

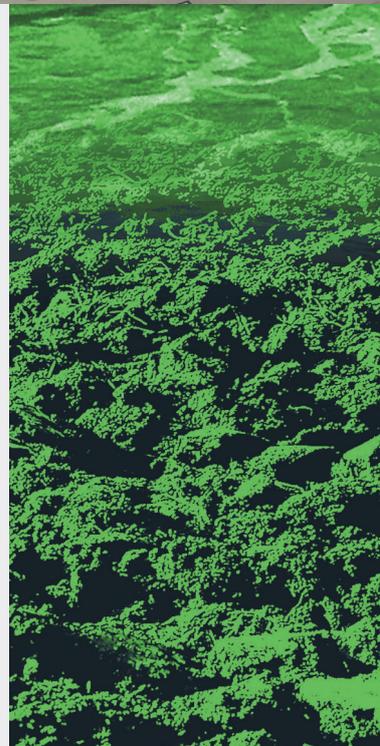


Mitteilungen der Fachgruppe

Umweltchemie und Ökotoxikologie

Gesellschaft Deutscher Chemiker

- Das war die „Umwelt 2024“ und Rückblick
Junges Umweltforum
- Mikroplastikmodelle
- Toxicogenomic Analysis in *Lemna minor*
- Ultrafeinstaub in
Flughafennähe
- Aquatische Pilze
- Emerging Contaminants in Wastewater
- Kurz vorgestellt: Professur für Technische
Chemie und Umweltchemie, Hochschule
Jena
- Winterspecial: Vulkane am Golf von Neapel
- Tagungen, Kurznachrichten und Personalien



4/2024

30. Jahrgang, Dezember 2024 ISSN 1618-3258

Impressum

Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie

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

Redaktion:

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

Abkürzung:

Mitt Umweltchem Ökotox

Design/ Technische Umsetzung:

Dr. Matthias Kudra, Universität Leipzig
E-Mail: kudra@uni-leipzig.de

ISSN: 1618-3258

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

Titelbild:

Die Preisträgerinnen des Paul-Crutzen-Preises 2024: Frau Dr. Anja Ramsperger (links) und Frau Alexandra Loll

Editorial

137 Editorial

Originalbeiträge

- 138 **A. Ramsperger et al.:** Nominell identische Mikroplastikmodelle unterscheiden sich stark in ihren Partikel-Zell-Interaktionen – ein Grund für widersprüchliche Ergebnisse in der Mikroplastikforschung?
- 144 **A. Loll et al.:** Short-Term Test for Toxicogenomic Analysis of Ecotoxic Modes of Action in *Lemna minor*
- 149 **F. Ungeheuer, A. L. Vogel:** Chemische Charakterisierung von Ultrafeinstaub in der Abluffahne eines Flughafens
- 155 **S. Carl et al.:** Aquatische Pilze in der Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln - unwichtig oder nur unbeachtet?
- 160 **S. Tisler et. al.:** Advanced Chromatographic Approaches for the Comprehensive Analysis of Emerging Contaminants in Wastewater Effluents

Kurz vorgestellt

- 164 Professur für Technische Chemie und Umweltchemie, Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen, Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Aus der Fachgruppe

- 166 Das war die „Umwelt 2024“
- 168 Rückblick Junges Umweltforum 2024
- 168 Bericht aus dem Vorstand: Treffen am 17.10.2024
- 169 Protokoll zur Mitgliederversammlung der Fachgruppe am 7.11.2024

Informationen

Tagungen

- 170 6. Hannover Fachtagung Pflanzenschutzmittel und ihre Metabolite – Bedeutung für die Wasserversorgung, 6.02.2025
- 170 10th German Pharm-Tox Summit (GPTS), 25-28.03.2025, Hannover
- 171 Workshop zu molekularen Methoden in der Umweltbeobachtung, 26.-28.03.2025, Essen
- 171 7th International Conference „Advanced Oxidation Processes“, 8.-10.04.2025, Frankfurt a.M.
- 172 Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft vom 26.-28. Mai 2025 in Münster
- 172 19th International Conference on Chemistry and the Environment (ICCE), June 8-12, 2025, Belgrade, Serbia
- 172 Gordon Research Conference: Applied and Environmental Microbiology, 13.-18.07.2025, South Hadley, Massachusetts, United States

Informationen

Kurznachrichten

- 173 Air quality: Council gives final green light to strengthen standards in the EU
- 174 Weniger Luftverschmutzung – weniger lungenkranke Kinder
- 174 Urban wastewater: Council adopts new rules for more efficient treatment
- 175 High PFAS level found in Muskegon Lake foam
- 175 University of Southern California (USC) study finds link between PFAS, kidney function and gut health
- 176 Die Europäische Kommission veröffentlicht den Eintrag zur Beschränkung der Verwendung von PFHxA und PFHxA-verbundenen Stoffen
- 177 Bundeskanzler Scholz will PFAS-Ewigkeitschemikalien nicht verbieten
- 177 Petition des BUND an Bundesgesundheitsminister Karl Lauterbach zur PFAS-Beschränkung gestartet
- 177 Science-Artikel zu neurotoxischen Mischungs-effekten von Umweltchemikalien
- 177 Trinkwasserverunreinigungen durch Chloroethanonil
- 178 Schutz vor hormonell schädigenden Stoffen noch immer unzureichend
- 179 JHM article: Screening the release of chemicals and microplastic particles from diverse plastic consumer products
- 179 Kommentar zum UN-Plastikgipfel in Busan: Weniger Plastik – oder mehr?
- 180 Reifenabrieb bedroht Süßgewässer
- 180 EuChemS-DCE survey on representation of Environmental Chemistry in programmes of higher education
- 181 Anja Ramsperger erhält den Kulturpreis Bayern

Winterspecial

- 182 Wie gefährlich sind die Vulkane am Golf von Neapel?

Personalia

- 184 Eintritte in die FG vom 14.08. bis 22.11.2024
- 184 Geburtstage 1. Quartal 2025

Liebe Mitglieder der Fachgruppe „Umweltchemie und Ökotoxikologie“,

das nun schon fast vergangene Jahr bot viele Gelegenheiten für Austausch und Diskussionen zwischen den Fachgruppenmitgliedern. Wir freuen uns sehr, dass die aufgrund der Pandemie verschobenen Workshops der Arbeitskreise 2024 in Präsenz stattfinden konnten und sich großer Beliebtheit erfreut haben. Der Arbeitskreis Boden organisierte einen Workshop zu aktuellen Entwicklungen bei der Untersuchung und Bewertung von PAK-Belastungen in urbanen Böden. Mitglieder aller Arbeitskreise kamen außerdem zu einem gemeinsamen Workshop der Arbeitskreise in Schmallenberg zusammen. Dieser Workshop diente dazu, sich zwischen den Arbeitskreisen der Fachgruppe näher kennenzulernen und die Zusammenarbeit zu stärken. Nach der erfolgreichen Premiere wird schon über eine Fortsetzung in zwei Jahren nachgedacht.

Zudem gab es zwei Perspektiventage, die durch die jUCÖT organisiert wurden. Gastgeberinnen waren zum einen die Max-Planck-Institute in Mainz sowie die Currenta GmbH & Co. OHG (s. Mitteilungen 03/2024). Im Vorfeld der Umwelt fand auch in diesem Jahr das Junge Umweltforum (JUF) mit einigen Nachwuchswissenschaftler/-innen statt. Neben Vorträgen aus den aktuellen Dissertationsprojekten gab es eine individuelle Führung durch das Liebig-Museum geleitet von Prof. Dr. Gerd Hamscher, Professor an der JLU. Im Anschluss daran startete die Umwelt 2024.

Unter dem Motto „Vom Hörsaal zur Praxis & von der Laborbis zur Feldskala“ kamen 250 Personen an die Technische Hochschule Mittelhessen zur Umwelt 2024, um die aktuellen Themen der Umweltchemie und Ökotoxikologie zu diskutieren. Die drei Tage zeigten die ganze Vielfalt der Fachgebiete - von der empirischen Wissenschaft über Kommunikation bis zur Nutzung künstlicher Intelligenz (KI). Ein besonderes Highlight war der Feldtag, bei dem auf dem weitläufigen Gelände des Forschungszentrums Neu-Ulrichstein praktische Versuche aus vielen Bereichen präsentiert wurden. Zur Interdisziplinarität der Veranstaltung trug auch das Tagungsdinner im Mathematikum in Gießen bei. Neben dem leckeren Abendessen bestand hier die Möglichkeit, die interaktive Ausstellung zu besuchen und die Mathematik-Kenntnisse aufzufrischen. In diesen Mitteilungen gibt es einen ausführlicheren Bericht der Tagung; weitere fotografische Eindrücke sind hier auf der Website und im nachträglich illustrierten Tagungsband zu finden: <https://www.setac-glb.de/tagung-2024/impressionen-tagung-2024>. Wir haben uns gefreut, dass sich so viele von Ihnen aktiv in das Tagungsprogramm eingebracht und mit Sessions oder Vorträgen zu einer gelungenen und vielseitigen Tagung beigetragen haben. Ein besonderes Dankeschön geht an den SETAC GLB für die gute Zusammenarbeit und an das Organisationsteam, bestehend aus Mitarbeiter/-innen der Technischen Hochschule Mittelhessen, der Arbeitsgruppe Umweltchemie, Umweltanalytik und Ökotoxikologie der Justus-Liebig-

Universität Gießen sowie dem Forschungszentrum Neu-Ulrichstein für die gelungene Organisation. Insbesondere sind die hauptverantwortlichen lokalen Organisatoren Harald Platen, Rolf-Alexander Düring und Peter Ebke, sowie Leonard Böhm als Leiter des wissenschaftlichen Komitees zu erwähnen.

Generell möchten wir die Gelegenheit nutzen und all den engagierten Fachgruppenmitgliedern danken, die die diesjährigen Veranstaltungen organisiert und durch ihre Teilnahme so lebendig gemacht haben. Die Fachgruppe lebt davon, dass die Möglichkeiten zum Austausch und Netzwerken genutzt werden.

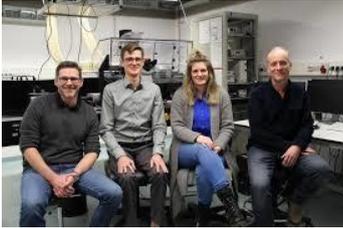
2025 wird die Jahrestagung vom 22.-24. September beim Umweltbundesamt in Dessau-Roßlau stattfinden, das Junge Umweltforum ist derzeit für den 22. September ebenda vorgemerkt. Merken Sie sich die Termine gerne schon einmal vor! Wir würden uns freuen, wenn wir wieder so viele Fachgruppen-Mitglieder dort treffen würden.

Ihr Fachgruppen- und Jungfachgruppenvorstand



Von links nach rechts in Gießen: Gerhard Lammel (FG-Vertreter in der EuChemS DCE), Stefan Hahn (FG-Vorsitzender), Wolfgang Schrader (FG-Vorstand), Dominik Nerlich (jUCÖT-Vorstand), Angus Rocha Vogel (jUCÖT-Vorsitzender), Katrin Wiltshka (jUCÖT-Vorstand), Christiane Zarfl (FG-Vorstand), Stefanie Wieck (FG-Vorstand), Bernd Gökener (Vorsitzender AK Umweltmonitoring); Quelle: W. Schrader

Nominell identische Mikroplastikmodelle unterscheiden sich stark in ihren Partikel-Zell-Interaktionen – ein Grund für widersprüchliche Ergebnisse in der Mikroplastikforschung?



Anja FRM Ramsperger^{1,2} (anja.ramsperger@uni-bayreuth.de), Simon Wieland^{1,2} (simon.wieland@uni-bayreuth.de), Holger Kress² (holger.kress@uni-bayreuth.de) & Christian Laforsch¹ (christian.laforsch@uni-bayreuth.de)

¹ Tierökologie I & BayCEER, Universität Bayreuth

² Biologische Physik, Universität Bayreuth

Originalpublikation: Wieland, S., Ramsperger, A.F.R.M., Gross, W., Lehmann, M., Witzmann, T., Caspari, A., Obst, M., Gekle, S., Auernhammer, G.H., Fery, A., Laforsch, C. & Kress, H. Nominally identical microplastic models differ greatly in their particle-cell interactions. *Nature Communications* 15, 922 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45281-4>

Abstract

Aufgrund des ubiquitären Vorkommens von Mikroplastik nimmt die Forschung über dessen mögliche schädlichen Auswirkungen exponentiell zu. Die meisten Studien, die die Auswirkungen von Mikroplastik auf Zellen untersuchen, stützen sich nach wie vor auf sphärische Modell-Mikroplastikpartikel aus Polystyrol. Die Wahl dieser Partikel kann sich jedoch auf die Ergebnisse der Studien auswirken, da selbst nominell identisches Modell-Mikroplastik aufgrund unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften unterschiedlich mit Zellen interagieren kann. Wir zeigen, dass sich Modell-Mikroplastikpartikel von acht verschiedenen Herstellern signifikant in ihrem ζ -Potenzial unterscheiden und dass das ζ -Potenzial die Adhäsionsstärke von Partikeln mit Zellen bestimmt, was wiederum die Internalisierung der Mikroplastikpartikel in Zellen stark beeinflusst.

Einleitung

Kunststoffe sind für die Menschheit ein alltäglicher Begleiter geworden und bereichern unser Leben in vielerlei Hinsicht. Laut dem paneuropäischen Verband der Kunststoffhersteller „PlasticsEurope“ wurden im Jahr 2022 weltweit knapp 400.3 Millionen Tonnen Plastik hergestellt, wobei 39% dieser produzierten Menge auf Verpackungsmaterialien, wie zum Beispiel Lebensmittelverpackungen zurückfällt (Plastics Europe, 2023). Sie ermöglichen beispielsweise eine längere Haltbarkeit von Nahrungsmitteln, reduzieren durch ihr geringes Gewicht gleichzeitig Transportkosten und damit verbundene CO₂-Emissionen. Jedoch sind diese Verpackungsmaterialien oft nur zur einmaligen Nutzung vorgesehen und werden nach kurzer Zeit nur zum Teil wieder in die Kreislaufwirtschaft zurückgeführt.

Im Jahr 2020 sind in Europa etwa 30 Millionen Tonnen Plastikmüll angefallen, mit einer Recyclingquote von ca. 30%. In Deutschland wurden im gleichen Zeitraum, 42% des gesammelten Plastikmülls recycelt, 57% zur Energieerzeugung verbrannt sowie in Mülldeponien gelagert (1%). Ein beträchtlicher Teil des anfallenden Plastikmülls gelangt jedoch durch unsachgemäße Entsorgung oder versehentlich in die Umwelt. Das

Weltwirtschaftsforum schätzt, dass weltweit ca. 32% aller Kunststoffverpackungen unsachgemäß in die Umwelt gelangt. Jeglicher in die Umwelt gelangter Plastikmüll sowie Abrieb von Plastikprodukten akkumuliert letztlich dort und wird nur sehr langsam und unzureichend abgebaut (Dris, Agarwal and Laforsch, 2020).

Was ist Mikro- und Nanoplastik?

Kunststoffe, welche in die Umwelt gelangt sind, können anhand verschiedener Kriterien kategorisiert werden. Am gängigsten ist es, Plastikpartikel über deren Größe zu charakterisieren. Für Mikro- und Nanoplastik sind unterschiedliche Definitionen im Umlauf, aber es zeichnet sich ab, dass sich folgende Definition, welche auch in der ISO-Norm ISO/TC 61 verankert ist, durchsetzt: Kunststoffpartikel gelten als Mikroplastik, wenn sie kleiner als 1 mm sind. Ab einer Größe kleiner als 1 μ m spricht man von Nanoplastik (Hartmann et al., 2019). Jedoch wird eine rein auf Größe basierende Klassifizierung der Partikel der komplexen Thematik von Mikroplastik meist nicht gerecht. Mikroplastik ist ein Sammelbegriff für Partikel mit unterschiedlicher Herkunft, verschiedenen Polymertypen, unterschiedlicher Additivierung, Formen, Größen und Farben. Darüber hinaus verändern sich diese Partikeleigenschaften in der Umwelt, zum Beispiel durch die Beschichtung mit Biomolekülen, eine so genannte Öko-Korona. Eine Öko-Korona bildet sich durch die Umweltexposition schnell auf Partikeln und besteht unter anderem aus Proteinen, Kohlenstoffverbindungen oder Aminosäuren (Ramsperger et al., 2020; Wieland et al., 2024). Dadurch entsteht eine Vielzahl von Eigenschaftskombinationen, die einen direkten Einfluss auf den Verbleib in der Umwelt und auf die Auswirkungen der darin lebenden Organismen, inklusive des Menschen, haben können.

Vorkommen und Quellen von Mikroplastik in der Umwelt

Kleine Plastikpartikel wurden erstmals in den 1970er Jahren im Meer wissenschaftlich beschrieben. Seit 2004, als der Begriff Mikroplastik eingeführt wurde, konnte es nach und nach in allen Umweltkompartimenten detektiert werden. Es wurde nicht

nur in den Weltmeeren, sondern auch in Süßgewässern wie Seen und Flüssen, im Boden und in der Luft nachgewiesen. Dabei ist ein direkter anthropogener Eintrag nicht zwingend erforderlich, da Mikroplastik selbst in den entlegensten, unberührten Gebieten, wie den Polen oder der Tiefsee, nachgewiesen wurde. Dies liegt unter anderem daran, dass die Freisetzung von Mikroplastik in die Umwelt vielfältige Ursachen hat. Beispielhaft ist hier der Zerfall von größerem Plastikmüll zu nennen, welcher hauptsächlich durch Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung), mechanischen Abrieb oder durch biologische Prozesse verursacht wird. Andere bekannte Hauptquellen von Mikro- und Nanoplastik sind der Abrieb von Reifen, die Freisetzung von Kunststofffasern aus Textilien sowie das Einbringen von Farben und Lacken ins Abwasser und deren Abrieb (Dris, Agarwal and Laforsch, 2020; Laforsch *et al.*, 2021).

Auswirkungen von Mikroplastik

Da Mikro- und Nanoplastik allgegenwärtig vorkommt, kommt auch der Mensch hiermit in Kontakt. Hierbei wurden für den Menschen drei Hauptexpositionswegen beschrieben. Zum einen kann Mikro- und Nanoplastik über die Nahrung und Getränke aufgenommen, zum anderen über die Luft eingeatmet oder, in geringerem Ausmaß, über die Haut durch das Auftragen von Kosmetika aufgenommen werden (Ramsperger *et al.*, 2023). Besonders die respiratorische Aufnahme von Mikroplastik wurde in den letzten Jahren eingehend untersucht. Zum Beispiel wurde in einer Simulationsstudie gezeigt, dass ein Mensch bei moderater Aktivität in häuslicher Umgebung bis zu 272 Mikroplastikpartikel mit einer Größe von 50µm und größer pro Tag einatmen kann (Vianello *et al.*, 2019). Auch die Aufnahme von Mikroplastik über die Nahrung wurde in vielen verschiedenen Studien untersucht. So wurde zum Beispiel berechnet, dass ein Mensch bei einem regelmäßigen Verzehr von Muscheln pro Jahr 2-12.400 Mikroplastikpartikel aufnehmen kann (Vinay Kumar *et al.*, 2021).

