den Kontrollen (nur Gly-pNA; keine Reaktion mit einem Teststoff) bzw. in den Reaktionsmischungen nach 24 h bestimmt wurden.<sup>17-19</sup>

Des Weiteren wurden auch die Stabilitäten der Teststoffe im Gly-pNA-Chemoassay (Phosphatpuffer, pH 7,4) sowie im DPRA-Ammoniumacetat-Puffer (100 mM, pH 10,2) untersucht. Hierfür wurden die Konzentrationen der Teststoffe mittels HPLC-UV-Vis nach verschiedenen Inkubationszeiten analysiert und daraus die Halbwertszeiten berechnet.<sup>17</sup>

## Ergebnisse & Diskussion

### Gly-pNA-Reaktivität der Teststoffe

Alle getesteten Isocyanate, das Isothiocyanat und alle Anhydride bauten Gly-pNA innerhalb der 24 h Inkubation vollständig ab ( $D_{Gly} = 100\%$ ). Gleiches wurde für 2,4,6-Trichlor-1,3,5-triazin, Glutaraldehyd und Chloramin T beobachtet. Mit Ethyl-2-cyanoacrylat reagierte Gly-pNA nahezu vollständig (98,6%). 2,4-Dinitrobenzolsulfonsäurechlorid und 1-Fluor-2,4-dinitrobenzol zeigten moderate Gly-pNA-Reaktivitäten (50,1% und 72,7%) während alle anderen Dinitrobenzole sowie die (Meth)Acrylate minimale bis keine Gly-pNA-Reaktivität aufwiesen (< 17%). Aus einem Vergleich der  $D_{Gly}$ -Daten mit den in der Literatur verfügbaren Lysin- $D_{DPRA}$ -Daten wird deutlich, dass insbesondere Isocyanate und Anhydride im Gly-pNA-Chemoassay eine deutlich höhere Aminoreaktivität aufweisen als im Lysin-DPRA (Abbildung 1). Glutaraldehyd und Chloramin T ( $\nabla$ ) sind leicht reaktiver gegenüber Gly-pNA, während die Dinitrobenzole und das Trichlortriazin ( $\Delta$ ) sowie Methylmethacrylat ( $\diamond$ ) unten links in Abb. 1) in beiden Assays vergleichbare Reaktivitäten zeigen. Die drei Acrylate ( $\diamond$ ) oben links in Abb. 1) waren im Lysin-DPRA reaktiver als gegenüber Gly-pNA.



**Abbildung 1.** Vergleich der Aminoreaktivitäten im Lysin-DPRA (Lysin- $D_{DPRA}$ ) und im Gly-pNA-Assay ( $D_{Gly}$ ) für 21 Teststoffe (Isocyanate ( $\square$ ), Anhydride ( $\circ$ ), Dinitrobenzole und Trichlortriazin ( $\Delta$ ), Acrylate ( $\diamond$ ) sowie Glutaraldehyd und Chloramin T ( $\nabla$ ). Abbildung entnommen aus Fig. 1 Simoneit *et al.* 2025.<sup>17</sup>

### Stabilität der Teststoffe im Phosphat- und im Ammoniumacetat-Puffer

Für alle untersuchten Isocyanate und Anhydride konnten im DPRA-Ammoniumacetatpuffer keine Halbwertszeiten bestimmt werden, da diese Verbindungen bereits nach einer Minute Inkubation im Puffer vollständig abgebaut waren. Es

wird daher davon ausgegangen, dass diese Verbindungen im Ammoniumacetatpuffer eine Halbwertszeit von deutlich weniger als einer Minute besitzen. Gleiches gilt für das Trichlortriazin und 2,4-Dinitrobenzolsulfonsäurechlorid. Für 1-Fluor-2,4-dinitrobenzol und Chloramin T wurden Halbwertszeiten von 73,2 min und 58,5 min ermittelt, was bei einer Gesamtinkubationsdauer von 24 h bereits einen substanziellen Verlust des Teststoffes im DPRA bedeutet. Methyl-, Ethyl- und Butylacrylat sowie Methylmethacrylat zeigten einen geringen Abbau im Ammoniumacetatpuffer ( $t_{1/2} > 600$  min). 1-Chlor-2,4-Dinitrobenzol und 2,4-Dinitrobenzolsulfonsäure zeigten keinen Abbau.

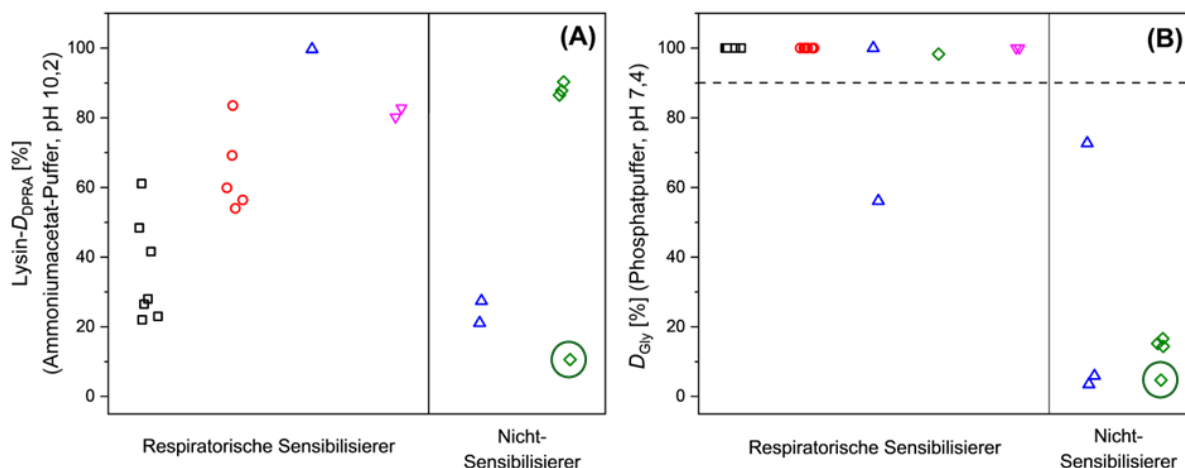
Im Vergleich dazu waren alle Teststoffe im Phosphatpuffer deutlich stabiler. Bis auf wenige Isocyanate konnte für alle getesteten Verbindungen entweder eine Halbwertszeit bestimmt werden oder sie zeigten keinen messbaren Abbau.<sup>17</sup> Für die Isocyanate und Anhydride lagen die Halbwertszeiten zwischen zwei und 110 min. Das Isothiocyanat, welches im Ammoniumacetat-Puffer eine Halbwertszeit von ca. 8 min aufwies, wurde im Phosphatpuffer nicht abgebaut. Mit Ausnahme des Trichlortriazins und des Sulfonsäurechlorids konnte für keinen der anderen Teststoffe ein Abbau beobachtet werden.

Der Vergleich der Stabilitäten der Teststoffe in beiden Puffersystemen zeigt deutlich, dass diese im Ammoniumacetat-Puffer substanziell abgebaut werden, wodurch die Bewertung der Lysin-Reaktivität im DPRA gestört wird. Anhand von massenspektrometrischen Analysen der Reaktionsprodukte wurde zudem die Reaktion zwischen dem Ammoniumacetat-Puffer und den Teststoffen bestätigt.<sup>17</sup>

### Aminoreaktivität vs. Respiratorisches Sensibilisierungspotenzial

Wie bereits in früheren Studien<sup>3,15,16</sup> gezeigt, lassen sich respiratorische Sensibilisierer nicht hinreichend gut anhand ihrer Lysin-DPRA-Reaktivität erkennen. Viele Isocyanate ( $\square$ ) und Anhydride ( $\circ$ ) sind im Vergleich zu den Nicht-Sensibilisierern gleich oder weniger reaktiv (Abb. 2A). Allerdings werden diese beiden Stoffklassen durch den Ammoniumacetat-Puffer auch am schnellsten abgebaut ( $t_{1/2} < 1$  min) und sind daher für die 24-h-Reaktion mit dem DPRA-Lysin-Peptid nicht mehr verfügbar. Entsprechend wird ihre Aminoreaktivität im Lysin-DPRA unterschätzt. Im Phosphatpuffer des Gly-pNA-Assays hingegen sind alle Teststoffe deutlich stabiler und daher länger für die Reaktion mit Gly-pNA verfügbar. Dadurch lassen sich respiratorische Sensibilisierer und Nicht-Sensibilisierer sehr gut anhand ihrer Aminoreaktivität unterscheiden (Abb. 2B). Die Mehrheit der Sensibilisierer ist hoch reaktiv ( $D_{Gly} > 90\%$ ), während fast alle Nicht-Sensibilisierer nur schwach reaktiv sind ( $D_{Gly} < 20\%$ ).

**Abbildung 2.** Vergleich des respiratorischen Sensibilisierungspotenzials der untersuchten Teststoffe mit ihrer Aminoreaktivität im Lysin-DPRA (A) und im Gly-pNA-Assay (B): (Isocyanate (□), Anhydride (○), Dinitrobenzole und Triazin (△), Acrylate (◇) sowie Glutaraldehyd und Chloramin T (▽). Der große grüne Kreis markiert die Reaktivität von Methylmethacrylat. Die Abbildung ist eine modifizierte Version der Fig. 2 aus Simoneit *et al.* 2025.<sup>17</sup>



Unsere Studie zeigt daher, dass die Aminoreaktivität von organischen Chemikalien doch ein guter Indikator für die Bewertung des respiratorischen Sensibilisierungspotenzials sein kann.