Es konnte bereits gezeigt werden, dass größere Mikroplastikpartikel über die Verdauung wieder ausgeschieden werden. Der Verbleib bzw. die Auswirkungen von kleineren Mikroplastikpartikeln ist bis heute jedoch weitgehend ungeklärt. So könnten diese Partikel mit dem Gewebe des Verdauungstraktes oder der Lunge interagieren und in das Gewebe aufgenommen werden. Hier ist die zelluläre Internalisierung von Mikroplastikpartikeln ein möglicher Weg für die Verlagerung in das Gewebe (Wright and Kelly, 2017). Die zelluläre Internalisierung von Mikroplastikpartikeln wurde sowohl für fabrickneue Partikel (Stock *et al.*, 2019; Rudolph *et al.*, 2021) als auch für Mikroplastik aus der Umwelt, beschichtet mit einer Öko-Korona, berichtet (Ramsperger *et al.*, 2020). Bei der Untersuchung der zellulären Aufnahme von Mikroplastik wurde neben anderen Zelltypen der Schwerpunkt auf Makrophagen gelegt, da Makrophagen oft zu den ersten Zellen gehören, die mit eingeatmeten oder verschluckten Mikroplastikpartikeln in Kontakt kommen (Prata, 2018; Wieland *et al.*, 2022). Darüber hinaus können diese Zellen aufgrund ihrer Mobilität als Trans-

porter für Mikroplastikpartikel fungieren, die sie in das Gewebe verlagern und im Organismus verteilen.

Modellplastikpartikel in der Mikroplastikforschung

Das bisher in der Mikroplastikforschung bezüglich dessen Effekte am häufigsten verwendete Polymer ist Polystyrol (Brachner *et al.*, 2020) und die überwiegende Mehrheit der Studien wurde mit monodispersen, sphärischen Polystyrolpartikeln durchgeführt. Bei Studien, die denselben Polymertyp, dieselbe Form und denselben Größenbereich verwenden, sollte man eigentlich erwarten, dass die Ergebnisse vergleichbar und konsistent sind. Studien über mögliche negative Auswirkungen von Mikroplastik auf Organismen zeigen jedoch eine große Vielfalt von manchmal scheinbar widersprüchlichen Ergebnissen. So zeigten Studien mit sphärischen Polystyrolpartikeln im Mikrometerbereich, dass Mikroplastikpartikel leicht von den Zellen internalisiert werden und einen Anstieg reaktiver Sauerstoffspezies und zytotoxische Wirkungen hervorrufen (Pan *et al.*, 2021; Rudolph *et al.*, 2021). Im Gegensatz dazu wurde in einer anderen Studie, in der ähnliche Partikel verwendet wurden, beobachtet, dass nur ein kleiner Teil der Mikroplastikpartikel von den Zellen internalisiert wurde und dies keine oder nur geringe Zytotoxizität verursachte (Stock *et al.*, 2019).

Die derzeitige Mikroplastikforschung stützt sich auf Partikel, die von einer Vielzahl von Herstellern produziert werden. Obwohl diese Partikel alle als Polystyrol-Mikrokugeln verkauft werden, können sich Partikel aus verschiedenen kommerziellen Quellen in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften erheblich unterscheiden. In einer früheren Studie konnten wir zeigen, dass sich zwei Arten von Polystyrolpartikeln ohne spezielle Oberflächenfunktionalisierung in ihrem Monomergehalt, ihrem ζ -Potenzial und ihrer Oberflächenladungsdichte unterscheiden, was zu Unterschieden in der Stoffwechselaktivität und Zellproliferation führte (Ramsperger *et al.*, 2021). Insbesondere das ζ -Potenzial, d. h. das elektrische Potenzial nahe der Partikeloberfläche in einer Flüssigkeit, wurde als Einflussfaktor für die Partikel-Zell-Interaktionen und die Internalisierung diskutiert.

Die Rolle des ζ -Potentials für Partikel-Zell-Interaktionen

Bei Nanopartikeln ist bekannt, dass die zellulären Wechselwirkungen (einschließlich der Internalisierung) und die Zytotoxizität von der Oberflächenladung des Partikels und dem ζ -Potenzial abhängen (Foged *et al.*, 2005; Verma and Stellacci, 2010; Fröhlich, 2012; Lesniak *et al.*, 2013). Während die Rolle der Oberflächenladung und des ζ -Potenzials für zelluläre Interaktionen und Internalisierung bei Nanopartikeln bekannt ist, sind die Forschungsergebnisse für Mikroplastikpartikel weniger einheitlich. Einerseits sind Studien mit Mikroplastikpartikeln nicht schlüssig über die Rolle ihrer Oberflächenladung und ihres ζ -Potenzials für ihre zellulären Interaktionen und ihre Internalisierung. Andererseits können die Ergebnisse von Nanopartikeln nicht einfach auf Mikroplastikpartikel übertragen werden. So interagieren Nanopartikel und Mikroplastikpartikel aufgrund ihres unterschied-

lichen Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen unterschiedlich mit Zellen und Geweben (Otto, Otto and de Villiers, 2015). Darüber hinaus unterscheiden sich die Mechanismen der zellulären Internalisierung stark zwischen Nanopartikeln und Mikropartikeln.

Die Auswirkungen des ζ -Potenzials von Mikroplastikpartikeln auf ihre Wechselwirkungen mit Zellen und Organismen sind noch weniger klar. Von 216 Studien über mögliche Auswirkungen von Mikroplastik auf Wasser- oder Säugetiermodelle, die derzeit in der ToMEx-Datenbank aufgeführt sind, gaben nur 17 % das ζ -Potenzial der verwendeten Mikroplastikpartikel an (Thornton Hampton *et al.*, 2022). Darüber hinaus wurde trotz der Hinweise auf eine Rolle des ζ -Potenzials für zelluläre Wechselwirkungen und der scheinbar widersprüchlichen Ergebnisse in Mikroplastik-Zytotoxizitätsstudien die Rolle des ζ -Potenzials für ansonsten identische Mikroplastikpartikel noch nicht systematisch untersucht. Außerdem wurde gezeigt, dass eine Umweltexposition, die zur Bildung einer Öko-Korona auf den Partikeln führt, die Partikel-Zell-Interaktionen verändert (Ramsperger *et al.*, 2020). Es ist jedoch nicht klar, ob diese Veränderungen der Partikel-Zell-Wechselwirkungen durch Veränderungen des ζ -Potenzials verursacht werden.

Das Ziel unserer Forschung

Um die Rolle des ζ -Potenzials als eine Triebkraft für Mikroplastik-Zell-Interaktionen zu beleuchten, untersuchten wir nominell identische sphärische Polystyrol-Modell-Mikroplastikpartikel von acht verschiedenen Herstellern. Neben den unbeschichteten Mikroplastikpartikeln haben wir zusätzlich Partikel in Salz- und Süßwasser inkubiert, um den Einfluss einer Öko-Korona auf das ζ -Potenzial zu untersuchen. Wir haben das ζ -Potenzial der Partikel mit einem Zetasizer für jeden Partikeltyp gemessen und eine mikrofluidische Mikroskop-Plattform mit einer auf künstlicher Intelligenz basierenden Datenanalyse entwickelt, um die Partikel-Zell-Adhäsionsstärke zu quantifizieren. Darüber hinaus haben wir den Anteil der internalisierten Mikroplastikpartikel für jeden Partikeltyp mittels konfokaler Mikroskopie gemessen. Auf diese Weise wollten wir quantifizieren, wie das ζ -Potenzial von nominell identischen Modell-Mikroplastikpartikeln, das durch die Exposition gegenüber Umweltmedien zusätzlich verändert werden kann, ihre Bindungskinetik, Adhäsionsstärke und zelluläre Internalisierungswahrscheinlichkeit beeinflusst. Die Details der Versuchsdurchführung sind in der Originalpublikation zu finden (<https://doi.org/10.1038/s41467-024-45281-4>).

Ergebnisse

Charakterisierung der Modell-Mikroplastikpartikel

Obwohl sie nominell identisch waren, unterschieden sich die Mikroplastikpartikel der verschiedenen Hersteller in den raster-elektronenmikroskopischen Aufnahmen. Sie unterschieden sich in ihrer Größe, in der Exzentrizität (ein Maß dafür, wie rund die Partikel sind) und in der Oberflächenrauigkeit (Abb. 1). Außerdem variierte das ζ -Potenzial der Partikel verschiedener Hersteller von -93,1 mV bis -4,7 mV. Die Inkubation von Mikro-

plastikpartikeln in Salz- und Süßwasser für 2 und 4 Wochen führte zur Bildung einer Öko-Korona, die in raster-elektronenmikroskopischen Aufnahmen auf einigen Partikeln deutlich zu sehen war. Dementsprechend nahmen die Größe, die Exzentrizität und die Oberflächenrauigkeit der Partikel mit einer Öko-Korona leicht zu. Außerdem wurde durch die Umweltinkubation das ζ -Potenzial negativer.

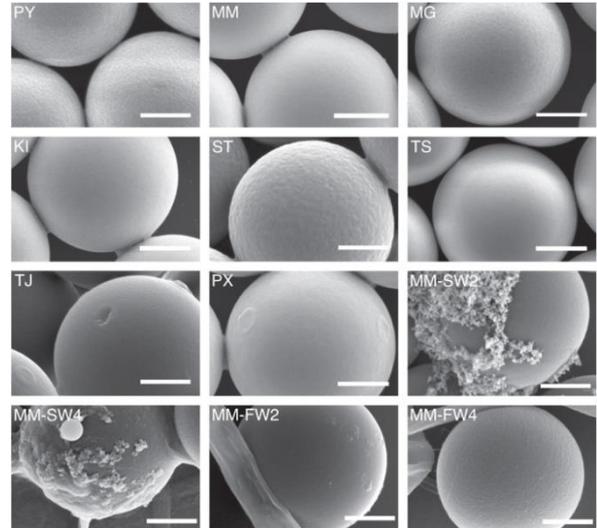


Abb1. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der verwendeten Modell-Mikroplastikpartikel. Die Partikel in der letzten und das letzte Bild in der vorletzten Reihe (gekennzeichnet mit SW und FW für Salz- und Süßwasser) sind Partikel beschichtet mit einer Öko-Korona. Abbildung aus Wieland, Ramsperger, Groß *et al.* 2024 (doi.org/10.1038/s41467-024-45281-4).

Analyse der Partikel-Zell-Adhäsion

Diese Partikel verwendeten wir nun, um deren Adhäsion an Zellen zu untersuchen. In einem ersten Schritt spülten wir mit unserer mikrofluidischen Plattform Partikel auf die Zellen, schalteten den Fluss ab, und analysierten die Diffusionsbewegung der einzelnen Partikel während der Sedimentation auf die Zellen. Wir zählten, wie oft ein Partikel in einem bestimmten Zeitintervall an eine Zelle band und sich wieder ablöste, um so die Bindungs- und Ablöseraten k_{on} und k_{off} zu bestimmen. Eine hohe Bindungsrate und eine niedrige Ablöserate entsprechen dabei einer schnellen Bindung bzw. einem langsamen Lösen der Bindung und damit einer starken Adhäsion. Einige Partikel banden und lösten sich bis zum Ende des Experiments nicht mehr. Die entsprechenden Bindungsereignisse haben wir als irreversibel eingestuft. Die Bindungskinetik der verschiedenen Partikeltypen variierte signifikant um mehrere Größenordnungen. Zwischen Partikeln und Zellen variierte die Bindungsrate k_{on} zwischen $(8,1 \pm 0,8) \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ und $2,5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, während die Ablöserate k_{off} zwischen $(1,5 \pm 0,1) \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ und $2,5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ variierte. Der Anteil der irreversiblen Bindungsereignisse an Zellen schwankte zwischen $(32 \pm 11) \%$ und $(98,6 \pm 0,3) \%$ (Abb.2).

Zuvor hatten wir gezeigt, dass die Exposition gegenüber Umweltmedien die zellulären Interaktionen und die Internalisierung von Mikroplastikpartikeln verändert. Daher wollten wir untersuchen, ob die Umweltexposition die Bindungskinetik und die Adhäsion an Zellen beeinflusst. Wir fanden heraus, dass Partikel mit einer Öko-Korona stärker an Zellen hafteten als Partikel ohne Öko-Korona. So stieg beispielsweise die Bindungsrate k_{on} an Zellen nach zwei Wochen in Salzwasser um eine Größenordnung von $(8,1 \pm 0,8) \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ auf $(8,0 \pm 0,9) \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ und nach zwei Wochen in Süßwasser auf $(8,1 \pm 1,0) \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Die Ablöserate k_{off} sank von $(2,5 \pm 0,2) \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ auf $(1,4 \pm 0,1) \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ nach zwei Wochen in Salzwasser und auf $(1,1 \pm 0,1) \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ nach zwei Wochen in Süßwasser. Der Anteil der irreversiblen Bindungsereignisse änderte sich von $(32 \pm 11) \%$ (Partikel ohne Öko-Korona) auf $(44 \pm 6) \%$ und $(46 \pm 3) \%$ nach zwei- und vierwöchiger Exposition in Salzwasser und $(81 \pm 3) \%$ und $(32 \pm 5) \%$ nach zwei- und vierwöchiger Exposition in Süßwasser. Die Partikel-Zell-Bindung war hierbei stark mit dem ζ -Potential korreliert. Mit zunehmendem negativem ζ -Potential nahm die Bindungsrate k_{on} zu, die Ablöserate k_{off} nahm ab, und der Anteil irreversibler Bindungsereignisse nahm zu. Insgesamt deutet die Analyse der Bindungskinetik von Mikroplastikpartikeln darauf hin, dass Partikel mit einem negativeren

ζ -Potential stärker mit Zellen interagieren als neutralere Mikroplastikpartikel.

In einem zweiten Schritt schalteten wir den Fluss durch die mikrofluidische Plattform wieder ein, und übten so eine einstellbare hydrodynamische Scherkraft (50 ± 5) pN auf die Partikel aus. Je nachdem, wie stark die Partikel an den Zellen hafteten, lösten sich durch diese Kraft mit der Zeit einige Partikel von den Zellen ab. Schließlich quantifizierten wir die Anzahl der verbleibenden Partikel nach 30 s. Die so gemessenen Adhäsionsstärken variierten signifikant zwischen den Partikeln verschiedener Hersteller. Wir beobachteten, dass zwischen $(3 \pm 1) \%$ und $(102 \pm 1) \%$ der Partikel nach dem Spülen noch an den Zellen hafteten. Im ersteren Fall bedeutet das, dass die meisten der Partikel leicht weggespült wurden, während in letzterem Fall alle Partikel an den Zellen haften blieben. Der Anteil der verbleibenden Partikel stieg bei Mikroplastikpartikeln, die mit einer Öko-Korona beschichtet waren, im Vergleich zu den entsprechenden Partikeln ohne Öko-Korona. Auch hier war die Partikel-Zell-Adhäsion stark mit dem ζ -Potential der Mikroplastikpartikel korreliert. Mit zunehmend negativem ζ -Potential nahm der Anteil der auf den Zellen verbleibenden Partikel stark zu.

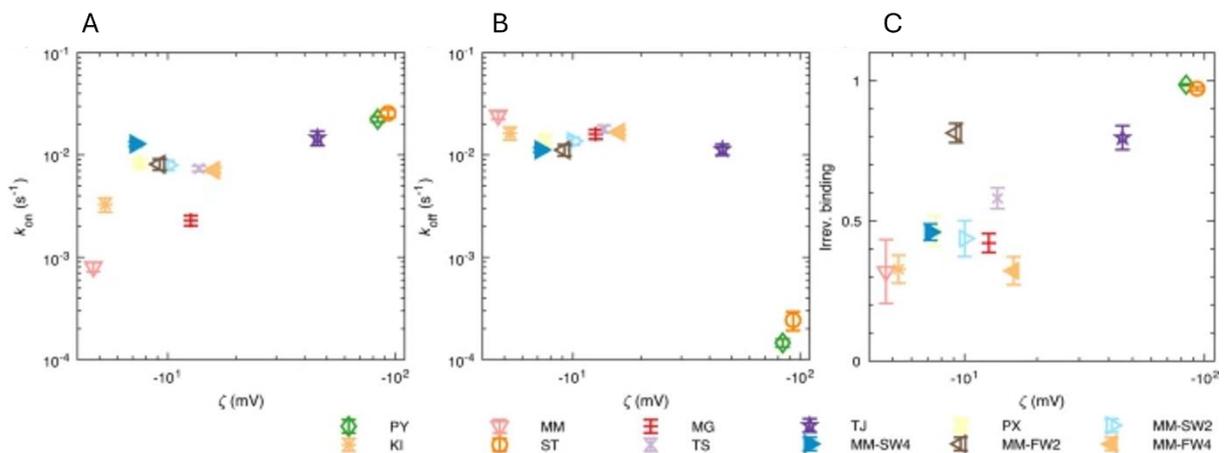


Abb. 2. Partikel-Zell-Adhäsionsmessungen der verschiedenen Modell-Mikroplastikpartikel. (A) Die Bindungsraten k_{on} an Zellen unterschieden sich signifikant zwischen den Proben (Kruskal-Wallis-Test, zweiseitig $P= 1,75 \times 10^{-14}$). (B) Die Entbindungsraten k_{off} von Zellen unterschieden sich signifikant zwischen den Proben (Kruskal-Wallis-Test, zweiseitig $P= 3,00 \times 10^{-10}$). (C) Der Anteil der irreversiblen Bindungsereignisse an Zellen unterschied sich signifikant zwischen den Proben (Kruskal-Wallis-Test, zweiseitig $P= 6,71 \times 10^{-11}$). Im Allgemeinen war k_{on} höher für Partikel mit einem negativeren ζ -Potential, wobei k_{off} niedriger für Partikel mit einem negativeren ζ -Potential war. Der Anteil der irreversiblen Bindungsereignisse hing stark von der Art der Partikel ab, wobei der Anteil der irreversiblen Bindungsereignisse bei Partikeln mit einem negativeren ζ -Potential höher ist. Abbildung verändert aus Wieland, Ramsperger, Groß *et al.* 2024 (doi.org/10.1038/s41467-024-45281-4).

Insgesamt deutet die Analyse der Anzahl der Partikel, die auch unter einer hydrodynamischen Scherkraft an Zellen gebunden bleiben, darauf hin, dass die Adhäsionskräfte zwischen Mikroplastikpartikeln und Zellen mit einem negativeren ζ -Potential zunehmen, während neutralere Partikel kaum an den Zellen haften. Da verschiedene zelluläre Aufnahmewege von der Partikel-Zell-Bindung und -Adhäsion abhängen, dürfte die

Bindungsstärke ein relevanter Parameter für die absolute Internalisierungswahrscheinlichkeit sein.

Analyse der Partikelinternalisierung

Um herauszufinden ob die Adhäsion eine Schlüsseldeterminante für die Internalisierung von Partikeln ist, haben wir untersucht, ob Partikel, die stärker an den Zellen haften, eine höhere Internalisierungswahrscheinlichkeit haben. Zu diesem

Zweck wurden Mikroplastikpartikel zu den Zellen gegeben. Mittels Konfokalmikroskopie wurde anschließend für alle Partikel, die mit Zellen interagierten, untersucht, ob ein Mikroplastikpartikel in eine Zelle aufgenommen wurde, oder nur an ihr haftete (Abb 3). Die absolute Internalisierungswahrscheinlichkeit (Aufnahme in Abhängigkeit der Adhäsion) variierte um fast zwei Größenordnungen und reichte von $(1,1 \pm 0,4)\%$ bis $(40 \pm 2)\%$ und korrelierte mit dem ζ -Potenzial. Die mit einer Öko-Korona beschichteten Mikroplastikpartikel zeigten dabei eine höhere absolute Internalisierungswahrscheinlichkeit als die unmodifizierten Partikel ohne Öko-Korona, was mit dem negativeren ζ -Potenzial der Öko-Korona-Partikel korrelierte

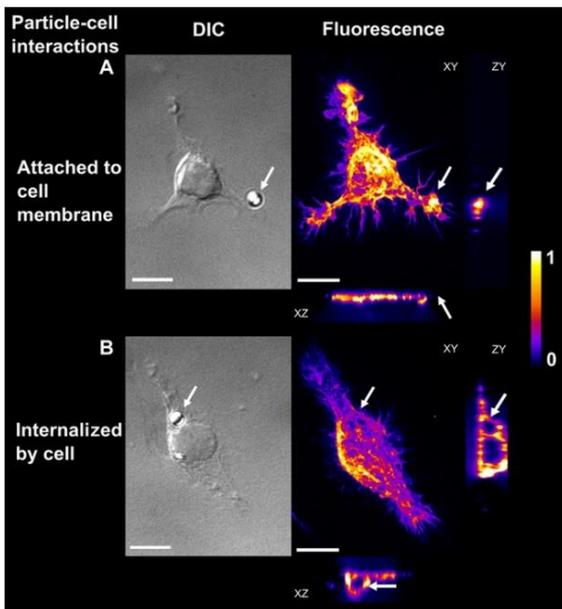


Abb 3. Konfokalmikroskopische Bilder der Partikel-Zell-Interaktionen von Mikroplastikpartikeln. DIC: Differentialinterferenzkontrastmikroskopische Bilder von Partikel-Zell-Interaktionen. Fluoreszenz: Konfokale Spinning-Disc-Bilder der Zellen mit fluoreszenzmarkiertem filamentösem Aktin (Falschfarbenbild, Projektion der maximalen Intensität in beliebigen Einheiten). XY-, YZ- und XZ-Projektionen der dreidimensionalen konfokalen Bilder ermöglichen die Unterscheidung von Mikroplastikpartikeln (A), die an Zellmembranen gebunden sind, und (B), die internalisiert wurden. Die Pfeile zeigen die Position der Mikroplastikpartikel an. Skala: 10 μm . Abbildung aus Ramsperger *et al.* 2020 (doi.org/10.1126/sciadv.abd1211).

Schlussfolgerungen

Mit unserer Studie zeigen wir, dass sich nominell identische Partikel verschiedener Hersteller in ihrem ζ -Potenzial und in ihren Wechselwirkungen mit Zellen unterscheiden. Wir identifizierten das ζ -Potenzial als einen der Hauptfaktoren für die Partikel-Zell-Adhäsion und folglich die absolute Internalisierungswahrscheinlichkeit. Wir konnten auch zeigen, dass die Umweltexposition von Mikroplastikpartikeln ihr ζ -Potenzial und damit auch ihre Internalisierungswahrscheinlichkeit verändert. Mit unserem mikrofluidischen Ansatz ermöglichen wir eine effiziente Quantifizierung der Bindungskinetik und Adhäsionsstärke vieler Partikel-Zell-Interaktionen gleichzeitig. Aufgrund der Bedeutung des ζ -Potenzials für die absolute Inter-

nalisierungswahrscheinlichkeit kann die Wahl des Modell-Mikroplastiks die Ergebnisse von Studien zu den Effekten von Mikroplastik drastisch beeinflussen, da meist zelluläre Wechselwirkungen und die Internalisierung von Mikroplastikpartikeln eine Voraussetzung für deren Toxizität sind. Da sich das ζ -Potenzial von Mikroplastikpartikeln zusätzlich mit der Bildung einer Öko-Korona verändert, dürfte die Umweltexposition in komplexen Ökosystemen das Gefahrenpotenzial von Mikroplastikpartikeln beeinflussen. Um die Mechanismen möglicher Effekte von Mikroplastik auf die Umwelt, Organismen und menschliche Gesundheit besser verstehen zu können ist es wichtig, die verwendeten Modell-Mikroplastikpartikel stets gründlich zu charakterisieren.

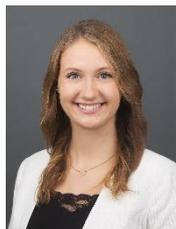
Literatur

- Brachner, A. et al. (2020) 'Assessment of human health risks posed by nano- and microplastics is currently not feasible', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), pp. 1–10. doi: 10.3390/ijerph17238832.
- Dris, R., Agarwal, S. and Laforsch, C. (2020) 'Plastics: from a success story to an environmental problem and a global challenge', *Global Challenges*, 4(6), p. 2070061. doi: 10.1002/gch2.202070061.
- Foged, C. et al. (2005) 'Particle size and surface charge affect particle uptake by human dendritic cells in an in vitro model', *International Journal of Pharmaceutics*, 298(2), pp. 315–322. doi: 10.1016/j.ijpharm.2005.03.035.
- Fröhlich, E. (2012) 'The role of surface charge in cellular uptake and cytotoxicity of medical nanoparticles', *International Journal of Nanomedicine*, 7 (November 2012), pp. 5577–5591. doi: 10.2147/IJN.S36111.
- Hartmann, N. B. et al. (2019) 'Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris', *Environmental Science and Technology*, 53(3), pp. 1039–1047. doi: 10.1021/acs.est.8b05297.
- Laforsch, C. et al. (2021) 'Microplastics: a novel suite of environmental contaminants but present for decades', In: Reichl, FX., Schwenk, M. (eds) *Regulatory Toxicology*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36206-4_138-1
- Lesniak, A. et al. (2013) 'Nanoparticle adhesion to the cell membrane and its effect on nanoparticle uptake efficiency', *Journal of the American Chemical Society*, 135(4), pp. 1438–1444. doi: 10.1021/ja309812z.
- Otto, D. P., Otto, A. and de Villiers, M. M. (2015) 'Differences in physicochemical properties to consider in the design, evaluation and choice between microparticles and nanoparticles for drug delivery', *Expert Opinion on Drug Delivery*, 12(5), pp. 763–777. doi: 10.1517/17425247.2015.988135.
- Pan, L. et al. (2021) 'Polystyrene microplastics-triggered mitophagy and oxidative burst via activation of PERK pathway', *Science of the Total Environment*, 781, 146753 doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146753.

- Plastics Europe (2023) 'Plastics - the fast Facts 2023', 2023, p. 2023.
- Prata, J. C. (2018) 'Airborne microplastics: consequences to human health?', *Environmental Pollution*, 234, pp. 115–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>.
- Ramsperger, A. F. R. M. et al. (2020) 'Environmental exposure enhances the internalization of microplastic particles into cells', *Science Advances*, 6(50), pp. 1–10. doi: 10.1126/sciadv.abd1211.
- Ramsperger, A. F. R. M. et al. (2021) 'Supposedly identical microplastic particles substantially differ in their material properties influencing particle-cell interactions and cellular responses', *Journal of Hazardous Materials*, 425 (November 2021), p. 127961. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127961.
- Ramsperger, A. F. R. M. et al. (2023) 'Nano- and microplastics: A comprehensive review on their exposure routes, translocation, and fate in humans', *NanoImpact*, (Jan:29), 100441 doi: 10.1016/j.impact.2022.100441.
- Rudolph, J. et al. (2021) 'Noxic effects of polystyrene micro-particles on murine macrophages and epithelial cells', *Scientific Reports*, 11(1), pp. 1–17. doi: 10.1038/s41598-021-95073-9.
- Stock, V. et al. (2019) 'Uptake and effects of orally ingested polystyrene microplastic particles in vitro and in vivo', *Archives of Toxicology*, 93, pp. 1817–1833. doi: 10.1007/s00204-019-02478-7.
- Thornton Hampton, L. M. et al. (2022) 'A living tool for the continued exploration of microplastic toxicity', *Microplastics and Nanoplastics*, 2(1), p. 13. doi: 10.1186/s43591-022-00032-4.
- Verma, A. and Stellacci, F. (2010) 'Effect of surface properties on nanoparticle-cell interactions', *Small*, 6(1), pp. 12–21. doi: 10.1002/sml.200901158.
- Vianello, A. et al. (2019) 'Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a Breathing Thermal Manikin', *Scientific Reports*, 9(1), pp. 1–11. doi: 10.1038/s41598-019-45054-w.
- Vinay Kumar, B. N. et al. (2021) 'Analysis of microplastics of a broad size range in commercially important mussels by combining FTIR and Raman spectroscopy approaches', *Environmental Pollution*, 269, p. 116147. doi: 10.1016/j.envpol.2020.116147.
- Wieland, S. et al. (2022) 'From properties to toxicity: Comparing microplastics to other airborne microparticles', *Journal of Hazardous Materials*, 428(January), p. 128151. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.128151.
- Wieland, S. et al. (2024) 'Nominally identical microplastic models differ greatly in their particle-cell interactions', *Nature Communications*, 15(1), pp. 1–17. doi: 10.1038/s41467-024-45281-4.
- Wright, S. L. and Kelly, F. J. (2017) 'Plastic and human health: A micro issue?', *Environmental Science and Technology*, 51(12), pp. 6634–6647. doi: 10.1021/acs.est.7b00423.

Korrespondenzadresse

Dr. Anja Ramsperger
 Tierökologie I & Biologische Physik
 Universität Bayreuth
 Universitätsstr. 30
 95447 Bayreuth
 Tel.: 0921-55-2433
 Email: anja.ramsperger@uni-bayreuth.de



Short-Term Test for Toxicogenomic Analysis of Ecotoxic Modes of Action in *Lemna minor*

Alexandra Loll¹ (alexandra.loll@ime.fraunhofer.de), Hannes Reinwald² (hannes.reinwald@bayer.com), Steve U. Ayobahan¹ (uwa.steve.ayobahan@ime.fraunhofer.de), Bernd Göckener¹ (bernd.goeckener@ime.fraunhofer.de), Gabriela Salinas-Riester³ (Gabriela.Salinas-Riester@medizin.uni-goettingen.de), Christoph Schäfers¹ (christoph.schaefers@ime.fraunhofer.de), Karsten Schlich¹ (karsten.schlich@ime.fraunhofer.de), Gerd Hamscher⁴ (gerd.hamscher@lcb.chemie.uni-giessen.de), Sebastian Eilebrecht¹ (sebastian.eilebrecht@ime.fraunhofer.de)

¹ Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie IME, Schmallenberg

² Bayer CropScience, Monheim am Rhein

³ Institut für Pathologie, Universitätsmedizin Göttingen

⁴ Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmitteltechnologie, Universität Gießen

1 Abstract

Die Umweltrisikobewertung neuer Substanzen beinhaltet Studien an ökotoxikologischen Modellorganismen. Neben der hohen Relevanz der entsprechenden Richtlinientests für den Umweltschutz sind sie jedoch kosten- und zeitintensiv. Darüber hinaus liefern diese Tests oft nur wenige Informationen zu schädlichen Wirkmechanismen. Daher wird die Entwicklung effizienter, aussagekräftiger Testsysteme zur Umweltrisikobewertung immer wichtiger.

Ziel unserer Studie, die mit dem Paul-Crutzen-Preis 2024 ausgezeichnet wurde, war es daher, einen verkürzten Test für die Wasserlinse *Lemna minor* unter Einbeziehung von Toxikogenomik zu entwickeln. Dies diente der Identifizierung von Genexpressions-Biomarkern zur Wirkmechanismen-Unterscheidung. Die Erfassung solcher Biomarker legt den Grundstein für die Entwicklung von Screening-Methoden [1].

Link auf die Originalpublikation:

<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01777>

2 Einleitung

Analysen auf molekularer Ebene stellen ein in der Ökotoxikologie neu genutztes Konzept dar. Bisher wurden primär physiologische Effekte auf Organismen oder Populationen betrachtet. Molekularbiologische OMICs-Methoden, die die Veränderung der Gesamtheit bestimmter Moleküle, wie Proteine oder RNA erfassen, bieten hier vielfältige Optimierungsmöglichkeiten [2]. Ziel unserer Forschung ist es daher, eine molekulare Datenbank zu erstellen, anhand derer Screening-Verfahren für Modellorganismen der Ökotoxikologie entwickelt werden können. Diese Datenbank soll den ermittelten molekularen Fingerabdruck einer Substanz sowohl mit ihren schädlichen Effekten auf den Testorganismus als auch mit ihrer Wirkweise in Beziehung setzen. Zukünftig könnte dies ermöglichen, Wirkstoffe schon in einem frühen Entwicklungsstadium auf ihre Umweltrelevanz zu überprüfen. Ein großer Vorteil wäre, dass nur geringe Mengen des Wirkstoffs für eine Umweltrisikovorhersage benötigt würden, was wiederum schnelle Tests mit mehreren Substanzen ermöglicht.

Als Beitrag zur Datenbank sollte im Rahmen meiner Arbeit ein verkürzter Test zur Erfassung toxikogenomischer Fingerabdrücke im Modellorganismus *L. minor* etabliert werden.

2.1 *Lemna minor*



Die Testspecies *Lemna minor* (Kleine Wasserlinse, Quelle: Wikipedia)

Lemna minor ist eine der am häufigsten eingesetzten Pflanzen zur aquatischen Ökotoxizitätsbeurteilung. Mit ihrer schnellen, asexuellen Reproduktion sowie hohen Anpassungsfähigkeit bietet die kleine Wasserpflanze optimale Bedingungen für Labortests. Zur Ermittlung ökotoxischer Effekte wird gemäß OECD-Richtlinientest Nr. 221 die Wachstumsinhibierung der Pflanze betrachtet [3]. Die nach 7 Tagen ermittelten morphologischen Effekte können durch OMICs mit Erkenntnissen zu molekularen Effekten ergänzt werden. Aufgrund der hohen Sensitivität der OMICs entwickelten wir einen auf 3 Tage verkürzten Test.

2.2 Testsubstanzen

Zur Etablierung des verkürzten Testansatzes wurden zwei Substanzen unterschiedlicher anthropogener Nutzung ausgewählt. Dabei handelte es sich um das Medikament Atorvastatin und das Herbizid Bentazon. Atorvastatin ist eines der am häufigsten verwendeten Statine in der Humanmedizin,

welches das Schlüsselenzym der menschlichen Cholesterinsynthese [3-Hydroxy-3-Methyl-Glutaryl-Coenzym-A-Reduktase (HMGR)] hemmt und somit cholesterin- und lipidsenkende Wirkungen hat [4,5]. Auch Pflanzen besitzen eine HMGR, weshalb Wirkungen auf *L. minor* zu erwarten waren [6,7]. Bentazon ist ein Herbizid, das die Photosynthese von Pflanzen hemmt [8]. Darüber hinaus wurde Bentazon in einer früheren Studie ebenfalls mit einer Hemmung der HMGR in Verbindung gebracht [9].

Vor der Durchführung des verkürzten Tests mit den beiden Substanzen ergaben sich drei prinzipielle Fragestellungen:

1. Erhalten wir überhaupt eine Genantwort in *L. minor* nach nur 3 Tagen Exposition?
2. Können wir die molekularen Signaturen, die durch verschiedene Substanzen hervorgerufen werden, unterscheiden?
3. Können wir diese Signaturen auf bestimmte Wirkmechanismen zurückführen?

3 Methodik

Bevor der auf 3 Tage verkürzte Haupttest ausgeführt wurde, wurden Vortests zur Bestimmung geeigneter Testkonzentrationen gemäß OECD TG 221 durchgeführt. Ausgewählt wurden niedrige Effektkonzentrationen (EC₅ und EC₂₀) um systemische Effekte weitestgehend auszuschließen, die bei höheren Effektkonzentrationen auftreten können.

Der verkürzte Test wurde mit Nominalkonzentrationen von 0,03 (EC₅) und 0,09 mg/L (EC₂₀) für Atorvastatin und 0,7 (EC₅) und 1,0 mg/L (EC₂₀) für Bentazon durchgeführt. Die chemische Analyse mittels UHPLC-MS/MS ergab Wiederfindungsraten zwischen 90 und 103 %. Nach einem Expositionszeitraum von drei Tagen wurden Veränderungen der Genexpression mittels Transkriptomik und Proteomik untersucht. Dazu wurden die Gesamt-RNA sowie -Proteine aus der Pflanze extrahiert. Die Untersuchung der RNA erfolgte mittels Illumina-Sequenzierung, während die Proteine mit einer LC-MS/MS-Methode quantifiziert wurden. Die darauf folgenden bioinformatischen Auswertungen ermöglichten einen Einblick in molekulare Signaturen, die durch die Testsubstanzen hervorgerufen wurden. Besonders hervorzuheben ist die Annotation des Referenzgenoms, welche zuvor nicht vorlag. Für genauere Informationen lesen Sie gern unsere Publikation.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Toxikogenomik

Die Durchführung der beiden verkürzten Tests mit anschließender Transkriptom- und Proteom-Analyse verursachte in beiden Fällen eine deutliche Antwort auf der Ebene der Genexpression. Auskunft über eine solche im Vergleich zur Kontrolle veränderten Genexpression gaben signifikant differentiell exprimierte Gene (DEGs).

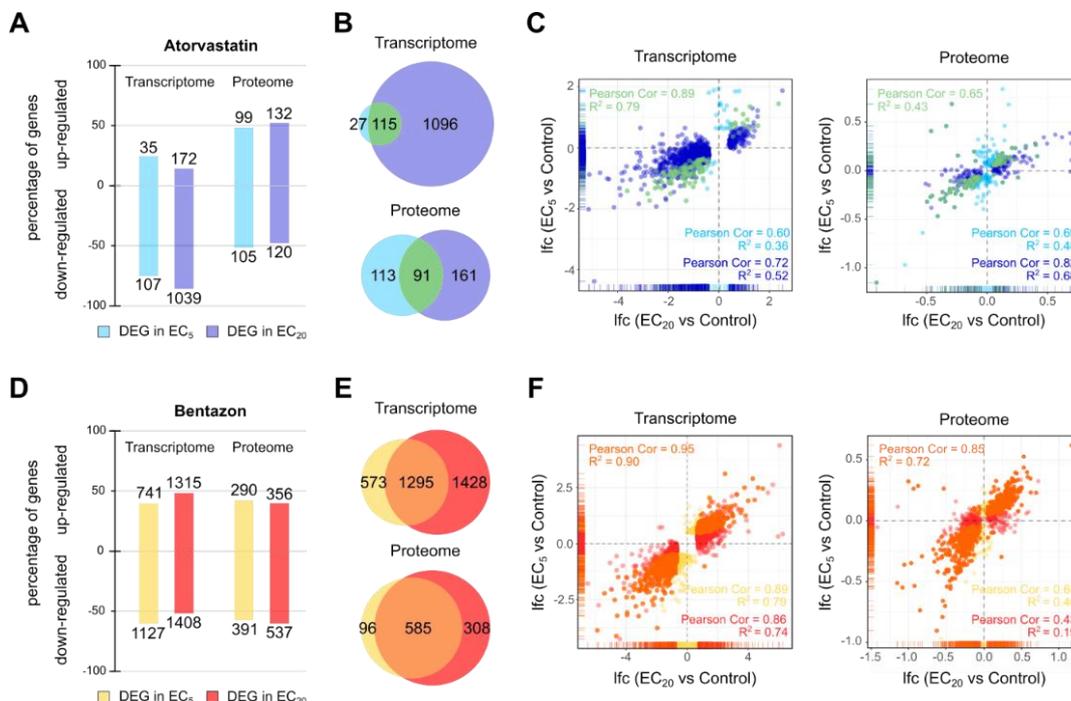


Abbildung 1: Veränderungen der Genexpression in *L. minor*, induziert durch die Exposition mit EC₅ und EC₂₀ von Atorvastatin und Bentazon nach 3 Tagen. (A) Prozentsätze der Hoch- und Herunterregulierung von DEGs auf Transkriptom- und Proteomebene nach Exposition mit der EC₅ (hellblau) und EC₂₀ (dunkelblau) von Atorvastatin im Vergleich zur Kontrolle. Die Anzahl der hoch- und herunterregulierten Gene sind als Balkenmarkierungen angegeben. (B) Venn-Diagramme, die die Anzahl der DEGs nach Exposition mit der EC₅ und EC₂₀ von Atorvastatin und deren Coresets (grün) auf Transkriptom- (oben) und Proteomebene (unten) zeigen. (C) Streudiagramme, die die Korrelation der differentiellen Genexpression zwischen der Exposition gegenüber der EC₅ und EC₂₀ von Atorvastatin auf Transkriptom- (links) und Proteomebene (rechts) zeigen, indem ihre lfc-Werte verglichen werden. (D) wie (A), jedoch für Bentazon mit EC₅ (gelb) und EC₂₀ (rot). (E) wie (B), jedoch für Bentazon mit Coreset (orange) (F) wie (C), jedoch für Bentazon.