### Fallstudie Methylmethacrylat

Methylmethacrylat (MMA, CAS 80-62-6) ist eine wichtige Industriechemikalie in der heutigen Zeit. Es ist die Hauptkomponente für Acrylglas und zahnmedizinischen Erzeugnissen und dient zudem der Herstellung von Kunstharzen, Lacken und Klebstoffen. MMA ist als schwacher Hautsensibilisierer gekennzeichnet und atemwegsreizend.<sup>20</sup> Seit einigen Jahren diskutiert die Europäische Chemikalienagentur zudem über eine Klassifizierung Methylmethacrylats als respiratorischer Sensibilisierer der Kategorie 1.<sup>21,22</sup> Auslöser hierfür waren Humandaten aus zum damaligen Zeitpunkt nicht standardisierten Testverfahren.<sup>21</sup> In unserer Studie zeigte MMA nur eine sehr geringe Aminoreaktivität ( $D_{Gly} < 5\%$ ; siehe Abb. 2B, markierte Verbindung rechts unten), welche zudem vergleichbar oder gar geringer ist als die bekannter Nicht-Sensibilisierer (Abb. 2B). Bekannte Sensibilisierer hingegen sind deutlich reaktiver gegenüber Gly-pNA ( $D_{Gly} > 90\%$ ). Unsere Daten lassen daher vermuten, dass MMA (wenn überhaupt) nur geringfügig an Aminogruppen in Lungenproteinen bindet und daher die bekannte Schadwirkungskaskade<sup>12</sup> nicht auslöst. Auch das In-vitro-Testsystem ALIsens zeigte, dass für MMA keine Aktivierung weiterer zellulärer Schlüsselschritte beobachtet werden kann,<sup>23</sup> was ebenfalls auf ein fehlendes respiratorisches Sensibilisierungspotenzial hindeutet. Zusammengefasst belegen diese Daten, dass MMA in In-vitro- und In-chemico-Tests die ersten drei Schlüsselprozesse der respiratorischen Sensibilisierung nicht auslöst und entsprechend nicht als respiratorischer Sensibilisierer gekennzeichnet werden sollte.<sup>22</sup> Auch wenn bei der Kennzeichnung von Chemikalien das Vorsorgeprinzip hohe Bedeutung hat, sollten die wirtschaftlichen Folgen einer Kennzeichnung ebenfalls beachtet werden. Hierfür erscheint es hilfreich, mechanistisch fundierte Bewertungen von

Chemikalien anhand von alternativen Testverfahren wie z.B. Chemoassays und zell-basierten Verfahren zu nutzen.

### Schlussfolgerung

Der Gly-pNA-Assay erlaubt die Bewertung des respiratorischen Sensibilisierungspotenzials reaktiver Chemikalien anhand ihrer Aminoreaktivität. Dies wird ermöglicht, da Störfaktoren wie die Konkurrenzreaktion zwischen Puffer und Teststoff wie im Lysin-DPRA durch das überarbeitete Assay-Setup (Phosphat-Puffer, pH 7,4) weitestgehend minimiert wurden. In Kombination mit weiteren alternativen Testverfahren wie z.B. zell-basierten In-vitro-Tests könnten zukünftig mechanistisch fundierte und belastbare Aussagen zu respiratorischen Sensibilisierern getroffen werden.

### Literatur

- (1) Global Asthma Report 2022; <http://globalasthmareport.org/>.
- (2) Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention, 2021. Available from: [www.ginasthma.org](http://www.ginasthma.org).
- (3) Krutz, N. L.; Kimber, I.; Ryan, C. A.; Kern, P. S.; Gerberick, G. F. Critical Evaluation of Low-Molecular Weight Respiratory Sensitizers and Their Protein Reactivity Potential Toward Lysine Residues. *Toxicol. Sci.* 2021, 182, 346–354.
- (4) Sadekar, N.; Boisleve, F.; Dekant, W.; Fryer, A. D.; Gerberick, G. F.; Griem, P.; Hickey, C.; Krutz, N. L.; Lemke, O.; Mignatelli, C.; Panettieri, R.; Pinkerton, K. E.; Renskers, K. J.; Sterchele, P.; Switalla, S.; Wolter, M.; Api, A. M. Identifying a reference list of respiratory sensitizers for the evaluation of novel approaches to study respiratory sensitization. *Crit. Rev. Toxicol.* 2021, 51, 792–804.

- (5) Ponder, J., Rajagopal, R., Singal, M., Baker, N., Patlewicz, G., Roggen, E., Cochrane, S., and Sullivan, K. "In Litero" Screening: Retrospective Evaluation of Clinical Evidence to Establish a Reference List of Human Chemical Respiratory Sensitizers. *Front. Toxicol.* 2022, 4, 916370.
- (6) Groh, K. J.; Backhaus, T.; Carney-Almroth, B.; Geueke, B.; Inostroza, P. A.; Lennquist, A.; Leslie, H. A.; Maffini, M.; Slunge, D.; Trasande, L.; Warhurst, A. M.; Muncke, J. Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Sci. Total Environ.* 2019, 651, 3253–3268.
- (7) GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals), 2011. United Nations. New York and Geneva.
- (8) Chary, A.; Hennen, J.; Klein, S. G.; Serchi, T.; Gutleb, A. C.; Blomeke, B. Respiratory sensitization: toxicological point of view on the available assays. *Arch. Toxicol.* 2018, 92, 803–822.
- (9) Arts, J. How to assess respiratory sensitization of low molecular weight chemicals? *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2020, 225, 113469.
- (10) Pemberton, M. A.; Arts, J. H.; Kimber, I. Identification of true chemical respiratory allergens: Current status, limitations and recommendations. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2024, 147, 105568.
- (11) Hargitai, R.; Parrakova, L.; Szatmari, T.; Monfort-Lanzas, P.; Galbiati, V.; Audouze, K.; Jornod, F.; Staal, Y. C. M.; Burla, S.; Chary, A.; Gutleb, A. C.; Lumniczky, K.; Vandebriel, R. J.; Gostner, J. M. Chemical respiratory sensitization-Current status of mechanistic understanding, knowledge gaps and possible identification methods of sensitizers. *Front. Toxicol.* 2024, 6, 1331803.
- (12) Sullivan, K. M.; Enoch, S. J.; Ezendam, J.; Sewald, K.; Roggen, E. L.; Cochrane, S. An Adverse Outcome Pathway for Sensitization of the Respiratory Tract by Low-Molecular-Weight Chemicals: Building Evidence to Support the Utility of In Vitro and In Silico Methods in a Regulatory Context. *Appl. Vitro Toxicol.* 2017, 3, 213–226.
- (13) The Adverse Outcome Pathway for Skin Sensitisation Initiated by Covalent Binding to Proteins 2014, OECD.
- (14) Test No. 442C: In Chemico Skin Sensitisation 2024, OECD.
- (15) Lalko, J. F.; Kimber, I.; Gerberick, G. F.; Foertsch, L. M.; Api, A. M.; Dearman, R. J. The direct peptide reactivity assay: selectivity of chemical respiratory allergens. *Toxicol. Sci.* 2012, 129, 421–431.
- (16) Lalko, J. F.; Kimber, I.; Dearman, R. J.; Api, A. M.; Gerberick, G. F. The selective peptide reactivity of chemical respiratory allergens under competitive and non-competitive conditions. *J. Immunotoxicol.* 2013, 10, 292–301.
- (17) Simoneit, M.; Langer, H.; Ulrich, N.; Böhme, A. Refining the amino reactivity-based identification of respiratory sensitizers. *Chem. Res. Toxicol.* 2025, 38, 1046–1060.
- (18) Böhme, A., Moldrickx, J., and Schüürmann, G. Amino Reactivity of Glutardialdehyde and Monoaldehydes—Chemoassay Profile vs Skin Sensitization Potency. *Chem. Res. Toxicol.* 2021, 34, 2353–2365.
- (19) Böhme, A., Ulrich, N., and Schüürmann, G. Amino Chemoassay Profiling of Aromatic Aldehydes-Unraveling Drivers of Their Skin Sensitization Potency. *Chem. Res. Toxicol.* 2023, 36, 1055–1070.
- (20) ECHA Chem. (2025). Methyl methacrylate dossier. Accessed December 10, 2025. <https://chem.echa.europa.eu/100.001.180/overview>.
- (21) Pemberton, M. A., and Kimber, I. Methyl methacrylate and respiratory sensitisation: a comprehensive review. *Crit. Rev. Toxicol.* 2022, 52, 139–166.
- (22) Faulhammer, F.; Kolle, S. N.; Wiench, K. ToxPoint: the case study for respiratory sensitization assessment of methyl methacrylate using new approach methodologies. *Toxicol. Sci.* 2026, 209(3).
- (23) Gutleb, A. C.; Blumbach, K.; Burla, S.; Faulhammer, F.; Sommer, T. M.; Wiench, K. A novel In vitro alveolar model (ALIsens®) for hazard assessment of methyl methacrylate: no evidence for respiratory sensitisation potential. *NAM J.* 2026 2:100070.

## Korrespondenzadresse:

Dr. Alexander Böhme  
 Department Exposure Science  
 UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH Leipzig  
 Permoserstraße 15  
 04318 Leipzig  
 E-Mail: [alexander.boehme@ufz.de](mailto:alexander.boehme@ufz.de)



## Stoffbewertung im Lichte des Vorsorgeprinzips

Klaus Günter Steinhäuser ([Klaus-g.steinhaeuser@posteo.de](mailto:Klaus-g.steinhaeuser@posteo.de)),  
Markus Große Ophoff ([M.Grosse-Ophoff@hs-osnabrueck.de](mailto:M.Grosse-Ophoff@hs-osnabrueck.de))

### Zusammenfassung

Chemikalien bergen oft erhebliche Risiken für Mensch und Umwelt. Die risikobasierte Stoffbewertung, die schädliche Wirkung und Exposition miteinander vergleicht, stößt bei persistenten Stoffen, Stoffen mit verzögerter, irreversibler Wirkung und bei Stoffen ohne Wirkungsschwelle an ihre Grenzen. Risiken werden oft erst dann erkannt, wenn Schäden bereits eingetreten sind. Deshalb ist die Anwendung des Vorsorgeprinzips unerlässlich. Regulierungsmaßnahmen müssen dann allein aufgrund der Bewertung der Gefährlichkeit erfolgen. Das Chemikalienmanagement muss den Anteil gefährlicher Stoffe senken, ihre Verwendung durch funktionale Substitution einschränken und sichere und nachhaltige Chemikalien fördern. Nur so lässt sich das EU-Ziel einer möglichst giffreien Umwelt erreichen.

### Einleitung

Chemikalien sind ein Grundpfeiler der modernen Gesellschaft. Ohne sie gäbe es weder leistungsfähige Medikamente noch erneuerbare Energietechnologien und kaum langlebige Konsumgüter. Viele Nachhaltigkeitsziele lassen sich nur mithilfe von Chemikalien erreichen. Chemikalien können aber auch gefährliche Eigenschaften für die menschliche Gesundheit und die Umwelt haben. Im Jahr 2023 betrug der Mengenanteil der in der EU produzierten Chemikalien, die als gesundheitsschädlich eingestuft sind, 77 % [1].