Für beide Testverbindungen beobachteten wir ein konzentrationsabhängiges Verhalten der Genexpressionsänderungen, sowohl in Bezug auf die Anzahl der DEGs als auch auf die Stärke ihrer Regulierung, die durch den $\log_2\text{-fold change}$ (lfc) ausgedrückt wird (Abbildung 1). Während positive Werte eine Hochregulation bedeuten, handelt es sich bei negativen lfc-Werten um herabregulierte Gene.

Die gemeinsamen DEGs, die durch beide Expositionsbedingungen einer Substanz reguliert wurden, wurden als *Coreset* der Substanz definiert und stellen frühe und konsistent regulierte Gene dar. Die lfc-Werte der *Coresets* wiesen eine positive Korrelation auf (Abbildung 1C und F). Dies bedeutet, dass die DEGs durch beide Expositionen überwiegend in die gleiche Richtung sowie ähnlich stark reguliert wurden, was sie zu einer Quelle geeigneter Biomarker-Kandidaten für die jeweilige Substanz in *L. minor* macht.

Während bisher nur vereinzelte Studien transkriptomische Veränderungen von *L. minor* analysierten [10–12], fehlten vor allem proteomische Daten der Wasserpflanze. Dementsprechend wurden Transkriptom- und Proteomdaten von *L. minor* zuvor noch nie kombiniert betrachtet. Um die Übereinstimmung der Ergebnisse beider Ebenen zu untersuchen, verglichen wir die Expressionsänderungen der *Coreset*-DEGs auf Proteomebene mit denen auf Transkriptomenebene. Dabei zeigte sich, dass die große Mehrheit der DEGs auf beiden Ebenen in die gleiche Richtung reguliert wurde.

Um zu beurteilen, ob die erhaltenen Fingerabdrücke der einzelnen Substanzen als Grundlage für die Substanz-Unterscheidung dienen können, verglichen wir als nächstes die identifizierten *Coresets* von Atorvastatin und Bentazon.

Auf Transkriptomenebene überlappten sich die DEG-Coresets von Atorvastatin und Bentazon bei insgesamt 48 Genen. Auf der Ebene des Proteoms betrug die Schnittmenge der *Coresets* insgesamt 44 Gene (Abbildung 2A). Im Fall des Transkriptoms wiesen die *Coreset*-DEGs, beider Wirkstoffe eine positive Korrelation auf (Pearson-Korrelation = 0,57, $p \leq 0,0001$). Dies könnte auf einem teilweise übereinstimmenden Wirkmechanismus der Substanzen beruhen. Während Atorvastatin bei Menschen und Pflanzen als HMGR-Hemmer wirkt [13], beeinträchtigt das Herbizid Bentazon die Photosynthese [14]. Frühere Studien deuteten jedoch auch darauf hin, dass Bentazon HMGR hemmende Eigenschaften hat [9]. Angesichts dieser potenziell teilweise übereinstimmenden Wirkmechanismen beider Testsubstanzen war es sowohl interessant, Ähnlichkeiten, als auch Unterschiede in ihren Genexpressionsprofilen zu untersuchen. Die Signaturen der beiden Substanzen, die nicht Teil der Schnittmenge waren, verhielten sich substanzspezifisch, d.h. ihre Expression wurde überwiegend nicht durch die jeweils andere Substanz reguliert. Solche Gene könnten potentiell zur Unterscheidung der Substanzen bzw. Wirkmechanismen genutzt werden.

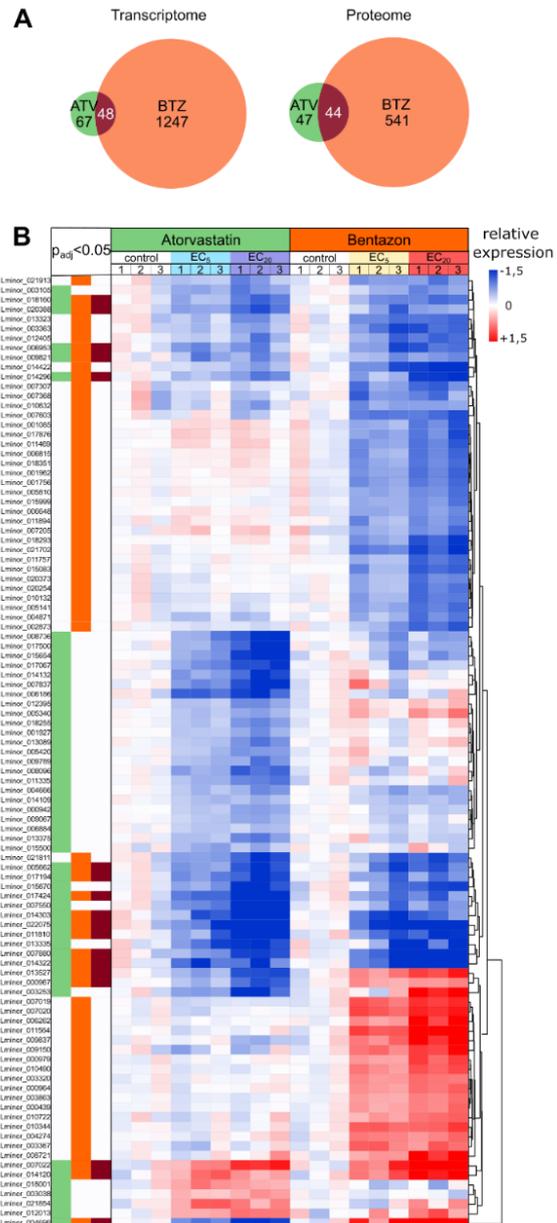


Abbildung 2: Vergleich der durch Atorvastatin und Bentazon induzierten Genexpressionssignaturen in *L. minor*. (A) Venn-Diagramme, die die Anzahl der DEGs durch Exposition mit der EC₅- und EC₂₀ der beiden Substanzen auf der Transkriptom- (links) und Proteomebene (rechts) zeigen. (B) Heatmap, die die relative Expression der 50 wichtigsten DEGs, basierend auf ihrer mittleren Expression in der Kontrollbedingung, für die Transkriptomenebene zeigt. Eine rote Farbe bedeutet Hochregulierung, eine blaue Farbe Herabregulierung eines Gens im Vergleich zur Kontrolle. Der Farbcode am oberen Rand jeder Spalte gibt die Testbedingung an. Die Spalten zeigen die biologischen Replikate (1-3) pro Bedingung. Die Gene wurden euklidisch geclustert. Der Farbcode auf der linken Seite ordnet die Gene den in (A) definierten DEG-Sets zu.

Auch die in der Heatmap (Abbildung 2B) dargestellten Signaturen ermöglichten eine klare Unterscheidung der molekularen Wirkungen von Atorvastatin und Bentazon, wobei die gemeinsamen Gencluster nur einen geringen Anteil an jeder Signatur ausmachten. Dennoch zeigten die gemeinsamen Signaturen eine ähnliche Regulierung in der Mehrheit der Gene. Von be-

sonderem Interesse für die Auswahl potenzieller diskriminierender Biomarker waren Gene, die durch die beiden Wirkstoffe unterschiedlich reguliert wurden.

4.2 Funktionelle Analyse

Um einen Einblick in die funktionellen Prozesse, die von beiden Substanzen beeinträchtigt wurden, zu erhalten, mussten wir das Referenzgenom von *L. minor* zunächst funktionell annotieren. Dazu erstellten wir ein *R package*, das öffentlich auf zenodo zugänglich ist (<https://zenodo.org/record/6045874>). Die Zuordnung von Genfunktionen zu den *L. minor*-Genen beruhte auf Homologien zu gut annotierten verwandten Organismen. Nachdem Daten zur Funktion der Gene erfasst waren, konnte eine Überrepräsentationsanalyse ausgeführt werden. Diese wiederum ermöglichte es, die biologischen Prozesse zu identifizieren, die besonders von der Exposition der Pflanze betroffen waren.

Nach einem tieferen Blick in lipid- und lichtbezogene biologische Prozesse, ergab sich, dass lichtbezogene Prozesse überwiegend durch Bentazon beeinträchtigt wurden, was durch den Wirkmechanismus der Photosynthese-Hemmung erklärbar war. Atorvastatin führte überwiegend zur Beeinträchtigung der lipid-bezogenen biologischen Prozesse, was wiederum den Wirkmechanismus der HMGR-Hemmung widerspiegelte. Zudem konnten auch einige Beeinträchtigungen lipidbezogener Prozesse Bentazon zugeordnet werden, was durch die bereits erwähnte teilweise Übereinstimmung des Wirkmechanismus der HMGR-Hemmung erklärt werden konnte.

5 Fazit

Abschließend möchte ich gerne die drei zentralen Fragen der Studie beantworten, die in der Einleitung bereits erwähnt wurden:

1. Erhalten wir überhaupt eine Genantwort nach nur 3 Tagen Exposition?
→ Ja, wir konnten in beiden Fällen eine deutlich veränderte Genexpression ermitteln.
2. Können wir die molekularen Signaturen, die durch verschiedene Substanzen hervorgerufen werden, unterscheiden?
→ Ja, wir erhielten, je nach Testsubstanz, spezifische molekulare Fingerabdrücke.
3. Können wir die Signaturen auf bestimmte Wirkmechanismen zurückführen?
→ Ja, die überrepräsentierten Genfunktionen konnten durch die bereits bekannten Wirkmechanismen erklärt werden.

Letztlich konnten wir einen verkürzten, dreitägigen ökotoxikogenomischen Test an *L. minor* etablieren, der die Identifizierung von Biomarker-Kandidaten für die Wirkungsweise verschiedener Substanzen ermöglicht. Somit konnten wir auf der Grundlage von Genexpressionsprofilen und biologischen Funktionen spezifische Biomarker-Kandidaten für den jeweiligen Wirkmechanismus extrahieren. Darüber hinaus wählten wir Biomarker-Kandidaten aus, deren Expression durch beide

Prüfsubstanzen verändert wurde, jedoch in unterschiedliche Richtungen. Diese könnten die Unterscheidung der Substanzen bzw. Wirkmechanismen ermöglichen. Die Expressionsveränderungen dieser Biomarker-Kandidaten in dem hier entwickelten verkürzten *L. minor*-Test könnte zukünftig mit Hilfe von Schnellanalysen wie RT-qPCR untersucht werden. Dies würde ein zeitsparendes Screening auf den jeweiligen Wirkmechanismus ermöglichen und die Möglichkeiten des siebentägigen OECD-Richtlinientests ergänzen.

Unsere Studie ebnet somit erste Wege in Richtung einer Zukunft, in der OMICs sowie daraus abgeleitete Screening-Methoden frühzeitig zur Überprüfung der Ökotoxizität von Substanzen angewandt werden und ermöglicht somit Einsparungen von Zeit und Kosten in der Substanzentwicklung.

Neben der gezeigten Anwendung von OMICs zur frühen Umweltrisikobewertung, bieten sie auch die Möglichkeit in Re-Evaluierungen schnelle und aussagekräftige Daten zur Ökotoxizität von Substanzen zu generieren. Ein Beispiel für eine solche Anwendung ist meine Doktorarbeit, in der ich OMICs zur Beurteilung der Umweltschädlichkeit von künstlichen Süßstoffen nutze. Hintergrund der Arbeit ist, dass die Ökotoxizität künstlicher Süßstoffe trotz ihrer Persistenz in der aquatischen Umwelt bisher unzureichend untersucht ist.

6 Literatur

- [1] Loll, A.; Reinwald, H.; Ayobahan, S. U.; Göckener, B.; Salinas, G.; Schäfers, C.; Schlich, K.; Hamscher, G.; Eilebrecht, S. Short-term test for toxicogenomic analysis of ecotoxic modes of action in *Lemna minor*. *Environmental Science and Technology* **2022**, 56, 11504–11515.
- [2] Reinwald, H.; Alvincz, J.; Salinas, G.; Schäfers, C.; Hollert, H.; Eilebrecht, S. Toxicogenomic profiling after sublethal exposure to nerve- and muscle-targeting insecticides reveals cardiac and neuronal developmental effects in zebrafish embryos. *Chemosphere* **2022**, 291, 132746.
- [3] Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). Guideline No. 221 for the testing of Chemicals - *Lemna sp.* growth inhibition test, 2006.
- [4] Lennernäs, H. Clinical pharmacokinetics of atorvastatin. *Clinical Pharmacokinetics* **2003**, 42, 1141–1160.
- [5] Franzoni, F.; Quiñones-Galvan, A.; Regoli, F.; Ferrannini, E.; Galetta, F. A comparative study of the in vitro anti-oxidant activity of statins. *International Journal of Cardiology* **2003**, 90, 317–321.
- [6] Istvan, E. S. Bacterial and mammalian HMG-CoA reductases: Related enzymes with distinct architectures. *Current Opinion in Structural Biology* **2001**, 11, 746–751.
- [7] Campos, N.; Arró, M.; Ferrer, A.; Boronat, A. Determination of 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase activity in plants. *Methods in Molecular Biology* **2014**, 1153, 21–40.

- [8] Herbicide Resistance Action Committee. HRAC Mode of Action Classification 2020 Poster, 2020. www.hracglobal.com.
- [9] Grumbach, K. H.; Bach, T. J. The effect of PS II herbicides, amitrol and SAN 6706 on the activity of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme-A-reductase and the incorporation of [2-¹⁴C]acetate and [2-³H]mevalonate into chloroplast pigments of radish seedlings. *Zeitschrift für Naturforschung - Section C Journal of Biosciences* **1979**, 34, 941–943.
- [10] Wang, W.; Li, R.; Zhu, Q.; Tang, X.; Zhao, Q. Transcriptomic and physiological analysis of common duckweed *Lemna minor* responses to NH₄⁺ toxicity. *BMC Plant Biology* **2016**, 16, 1–13.
- [11] Li, R.; Luo, C.; Qiu, J.; Li, Y.; Zhang, H.; Tan, H. Metabolomic and transcriptomic investigation of the mechanism involved in enantioselective toxicity of imazamox in *Lemna minor*. *Journal of Hazardous Materials* **2022**, 425, 127818.
- [12] van Hoeck, A.; Horemans, N.; Monsieurs, P.; Cao, H. X.; Vandenhove, H.; Blust, R. The first draft genome of the aquatic model plant *Lemna minor* opens the route for future stress physiology research and biotechnological applications. *Biotechnology for Biofuels* **2015**, 8, 1–13.
- [13] Brain, R. A.; Solomon, K. R. A protocol for conducting 7-day daily renewal tests with *Lemna gibba*. *Nature Protocols* **2007**, 2, 979–987.
- [14] Czékus, Z.; Farkas, M.; Bakacsy, L.; Ördög, A.; Gallé, Á.; Poór, P. Time-dependent effects of bentazon application on the key antioxidant enzymes of soybean and common ragweed. *Sustainability (Switzerland)* **2020**, 12, 1–20.

Korrespondenzadresse

Alexandra Loll
Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie IME
Auf dem Aberg 1
D – 57392 Schmallenberg
Email: alexandra.loll@ime.fraunhofer.de



Chemische Charakterisierung von Ultrafeinstaub in der Abluftfahne eines Flughafens

Florian Ungeheuer (ungeheuer@iau.uni-frankfurt.de), Alexander L. Vogel (vogel@iau.uni-frankfurt.de)
 Institut für Atmosphäre und Umwelt, Goethe-Universität Frankfurt, Frankfurt am Main, Deutschland

Abstract

Große internationale Flughäfen sind seit einiger Zeit als Quelle von ultrafeinen Partikeln (UFPs) bekannt (1, 2). Die organisch-chemische Zusammensetzung von UFPs, die vom Frankfurter Flughafen stammen, wurde mittels Non-Target-Screening anhand von Filterproben analysiert. Die Probennahme erfolgte an einer Luftmessstation 4 km nördlich des Frankfurter Flughafens größen aufgelöst mit einem 13-stufigen Impaktorsystem (Nano-MOUDI). Die chemische Charakterisierung mittels hochauflösender-Massenspektrometrie im Größenbereich von 10-18 nm, 18-32 nm und 32-56 nm zeigte, dass die meisten der nachgewiesenen Verbindungen aus Triebwerksölen stammen, welche in Flugzeugturbinen eingesetzt werden. Eine quantitative Analyse ermöglichte die Bestimmung des Anteils dieser Verbindungen an der Partikelmasse. Darüber hinaus wurde das Potenzial synthetischer Triebwerksöle zur Partikel-Neubildung untersucht.

Einleitung

Als „Ultrafeine Partikel“ (UFPs) werden Aerosolpartikel mit einem Durchmesser kleiner 100 nm definiert. Verschiedene anthropogene Quellen im städtischen Umfeld wie Verkehr und Industrie setzen diese Partikel in hoher Anzahl frei, häufig resultierend aus Verbrennungsprozessen (3).

Inzwischen ist allgemein anerkannt, dass UFPs einen Einfluss auf die Luftqualität haben, weshalb die Umwelt- und Gesundheitsaspekte dieser Partikel immer mehr in den Fokus rücken. Die generelle Belastung durch Feinstaub wird unter anderem mit einer Vielzahl von Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen in Verbindung gebracht. Aktuelle Forschungsergebnisse implizieren eine Verringerung der durchschnittlichen Lebenserwartung um ~2,2 Jahre durch Luftverschmutzung (4). Als Konsequenz hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) den Grenzwert für die Jahresmittel-Konzentration von PM_{2,5} in der Luft gesenkt (5). Obwohl kein Grenzwert für UFPs festgelegt wurde empfiehlt der WHO-Bericht (5) schlussendlich ihre Überwachung, da UFPs sehr tief in Gewebe eindringen können, sodass selbst Stoffe ohne toxikologische Relevanz durch die Ausbildung von nanoskaligen Strukturen schädlich werden können (6, 7). Aufgrund zunehmender Relevanz hat die Europäische Union beschlossen, dass zukünftig Messungen von UFPs in allen EU-Mitgliedsstaaten als Teil ihrer lokalen Luftqualitäts-Strategien erforderlich sind (8).

Verschiedene Studien in den letzten Jahren haben gezeigt, dass Flughäfen starke Punktquellen von UFPs sind (1, 9–11). Diese Emissionen zeichnen sich durch hohe Anzahlkonzentrationen und mittlere Partikelgrößen kleiner als 30 nm aus (12,

13). Eine Folge der hohen Partikelkonzentrationen ist auch eine verstärkte räumliche Ausbreitung und Infiltration von Innenräumen in der Umgebung von Flughäfen (14, 15).

Die sehr geringe Masse von Flughafen-UFPs erschwert die chemische Analyse dieser Partikel, weshalb bislang nur wenige Studien diesbezüglich publiziert wurden. Wir haben die organische Zusammensetzung von UFP-Emissionen des Frankfurter Flughafens charakterisiert. Neben einer qualitativen Analyse mittels Non-Target-Screening konnten wir ebenfalls den Anteil der Triebwerksöle an der Partikelmasse bestimmen und die Fähigkeit der Triebwerksöle zur Partikel-Neubildung untersuchen.

Methoden

Zur chemischen Charakterisierung der UFPs wurden Aluminiumfilterproben an einer Luftmessstation 4 km nördlich des Flughafens Frankfurt am Main mit einem 13-stufigen Impaktorsystem (Nano-MOUDI; Model 115, MSP, Minneapolis, MN, USA) gesammelt (Abb. 1). Die Probennahme auf den drei untersten Stufen (10-18 nm; 18-32 nm; 32-56 nm) erfolgte durch Impaktion der Partikel auf Aluminiumfolien. Die Folien der oberen zehn Stufen wurden mit Silikon beschichtet, um zu verhindern, dass größere Partikel und Partikelfragmente die unteren Stufen erreichen. Die beprobten Filter wurden anschließend in Metallschalen bei -20 °C gelagert, um chemische Reaktionen und Evaporation von Verbindungen zu vermeiden. Blindwert-Proben im gleichen Größenbereich < 56 nm wurden ohne aktiven Volumenstrom gesammelt. Um die Flughafenemissionen zu charakterisieren, erfolgte die Probennahme nur während der Betriebszeiten (5:00 – 23:00 Uhr MEZ) und bei südlicher Windrichtung. Die gesammelten UFP-Proben decken die durchschnittlichen UFP Immissionen in der Abgasfahne des Flughafens ab, mit Beiträgen verschiedener Arten von Flugzeugtriebwerken, Kraftstoffen, Triebwerksölen und Betriebsbedingungen. Aufgrund der Größe des Flughafens und der Nähe zum Flughafen können die an dieser Station entnommenen Proben als repräsentativ für die Emissionen großer internationaler Flughäfen angesehen werden.

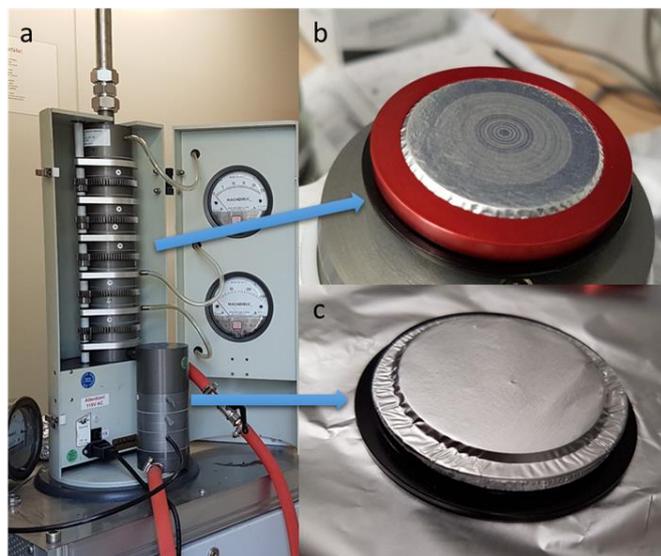


Abbildung 1: Der Nano-MOUDI-Probennehmer zur Sammlung von ultrafeinen Partikeln (UFPs) (a). Aluminiumfolien nach der Probennahme auf den zehn oberen Stufen (b) und auf den drei unteren Stufen (c; 32-56 nm).

Die chemische Charakterisierung von UFPs im Größenbereich von 10-18 nm, 18-32 nm und 32-56 nm erfolgte durch Ultra-Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (UHPLC, Vanquish Flex, Thermo Fisher Scientific), gefolgt von Elektrospray-Ionisation (HESI) und Detektion durch ein hochauflösendes Orbitrap-Massenspektrometer (HRMS, Q Exactive Focus Hybrid Quadrupole-Orbitrap, Thermo Fisher Scientific). Die Charakterisierung von Partikeln mit aerodynamischen Durchmessern < 56 nm erfordert den Nachweis von organischen Molekülen im niedrigen Pikogramm-Bereich. Mittels Non-Target-Screening konnten wir chromatographische Peaks anhand der genauen Masse, des Isotopenmusters und des MS²-Fragmentierungsmusters identifizieren. Darüber hinaus können diese Fragmentierungsspektren mit Datenbanken abgeglichen werden, um die Molekül-Identifikation weiter zu verbessern. Basierend auf diesen Informationen können Molekülformeln berechnet und Verbindungen identifiziert werden. Diese Messungen führten zur Identifikation von Triebwerksölbestandteilen in UFPs.

Weiterhin wurde die Flüchtigkeit von UFPs aus Triebwerksöl anhand von Thermodenuder-Messungen und Analyse der Partikelgrößenverteilung der erzeugten Öl-UFPs bei zwei verschiedenen Temperaturen untersucht. Dazu wurden Ölpartikel erzeugt und diese abwechselnd durch ein beheiztes beziehungsweise unbeheiztes Rohr (Thermodenuder) geleitet. Die Größenverteilung der Partikel wurde mithilfe eines Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) gemessen, nachdem sie den Thermodenuder bei 20 °C oder 300 °C passiert hatten. Ein Vergleich der SMPS-Masse bei beiden Temperaturen ergab den verbleibenden Anteil des Öls bei der erhöhten Temperatur. Über eine Modellierung unter Berücksichtigung der Molekülstrukturen konnten die einzelnen Öl-Verbindungen in Flüchtigkeitssklassen unterteilt werden.

Um die Ergebnisse des Laborexperiments weiter zu untermauern und da die Relevanz der chemischen Zusammensetzung von UFPs für die menschliche Gesundheit vom Massenanteil der einzelnen Verbindungen abhängt, wurden die Öl-Bestandteile in den gesammelten UFPs quantifiziert. Dies geschah durch Standardaddition von authentischen Standards zu den nativen UFP-Filterextrakten. Zwei Amine, die als Stabilisatoren dienen, ein Organophosphat, das als Anti-verschleißmittel/Metaldeaktivator verwendet wird und zwei Estergrundstoffe wurden quantifiziert. Zusätzlich konnte durch die Charakterisierung des Nano-MOUDI Sammlers die Sammelverluste für jede Größenstufe bestimmt und die Ergebnisse entsprechend korrigiert werden. Messungen der Partikelgrößenverteilung in der Umgebung des Flughafens, die parallel zur Filterbeprobung durchgeführt wurden, ermöglichten die Bestimmung des Anteils der Triebwerksöle an der UFP-Masse.

Ergebnisse

Im Rahmen des Non-Target-Screenings konnte die Mehrzahl der nachgewiesenen Verbindungen homologen Reihen zweier verschiedener Arten von organischen Estern zugeordnet werden. Diese dienen als Basiskomponenten in Flugzeugschmierölen. Basierend auf fünf verschiedenen Triebwerkschmierölen verschiedener Hersteller wurden die entsprechenden Basisverbindungen und Additive in den UFPs anhand der übereinstimmenden Retentionszeit, der genauen Masse und des MS/MS-Fragmentierungsmusters einzelner organischer Moleküle identifiziert. Die erstellten molekularen Fingerabdrücke (Abb. 2a) zeigten ein charakteristisches Muster der Triebwerksöl-Bestandteile. Jeder Kreis stellt hierbei eine Verbindung dar, und die Farbgebung beschreibt die Zugehörigkeit zu einer molekularen Gruppe. Signale, denen keine Molekülformel zugeordnet werden konnte, werden als „other“ klassifiziert. Die Fläche der Kreise ist proportional zur gemessenen Signalintensität. In der Darstellung der Retentionszeit gegenüber dem Molekulargewicht sind die größten Signale den homologen Reihen von Pentaerythritolestern (Abb. 2a Reihe 1) (C₂₇₋₃₈H₄₈₋₇₀O₈; PEEs) und Trimethylolpropanestern (Abb. 2a Reihe 2) (C₂₇₋₃₄H₅₀₋₆₄O₆; TMPEs) zuzuordnen, die in Flugzeugschmierölen als Basisformulierung verwendet werden. Fragmente aus der Ionisierung (Abb. 2a Reihe 3) konnten ebenfalls detektiert werden.

Das Van Krevelen-Diagramm (Abb. 2b) beschreibt die verschiedenen Verbindungen hinsichtlich ihres Wasserstoff-zu-Kohlenstoff-Verhältnisses (H/C) und Sauerstoff-zu-Kohlenstoff-Verhältnisses (O/C). Verbindungen, die vor allem aromatische Strukturen aufweisen, haben ein H/C-Verhältnis von etwa 1. Trikresylphosphat, ein Additiv in synthetischem Triebwerksöl, enthält drei aromatische Kresol-Einheiten und erscheint somit in Abb. 2b als magentafarbener Kreis bei H/C=1 und O/C=0.2.

Die Darstellung des durchschnittlichen Oxidationszustands (avg. OSC) im Verhältnis zur Anzahl der Kohlenstoffatome (Abb. 2c) ist eine Möglichkeit, den Oxidationszustand kom-

plexer organischer Verbindungen zu charakterisieren (16). Hierbei konnten wir keine Hinweise für eine atmosphärische Oxidation von Triebwerksölemissionen finden. Die homologen Reihen der synthetischen Triebwerksöl-Ester konnten wir anhand der Darstellung des Kendrick-Massendefekt (CH_2)

gegenüber dem Molekulargewicht identifizieren (Abb. 2d). Verbindungen, die eine homologe Reihe bilden, werden hierbei als Horizontale dargestellt.

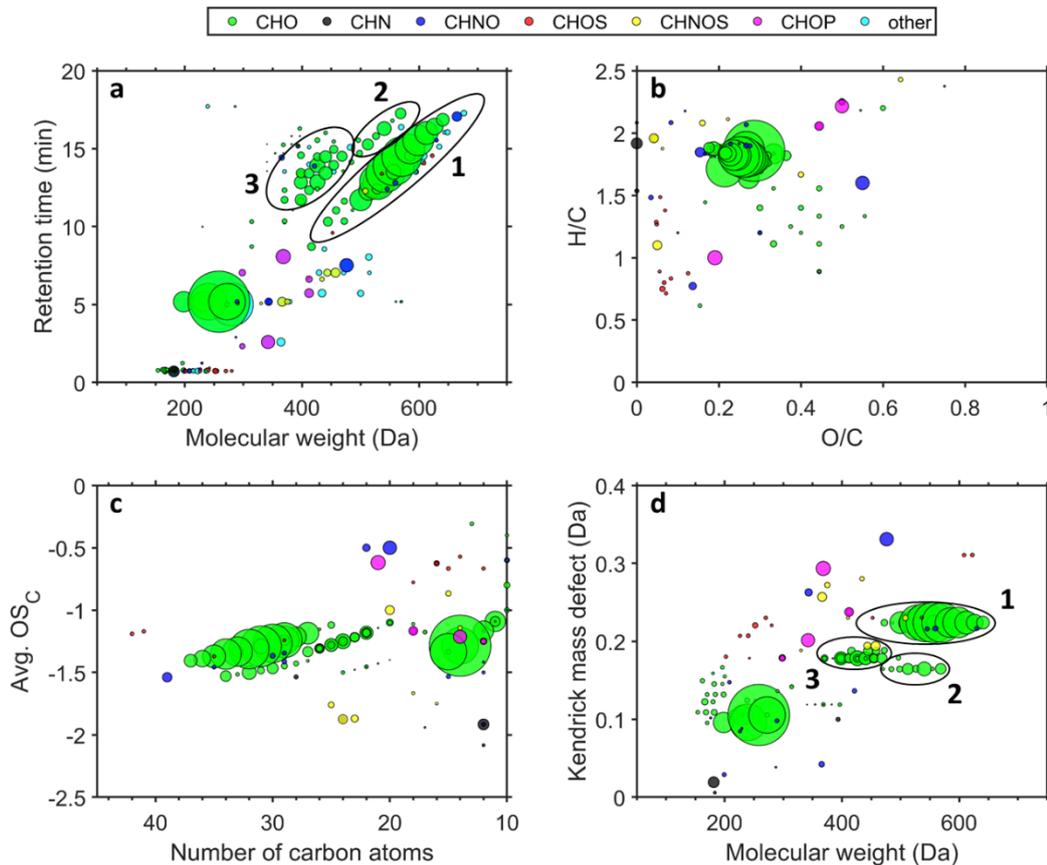


Abbildung 2. Molekulare Fingerabdrücke – Retentionszeit vs. Molekulargewicht (a), Van-Krevelen-Diagramm (b), Kroll-Diagramm (c), Kendrick-Massendefekt vs. Molekulargewicht (d) – von sechs gemittelten Flughafenproben im Größenbereich von 32–56 nm. Entnommen aus (17).

Weiterhin hat die Analyse des Musters der Signalintensitäten der einzelnen synthetischen Ester bekräftigt, dass Triebwerksölemissionen die Quelle der in den UFP-Proben nachgewiesenen Pentaerythritolester sind (Abb. 3). Auch Trimethylolpropanester wurden in den UFP-Proben nachgewiesen, im Vergleich zu den Pentaerythritolestern tragen diese jedoch wesentlich weniger zur chemischen Zusammensetzung der

UFPs bei. Auch verschiedene Additive (z. B. Trikresylphosphat $\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_4\text{P}$) konnten nachgewiesen werden. Die Abwesenheit des schädlichen Tri-ortho-Isomers wurde durch gezieltes Screening bestätigt, während ein thermisches Umwandlungsprodukt von Ölen auf TMPE-Basis (Trimethylolpropanphosphat, TMP-P) identifiziert wurde.

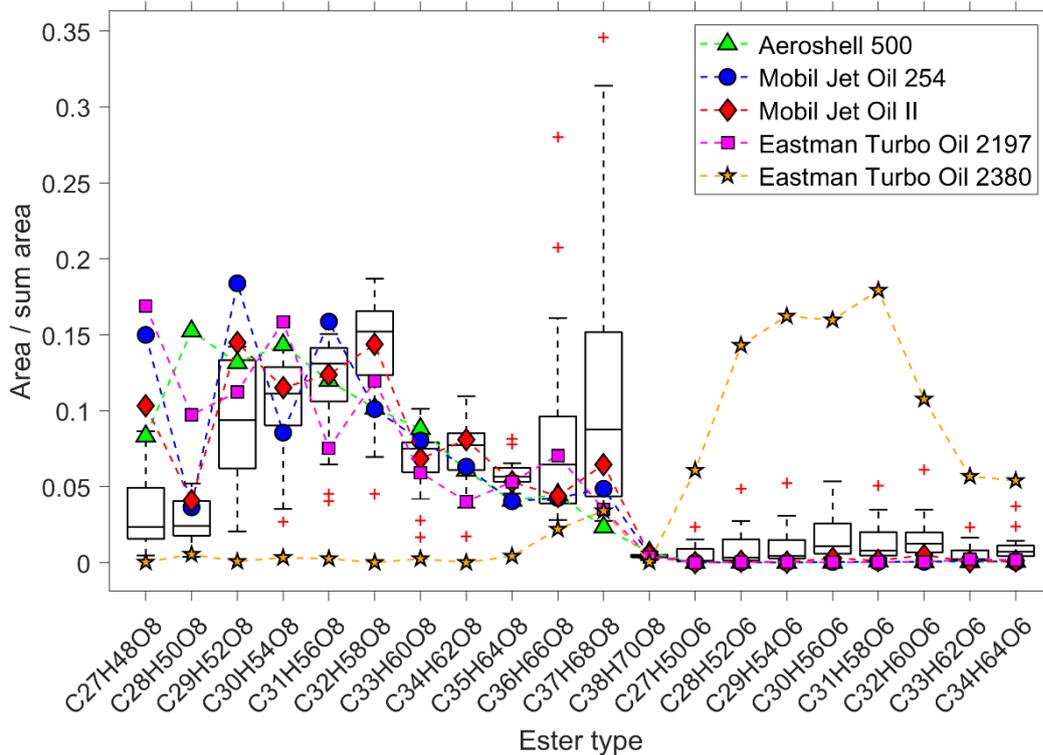


Abbildung 3. Vergleich der Verhältnisse der Pentaerythritol- und Trimethylpropanester innerhalb fünf verschiedener Triebwerksöle (farbige Symbole) mit der beobachteten Streuung in 22 UFP-Proben (Boxplots). Die Y-Achse zeigt das Verhältnis der Fläche jedes einzelnen Esters zur Gesamtfläche aller Ester. Entnommen aus (17).

Darüber hinaus wurde das Potenzial zur Partikelneubildung eines häufig verwendeten synthetischen Triebwerksöls anhand von Laborexperimenten untersucht. Thermodenuder-Messungen ermöglichten die Untersuchung von Triebwerksölen hinsichtlich ihrer Verteilung zwischen der Gas- und Partikelphase bei unterschiedlichen Temperaturen. Bei 300 °C war eine Verringerung des Massenanteils des Triebwerksöls um ~99% im Vergleich zum Versuch bei 20 °C festzustellen, was auf den flüchtigen Charakter der Öle hinweist. Bei 300 °C werden deutlich mehr Partikel mit einem mittleren Durchmesser von ~10 nm gebildet, was zu einem mehr als fünffachen Anstieg der Gesamtpartikelzahl im Vergleich zur 20 °C Messung führt. Bei einer Thermodenuder-Temperatur von 300 °C gehen Ölpartikel vollständig in die Gasphase über, demnach entsprechend auch bei den Betriebstemperaturen von Flugzeug-Turbofan-Triebwerken (>> 300 °C [18]). Die Durchmesser der neu gebildeten Ölpartikel im Laborexperiment lagen im gleichen Größenbereich wie die der gemessenen UFPs aus Richtung des Frankfurter Flughafens. Partikel, die aus Richtung des Frankfurter Stadtzentrums kamen, wiesen größere Durchmesser auf. Dies deutet daraufhin, dass die Nukleation von Triebwerksölen zur hohen Anzahlkonzentration von UFPs < 30 nm in der Nähe von Flughäfen beiträgt. Unterstützt wird

diese Interpretation durch eine quantitative Analyse der Triebwerksölbestandteile in UFPs mit Durchmessern < 56 nm. Die Ergebnisse zeigen, dass Flugzeugemissionen die Gesamtmasse der 10-18 nm großen Partikel stark beeinflussen, wobei der Anteil der Öle im Bereich von $21 \pm 11\%$ liegt. Weiterhin konnten wir zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen der hohen Partikelkonzentration in der Umgebung von Flughäfen und der Emission von Triebwerksölen besteht. Der Anteil des Triebwerksöls nimmt bei größeren Partikeln (18-56 nm) ab, was darauf hindeutet, dass diese Öle in den sich abkühlenden Abgasen von Flugzeugtriebwerken neue Partikel bilden (Abb. 4). Dementsprechend wurde die Flüchtigkeit der einzelnen Ester-Verbindungen analysiert, wodurch sie in verschiedene Flüchtigkeitsklassen eingeteilt werden konnten. Das Gas-zu-Partikel-Verhaltensverhalten von Verbindungen wird stark durch ihre Flüchtigkeit bestimmt. Die Hypothese, dass synthetische Ester eine schnelle Keimbildung in der Abgasfahne von Flugzeugtriebwerken auslösen können, wurde dadurch gestützt, dass die drei größten Pentaerythritolester eine sehr geringe Flüchtigkeit aufwiesen. Ester mit höherer Flüchtigkeit können dann auf diesen neu gebildeten Partikeln kondensieren und das Partikelwachstum fördern.