Außerdem ist die Produktion von Chemikalien mit einem hohen Energie- und Ressourcenverbrauch verbunden, weshalb es Ziel einer nachhaltigen Stoffpolitik sein muss, nicht nur gefährliche Chemikalien zu vermeiden sondern auch die Menge der verwendeten Chemikalien auf das notwendige Maß zu beschränken.

### Klassische Risikobewertung von Chemikalien

Um Schäden für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu verhindern, werden Produktion, Import, Vermarktung und Verwendung von Chemikalien gesetzlich geregelt: in der EU vor allem durch die REACH-Verordnung. Grundsätzlich muss demnach die Beschränkung eines Stoffes mit dem Vorhandensein eines inakzeptablen Risikos begründet sein. In der Regel werden hierzu (schädliche) Wirkung und Exposition miteinander verglichen. Ist die erwartete oder gemessene Exposition höher als die Wirkungsschwelle wird ein Risiko festgestellt, das zu verringern ist. Der Ansatz folgt dem Grundsatz, dass bei höheren Konzentrationen stärkere Wirkungen auftreten als bei niedrigen, was, von wenigen Ausnahmen abgesehen (z. B. bei einigen endokrinen Disruptoren), auch zutrifft. Diese Vor-

gehensweise ist grundsätzlich sinnvoll, weil auf diese Weise potenzielle Schädigungen von Mensch und Umwelt erkannt und in der Folge durch Maßnahmen vermieden werden können. Allerdings ist die Prüfung jeder einzelnen Verwendung erforderlich, was einen sehr großen Arbeits- und Zeitaufwand bedeuten kann. So vergehen oft Jahre, bevor es zu konkreten Maßnahmenvorschlägen und schließlich zu politischen Entscheidungen darüber kommt. In dieser Zeitspanne wird die Chemikalie weiter emittiert. Umweltkonzentrationen können steigen und damit auch das Risiko.

### Grenzen der klassischen Risikobewertung einzelner Substanzen

Bei bestimmten Stoffeigenschaften kann der klassische Expositions-Wirkungsvergleich allerdings zu unzutreffenden Ergebnissen führen. Dies ist der Fall, wenn der Stoff lange Zeit in der Umwelt verbleibt (Persistenz) und die räumliche Ausdehnung eines emittierten Stoffes sehr groß ist (Mobilität) oder er sich in Lebewesen stark anreichert (Bioakkumulation). Exposition und Wirkung sind dann zeitlich und räumlich entkoppelt. Wenn kein Schwellenwert bestimmbar ist (z. B. bei krebserzeugenden, erbgutverändernden oder endokrinen Eigenschaften), ist das Auftreten einer Wirkung auch in minimalen Mengen nicht auszuschließen. Eine Wirkschwelle ist dann nicht mehr zu bestimmen. In der Regel sind Verwendungen von Chemikalien nicht emissionsfrei. Auch ohne quantitative Expositionsbestimmung ist bei Stoffen mit derartigen Eigenschaften somit von einem inakzeptablen Risiko auszugehen. Solche gefährlichen Stoffe lassen sich nicht mehr aus der Umwelt zurückholen. Das Risikomanagement ist deshalb streng am Vorsorgeprinzip auszurichten.

In vielen Bereichen des Umwelt- und Gesundheitsschutzes ist das Vorsorgeprinzip verankert. Es ist ein grundlegendes Konzept, das besagt, dass bei drohenden, aber noch nicht eindeutig nachgewiesenen Gefahren für Mensch und Umwelt präventiv gehandelt werden muss, anstatt auf einen wissenschaftlichen Beweis für das Eintreten von Schäden zu warten. Es fordert, dass Maßnahmen ergriffen werden, um potenzielle Schäden zu verhindern oder zu minimieren. Das Vorsorgeprinzip ist in vielen Bereichen des internationalen Rechts [2,3] und des nationalen Rechts verankert.

Besonders problematisch sind Stoffe, die – einmal in die Umwelt eingebracht – lange dort verbleiben, sich in der Umwelt weit verbreiten und anreichern und nicht mehr aus der Umwelt entfernen lassen. Auch ohne (bekannte) negative Wirkungen haben persistente Stoffe ein Gefährlichkeitspotenzial [4]. Dabei

ist zu bedenken, dass schädliche Wirkungen häufig erst Jahre nach Einführung der Stoffe in den Markt festgestellt werden. Sehr deutlich wird dies in den Publikationen der Europäischen Umweltagentur /EEA „Late Lessons from Early Warnings“ [5]. Die Eigenschaft der Persistenz hat in den letzten Jahrzehnten bei der regulatorischen Stoffbewertung sowohl in Europa als auch in Nordamerika zunehmende Bedeutung erlangt, in der Regel in Kombination mit anderen Stoffeigenschaften wie Bioakkumulation, Mobilität oder Toxizität. Die REACH-Verordnung der EU nennt solche Stoffe besonders besorgniserregend (SVHC).

## **Persistenz als zentrales Bewertungskriterium auch über das Chemikalienrecht hinaus**

Ein Blick auf die globalen Umweltprobleme zeigt, dass diese oft durch sehr persistente Substanzen ausgelöst werden. Ein Beispiel dafür ist Kohlendioxid, das über Jahrzehnte bis Jahrhunderte in der Atmosphäre verbleibt. Nur durch diese hohe Persistenz ist es ein so gefährliches Klimagas. Gleichzeitig führt im Meerwasser gelöstes Kohlendioxid zur Versauerung und gefährdet so alle kalkbildenden Arten, was ein großes Problem für die Biodiversität in den Ozeanen darstellt.

Die bei ihrer Markteinführung für völlig harmlos gehaltenen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sind ein weiteres Beispiel. Ihre ozonschädigende Wirkung wurde erst Jahrzehnte nach ihrem Inverkehrbringen erkannt und dann durch internationale Abkommen reguliert (Montreal-Protokoll). Leider wurden die FCKW zunächst durch ebenfalls sehr persistente Fluorkohlenwasserstoffe (H)FKW ersetzt, die ein erhebliches Treibhauspotenzial aufweisen. Jahrzehnte nach deren Einführung wird erneut klar, dass diese zu erheblichen Umweltbelastungen führen. Bereits bei der Einführung der Fluorkohlenwasserstoffe waren deutlich umweltfreundlichere, fluorfreie Kältemittel verfügbar.

Eine stärkere Bewertung gefährlicher Eigenschaften von Chemikalien bei besonderer Berücksichtigung der Persistenz wäre geeignet, dem Vorsorgeprinzip gerecht zu werden und künftige Fehlinvestitionen der Wirtschaft zu vermeiden. Dieser grundlegende Bewertungsansatz lässt sich auch auf weitere Bereiche der im Konzept der planetaren Leitplanken beschriebenen Umweltprobleme übertragen. Auch Phosphor (mobilesiert vor allem für Düngemittel) und Stickstoff (in den vielfältigen Formen reaktiven Stickstoffs) zeigen im Rahmen der biogeochemischen Kreisläufe (pseudo)persistentes Verhalten. Die Umweltkonzentrationen steigen stetig an. Fünf der neun planetaren Leitplanken sind mit dem Problem der Persistenz verbunden.

Die globale Stockholm-Konvention verbietet oder beschränkt besonders gefährliche Chemikalien, die im Rahmen der Konvention als POPs (persistent organic pollutants) bezeichnet werden. Die europäische REACH-Verordnung sieht in Art. 68(2) bereits vor, dass kanzerogene, mutagene und/oder reproduktionstoxische Stoffe der Kategorien 1A und 1B in

Verbraucherprodukten generell beschränkt werden können, ohne dass es einer detaillierten Expositionsbeurteilung bedarf. Im Rahmen der anstehenden REACH-Novellierung sollte diese Bestimmung (generic approach) nicht nur auf endokrine, sondern auch auf persistente SVHC-Stoffe ausgedehnt werden.

Folgende Beispiele illustrieren die genannten Prinzipien der Stoffbewertung:

## **Fallbeispiel 1: Ewigkeitschemikalien PFAS**

Aktuell beabsichtigt die EU die Beschränkung der Stoffgruppe der PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen), die mehr als 10.000 Einzelstoffe umfasst. PFAS sind extrem persistent; natürliche Abbaumechanismen, die zu einer vollständigen Defluorierung führen, sind nicht bekannt [46]. Sie werden deshalb als Ewigkeitschemikalien („forever chemicals“) bezeichnet. Die Realität zeigt, dass der risikobasierte Ansatz hier nicht funktioniert: Die bereits regulierten Einzelstoffe PFOA und PFOS wurden durch ähnliche PFAS ersetzt. Solche „regrettable substitutions“ lösen das Problem in keiner Weise. Eine Lebenswegbetrachtung zeigt auch für polymere PFAS erhebliche Emissionen von PFAS bei der Herstellung und in der Abfallphase [7].

**Fazit:** Ewigkeitschemikalien wie PFAS müssen auch dann reguliert werden, wenn für sie (noch) keine toxischen oder ökotoxischen Eigenschaften bekannt sind. Ihre Anwendungen sind auf die wenigen Fälle zu beschränken, die unverzichtbar sind, d. h. wenn sie für Sicherheit, Gesellschaft oder Gesundheit notwendig sind und bei denen noch keine geeigneten Alternativen zur Verfügung stehen. Bei unverzichtbaren Anwendungen sollten die Emissionen so weit wie möglich gemindert werden. Die extreme Persistenz der PFAS erfordert im Sinne des Vorsorgeprinzips ihre Beschränkung als Stoffgruppe. Dies würde auch den Bewertungs- und Regulierungsaufwand deutlich senken.

## **Fallbeispiel 2: Bisphenole – Stoffe ohne Wirkschwelle**

Bisphenole werden zur Herstellung von Kunststoffen und Harzen verwendet und finden sich in vielen Alltagsprodukten. Bis vor einigen Jahren waren Bisphenole auch in Thermopapieren enthalten. Das bekannteste Bisphenol ist Bisphenol A (BPA).

BPA ist reproduktionstoxisch und hormonell schädigend für die Gesundheit und die Umwelt. Die endokrine Wirkung kann bei sehr niedrigen Konzentrationen auftreten. Selbst wenn höhere Konzentrationen keine schädliche Wirkung zeigen, lässt sie sich manchmal bei niedrigeren Konzentrationen beobachten (nicht-lineare Dosis-Wirkungsbeziehung), oft nur in bestimmten frühen Lebensstadien.