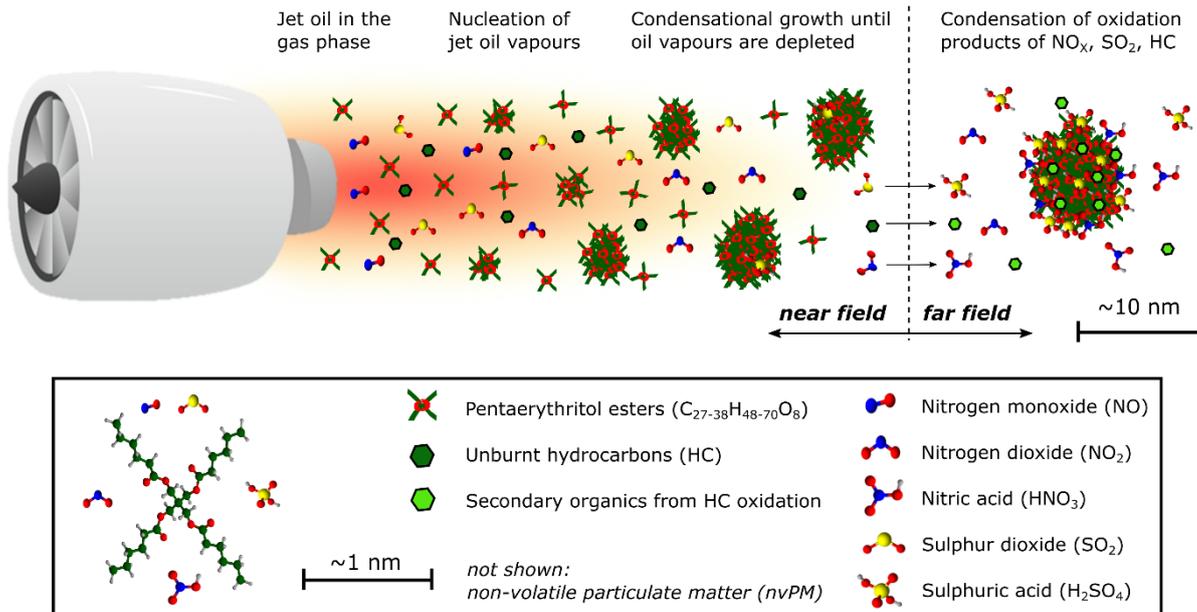


Abbildung 4: Darstellung der UFP-Bildung durch Nukleation und Wachstum von Öldämpfen. Entnommen aus (19).

Diskussion und Ausblick

Insgesamt konnte dank der durchgeführten Studien ein tieferer Einblick in die chemische Zusammensetzung von UFPs in der Abluffahne des Frankfurter Flughafens erhalten werden. Die hier vorgestellte Methode ermöglicht es Flugzeugemissionen anhand der chemischen Zusammensetzung von UFPs nachzuweisen und somit auch die Ausbreitung der Emissionen in der Region zu verfolgen.

Ein Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Partikelbildung konnte gezeigt werden. Dies hat zur Folge, dass nun Emissionen von Triebwerksölen und die Ableitung möglicher Minderungsmaßnahmen mehr in den Fokus rücken. Gleichzeitig wird deutlich, dass nicht nur die Verbrennung von Kerosin zu einer Partikelbelastung führt, sondern weitere Quellen wie Triebwerksöle existieren. Bislang werden jedoch Öl-Emissionen in der Charakterisierung von Triebwerken nicht berücksichtigt. Die Freisetzung von Triebwerksölen und die daraus resultierende Partikelbelastung stellt daher einen weiteren Anknüpfungspunkt für Minderungsmaßnahmen dar, neben der Verminderung von Partikelemissionen durch eine Reduktion des Schwefel- und Aromatengehalts in Treibstoffen durch den Einsatz synthetisch hergestellter Treibstoffe. Dies ist insbesondere relevant für den Klimaeffekt des Flugverkehrs, da etwa $2/3$ des gesamten Strahlungsantriebs durch die Bildung von Kondensstreifen hervorgerufen wird (20). In diesem Zusammenhang konnte bereits gezeigt werden, dass emittierte Öl-Tröpfchen ebenfalls als Wolkenkondensationskeime fungieren können und somit möglicherweise den Effekt geringerer Rußemissionen aufheben (21).

Obwohl es deutliche Hinweise darauf gibt, dass die Nukleation gasförmiger Ölemissionen zur Bildung neuer Partikel führt, sind noch offene Fragen zu klären. In Emissionsfahnen könnten

nichtflüchtige Partikel die Keimbildung verhindern, indem sie Oberflächen für die Kondensation von Öldämpfen bieten. Frühere Studien beschreiben jedoch luftfahrtbedingte UFPs als flüchtig unter Hochvakuum (22), weshalb es wahrscheinlich ist, dass eine große Anzahl von Partikeln kleiner 20 nm, die in der Abluft von Flughäfen beobachtet werden (12; 13), durch Nukleation von Öldämpfen gebildet werden.

Um diese und weitere Fragen eingehend zu untersuchen, wurde kürzlich ein Projekt gestartet, bei dem die UFP-Emissionen und Immissionen des Frankfurter Flughafens noch umfassender untersucht werden sollen (SOURCE FFR; www.ultrafeinstaub-studie.de). Hierbei wird zwischen flüchtigen und nicht-flüchtigen Bestandteilen der Partikel unterschieden und diese einzeln charakterisiert, um ihre jeweiligen Anteile und Quellen zu ermitteln. Zusätzlich werden weitere Analysetechniken angewendet werden, um einen umfassenderen Überblick über die chemische Zusammensetzung zu erhalten. Schließlich sollte die ermittelte chemische Zusammensetzung der Aerosole genutzt werden, um potenzielle Gesundheitsgefahren im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber luftfahrtbedingten ultrafeinen Partikeln weiter zu bewerten, da die wissenschaftlichen Erkenntnisse in diesem Bereich noch gering sind. Entsprechend wird auch die Ausbreitung der Flughafenemissionen untersucht, um festzustellen, in welchen Regionen in der Nähe des Flughafens Menschen besonders exponiert sind.

Literatur

1. M. P. Keuken, M. Moerman, P. Zandveld, J. S. Henzing, G. Hoek, Total and size-resolved particle number and black carbon concentrations in urban areas near Schiphol airport (the Netherlands). *Atmos. Environ.* **104**, 132–142 (2015).
2. N. Hudda, S. A. Fruin, international airport impacts to air quality: size and related properties of large increases in ultrafine particle number concentrations. *Environ. Sci. Technol.* **50**, 3362–3370 (2016).
3. J. Pekkanen, M. Kulmala, Exposure assessment of ultrafine particles in epidemiologic time-series studies. *Scand. J. Work Environ. Health* **30** Suppl 2, 9–18 (2004).
4. J. Lelieveld, K. Klingmüller, A. Pozzer, U. Pöschl, M. Fnais, A. Daiber, T. Münzel, Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *Europ. Heart J.* **40**, 1590–1596 (2019).
5. WHO, *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide* (World Health Organization, European Centre for Environment and Health, 2021).
6. G. Oberdörster, E. Oberdörster, J. Oberdörster, Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ. Health Persp.* **113**, 823–839 (2005).
7. A. Nel, T. Xia, L. Mädler, N. Li, Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science (New York, N. Y.)* **311**, 622–627 (2006).
8. European parliament and council, Directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast).
9. M. Stafoggia, G. Cattani, F. Forastiere, A. Di Menno Bucchianico, A. Gaeta, C. Ancona, Particle number concentrations near the Rome-Ciampino city airport. *Atmos. Environ.* **147**, 264–273 (2016).
10. R. Habre, H. Zhou, S. P. Eckel, T. Enebish, S. Fruin, T. Bastain, E. Rappaport, F. Gilliland, Short-term effects of airport-associated ultrafine particle exposure on lung function and inflammation in adults with asthma. *Environ. Int.* **118**, 48–59 (2018).
11. I. Rivas, D. C. S. Beddows, F. Amato, D. C. Green, L. Järvi, C. Hueglin, C. Reche, H. Timonen, G. W. Fuller, J. V. Niemi, N. Pérez, M. Aurela, P. K. Hopke, A. Alastuey, M. Kulmala, R. M. Harrison, X. Querol, F. J. Kelly, Source apportionment of particle number size distribution in urban background and traffic stations in four European cities. *Environ. Int.* **135**, 105345 (2020).
12. B. Stacey, Measurement of ultrafine particles at airports: A review. *Atmos. Environ.* **198**, 463–477 (2019).
13. M. Pirhadi, A. Mousavi, M. H. Sowlat, N. A. H. Janssen, F. R. Cassee, C. Sioutas, Relative contributions of a major international airport activities and other urban sources to the particle number concentrations (PNCs) at a nearby monitoring site. *Environ. Pollut.* **260**, 114027 (2020).
14. N. Hudda, M. C. Simon, W. Zamore, J. L. Durant, Aviation-related impacts on ultrafine particle number concentrations outside and inside residences near an airport. *Environ. Sci. Technol.* **52**, 1765–1772 (2018).
15. N. Hudda, L. W. Durant, S. A. Fruin, J. L. Durant, Impacts of aviation emissions on near-airport residential air quality. *Environ. Sci. Technol.* **54**, 8580–8588 (2020).
16. J. H. Kroll, N. M. Donahue, J. L. Jimenez, S. H. Kessler, M. R. Canagaratna, K. R. Wilson, K. E. Altieri, L. R. Mazzoleni, A. S. Wozniak, H. Bluhm, E. R. Mysak, J. D. Smith, C. E. Kolb, D. R. Worsnop, Carbon oxidation state as a metric for describing the chemistry of atmospheric organic aerosol. *Nat. Chem.* **3**, 133–139 (2011).
17. F. Ungeheuer, D. van Pinxteren, A. L. Vogel, Identification and source attribution of organic compounds in ultrafine particles near Frankfurt International Airport. *Atmos. Chem. Phys.* **21**, 3763–3775 (2021).
18. A. F. El-Sayed, *Aircraft propulsion and gas turbine engines* (CRC Press Taylor & Francis Group, 2017).
19. F. Ungeheuer, L. Caudillo, F. Ditas, M. Simon, D. van Pinxteren, D. Kılıç, D. Rose, S. Jacobi, A. Kürten, J. Curtius, A. L. Vogel, Nucleation of jet engine oil vapours is a large source of aviation-related ultrafine particles. *Commun. Earth Environ.* **3** (2022).
20. D. S. Lee, D. W. Fahey, A. Skowron, M. R. Allen, U. Burkhardt, Q. Chen, S. J. Doherty, S. Freeman, P. M. Forster, J. Fuglestedt, A. Gettelman, R. R. de León, L. L. Lim, M. T. Lund, R. J. Millar, B. Owen, J. E. Penner, G. Pitari, M. J. Prather, R. Sausen, L. J. Wilcox, The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmos. Environ.* **244**, 117834 (2021).
21. J. Ponsonby, L. King, B. J. Murray, M. E. J. Stettler, Jet aircraft lubrication oil droplets as contrail ice-forming particles. *Atmos. Chem. Phys.* **24**, 2045–2058 (2024).
22. M. Mazaheri, T. E. Bostrom, G. R. Johnson, L. Morawska, Composition and morphology of particle emissions from in-use aircraft during takeoff and landing. *Environ. Sci. Technol.* **47**, 5235–5242 (2013).

Korrespondenzadresse

Dr. Florian Ungeheuer
Institut für Atmosphäre und Umwelt (IAU)
Goethe Universität Frankfurt
Altenhöferallee 1
60438 Frankfurt am Main
E-Mail: ungeheuer@iau.uni-frankfurt.de



Aquatische Pilze in der Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln - unwichtig oder nur unbeachtet?

Steffen Carl¹ (Steffen.Carl@uba.de), Valeska Contardo-Jara¹ (Valeska.ContardoJara@uba.de),
Ulrike Scholz¹ (Ulrike.Scholz@uba.de), Christiane Baschien² (Christiane.Baschien@dsmz.de),
Silvia Mohr¹ (Silvia.Mohr@uba.de)

¹ Umweltbundesamt, Fachgebiet IV 2.5 Spurenanalytik, Fließ- und Stillgewässersimulation, Schichauweg 58, 12307 Berlin

² Leibniz Institut Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ), Abt. Bioeconomy and Health Research, Inhoffenstr. 7B, 38124 Braunschweig

Zusammenfassung

Aquatische Pilze leisten einen wesentlichen Beitrag zur Funktion aquatischer Ökosysteme, insbesondere durch den Abbau von totem organischem Material. Trotz dieses wichtigen Beitrags werden (aquatische) Pilze bislang nicht in der Umwelt- risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln berücksichtigt. Im UBA Fachgebiet „Spurenanalytik, Fließ- und Stillgewässersimulation“ wird daher in Kooperation mit den Stoffvollzügen der Frage nachgegangen, ob es sich hierbei um eine regulatorische Lücke handelt. Immer mehr Studien zeigen, dass eine Gefährdung der Artenvielfalt besteht und indirekte Effekte auf das höhere Nahrungsnetz nicht ausgeschlossen werden können. Im vorliegenden Artikel wird ein Überblick über den derzeitigen Kenntnisstand und die am UBA durchgeführten Studien zu der Thematik gegeben.

Aquatische Pilze – unscheinbar aber ökologisch wichtig

Aquatische Pilze verbringen per Definition mindestens einen Teil ihres Lebenszyklus im Wasser (Tsui et al., 2016), sind in der Lage ihre Sporen über die Wassersäule zu verbreiten und

kommen ubiquitär in allen Gewässern vor (Shearer et al., 2007). Sie tragen wie auch terrestrische Pilze (Runnel et al., 2024) wesentlich zur Funktion von Ökosystemen bei (Seena et al., 2023). Neben parasitierenden Pilzen (Erhalt des ökologischen Gleichgewichts) ist dabei im aquatischen Milieu vor allem der Abbau von totem organischem Material (*Saprotrophie*) als wichtige Ökosystemfunktion zu nennen. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Gruppe der „aquatischen Hyphomyceten“, die vor allem für die initiale Zersetzung von Laub in Fließgewässern bekannt ist (Ingold, 1942). Diese polyphyletische (= mehrstämmige) Gruppe ist durch ihre ökologische Nische definiert (Bärlocher, 2016). Sie besteht zum Großteil aus asexuellen Schlauchpilzen (*Ascomycota*) ähnlich den Schimmelpilzen, aber mit besonderen, an die Lebensweise im Wasser angepassten Sporenformen (Abb. 1), welche die Anheftung an Laub auch bei Strömung erleichtern (Dang et al., 2007).

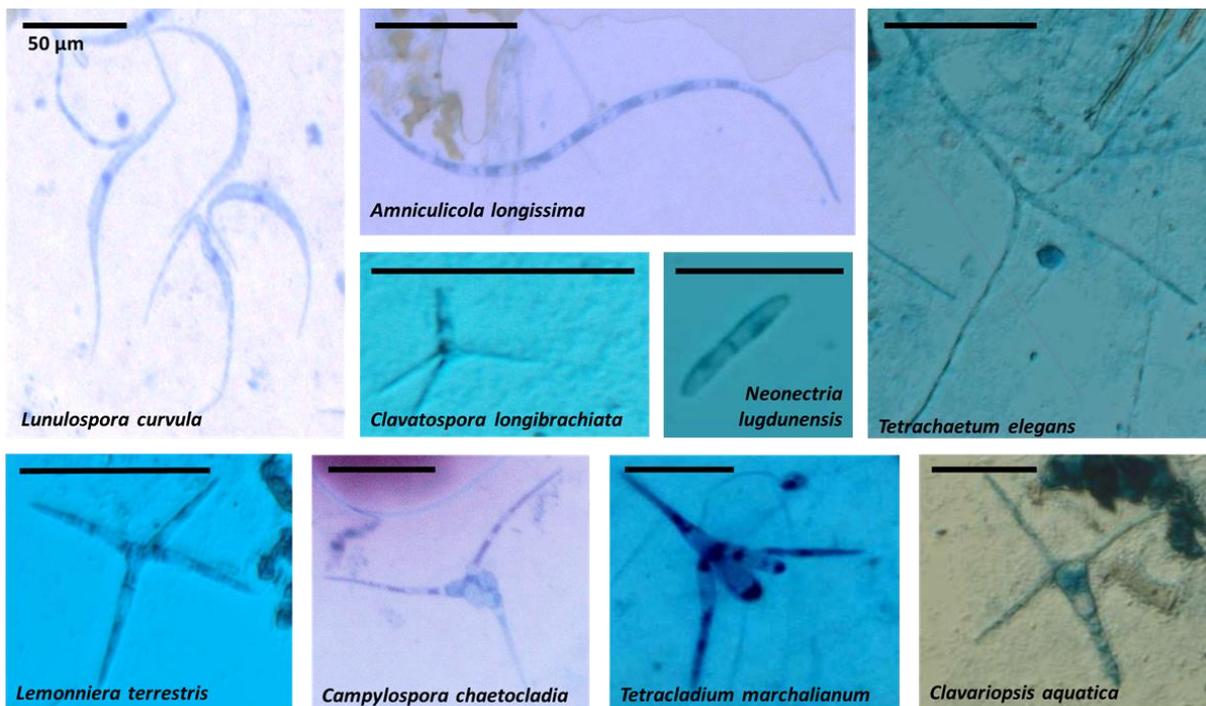


Abb. 1: Einige Beispiele asexueller Sporen (Konidien) aquatischer Hyphomyceten. Maßstab = 50 µm. Quelle: UBA, eigene Aufnahmen.

Als Saprobien befinden sich aquatische Pilze auf einer der unteren Ebenen des Nahrungsnetzes aquatischer Ökosysteme (Abb. 2), wo sie eine wichtige ‚Bottom-up‘ Funktion erfüllen (Gonçalves et al., 2014). Mit ihren Exoenzymen zerlegen sie komplexe Makromoleküle wie Cellulose, Pektin und Lignin, sodass diese auch für höhere Zersetzer wie Bachflohkrebse nahrungsvorbereitbar werden (Gessner et al., 2007). Zudem wird der Energiegehalt des Laubs zusätzlich durch die Pilzbiomasse gesteigert.

Die Pilze spielen somit eine entscheidende Rolle im gesamten Nährstoffkreislauf, unterstützen den Energietransfer zu höheren Trophieebenen und leisten einen wichtigen Beitrag zur Selbstreinigungsfunktion der Gewässer. Letzteres kann sogar den Abbau von Schadstoffen einschließen, weshalb auch die Eignung von Pilzen zur biologischen Schadstoffeliminierung diskutiert wird (Seena et al., 2023). Trotz sich überschneidender Funktionen ist die Diversität der Pilzgemeinschaft essentiell, um ihre Ökosystemfunktionen zu erhalten (Fleckler und Bundschuh, 2020; Runnel et al., 2024).

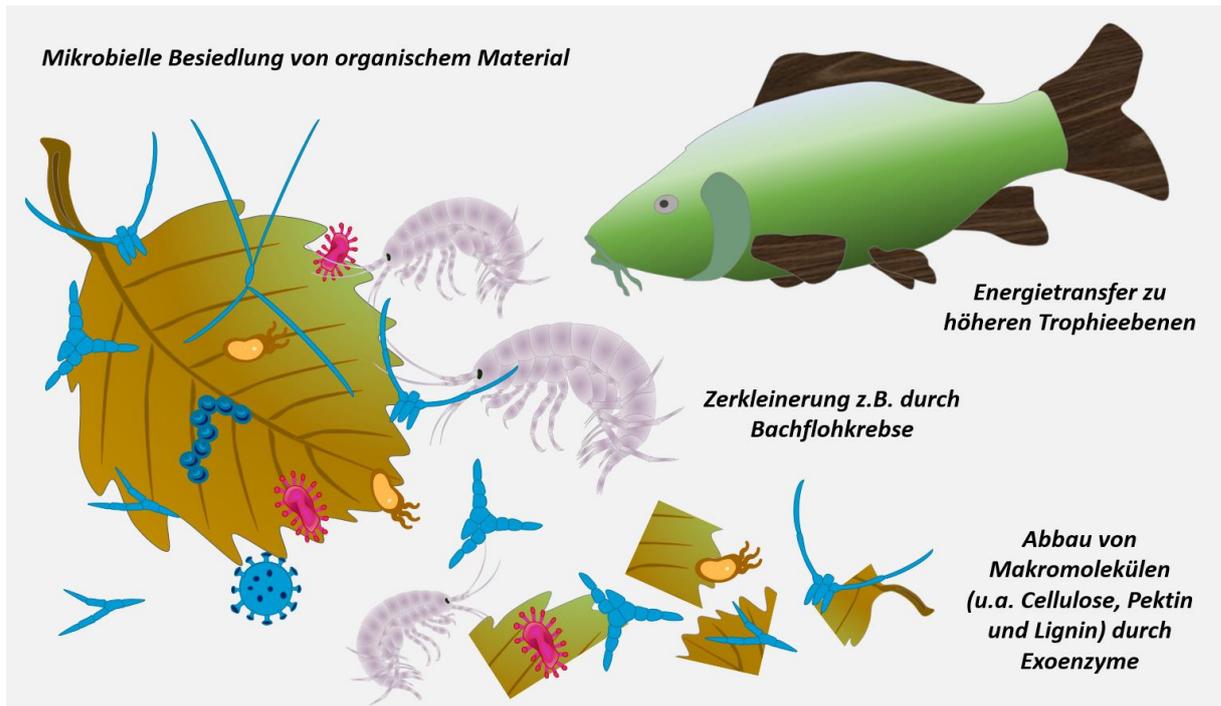


Abb. 2: Schematische Darstellung der ‚Bottom-up‘ Funktion von Mikroorganismen in Gewässern. Die Mikroorganismen besiedeln in diesem Beispiel ein Laubblatt und beginnen mit der ersten Stufe des Abbaus, sodass die Nahrungsqualität für höhere Zersetzer, wie den Bachflohkrebs steigt, der wiederum Beutetier von Fischen ist. Das organische Material wird in diesem Prozess immer kleiner, während die mikrobielle Besiedlung und Zersetzung weiter fortschreiten. Quelle: UBA, eigene Darstellung.

Aquatische Pilze in der Risikobewertung

Die Vielfalt und Funktionsfähigkeit aquatischer Pilzgemeinschaften könnten durch Umweltchemikalien wie Pflanzenschutzmittel gefährdet werden (Staley et al., 2015), die über Sprühabdrift oder Oberflächenabfluss in Gewässer gelangen (z. B. Hitzfeld et al., 2024). Dennoch wird das gesamte Reich der Pilze im Gegensatz zu Pflanzen und Tieren weder in der Umweltrisikobewertung von Pflanzenschutzmitteln der EU (EFSA, 2013) noch in anderen Stoffvollzügen Europas oder der Welt berücksichtigt.

Die EU Risikobewertung durchläuft ein mehrstufiges Bewertungsverfahren. Dabei werden für den aquatischen Bereich zunächst Labortests mit Standard-Organismen wie Wasserfloh, Alge/Wasserpflanze und Fisch durchgeführt, um mehrere Trophiestufen abzudecken. Unter Berücksichtigung eines Unsicherheitsfaktors wird dann ein möglichst konservativer RAK-Wert (regulatorisch akzeptable Konzentration) für ein Pflanzenschutzmittel oder einen anderen Wirkstoff berechnet. Jährlich

werden auf einem Hektar Acker in Deutschland etwa sieben Kilogramm Pflanzenschutzmittel (bzw. 2,4 kg aktive Wirkstoffe) eingesetzt (UBA, 2023). Rückstände von Pflanzenschutzmitteln (darunter auch viele Fungizide) sind in Oberflächengewässern im µg/L Bereich zu finden und es kommt häufig zur Überschreitung von RAK-Werten (Hitzfeld et al., 2024). Obwohl Fungizide die weltweit am zweithäufigsten angewandte Pflanzenschutzmittelgruppe ist (Pimentão et al., 2024), werden in der Risikobewertung allerdings keine spezifischen Pilztests gefordert. Stattdessen wird davon ausgegangen, dass die Standardtests mit anderen Organismen auch die Toxizität für Pilze abdecken (Maltby et al., 2009; Rico et al., 2019). Es stellt sich daher die Frage, ob die derzeitige Risikobewertung von Fungiziden auch für aquatische Pilze sicher ist oder ob Pilzpunkte im Rahmen der Zulassung Berücksichtigung finden sollten.

Vorlaufforschung am Umweltbundesamt

In der Fließ- und Stillgewässersimulationsanlage (FSA, Abb. 3) wird zu diesem blinden Fleck nunmehr bereits seit 10 Jahren im Rahmen verschiedener Mesokosmenprojekte (z. B. Talk et al., 2016) sowie der UBA Dissertation („Unravelling the effects of fungicides on the composition of the leaf litter associated

aquatic mycobiome“, S. Carl) geforscht. Seit 2022 läuft zudem das Eigenforschungsprojekt „Aqua Fungi at Risk“ (*Aquatische Pilze als neue Nichtzielorganismen in der Umweltrisikobewertung von fungiziden Wirkstoffen?* REFO Plan FKZ 3722674020).



Abb. 3: Blick auf den Außenbereich und die Halle der Fließ- und Stillgewässersimulationsanlage (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalienforschung-im-uba/fluess-stillgewaesser-simulationsanlage-fsa>) des Umweltbundesamtes in Berlin-Marienfelde. Quelle: UBA, eigene Aufnahme.

Im Rahmen der UBA Dissertation wurde zunächst untersucht, wie sich die Zusammensetzung aquatischer Pilzgemeinschaften beim Transfer vom Feld ins Labor verändert und inwieweit naturnahe Gemeinschaften unter Laborbedingungen abgebildet werden können (Carl et al., 2022). Dazu wurden Blätter der Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) in Laubsäcke eingelegt, in einem Referenzgewässer mit aquatischen Pilzen besiedelt und in verschiedene Laboransätze transferiert. Anschließend wurde eine Gemeinschaftsanalyse mittels Hochdurchsatzsequenzierung durchgeführt („Next Generation Sequencing“, NGS), um die Zusammensetzung der Gemeinschaften aus den Laboransätzen mit der des Referenzgewässers zu vergleichen. Dabei wurde die DNA aus Blattproben extrahiert und ein bestimmter Genabschnitt mittels einer Polymerasekettenreaktion (PCR) vervielfältigt. Es folgte die Sequenzierung und die Zuweisung der Gensequenzen zu bestimmten Pilzarten durch den Abgleich mit Datenbanken. Die Analyse zeigte nur geringe Unterschiede in der Zusammensetzung der Gemeinschaften, die im Anschluss an die Besiedelung im Referenzgewässer über mehrere Wochen in zwei verschiedenen Aquariumsansätzen mit Bachwasser oder einem Standardmedium gehalten wurden. Eine Neubesiedelung von sterilisierten Blättern mit zerkleinertem Blattmaterial, das zuvor in dem Referenzgewässer besiedelt wurde, wies jedoch verglichen mit den Feldbedingungen auf eine Verarmung der Pilzgemeinschaft hin.

In einer zweiten Studie (Carl et al., 2023, Publikation derzeit im peer-review Prozess) wurden dann die potentiellen Effekte eines Beispieldungizids (Penconazol) auf die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaft in verschiedenen Mikrokosmen-Ansätzen untersucht. Bei der Neubesiedelung von sterilisiertem Blattmaterial wurde hier mittels NGS ein starker Effekt auf den Besiedelungserfolg und die Vielfalt der Pilzgemeinschaft in Fließgewässermikrokosmen festgestellt, auch wenn die Gemeinschaft trotz der Nutzung komplexerer Systeme erneut eine geringere Komplexität im Vergleich zum Referenzbach aufwies. Zudem wurden bei vorbesiedelten Blättern, die mit

dem Fungizid behandelt wurden, geringere Ergosterol-Gehalte beobachtet.

Ergosterol kommt vor allem in der Zellmembran höherer Pilze vor (Abb. 4) und eignet sich daher gut als Summenparameter für Pilzbiomasse. Die Hauptfunktion des Moleküls besteht in der Stabilisierung der Zellmembran. Triazol-Fungizide wie Penconazol hemmen die Ergosterol-Synthese, sodass dieser Parameter auch als ökotoxikologischer Endpunkt herangezogen werden kann (Ittner et al., 2018).

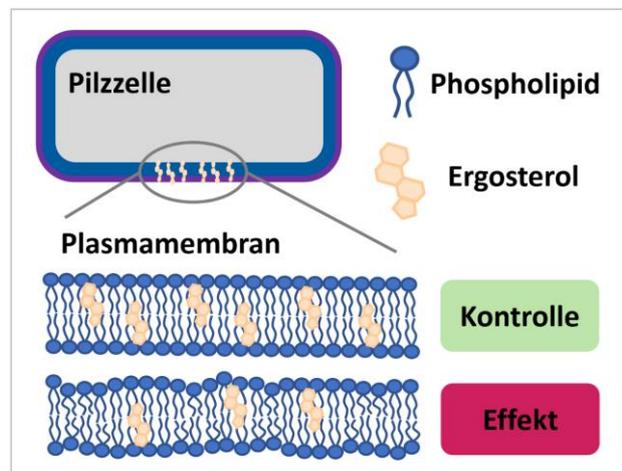


Abb. 4: Schematische Darstellung der Pilzellmembran ohne und mit Störung der Sterol-Synthese. Quelle: UBA, eigene Darstellung.

Die analytische Methode zur Bestimmung von Ergosterol wurde im Spurenanalytik-Labor an die instrumentelle Ausstattung angepasst und bestehende Methoden (Mille-Lindblom und Tranvik, 2003; Verma et al., 2002; Gessner, 2020) in einem neuen Messprotokoll vereinfacht und optimiert (Veröffentlichung der Methode in Vorbereitung). Dazu werden Blattscheiben zunächst gefriergetrocknet, unter Verwendung von Trockeneis homogenisiert und in methanolischem Kaliumhydroxid aufgeschlossen. Es folgt eine flüssig-flüssig Extraktion mit Cyclohexan sowie der Nachweis über LC-MS/MS.

Im Folgeprojekt „Aqua Fungi at Risk“ werden derzeit klassische Nicht-Zielorganismen wie Plankton, Makrophyten und Makrozoobenthos mit etablierten und neuen ökotoxikologischen Endpunkten für aquatische Pilze verglichen. Dazu wurde über 365 Tage eine Mesokosmenstudie mit durchströmten Teichen durchgeführt. Neben den Pilz-Endpunkten Biomasse (Ergosterol) und der Zusammensetzung der Pilzgemeinschaft (NGS) wird hier auch die in Studien weit verbreitete Sporulationsanalyse als weiterer ökotoxikologischer Endpunkt für die Gemeinschaftsstruktur herangezogen (Ittner et al., 2018). Dabei werden die auf den Blättern siedelnden Pilze zur Bildung von Sporen angeregt, die dann im Anschluss mikroskopisch bestimmt und gezählt werden. Als Wirkstoff für die Studie wurde Tebuconazol (TBZ) aufgrund seiner hohen Herstellungstonnage und der vergleichsweise guten Studienlage als Beispielfungizid ausgewählt. TBZ ist ebenfalls ein Triazol-Fungizid, welches in aquatischen Ökosystemen persistent, sowie toxisch für viele aquatische Organismen ist (ECHA, 2013).

Über die Mesokosmenstudie hinaus wurden zudem Reinkulturversuche mit neun aquatischen Pilzarten durchgeführt, in denen die Wirkung verschiedener TBZ Konzentrationen auf das Wachstum der Pilze in einem einfachen Hemmtest mit einem flüssigen Standardmedium für Pilze untersucht wurde. Bei den ausgewählten Pilzen handelt es sich um aquatische Hyphomyceten, die in laufenden Versuchen isoliert und am Leibniz Institut Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) als wichtige Vertreter der aquatischen Pilzgemeinschaft identifiziert und hinterlegt wurden. Als ökotoxikologischer Endpunkt wurde zunächst das Trockengewicht der Pilze nach einer Expositionszeit von 10-20 Tagen herangezogen. Hierbei konnten die zuvor gefundenen unterschiedlichen Sensitivitäten der verschiedenen Arten gegenüber Fungizid-Stress bestätigt werden. Gleichzeitig deutet sich durch unterschiedliche TBZ Rückstände im Medium am Ende der Versuche an, dass verschiedene Pilzarten unterschiedlich auf die Fungizid-Exposition reagieren. Um Hinweise auf mögliche Ursachen dieser Unterschiede zu erhalten, werden daher derzeit Ergosterol als weiterer ökotoxikologischer Parameter der Reinkulturversuche untersucht sowie Gehalte einiger TBZ Metabolite im Medium bestimmt. Die Veröffentlichungen dieser sowie weiterer Ergebnisse aus dem Mesokosmenversuch befinden sich in Vorbereitung.

Fazit und Ausblick

Die Tatsache, dass ein ganzes Reich innerhalb der Systematik der Lebewesen in der Risikobewertung von Umweltchemikalien unberücksichtigt bleibt, ist mindestens im Bezug auf das Schutzgut Biodiversität zu überdenken. Auch außerhalb des UBA legt eine wachsende Anzahl an Studien diesbezüglich ein Umdenken im Chemikalienmanagement nahe (Ittner et al., 2018; Gonçalves et al., 2024, u. a.). Klassische Methoden der Ökotoxikologie lassen sich gut durch moderne molekulare Verfahren wie die -omics Methoden ergänzen, um potentielle Risiken abzuklären. Allerdings besteht bei der Suche nach möglichen Standardtestverfahren trotz einzelner vielver-

sprechender Ansätze (z. B. Nagai, 2020) weiterhin Forschungsbedarf. So bleibt die Frage nach der Ursache für die unterschiedliche Stressresistenz bestimmter Pilzarten nach wie vor offen, wodurch die Definition von Indikatororganismen und Standardbedingungen erschwert wird. Insgesamt sollten Pilze aber weder in der aquatischen noch in der terrestrischen Ökotoxikologie vernachlässigt werden, da nur so ein mechanistisches Verständnis biologischer Funktionen erreicht werden und das Risiko für die Vielfalt und Funktion dieser überaus wichtigen Saprobien minimiert werden kann.

Literatur

- Bärlocher, F., 2016. Aquatic hyphomycetes in a changing environment. *Fungal Ecology* 19, 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.05.005>
- Carl, S., Mohr, S., Sahm, R., Baschien, C., 2022. Laboratory conditions can change the complexity and composition of the natural aquatic mycobiome on *Alnus glutinosa* leaf litter. *Fungal Ecology* 57–58, 101142. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2022.101142>
- Carl, S., Baschien, C., Mohr, S., Kusebauch, B., Sahm, R., 2023. Can the fungicide penconazole alter the community composition of the aquatic mycobiome on leaf litter? Conference Report SETAC GLB Muttentz 2023 <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32840.70408>
- Dang, C.K., Gessner, M.O., Chauvet, E., 2007. Influence of conidial traits and leaf structure on attachment success of aquatic hyphomycetes on leaf litter. *Mycologia* 99, 24–32. <https://doi.org/10.1080/15572536.2007.11832597>
- ECHA, 2013. Opinion proposing harmonised classification and labelling at EU level of tebuconazole. CLH-O-00002717-69-02/F, adopted 5 June 2013.
- EFSA, 2013. Guidance on tiered risk assessment for plant protection products for aquatic organisms in edge-of-field surface waters. *EFSA Journal* 11, 3290 <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3290>
- Feckler, A., Bundschuh, M., 2020. Decoupled structure and function of leaf-associated microorganisms under anthropogenic pressure: Potential hurdles for environmental monitoring. *Freshwater Science* 39, 652–664. <https://doi.org/10.1086/709726>
- Gessner, M.O., 2020. Ergosterol as a Measure of Fungal Biomass, in: Bärlocher, F., Gessner, M.O., Graça, M.A.S. (Eds.), *Methods to Study Litter Decomposition*. Springer International Publishing, Cham, pp. 247–255. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30515-4_27
- Gessner, M.O., Gulis, V., Kuehn, K.A., Chauvet, E., Suberkropp, K., 2007. Fungal Decomposers of Plant Litter in Aquatic Ecosystems, in: Kubicek, C.P., Druzhinina, I.S. (Eds.), *Environmental and Microbial Relationships, The Mycota*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 301–324. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71840-6_17
- Gonçalves, A.L., Chauvet, E., Bärlocher, F., Graça, M.A.S., Canhoto, C., 2014. Top-down and bottom-up control of litter decomposers in streams. *Freshwater Biology* 59, 2172–2182. <https://doi.org/10.1111/fwb.12420>