Diese Charakteristika führen dazu, dass aus Sicht vieler Wissenschaftler\*innen für Bisphenol A keine Konzentration ohne Wirkung abgeleitet werden kann. In Bezug auf hormonelle

Wirkungen in der Umwelt besteht hierzu Konsens, nicht jedoch in Bezug auf Wirkungen beim Menschen, so dass derzeit bei der Regulation von einer Wirkschwelle ausgegangen wird.

Die Entwicklung des Richtwertes zur maximalen täglichen Aufnahme (tolerable daily intake, TDI) für BPA verdeutlicht die Bewertungsunsicherheiten bei hormonell schädigenden Stoffen. Seit 2024 beträgt der TDI auf der Basis neuer Studien nur noch 0,2 ng/kg/d, d.h. insgesamt 200.000-fach geringer als 2006 (40 µg/kg). Daten aus dem Humanbiomonitoring zeigen, dass die BPA-Konzentrationen im Blut praktisch der gesamten EU-Bevölkerung oberhalb dieser neuen Wirkschwelle liegen. Dies ist ein Beispiel, dass die üblichen Sicherheitsfaktoren bei der Bewertung toxikologischer Daten in einigen Fällen keineswegs eine Sicherheit für die menschliche Gesundheit gewährleisten.

Hersteller reagierten auf die verschärfte Bewertung von BPA durch eine Substitution mit anderen, weniger gut untersuchten Bisphenolen bei denen sich inzwischen zeigt, dass sie vergleichbar schädliche Wirkungen haben können wie BPA [8].

**Fazit:** Aus Vorsorgegründen sollte auch bei der Bewertung endokriner Wirkungen für die menschliche Gesundheit davon ausgegangen werden, dass keine Wirkschwelle bestimmt werden kann. Zudem zeigt das Beispiel BPA, dass die Ableitung von Wirkschwellen mit großen Unsicherheiten behaftet sein kann. Deshalb sollte bei besorgniserregenden Stoffen die Gefährlichkeit ausreichen, um regulatorische Maßnahmen für die entsprechende Stoffgruppe zu ergreifen.

### Fallbeispiel 3: Polymere – das Mikroplastik Problem

Von wenigen Ausnahmen abgesehen sind Kunststoffe (Polymere) zwar nicht toxisch aber extrem persistent. Besonders tückisch sind Plastikpartikel, die kleiner als 5 mm im Durchmesser sind (Mikro- und Nanoplastik). Sie lassen sich nicht mehr aus der Umwelt zurückholen und werden auch in entlegenen Regionen, z.B. auf den Berggipfeln der Alpen, nachgewiesen [9]. Auch in verschiedenen Körperorganen werden sie gefunden, wobei sie z. B. Entzündungsreaktionen auslösen können. Zudem haben die Partikel eine sehr große relative Oberfläche, über die sie enthaltene Stoffe an die Umgebung abgeben können. 16.000 Plastikchemikalien sind bekannt [10]. Primäres Mikroplastik, das in dieser Form z.B. Körperpflegeprodukten zugesetzt wird, wird in der EU inzwischen beschränkt. Gegen sekundäres Mikroplastik, das z. B. durch Abrieb entsteht, wurden bisher keine wirksamen Maßnahmen getroffen.

**Fazit:** Polymere sind ein Beispiel für extrem persistente Stoffe, bei denen der klassische Regulierungsansatz, Stoffe anhand ihrer intrinsischen Eigenschaften zu bewerten und zu regulieren, an seine Grenzen stößt. Erst kleine Partikel zeigen gesundheitsschädliche Eigenschaften. Diese entstehen zum größten Teil in der Gebrauchs- und Abfallphase. Zur Beurteilung der Gesundheits- und Umweltschädlichkeit dieser

Stoffe, ist deshalb eine Lebenswegbetrachtung erforderlich, die Emissionen und Exposition der Stoffe in der Gebrauchs- und Abfallphase sowie in der Kreislaufwirtschaft in die Bewertung einbezieht. Darüber hinaus machen die zunehmenden Umweltbelastungen mit Plastik deutlich, dass die Materialströme drastisch zu reduzieren und auch Polymere nach REACH zu regulieren.

### Safe and sustainable by design

Nach wie vor haben die meisten Chemikalien gesundheits- und/oder umweltschädliche Eigenschaften. Sie sind – wenn überhaupt – nur sicher handhabbar, wenn Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden. Ein wichtiges Ziel einer nachhaltigen Chemie sind Chemikalien ohne gefährliche Eigenschaften, insbesondere bei Verbraucherprodukten und Stoffen, die bestimmungsgemäß in die Umwelt gelangen.

Chemikalien ohne gefährliche Eigenschaften („benign by design“) würden helfen, die Risiken für Gesundheit und Umwelt im Umgang mit Chemikalien deutlich zu reduzieren. In der EU wird derzeit ein Verfahren erprobt und weiterentwickelt, das vor allem bei der Produktentwicklung sichere und nachhaltige Chemikalien identifizieren soll („safe and sustainable by design“, SSbD) [11]. Dies ist ein wichtiger Schritt, der allerdings nur dann verbreitete Anwendung finden wird, wenn genügend Daten zur Verfügung stehen und der Aufwand nicht zu groß wird. Für die Identifizierung sicherer Chemikalien bei der Produktauswahl durch Chemikalienanwender wurde im Auftrag des Umweltbundesamts das einfachere ChemSelect-Verfahren entwickelt [12]. Chemikalien mit besorgniserregenden Eigenschaften sollten bei diesen Selektionsverfahren grundsätzlich ausgeschlossen sein. Außer den im SSbD-Konzept berücksichtigten Stoffeigenschaften sollte darüber hinaus die Substanz im Sinne einer zirkulären Chemie möglichst recycelbar sein [13].

Nicht alle Chemikalien können inhärent sicher, d.h. ungefährlich, sein. Manchmal ist die gefährliche Eigenschaft mit der erwünschten Funktion verknüpft: Brennstoffe müssen entzündlich sein; nicht toxische Desinfektionsmittel gibt es nicht, da Bakterien abgetötet werden sollen; reaktive Reagenzien müssen meist korrosiv (ätzend) sein. Im Umgang mit solchen Stoffen sind Schutzmaßnahmen erforderlich! Stoffe, deren gefährliche Eigenschaften nicht mit ihrer Funktion verbunden sind, sind aber nicht notwendig. Außerdem gilt auch für Chemikalien ohne gefährliche Eigenschaften, dass sie nicht bedenkenlos in großen Mengen eingesetzt werden sollen. Sie sind sparsam zu verwenden, nicht nur aus Gründen des Ressourcenschutzes.

### Bewertung und Schlussfolgerungen

Eine Risikobestimmung durch quantitativen Expositions-Wirkungsvergleich führt bei persistenten und besonders gefährlichen Chemikalien zu unzutreffenden Ergebnissen:

Bei persistenten Stoffen werden später mögliche Schäden ausgeblendet.

Bei Stoffen mit verzögerter Wirkung und mit gefährlichen (persistenten) Transformationsprodukten werden schädliche Effekte unterschätzt oder nicht erkannt.

Bei Stoffen ohne Wirkschwelle ist ein Risiko auch bei minimalen Konzentrationen vorhanden.

Das Ziel, die Verwendung solcher Chemikalien zu vermeiden oder wenigstens einzuschränken, lässt sich nur erreichen, wenn unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips die Gefährlichkeitsbewertung („hazard assessment“) ausreicht, um regulatorische Maßnahmen zu ergreifen. Im Zuge dessen sind auch die Möglichkeiten zu prüfen und in die Entscheidung einzubeziehen, ob die erwünschte Funktion ohne gefährliche Chemikalien erreicht werden kann („functional substitution“) [14].

Der Gefährlichkeitsansatz sollte über die besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC) gemäß REACH-Verordnung hinaus auf extrem persistente Chemikalien sowie alle besorgniserregenden Stoffe („substances of concern“) gemäß Ökodesign-Verordnung 2024/1781 angewendet werden. Dort sind auch stark toxische und ökotoxische Stoffe genannt ebenso wie Substanzen, die Wiederverwendung und Recycling von Materialien negativ beeinflussen. Nur so lassen sich die EU-Ziele einer „giffreien Umwelt“ und einer „schadstofffreien Kreislaufwirtschaft“ erreichen.

Expositions-betrachtungen sind weiterhin notwendig für die Priorisierung und die Entwicklung von Risikominderungsmaßnahmen, für die Bewertung von Chemikalien und ihren Anwendungen, wenn die o. g. Gefährlichkeitskriterien nicht erfüllt sind. Weiterhin kommt die Bewertung vorhandener Chemikalienbelastungen (Gewässerverunreinigungen, Altlasten, Abfälle, Kontamination von Produkten) nicht ohne eine Beurteilung der Exposition im Rahmen der Risikobewertung aus. Mittelfristig ist anzustreben, den Anteil der gefährlichen Stoffe an der Chemikalienproduktion und -verwendung deutlich zu senken und vermehrt Stoffe ohne gefährliche Eigenschaften zu entwickeln und einzusetzen. Dies gilt insbesondere für Chemikalien in umweltoffenen Anwendungen und mit Verbraucherexposition.

Eine Chemikalienpolitik, die Vorsorge ernst nimmt, ist kein Innovationshemmnis. Sie ist eine Investition in langfristige Sicherheit, ökologische Stabilität und ökologische Nachhaltigkeit

## Literatur

- [1] European Environment Agency (EEA) (2024) Production and Consumption of Chemicals by Hazard Class (Indicator) <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/production-and-consumption-of-chemicals-by-hazard-class>
- [2] Stockholm Convention on Persistent Organic Chemicals (POPs) <https://pops.int>
- [3] Europäische Union: Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (konsolidierte Fassung), Art. 191 [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9e8d52e1-2c70-11e6-b497-01aa75ed71a1.0004.01/DOC\\_3&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9e8d52e1-2c70-11e6-b497-01aa75ed71a1.0004.01/DOC_3&format=PDF)
- [4] Scheringer, M., Cousins, I.T. Is persistence a hazard? Environ. Sci. Technol. **2026**, 60, 9718–9720 <https://doi.org/10.1021/acs.est.6c00770>
- [5] European Environment Agency (EEA) (2002) Late lessons from early warnings: The precautionary principle 1896-2000 [https://www.eea.europa.eu/publications/environmental\\_issue\\_report\\_2001\\_22](https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22) und (2014) Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation <https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2>
- [6] Brunn, H., Arnold, G., Körner, W., Steinhäuser, K. G., 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. Environmental Sciences Europe 35: 20. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00721-8>
- [7] OECD (2025), Synthesis Report on Understanding Fluoropolymers and Their Life Cycle, OECD Series on Risk Management of Chemicals OECD Publishing, Paris, [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/11/synthesis-report-on-understanding-fluoropolymers-and-their-life-cycle\\_2ed189aa/35b035df-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/11/synthesis-report-on-understanding-fluoropolymers-and-their-life-cycle_2ed189aa/35b035df-en.pdf)
- [8] Reininger, N., Oehlmann, J. Regrettable substitution? Comparative study of the effect profile of bisphenol A and eleven analogues in an in vitro test battery, Environmental Sciences Europe (2024) 36:76 <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00900-1>
- [9] Materić, D., Ludewig, E., Brunner, D., Röckmann, T., Holzinger, R. 2021. Nanoplastics transport to the remote, high-altitude Alps. Environmental Pollution 288: 117697. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117697>
- [10] Wagner, M., Monclús, L., Arp, H.P.H., Groh, K.J., Løseth, M.E., Muncke, J., Wang, Z., Wolf, R., Zimmermann, L. 2024. State of the science on plastic chemicals – Identifying and addressing chemicals and polymers of concern. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10701706>
- [11] Europäische Union (2022): Safe and sustainably by design chemicals and materials, Framework for the definition of criteria and evaluation procedure for chemicals and materials <https://doi.org/10.2760/487955>

[12] Umweltbundesamt: ChemSelect Auswahl nachhaltigerer Chemikalien für Prozesse und Produkte

<https://chemselect.uba.de/> (abgerufen am 05.05.2026)

[13] Soeteman-Hernandez, L.; Cabrera, G.; Huegun, A.; Outon, P.R.; Artous, S.; Desrousseaux, S.; Staal, Y.; Cazzagon, V.; Delpivo, C.; Ganszky, D.; et al.(2025): Safe, sustainable and recyclable by design (SSRbD): A qualitative integrated approach applied to polymeric materials early in the innovation process. Sustain. Circ. NOW **2025**, 2, a25547325

<https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/pdf/10.1055/a-2554-7325.pdf>

[14] Tickner, J.A.; Schifano, J.N.; Blake, A.; Rudisill, C.; Mulvihill, M.J. Advancing Safer Alternatives Through Functional Substitution.

Environ. Sci. Technol. **2015**, 49, 742–749.

<https://doi.org/10.1021/es503328m>

**Korrespondenzadresse :**

Klaus Günter Steinhäuser

Derflingerstr. 14

12249 Berlin

E –Mail: [Klaus-g.steinhaeuser@posteo.de](mailto:Klaus-g.steinhaeuser@posteo.de)

## Bericht aus dem Vorstand

Am 20. März 2026 traf sich der Vorstand der Fachgruppe online. Ein wichtiges Thema war die Suche nach Kandidatinnen und Kandidaten für den neuen Vorstand, der in diesem Herbst gewählt werden wird. Auch bei der geplanten UCÖT-Lecture wurden Fortschritte erzielt. Das Vorgehen für die nächsten zwei Jahre wurde festgelegt und ein Antrag für den GDCh-Sonderfonds diskutiert, um eine Anschubfinanzierung zu erhalten. Für die weitere Finanzierung der Fachgruppenarbeit ist das Finden von Sponsoren sehr wichtig. Der Vorstand beschäftigte sich auf der Sitzung deshalb auch mit möglichen Sponsoring-Paketen, die die Fachgruppe anbieten kann.

## Perspektiventag 2026 (#10; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Magdeburg)



Der 10. Perspektiventag der jUCÖT bot den Teilnehmenden spannende Einblicke in aktuelle Fragestellungen der Umweltforschung an einer Forschungseinrichtung. Gastgeber war das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Magdeburg, das mit einem abwechslungsreichen Programm Theorie und Praxis miteinander verband.

Im Rahmen von Kurzvorträgen präsentierten Promovierende ihre laufenden Forschungsarbeiten und gaben einen anschaulichen Überblick über aktuelle Fragestellungen – von physikalischen Modellierungen, über anthropogene Schadstoffe wie Reifenabrieb, zu ökologischen Untersuchungen von Renaturierungsmaßnahmen. Die Beiträge boten nicht nur fachlichen Input, sondern auch Gelegenheit zum Austausch über potentielle Abschlussarbeiten.

Ein besonderes Highlight war die gemeinsame Probenahme an der Alten Elbe. Hier konnten die Teilnehmenden selbst Wasser- und Bodenproben entnehmen und erhielten aus erster Hand praxisnahe Einblicke in Feldmethoden und Probenstrategien.



Abgerundet wurde das Programm durch eine Führung durch die Labore der Gewässeranalytik. Dabei wurde deutlich, mit welchen Methoden Umweltproben untersucht werden können und welche Herausforderungen in der Analytik komplexer Matrices bestehen.



Eine besondere Aufmerksamkeit erhielt die Veranstaltung zudem durch die Begleitung eines Fernsenteams des MDR, das Eindrücke des Perspektiventages einfing und damit die Relevanz der Umweltforschung auch einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich machte. Die Ausstrahlung ist für den 04. Juli 2026 um 19:45 Uhr geplant.

Der Perspektiventag zeigte einmal mehr, wie wichtig der interdisziplinäre Austausch und die Verknüpfung von Feldarbeit, Laboranalytik und Modellierung in der Umweltforschung sind. Die Veranstaltung bot eine wertvolle Plattform für Vernetzung und fachlichen Austausch unter Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern.

Wir danken dem Organisationsteam um Angus Rocha Vogel und Vanessa Saalman für Ihre Zeit und Mühen, insbesondere Joshua Marks, Lena Ruf und Felix Sauke für Einblicke in ihre Projekte und Nils Ribbe sowie Andrea Hoff für die Probenahme und Laborführung!

## Veranstaltungshinweise



### Umwelt 2026 „Zwischen Krise und Wandel: Schadstoffe, Gesundheit und Ökosysteme im Anthropozän“

02. bis 04. September 2026 an der Universität Duisburg-Essen am Campus Essen, Deutschland

Im September findet die 30. Gemeinsame Jahrestagung des SETAC GLB und der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie in Essen statt.

Unter dem Motto „Zwischen Krise und Wandel: Schadstoffe, Gesundheit und Ökosysteme im Anthropozän“ stehen aktuelle Herausforderungen der Umweltchemie und Ökotoxikologie im Fokus. Thematisch reichen die Beiträge von Schadstoffen in verschiedenen Umweltkompartimenten über analytische und bioanalytische Methoden bis hin zu Risikobewertung, Transformationsprodukten, Biodiversität und nachhaltigem Chemikalienmanagement. Neben wissenschaftlichen Vorträgen und Posterbeiträgen bietet die Konferenz Raum für interdisziplinären Austausch zwischen Forschung, Behörden und Industrie. Ein besonderes Highlight für junge Wissenschaftler:innen ist das Junge Umweltforum (JUF), welches traditionell im Vorfeld der Tagung stattfindet.

Weitere Informationen zur Tagung und zum Jungen Umwelt Forum:

<https://www.setac-qlb.de/>

<https://www.setac-qlb.de/umwelt-2026/junges-umweltforum>



### Dioxin 2026 – 46th International Symposium on POPs and Related Pollutants & BFR 2026

13. bis 18. September 2026, Riva del Garda, Italien

Das Dioxin 2026 Symposium findet diesen Herbst gemeinsam mit dem internationalen BFR-Symposium zu Flammschutzmitteln statt. Im Fokus stehen persistente organische Schadstoffe (POPs) und verwandte Umweltkontaminanten wie PFAS, Flammschutzmittel sowie Mikro- und Nanoplastik. Thematisch reicht das Programm von analytischen Methoden, Monitoring und non-target Screening über Transport, Umweltverhalten und Transformation bis hin zu Toxikologie, Expositionsbeurteilung und regulatorischen Fragestellungen.

<https://dioxin2026.org/>



### Water Research Horizon Conference (#WRHC2026)

14. bis 15. September 2026, am IGB Berlin, Deutschland

Die 16. Water Research Horizon Conference (WRHC 2026) findet dieses Jahr in Berlin statt, gemeinsam mit der DGL-Jahrestagung am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB). Unter dem Motto „Theoria cum praxi: zukunfft | wasser | gestalten“ widmet sich die Konferenz aktuellen Herausforderungen der Wasserforschung an der Schnittstelle von Wissenschaft, Praxis, Politik und Gesellschaft. Thematisch stehen unter anderem KI-gestützte Datenanalyse und FAIR Data, Citizen Science und hydrologische Prozessmodellierung im Anthropozän im Vordergrund. Die Einreichung von Beiträgen ist noch bis zum 15. Juni möglich.

Die Tagung findet parallel zur Jahrestagung der Deutschen Limnologischen Gesellschaft ebenda statt.

<https://watersciencealliance.org/wrhc>



### Mülheimer Wasseranalytisches Seminar (MWAS 2026)

16. bis 17. September 2026, Mülheim an der Ruhr, Deutschland

Im September veranstaltet das IWW Zentrum Wasser das 7. Mülheimer Wasseranalytische Seminar (MWAS 2026) in Mülheim an der Ruhr. Im Fokus stehen aktuelle Entwicklungen und Innovationen in der Wasseranalytik – von neuen analytischen Methoden und Digitalisierung bis hin zu PFAS, PMT-Stoffen und molekularbiologischen Verfahren. Thematisch umfasst das Seminar unter anderem Probenahme und -vorbereitung, Chromatographie und Massenspektrometrie, Datenprozessierung und non-target Screening, Green Analytical Chemistry sowie die Bewertung von Spurenstoffen und Transformationsprodukten.

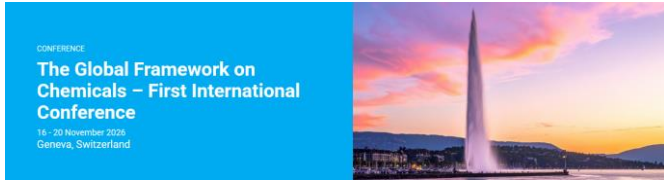
<https://iww-wasserforschung.de/veranstaltung/mwas2026/>

### Aktuelle Kurse des Postgradualstudienganges „Fachökotoxikologie“

05. bis 09. Oktober 2026 am Umweltbundesamt in Dessau-Roßlau, Deutschland

Die Fachgruppen Umweltchemie und Ökotoxikologie und der SETAC GLB sind Träger des Postgradualstudienganges (PGS) „Fachökotoxikologie“. Nach Absolvierung von acht Kursen (jeweils eine Woche), verleihen die Fachgruppen das Zertifikat Fachökotoxikologin (GDCh/SETAC GLB) bzw. Fachökotoxikologe (GDCh/SETAC GLB). Es besteht auch die Möglichkeit, nur einzelne Kurse zur Weiterbildung zu besuchen, ohne das Abschlusszertifikat anzustreben.

<https://www.fachoeokotoxikologie.de/kurse>



## First International Conference on the Global Framework on Chemicals

16. bis 20. November 2026 in Genf, Schweiz

Die Verschmutzung durch Chemikalien und Abfälle stellt weltweit nach wie vor ein wachsendes Risiko für die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die wirtschaftliche Entwicklung dar. Drei Jahre nach der Verabschiedung des Global Framework on Chemicals des Umweltprogramms der Vereinten Nationen bietet die erste internationale Konferenz ein entscheidendes Moment, um Bilanz über die Fortschritte zu ziehen, Lücken zu identifizieren und Maßnahmen sowie Investitionen für einen Planeten zu mobilisieren, der frei von den schädlichen Auswirkungen von Chemikalien und Abfällen ist.

<https://www.unep.org/events/conference/global-framework-chemicals-first-international-conference>

## Kurznachrichten

### Kinder und Jugendliche auch in 2025 mit verbotenen Weichmacher belastet

Vor zwei Jahren hat das Umweltbundesamt (UBA) Mono-n-hexylphthalat (MnHexP) im Urin von Erwachsenen nachgewiesen. MnHexP ist ein Abbauprodukt des Weichmachers Di-n-hexylphthalat (DnHexP), der als fortpflanzungsschädigend gilt und deshalb in der EU nicht zugelassen ist. Die Funde ließen sich auf eine Verunreinigung eines UV-Filters in Sonnencremes zurückführen. Aktuell untersucht das UBA Urinproben von Kindern und Jugendlichen. Ergebnis: In 92 Prozent der im Frühjahr und Sommer 2025 gesammelten Proben wurde MnHexP nachgewiesen. Ein Prozent der Urinproben überschritt den vor zwei Jahren von der Kommission Human-Bio-monitoring abgeleiteten Beurteilungswert. Neben MnHexP sind Menschen weiteren fortpflanzungsschädigenden Weichmachern ausgesetzt, so dass jede vermeidbare Quelle eliminiert werden sollte.

Originalpublikation:

<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/kinder-jugendliche-auch-in-2025-verbotenem>

### Luftqualität nur auf den ersten Blick gut

Trotz der Einhaltung aktueller Grenzwerte im Jahr 2025 bleibt die Luftqualität in deutschen Städten kritisch. Eine Datenanalyse des WDR und des UBA verdeutlicht, dass die Schadstoffbelastung durch Feinstaub und Stickstoffdioxid im Vergleich zum Vorjahr sogar leicht gestiegen ist. Besonders problematisch ist der Ausblick auf 2030: Nach den verschärften EU-Richtlinien würden derzeit 46% aller Messstationen die Grenzwerte verfehlen, insbesondere in verkehrsdichten Ballungsräumen wie Berlin oder dem Ruhrgebiet. Dies zwingt Kommunen zur Erstellung neuer Luftreinhaltepläne und drastischen Maßnahmen wie Fahrverboten. Da die WHO noch strengere Normen empfiehlt, um Risiken für Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie immense Gesundheitskosten zu senken, bleibt der Handlungsdruck hoch.

Originalpublikation:

<https://www.tagesschau.de/wissen/gesundheit/stadt-luftqualitaet-100.html>

### Planetare Grenze „Novel Entities“ weiterentwickelt

Am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig kamen 20 internationale Expert:innen zusammen, um die planetare Grenze der „Novel Entities“ – insbesondere chemische und materielle Verschmutzung – wissenschaftlich weiterzuentwickeln. Die hohe Komplexität dieser Stoffe erschwert bislang eine klare Bewertung und Regulierung.

Im Mittelpunkt des Workshops standen vier zentrale Handlungsfelder:

1. die Weiterentwicklung geeigneter Kontrollvariablen sowie die Konkretisierung eines „akzeptablen Risikoraums“,
2. die Stärkung von Governance-Strukturen,
3. der Ausbau von Monitoring-Systemen und
4. die Verbesserung der Kommunikation gegenüber Politik und Öffentlichkeit.

Die Veranstaltung war Teil der Aktivitäten des Themenbereichs „Chemicals in the Environment“. Ein begleitendes Video dokumentiert zentrale Diskussionen und Ergebnisse; eine ausführliche Fassung sowie ein ergänzendes YouTube-Video bieten vertiefende Einblicke.

<https://www.ufz.de/index.php?en=52510>

<https://www.youtube.com/watch?v=6Dcv8yWaHtU>

## Mapping pesticide mixtures to cancer risk at the country scale with spatial exposomics

Jorge Honles, Juan Pablo Cerapio, Claudia Monge, Agnès Marchio, Eloy Ruiz, Ramiro Fernández, Sandro Casavilca-Zambrano, Juan Contreras-Mancilla, Tatiana Vidaurre, Thomas Condom, Swann Zerathe, Olivier Dangles, Éric Deharo, Javier Herrera-Zuñiga, Pascal Pineau & Stéphane Bertani

Despite decades of concern over the carcinogenic potential of agricultural pesticides, toxicological studies relying on single endpoints have yet to establish a definitive link between environmental pesticide exposure and cancer in real-world contexts. Here we use an integrative spatial Bayesian framework that merges high-resolution environmental pesticide risk modelling with comprehensive cancer registry data to map pesticide-linked cancer clusters in Peru with unprecedented precision. Our process-based model, encompassing 31 key pesticide active ingredients, together with an innovative stratification of cancer cases by developmental lineage, reveals a robust spatial association between environmental pesticide exposure risk and cancer incidence. In pesticide-associated cancer hotspots, exposomic profiling of liver tissue—a primary target of chemical carcinogens—uncovers a distinct transcriptomic signature of pesticide exposure, implicating a non-genotoxic mode of action that disrupts core regulatory circuitries sustaining cell identity. Collectively, these findings strongly support a mechanistic link between pesticide exposure and cancer, challenging assumptions of human non-carcinogenicity derived from reductionist experimental models. This study redefines the exposome as a lineage-conditioned, mechanistically tractable framework and shows how complex pesticide mixtures can contribute to carcinogenic trajectories, with profound and far-reaching implications for global health policy and socio-ecological equity.

Originalpublikation:

<https://www.nature.com/articles/s44360-026-00087-0>

## Fipronil belastet die Fließgewässer. Antiparasitäre Tierarzneimittel für Heimtiere als wahrscheinlichste Quelle

Eine Studie des Wasserforschungsinstituts Eawag identifiziert Flohmittel für Haustiere als Hauptquelle für die toxische Belastung Schweizer Fließgewässer mit dem Insektizid Fipronil. Obwohl der Wirkstoff in der Landwirtschaft (seit 2014) und als Biozid (seit 2023) nicht mehr zugelassen ist, bleibt er in der Tiermedizin legal. Messdaten des nationalen Monitorings 2022 belegen, dass Fipronil das chronische Qualitätskriterium (CQK) von 0,77 ng/l häufiger überschreitet als jedes andere Pestizid, was ein erhebliches Risiko für aquatische Organismen darstellt.

Als primäre Eintragspfade wurden die Einleitung gereinigten häuslichen Abwassers sowie das direkte Baden behandelter Tiere identifiziert. Die Kontamination des Abwassers erfolgt durch Händewaschen nach der Applikation (Spot-On-Prä-

parate), das Waschen der Tiere oder die Reinigung von Textilien. Zukünftige Forschungen sollen klären, inwiefern auch andere tiermedizinische Insektizide zur Gewässerbelastung beitragen.

Originalpublikation:

<https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/item/eawag:35504>

## Behandeltes kommunales Abwasser in Oberflächengewässern in Deutschland

Der Anteil behandelten kommunalen Abwassers ist ein wichtiger Indikator zur Risikoabschätzung stofflicher Einträge in Gewässer. Bislang fehlte jedoch ein deutschlandweites, modellbasiertes Tool zur Analyse und Visualisierung des Abwasseranteils in den Fließgewässern. In dem Projekt wurden die kommunalen Kläranlagen in Deutschland mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM-ME verknüpft. Anschließend konnten deutschlandweit, für Gewässerteilstrecken, die natürlichen Abflüsse sowie die Anteile behandelten kommunalen Abwassers im Gewässer ausgewiesen werden. Die Ergebnisse wurden in ein interaktives, szenarienfähiges Werkzeug eingebunden und stehen zur weiteren Nutzung zur Verfügung.

Originalpublikation:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/behandeltes-kommunales-abwasser-in>

## Spiegel-moleküle als Indikatoren für Trockenstress im Amazonas-Regenwald

Eine Studie des Max-Planck-Instituts für Chemie am Amazon Tall Tower Observatory (ATTO) belegt, dass das Verhältnis der Spiegel-moleküle (Enantiomere) von  $\alpha$ -Pinen als präziser Indikator für Trockenstress im Amazonas-Regenwald dient. Während der Rekorddürre 2023, verstärkt durch das El-Niño-Phänomen, verschob sich das gewöhnlich konstante Gleichgewicht signifikant zugunsten von (+)- $\alpha$ -Pinen.

Dieses Phänomen resultiert aus einer physiologischen Umstellung: Bei extremem Wassermangel schließen Pflanzen ihre Stomata und stellen die Fotosynthese ein, wodurch die Emission der direkt produzierten Form sinkt. Stattdessen werden verstärkt Monoterpene aus internen Speichern freigesetzt. Die Umkehrung des Enantiomeren-Verhältnisses erlaubt es Forschenden, den metabolischen „Überlebensmodus“ des Ökosystems direkt über Luftmessungen zu erfassen. Diese Erkenntnisse verbessern die Modellierung biogener Emissionen in Klimaszenarien mit zunehmenden Dürreperioden.

Originalpublikation:

<https://www.nature.com/articles/s43247-025-02709-z>

## Meilenstein für grünen Stahl: SuSteelAG-Konsortium gelingt wasserstoffbasierte Erzreduktion im Industriemaßstab

Unter Leitung der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) startete 2025 das internationale Konsortium SuSteelAG, das die Stahlproduktion mit Wasserstoff dekarbonisieren will – auch mit Erzen niedriger Qualität. Jetzt gelang in Namibia erfolgreich der erste Praxistest im industriellen Maßstab: In einem elektrisch betriebenen Wasserstoff Drehrohr-Ofen konnten 80 Tonnen australisches Eisenerz klimaneutral zu direkt reduziertem Eisen verarbeitet werden. Damit ebnet SuSteelAG den Weg für eine nachhaltige Wertschöpfungskette zwischen Australien, Namibia und Deutschland – von der Erzeugung über die Veredelung des Eisens bis zum grünen Stahl.

<https://www.bam.de/Content/DE/Pressemitteilungen/2026/Infrastruktur/2026-04-13-susteelag-konsortium-wasserstoffbasierte-erzreduktion.html>

## Pflanzkohle in der Schweizer Landwirtschaft – Risiken und Chancen für Boden und Klima

Pflanzkohle entsteht durch Verkohlung pflanzlicher Biomasse, in der durch die Photosynthese CO<sub>2</sub> aus der Luft eingebunden ist. Sie hat das Potenzial, Kohlenstoff (C) langfristig zu speichern. Im Boden eingebrachte Pflanzkohle kann sogenannte negative Emissionen generieren. Das Faktenblatt «Pflanzkohle in der Schweizer Landwirtschaft – Risiken und Chancen für Boden und Klima» legt den Stand der Wissenschaft zum Einsatz von Pflanzkohle in der Schweizer Landwirtschaft dar und zeigt die derzeitigen Vorgaben zu deren Umgang auf. Das Faktenblatt wird herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) und von der Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung (AGIR) des Cercle Sol.

[https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/8Fda5B8j9pBf/D\\_Faktenblatt\\_Pflanzkohle-2026.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/8Fda5B8j9pBf/D_Faktenblatt_Pflanzkohle-2026.pdf)

## Corona-Lockdowns: Seen wurden weltweit klarer

Während der COVID-19-Pandemie stand die Welt still – und viele Seen wurden messbar klarer. Eine globale Studie zeigt: Die Lockdowns mit weniger Industrie, Verkehr und Freizeitaktivitäten ließen die Wassertrübung in Seen weltweit abrupt sinken, vor allem in Uferregionen und Flussmündungen.

<https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/news/corona-lockdowns-seen-wurden-weltweit-klarere/>;  
<http://doi.org/10.1038/s43247-026-03311-7>

## Renaturierung an der Altmühl zeigt deutliche Erfolge - Fisch- und Wirbellosenbestände erholen sich

Die Renaturierung der Altmühl zwischen Rieshofen und Pfalzpaint (Landkreis Eichstätt) hat zu spürbaren Verbesserungen im Gewässer geführt. Untersuchungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) und des Wasserwirtschaftsamts Ingolstadt zeigen: Sowohl Fische als auch wirbellose Kleintiere profitieren nachhaltig von den Maßnahmen.

<https://www.lfu.bayern.de/pressemitteilungen/c/2278280/>

## BAuA aktualisiert Job-Exposure-Matrix zu berufsspezifischen Arbeitsbelastungen

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) hat ihre Job-Exposure-Matrix (JEM) zu berufsspezifischen Arbeitsbelastungen aktualisiert. Grundlage sind die Daten der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2024.

Auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2024 wird die bestehende Job-Exposure-Matrix (JEM) zu berufsspezifischen Arbeitsbelastungen aktualisiert. Dabei werden die Belastungswerte neu berechnet, während Itembasis, Methodik und Indikatorenstruktur weitgehend unverändert bleiben, um eine hohe Vergleichbarkeit zur JEM auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 zu gewährleisten.

Den einzelnen Berufen werden in der JEM Belastungswerte für fünf unterschiedliche Arbeitsbedingungen zugewiesen (physische und umgebungsbezogene Arbeitsanforderungen, Arbeitsintensität, Arbeitszeitlage sowie Autonomie) und wird für die internationale Standardklassifizierung der Berufe 2008 (ISCO 2008) bereitgestellt.

<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/Job-Exposure-Matrix-2024.pdf?blob=publicationFile&v=4>

## Bundesumweltministerium startet Förderprogramm zur Renaturierung von Auen an kleinen Flüssen

Das Bundesumweltministerium (BMUKN) startet ein neues Förderprogramm zur Renaturierung von Auen an kleineren Flüssen. Damit soll wieder mehr Leben in Auenlandschaften zurückkehren. Die Maßnahmen haben einen vielfachen Nutzen für Mensch und Natur: Intakte Auenlandschaften sind Erholungsorte für Menschen, Wanderwege für Tierarten, sie sind wichtig für die Bildung von Grundwasser, schützen vor Hochwasser und binden Kohlenstoff, was zum Klimaschutz beiträgt. Die neue Förderrichtlinie ist daher Teil des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK). Insgesamt stehen zunächst 59 Millionen Euro Fördermittel zur Verfügung. Projektskizzen können ab dem 1. Mai bei der Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH eingereicht werden, die das Förderprogramm

als Projektträgerin im Auftrag des Bundesumweltministeriums betreut.

<https://www.bundesumweltministerium.de/pressemitteilung/mehr-raum-fuer-fluesse-und-auen-neues-foerderprogramm-staerkt-natuerlichen-hochwasser-und-klimaschutz>

---

## **Koalition von Ländern treibt beschleunigte Abkehr von fossilen Energien während Energiekrise voran**

Mehr als 60 Regierungen aus allen Weltregionen kommen am 28. und 29. April auf Einladung von Kolumbien und den Niederlanden in Santa Marta, Kolumbien, zusammen und beraten, wie eine beschleunigte Abkehr von Kohle, Öl und Gas gelingen kann. Sie setzen angesichts der Energiekrise ein starkes Signal: die Abkehr von fossilen Energien und der Ausbau der erneuerbaren Energien sind nicht nur unabdingbar für den Schutz des Klimas, sie stärken auch die Energiesicherheit, wirtschaftliche Resilienz und Bezahlbarkeit. Mögliche Ergebnisse der Konferenz fließen in den von der brasilianischen COP30-Präsidentschaft angekündigten internationalen Fahrplan zur Abkehr fossiler Energien ein. Dieser soll vor der COP31 in Antalya im November 2026 veröffentlicht werden.

<https://www.bundesumweltministerium.de/pressemitteilung/koalition-von-laendern-treibt-beschleunigte-abkehr-von-fossilen-energien-waehrend-energiekrise-voran>

---

## **Stellenwert von Chemikalien im Alltag - Bevölkerungsbefragung zu Chemikalien**

Das BfR hat im Jahr 2025 eine Bevölkerungsbefragung zur Einstellung von Verbraucherinnen und Verbrauchern zu Chemikalien im Alltag durchgeführt. Die Ergebnisse geben Aufschluss über den Stellenwert von Chemikalien im Alltag vieler Menschen. Dabei wurden insbesondere die öffentliche Wahrnehmung, das Nutzungsverhalten und der Informationsbedarf in Bezug auf Chemikalien und chemische Produkte der Menschen in Deutschland untersucht.

Die Bevölkerung steht Chemikalien ambivalent gegenüber: Während der Nutzen und die Wirksamkeit von chemischen Produkten anerkannt werden, werden sie zugleich mit Gesundheits- und Umweltrisiken verknüpft. Diese negativen Assoziationen gelten jedoch nicht im gleichen Maße für chemische Produkte, deren Inhaltsstoffen als „natürlich“ wahrgenommen werden.

Es zeigt sich eine kritische Lücke zwischen der Wahrnehmung von Warnsymbolen, deren tatsächlichem Verständnis und dem daraus resultierenden Handeln. Daraus ergeben sich Handlungsempfehlungen in den Bereichen Kommunikation, Transparenz und Bildung.

[https://www.bfr.bund.de/assets/01\\_Ver%C3%B6ffentlichungen/Wissenschaftsberichte\\_deutsch/wissenschaftsbericht-sozialforschung-stellenwert-von-chemikalien-im-alltag.pdf](https://www.bfr.bund.de/assets/01_Ver%C3%B6ffentlichungen/Wissenschaftsberichte_deutsch/wissenschaftsbericht-sozialforschung-stellenwert-von-chemikalien-im-alltag.pdf)

---

## **Abfälle aus dem Austausch PFAS-haltiger Feuerlöschschäume - Einstufung und Entsorgung**

Dieses Arbeitsblatt soll die abfallwirtschaftlichen Vollzugsbehörden in NRW mit konkreten Hinweisen zur abfallrechtlichen Einstufung und Entsorgung der beim Austausch PFAS-haltiger Feuerlöschschäume anfallenden Abfälle unterstützen. Es bietet aber auch Informationen für die Betreibenden entsprechender Feuerlöscheinrichtungen sowie für Dienstleistende, die den Austausch der PFAS-haltigen Feuerlöschschäume ausführen.

Das Arbeitsblatt beschreibt den chemikalienrechtlichen Hintergrund für den notwendigen Austausch PFAS-haltiger Feuerlöschschäume sowie die dabei anfallenden Abfälle. Es stellt die abfallrechtliche Einordnung dieser Abfälle dar und zeigt die jeweiligen Entsorgungsmöglichkeiten auf. Außerdem werden die Anforderungen an die Nachweisführung bei der Entsorgung und an die Freiwillige Rücknahme von Handfeuerlöschern erläutert.

Darüber hinaus gibt das Arbeitsblatt Informationen zur Genehmigung von Anlagen zur Behandlung von Handfeuerlöschern. Es beschreibt außerdem Anforderungen an die Behandlung von Spülwässern, die beim Austausch PFAS-haltiger Feuerlöschschäume entstehen, und deren anschließende Einleitung. Dabei werden ein Mindestuntersuchungsumfang für die Analytik und entsprechende Orientierungswerte zur Bewertung einer ausreichenden Spülwasserbehandlung festgelegt.

[https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4\\_arbeitsblaetter/LANUK-Arbeitsblatt\\_63.pdf](https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/LANUK-Arbeitsblatt_63.pdf)

## Unsere neuen Mitglieder

### Neuaufnahmen in die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie vom 21.01.- 06.05.2026

Fatima, Arooj; FG-Eintritt: 30.1.2026

Zauner-Wieczorek, Marcel; FG-Eintritt: 16.02.2026

Le Boulaire, Ingrid; FG-Eintritt: 26.02.2026

Jacob, Mark; FG-Eintritt: 06.03.2026

An, Yixian; FG-Eintritt: 20.03.2026

Keip, Svenja; FG-Eintritt: 23.03.2026

Ghiasi, Ali; FG-Eintritt: 24.03.2026

Goller, Stephan; FG-Eintritt: 01.04.2026

Scheller, Friederike Marie; FG-Eintritt: 10.04.2026

Köpl, Lisa-Marie; FG-Eintritt: 10.04.2026

Ergun, Gözde; FG-Eintritt: 06.05.2026

## Geburtstage

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

### Geburtstagsliste April bis Juni 2026 (Nachtrag)

#### 60 Jährige

Dr. Jochen Kirschbaum, Geburtstag 07.04.1966

Prof. Dr. Jan Schwarzbauer, Geburtstag 26.05.1966

- 01.01.2017–31.12.2022 Arbeitskreis-Stell. Vorsitzender, U+Ö AK Umweltmonitoring
- 01.01.2023–31.12.2026 Arbeitskreis-Beisitzer, U+Ö AK Umweltmonitoring
- 01.01.2019–31.12.2026 FG-Stellvertretender Vorsitzender, FG Umweltchemie und Ökotoxikologie

Dr. Georg Stenz, Geburtstag 08.04.1966

Dr. Uta Ulrich, Geburtstag 06.06.1966

#### 65 Jährige

Prof. Dr. Markus Große Ophoff, Geburtstag 29.04.1961

Gunnar Hirschfeld, Geburtstag 22.05.1961

Prof. Dr. Thorsten Hoffmann, Geburtstag 09.06.1961

#### 70 Jährige

Dr. Horst Büther, Geburtstag 03.06.1956

#### 75 Jährige

Prof. Dr. Hubertus Brunn, Geburtstag 14.05.1951

- 01.01.1997–31.12.2002 Arbeitsgruppen-Obmann, LM AG Tierarzneimittelrückstände

Dr. Renate Hoer, Geburtstag 03.04.1951

Dr. Ernst Kunder, Geburtstag 27.05.1951

Dr. Reinhold Rühl, Geburtstag 09.05.1951

- 01.01.2018–31.12.2021 FG-Stellvertretender Vorsitzender, FG Chemiker im öffentlichen Dienst
- 01.01.2014–31.12.2017 FG-Vorsitzender, FG Chemiker im öffentlichen Dienst
- 01.01.1998–31.12.2001 FG-Gast im Vorstand, FG Bauchemie
- 16.11.1995–31.12.1997 FG-Beisitzer, FG Bauchemie, früher BG Bau - Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft Frankfurt in Frankfurt/Main.

#### 80 Jährige

Dr. Hans-Jürgen Klüppel, Geburtstag 19.04.1946

#### 85 Jährige

Prof. Dr. Bernhard Adler, Geburtstag 22.05.1941

- 01.01.1994–31.12.2000 FG-Beisitzer, FG Computer in der Chemie

Dr. Gerd Bochmann, Geburtstag 14.05.1941

Dr. Ulrich Brühlmann, Geburtstag 10.05.1941

Dr. Klaus Nestler, Geburtstag 01.06.1941

### Geburtstagsliste Juli bis August 2026

#### 60 Jährige

Dipl.-Chem. Barbara Bliß, Geburtstag 12.08.1966

Dipl.-Chem. Annette Joos, Geburtstag 05.07.1966

Dr. Christian Leymann, Geburtstag 26.08.1966

#### 65 Jährige

Dr. Uta Kremer, Geburtstag 01.09.1961

Dipl.-Chem. Christiane Seelisch, Geburtstag 25.09.1961

#### 70 Jährige

Dr. Rüdiger Vincent Battersby, Geburtstag 27.07.1956

- 01.01.2007–31.12.2008 FG-Stellvertretender Vorsitzender, FG Umweltchemie und Ökotoxikologie
- Dr. Rombertus Marmodée, Geburtstag 14.07.1956
- 01.01.2006–31.12.2013 FG-Beisitzer, FG Freiberufliche Chemiker

#### 75 Jährige

Dr. Heidrun Greim, Geburtstag 11.08.1951

Dr. Wolfgang Mailahn, Geburtstag 16.08.1951

Dipl.-Chem. Sigrid Peuckert, Geburtstag 26.09.1951

Prof. Dr. Ingo Schellenberg, Geburtstag 04.07.1951

- 01.01.2000–26.05.2002 OV-Vorsitzender, Bitterfeld-Wolfen

#### 85 Jährige

Prof. Dr. Ulrich Schlottmann, Geburtstag 13.09.1941

- 01.01.1992–31.12.1995 Vorstandsmitglied
- 01.01.1991–31.12.1994 FG-Beisitzer, FG Umweltchemie und Ökotoxikologie
- 01.01.1999–31.12.2003 FG-Vorsitzender, FG Umweltchemie und Ökotoxikologie
- Vorsitzender der DPHG - Untergruppe Bonn
- 1990 mit dem Großen Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich ausgezeichnet
- 2006 IFCS Award of Merit

# Fachgruppe Umweltchemie & Ökotoxikologie



Die GDCh-Fachgruppe Umweltchemie & Ökotoxikologie (UCÖT) ist ein im Jahre 1990 gegründetes Netzwerk mit ca. 850 Mitgliedern aus Forschung, Regulation und Industrie im Bereich Umweltwissenschaften. Studentische und Jungmitglieder machen rund ein Drittel der

Mitgliedschaft aus und sind seit dem Jahr 2021 in der Jugendorganisation „Junge Umweltchemie & Ökotoxikologie“ (JUCÖT) aktiv.

## Für eine bessere Welt: Umweltprobleme identifizieren & Lösungen finden

Die Fachgruppe beschäftigt sich mit den Wechselwirkungen zwischen Chemikalien und der Umwelt (Umweltchemie). Dabei geht es zum einen darum, die Eintragswege, die Verteilung und die Umwandlung der Stoffe in den Kompartimenten Boden, Wasser und Luft zu beschreiben sowie zu verstehen, und zum anderen darum, ihre Wirkung auf Organismen und Lebensräume zu charakterisieren (Ökotoxikologie). Für problematische Verschmutzungen diskutiert die Fachgruppe regulatorische Lösungen. Das Themenfeld ist ausgesprochen interdisziplinär und bietet Personen mit Wissen aus den Bereichen Chemie, Biologie, Geowissenschaften, Jura, Ingenieurwissenschaften und weiterer verwandter Fachrichtungen Forschungs- und Beschäftigungsmöglichkeiten. Intensive sachbezogene Arbeit wird in den vier Arbeitskreisen geleistet.

- [AK Atmosphärenchemie](#)
- [AK Boden](#)
- [AK Chemikalienbewertung](#)
- [AK Umweltmonitoring](#)

Aktuelle Themen und Forschungsbeiträge werden in den [Mitteilungen der Fachgruppe](#) publiziert. Auf europäischer Ebene unterstützt die Fachgruppe die Aktivitäten der Division of Chemistry and the Environment der European Chemical Society (EuChemS).

## Postgradualstudium Ökotoxikologie

Zusammen mit dem SETAC GLB führt die Fachgruppe den [Postgradualstudiengang Fachökotoxikologie \(PGS\)](#) durch. Die Leitung obliegt einem von beiden Gesellschaften paritätisch besetzten Gremium, das die Kurse, die Kursleitungen und die Ausbildungsstandorte festlegt. Das aus verschiedenen einwöchigen Kursen bestehende Programm vermittelt einen Überblick über die Ökotoxikologie einschließlich umweltchemischer Aspekte. Die Kurse enthalten neben Vorlesungen auch praktische Übungen und werden mit jeweils einer Klausur abgeschlossen. Nach einer Fachprüfung wird das Zertifikat Fachökotoxikologin bzw. Fachökotoxikologe verliehen.



## WARUM MITGLIED WERDEN?

- Kontakte zu Gleichgesinnten
- Aufbau eines (inter-)nationalen beruflichen Netzwerks über Generationen hinweg
- Jährliche Tagungen zum wissenschaftlichen Austausch – in Kooperation mit dem SETAC GLB. Mitglieder profitieren von vergünstigten Teilnahmegebühren.
- Möglichkeit, (eigene) Forschungsergebnisse gezielt mit einem Fachpublikum zu diskutieren.
- Förderung des **wissenschaftlichen Nachwuchses**
  - Ausrichtung des [Jungen Umweltforums \(JUF\)](#) im Rahmen der Fachgruppentagung.
  - Vorstellung potenzieller Arbeitgeber auf dem jährlichen [Perspektiventag](#).
  - Jährliche Verleihung des [Paul-Crutzen-Preises](#) für eine herausragende wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiet der Umweltchemie und Ökotoxikologie

## WIE MITGLIED WERDEN?

- Die Mitgliedschaft in der Fachgruppe setzt eine gültige GDCh-Mitgliedschaft voraus.
- Der Jahresbeitrag für die Mitgliedschaft in der Fachgruppe beträgt 15 Euro. **Die studentische Mitgliedschaft ist kostenlos!**
- Studentische und Jungmitglieder sind automatisch Mitglieder der Jugendorganisation JUCÖT.
- Ausführliche Informationen zur Mitgliedschaft und Online-Formulare: [www.gdch.de/mitgliedschaft](http://www.gdch.de/mitgliedschaft)

## VORSTAND DER FACHGRUPPE

**Dr. Stefan Hahn** (Vorsitz)

Fraunhofer ITEM, Hannover

**Prof. Dr. Jan Schwarzbauer** (stellv. Vorsitz)

RWTH Aachen University

**Dr. Stefanie Wieck** (stellv. Vorsitz)

Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

**Dr. Martin Brüggemann**, Bayer AG, Monheim

**Dr. Patrick Riefer**, Ibacon GmbH, Roßdorf

**Prof. Dr. Wolfgang Schrader**, Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim

**Prof. Dr. Christiane Zarfl**, Eberhard Karls Universität Tübingen

### Ständige Gäste des Vorstands

**Angus Rocha Vogel**, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung & Friedrich-Schiller-Universität Jena ([JUCÖT](#))

**Vanessa Saalmann**, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig ([JUCÖT](#))

## GDCh-Geschäftsstelle

**Dr. Carina S. Kniep**

Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.

Varrentrappstraße 40-42

60486 Frankfurt am Main

Telefon: +49 (0)69 7917-499

E-Mail: [c.kniep@gdch.de](mailto:c.kniep@gdch.de)