- Gonçalves, S., Pollitt, A., Pietz, S., Feckler, A., Bundschuh, M., 2024. Microbial community history and leaf species shape bottom-up effects in a freshwater shredding amphipod. *Science of The Total Environment* 912, 168926. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168926>
- Hitzfeld, K.L., Weisner, O., Müller, A., Pickl, C., 2024. Pflanzenschutzmittel-Rückstände in kleinen Gewässern der Agrarlandschaft – Handlungsbedarf besteht weiter. *Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie*, 30(1), 10-13.
- Ingold, C.T., 1942. Aquatic hyphomycetes of decaying alder leaves. *Transactions of the British Mycological Society* 25, 339-IN6. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(42\)80001-7](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(42)80001-7)
- Ittner, L.D., Junghans, M., Werner, I., 2018. Aquatic fungi: a disregarded trophic level in ecological risk assessment of organic fungicides. *Frontiers in Environmental Science* 6, 105. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00105>
- Maltby, L., Brock, T.C.M., van den Brink, P.J., 2009. Fungicide risk assessment for aquatic ecosystems: importance of interspecific variation, toxic mode of action, and exposure regime. *Environmental Science & Technology* 43, 7556–7563. <https://doi.org/10.1021/es901461c>
- Mille-Lindblom, C., Tranvik, L.J., 2003. Antagonism between bacteria and fungi on decomposing aquatic plant litter. *Microbial Ecology* 45, 173–182. <https://doi.org/10.1007/s00248-002-2030-z>
- Nagai, T., 2020. Sensitivity differences among five species of aquatic fungi and fungus-like organisms for seven fungicides with various modes of action. *Journal of Pesticide Science* 45, 223–229. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D20-035>
- Pimentão, A.R., Cuco, A.P., Pascoal, C., Cássio, F., Castro, B.B., 2024. Current trends and mismatches on fungicide use and assessment of the ecological effects in freshwater ecosystems. *Environmental Pollution* 347, 123678. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123678>
- Rico, A., Brock, T.C.M., Daam, M.A., 2019. Is the effect assessment approach for fungicides as laid down in the European Food Safety Authority Aquatic Guidance Document sufficiently protective for freshwater ecosystems? *Environmental Toxicology and Chemistry* 38, 2279–2293. <https://doi.org/10.1002/etc.4520>
- Runnel, K., Tedersoo, L., Krah, F.-S., Piepenbring, M., Scheepens, J.F., Hollert, H., Johann, S., Meyer, N., Bässler, C., 2024. Toward harnessing biodiversity–ecosystem function relationships in fungi. *Trends in Ecology & Evolution* S0169534724002556. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2024.10.004>
- Seena, S., Baschien, C., Barros, J., Sridhar, K.R., Graça, M.A.S., Mykrä, H., Bundschuh, M., 2023. Ecosystem services provided by fungi in freshwaters: a wake-up call. *Hydrobiologia* 850, 2779–2794. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05030-4>
- Shearer, C.A., Descals, E., Kohlmeyer, B., Kohlmeyer, J., Marvanová, L., Padgett, D., Porter, D., Raja, H.A., Schmit, J.P., Thorton, H.A., Voglymayr, H., 2007. Fungal biodiversity in aquatic habitats. *Biodiversity and Conservation* 16, 49–67. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9120-z>
- Staley, Z.R., Harwood, V.J., Rohr, J.R., 2015. A synthesis of the effects of pesticides on microbial persistence in aquatic ecosystems. *Critical Reviews in Toxicology* 45, 813–836. <https://doi.org/10.3109/10408444.2015.1065471>
- Talk, A., Kublik, S., Uksa, M., Engel, M., Berghahn, R., Welzl, G., Schloter, M., Mohr, S., 2016. Effects of multiple but low pesticide loads on aquatic fungal communities colonizing leaf litter. *Journal of Environmental Sciences* 46, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.11.028>
- Tsui, C.K.M., Baschien, C., Goh, T.-K., 2016. Biology and Ecology of Freshwater Fungi, in: Li, D.-W. (Ed.), *Biology of Microfungi, Fungal Biology*. Springer International Publishing, Cham, pp. 285–313. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29137-6_13
- UBA, 2023. Pflanzenschutzmittelverwendung in der Landwirtschaft. URL <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/pflanzenschutzmittelverwendung-in-der#absatz-von-pflanzenschutzmitteln>, letzter Zugriff 13.11.2024.
- Verma, B., Robarts, R.D., Headley, J.V., Peru, K.M., Christofi, N., 2002. Extraction efficiencies and determination of ergosterol in a variety of environmental matrices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33, 3261–3275. <https://doi.org/10.1081/CSS-120014521>

Korrespondenzadresse

Steffen Carl
 FG Spurenanalytik, Fließ- und Stillgewässersimulation
 Umweltbundesamt
 12307 Berlin-Marienfelde
 Tel: 030 8903 4279
 E-Mail: Steffen.Carl@uba.de



Advanced Chromatographic Approaches for the Comprehensive Analysis of Emerging Contaminants in Wastewater Effluents

Selina Tisler¹ (seti@plen.ku.dk), Kristoffer Kilpinen^{1,2} (Kristoffer.Kilpinen@etn.eurofins.com), Jason Devers¹ (jpd@plen.ku.dk), Mathias Blichert Jørgensen¹ (mblichert@plen.ku.dk), Jan H. Christensen¹ (jch@plen.ku.dk)

¹ Analytical Chemistry, Department of Plant and Environmental Science, University of Copenhagen, Denmark

² Eurofins Environment Denmark, Vejen, Denmark

Abstract

This study explores the wastewater analysis of contaminants of emerging concern (CECs) in wastewater effluents using Liquid Chromatography (LC), Supercritical Fluid Chromatography (SFC), and Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography (GC×GC) with derivatization, all coupled to high-resolution mass spectrometry (HRMS). These methods facilitated the identification of over 300 compounds, including frequently overlooked highly polar and non-pharmaceutical CECs. The findings demonstrate that correlation clusters in effluent samples can differentiate between easily degradable and persistent compounds, associate rain-influenced CECs with transformation products from household sources, and identify industrial contributions as source and event origins.

Introduction

The landscape of chemical usage in Europe is vast and continuously expanding, with over 100,000 chemicals in current circulation and more compounds introduced to the market every day. This comes with significant environmental consequences, as the majority of these substances eventually find their way into the aquatic environment, where they undergo transformations, ending up as numerous unknown compounds [1,2]. Nowhere is this more evident than in wastewater, where thousands of chemical compounds are discharged, posing a challenge for environmental management. Despite the extensive monitoring efforts, less than 10% of the observed wastewater toxicity can be directly linked to CECs identified through chemical analysis [3]. This underscores the need for a paradigm shift in water monitoring strategies. Instead of solely focusing on a limited set of legacy chemicals, there is a growing attention to adopt a more holistic approach, shifting the focus towards understanding complex chemical mixtures by non-target screening [4]. Central to this transition is the careful selection of analytical platforms. While conventional methods like reversed phase LC are widely used due to their versatility in covering a broad range of water-relevant compounds, they fall short in detecting very polar and volatile substances, which can be responsible for toxicity [5]. Hence, chromatographic techniques focusing on polar compounds such as SFC, IC, and HILIC are gaining attention for their potential to address these limitations. Strategies for analyzing volatile and semi-volatile compounds by non-target screening in water remain rare [6]. The objective of this study was to establish correlations within and between chemical and meta data (i.e. operational and monitoring data) of two wastewater treatment plants (WWTPs),

with the goal of pinpointing potential sources and events occurring within wastewater effluent that drive CEC discharge. The study employed a combination of analytical techniques (LC, SFC and GC×GC) to generate comprehensive fingerprints.

1. Material and Methods

Effluent samples were taken flow proportional as 4-hour composite samples at different times and days between April and June 2021 for two WWTPs in Denmark (51 effluent samples in total). In addition, two 24-hour composite influent samples were taken from each WWTP. The catchment area of WWTP 1 was a more rural area, with the influence of landfill and industrial sites. WWTP 2 was in the catchment area of the capital city Copenhagen. The samples were filtered and enriched 50 times with a multi-layer solid phase extraction, described previously [2]. The MeOH extract was directly injected for analysis using both LC and SFC. For GC×GC, each sample was derivatized with MSTFA (N-methyl-N-(trimethylsilyl)trifluoroacetamide) following previously optimized reaction conditions [7]. All three platforms were equipped with quadrupole time-of-flight (QTOF) mass spectrometers. A summary of the analytical and data processing methods for the three platforms is provided in Table 1, with detailed descriptions available in prior publications [8,9].

A combination of non-target and suspect screening of wastewater relevant compounds was conducted via LC, SFC and GC×GC with derivatization. All three platforms were connected to quadrupole time of flight (QTOF) mass spectrometers. In Table 1 the analytical and data processing methods are summarized for the three platforms.

Table 1: Methods and software for identification of suspect compounds on the respective chromatographic platforms.

| | LC | SFC | GCxGC with derivatization |
|--------------------------|---|--|---|
| Chromatographic columns | Intensity Solo 1.8 C-2, 100 x 2.1 mm column (Bruker, Hamburg, Germany) | Acquity UPC2 BEH column (3 mm x 100 mm and 1.7 µm pore size) (Waters, Milford, MA) | Zoex ZX2 cryogen-free modulator (Zoex Corporation, Houston, TX, USA); first dimension: Rxi-5Sil MS column (60 m, 0.25 mm i.d., 0.25 µm film thickness), second dimension: Rxi-17Sil MS column (1.5 m, 0.18 mm i.d., 0.18 µm film thickness) (Restek, Bellefonte, Pennsylvania, U.S.A) |
| Instrument | Elute HT LC QTOF: Impact 2 QTOF equipped with VIP-HESI ion source (Bruker, Hamburg, Germany) | Acquity UPC2 G2-Si Synapt QTOF with ESI (Waters, Milford, MA) | Agilent 7890B GC coupled to an Agilent 7200 Accurate Mass QTOF with EI (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) |
| Software data processing | TASQ 2021b (Bruker, Hamburg, Germany) | MSDial (version 4.90 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4449330/) | MassHunter (Agilent version: B.07.02.1938 and GC-Image LLC (version: 2.9R1.1) |
| Suspect library | Targetscreener TOX and Pesticide Database v4.0 (Bruker, Hamburg, Germany) database and in-house database, where a reference standard has previously been analyzed on the same setup | STOFF-IDENT database with MS/MS data from MoNA or generated in-silico (CFM-ID 4.4.7) | NIST library |

2. Results and Discussions

2.1. Chemical characterization of samples

A total of 336 unique CECs were detected in the effluent wastewater samples by at least one of the three analytical methods. 154 targets and suspects were detected by GCxGC-HRMS, 134 by RP-LC-HRMS and 110 with SFC-HRMS. The methods with most detections in common were LC and SFC where 38 CECs were detected with both methods. In contrast, GCxGC provided the most unique information as only 15 and 20 CECs were in common between GCxGC and RP-LC and SFC, respectively (Figure 1D). The confidence level was 1 for 139 compounds (i.e. analytical standard available) and confidence level 2 for the remaining compounds. For all three platforms, the suspect libraries/databases included water relevant compounds. However, different libraries, operational conditions, thresholds and data processing tools can favor compounds on one over the other method. This can limit the analytical coverage of compounds. Therefore, it is important to use complementary tools in suspect screening, not just considering chromatography, but also in terms of software and libraries.

The highest median molecular mass and polarity (log D at pH 7.4) was observed for compounds identified by LC (Figure 1 A, B). The widest range in molecular mass and polarity was observed for SFC, whereas GCxGC detected in average the lowest molecular weight compounds. As expected, the deri-

vated GC compounds had the highest Henry's law constant (k_H) with median values of $3E^{-8}$, $9E^{-9}$, $3E^{-9}$ for GC, SFC and LC, respectively (Figure 2C). This shows the importance of including GCxGC with derivatization for very polar and semi-volatile compounds, even though the very volatile compounds will be lost because of the sample preparation workflow (evaporation to dryness for derivatization). To our knowledge, this is the first study showing the advantage of using GCxGC with derivatization to expand the detection capabilities for persistent and mobile compounds in wastewater.

The identified CECs were all present in Pubchem, which was used to annotate the use of these compounds (Figure 2E). For LC, >75% of the compounds were annotated to specific use, whereas >90 % of these were related to pharmaceuticals. For SFC and GCxGC, >50 % of the compounds were without annotation. The remaining annotated compounds were allocated to pharmaceutical (83 % SFC and 72 % GCxGC) and industrial use (8 % SFC and 19 % GCxGC). Pesticides/biocides was the highest for LC with 11 compounds and the lowest for SFC with two compounds, which confirms previous analysis, where pesticides showed better retention with the RP-LC method compared to the polar SFC method [7]. With SFC and GCxGC, industrial compounds were also higher represented compared to LC.

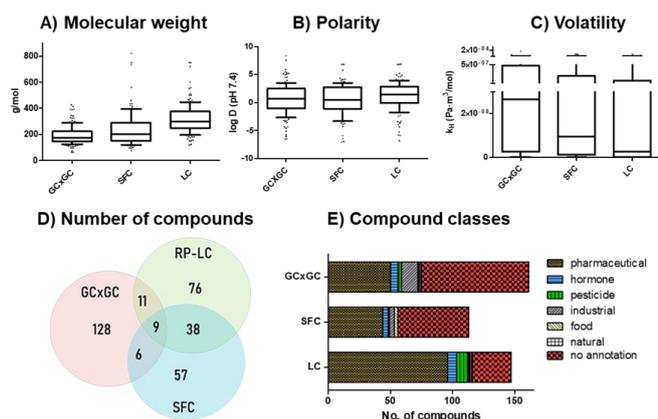


Figure 1: Box-plot distribution (10-90% range) of all detected chemicals at the respective platform regarding molecular weight (A), polarity as log D value at pH 7.4 (B) and volatility as Henry law constant (k_H) (C). The Venn-Diagram shows the intersection of detected CECs by the respective workflow and (D) shows the annotation of the detected compounds for each of the three methods.

Most of the compounds were detected in both WWTPs. Seven compounds showed >99 % higher peaks in the capital region effluents of WWTP A compared to WWTP B (7,4'-dihydroxyisoflavone, allyl propyl disulfide, 11-nor-9-carboxy- Δ^9 -tetrahydrocannabinol, phthalimide, quinine, 6PPD-quinone, naproxen) and six compounds showed peaks >99 % in W-B compared to W-A (paclobutrazol, 1,1-dichloro-2,2-diphenylethane, eugenol, thiachlopid, diphenyl-phosphonic acid, fenhexamid).

2.2. Correlation between CECs and meta data

Correlation was established between the CECs and metadata of WWTP A (Figure 2). In the following, the two correlation clusters with most CECs included are explained more in detail.

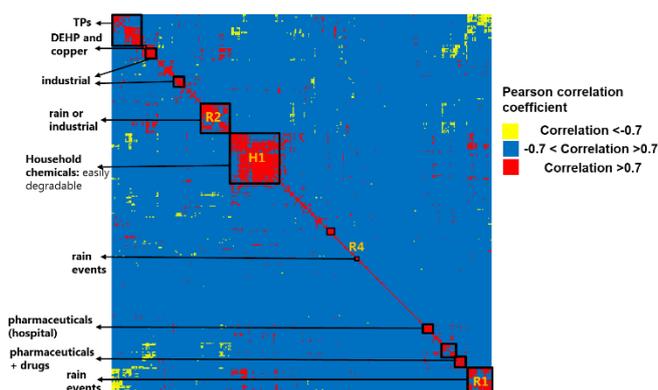


Figure 2: Correlation heatmaps for all variables (336 compounds and metadata) for WWTP A. Clusters are indicated by a black frame.

2.2.1. Correlations including household chemicals

The cluster with most variables (H1 in Figure 2) includes chemicals which can be assigned to typical household chemicals, such as caffeine, nicotine, or common pharmaceuticals as atenolol, naproxen, ibuprofen and valsartan. These chemicals are known to degrade easily in WWTPs [8]. The influent flow

(m³/h) as variable was also present in cluster H1, showing that the time of the day was a driving factor for the chemical concentration and for the inflow. Flow and chemicals were peaking for samples taken at 8 pm as a 4-hour composite sample and decreasing in intensity for samples taking from 8 am in the morning. Samples highly influenced by rain events (5 to 13 mm within the last 48 h prior to sampling) are coined by an overall higher flow. The compounds from this pattern (H1) follow the flow trend - the higher the flow rate, the higher the concentration of the compounds in effluents, which could be explained by lower hydraulic retention time (HRT): Compounds have less time to degrade, which results in higher concentration in the effluent. Thus, in the investigated WWTP, the overall efficiency is decreasing by rain events. Compounds from household are discharged with higher concentration after a rain event, even though the wastewater flow from households is diluted by rain water.

2.2.2. Rain event correlations

CECs in the second biggest clusters were related to rain events (Figure 3, R1 and R2). In the sampling period, three rain events were captured, which were affecting 11 of the 18 samples. The precipitation was directly correlating to 15 CECs in R1. The compounds could be classified to seven pesticides/biocides (6 out of 7 were fungicides), rubber antioxidants (6 PPD and its TP 6PPD-Q), vulcanization accelerators (1,3-diphenylguanidine and benzothiazole-2-sulfonic acid), fire retardant (triphenylphosphate) and industrial or various classes of use (2,4-di-tert-pentylphenol, hexylamine, umbelliferone).

Three compounds were clustering as R2 and showed highest intensities in three samples (15-17) after the highest consecutive rain event in the catchment area. The compounds were hexamethoxymethylmelamine (cross-link agent for rubbers), terbutryn (herbicide used as biocide) and 3,3-diphenylacrylonitrile (industrial).

Rain events significantly impact pollution levels through WWTP discharges, highlighting the challenges in developing effective advanced treatment strategies for rain-influenced wastewater. However, our study also reveals opportunities to track rain-related CEC discharge patterns by establishing correlations.

3. Conclusion

In conclusion, we showed that analyzing samples on other platforms than RP-LC-HRMS greatly enhanced the number of CECs detected, with GCxGC -HRMS almost doubling the number of unique compounds detected compared to the RP-LC-HRMS. Many CECs clustered based on their sources and WWTP flow rates, with their occurrence varying significantly over time and being strongly influenced by rain events. Further research is essential to better understand the sources, behavior, and toxicological impacts of emerging contaminants in wastewater systems.

4. References

1. Schollée, J. E., Schymanski, E. L., Avak, S. E., Loos, M., & Hollender, J. (2015). Prioritizing unknown transformation products from biologically treated wastewater using high-resolution mass spectrometry, multivariate statistics, and metabolic logic. *Analytical Chemistry*, 87(24), 12121–12129. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b02905>
2. Tisler, S., Engler, N., Jørgensen, M. B., Kilpinen, K., Tomasi, G., & Christensen, J. H. (2022). From data to reliable conclusions: Identification and comparison of persistent CECs and transformation products in 37 wastewater samples by non-target screening prioritization. *Water Research*, 219:118599. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118599>
3. Neale, P. A., O'Brien, J. W., Glauch, L., König, M., Krauss, M., Mueller, J. F., Tschärke, B., & Escher, B. I. (2020). Wastewater treatment efficacy evaluated with in vitro bioassays. *Water Research X*, 9:100072, <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2020.100072>
4. Hollender, J., Schymanski, E. L., Singer, H. P., & Ferguson, P. L. (2017). Nontarget screening with high resolution mass spectrometry in the environment: ready to go? *Environmental Science and Technology*, 51(20), 11505–11512. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02184>
5. Zahn, D., Neuwald, I. J., & Knepper, T. P. (2020). Analysis of mobile chemicals in the aquatic environment - current capabilities, limitations and future perspectives. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412(20), 4763–4784. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02520-z>
6. Hollender, J., Schymanski, E. L., Ahrens, L., Alygizakis, N., Béen, F., Bijlsma, L., Brunner, A. M., Celma, A., Fildier, A., Fu, Q., Gago-Ferrero, P., Gil-Solsona, R., Haglund, P., Hansen, M., Kaserzon, S., Kruve, A., Lamoree, M., Margoum, C., Meijer, J., Krauss, M. (2023). NORMAN guidance on suspect and non-target screening in environmental monitoring. *Environmental Sciences Europe*, 35(1), 75. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00779-4>
7. Lacina P., Mravcová L., Vávrová M (2013). Application of comprehensive two-dimensional gas chromatography with mass spectrometric detection for the analysis of selected drug residues in wastewater and surface water, *Journal of Environmental Sciences*, 25 (1). [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60006-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60006-0)
8. Kilpinen, K., Devers, J., Castro, M., Tisler S., Jørgensen M., Christensen, Jan H. (2023): Catchment area, fate, and environmental risks investigation of micropollutants in Danish wastewater. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 121107–121123 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30331-z>
9. Tisler, S., Savvidou, P., Jørgensen, M. B., Castro, M., & Christensen, J. H. (2023). Supercritical fluid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry reveals persistent mobile organic compounds with unknown toxicity in wastewater effluents. *Environmental Science & Technology*. 57(25), 9287–9297. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00120>
10. Margot, J., Rossi, L., Barry, D. A., & Holliger, C. (2015). A review of the fate of CECs in wastewater treatment plants. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(5), 457–487. <https://doi.org/10.1002/wat2.1090>

Korrespondenzadresse

Selina Tisler
 Analytical Chemistry,
 Department of Plant and Environmental Science,
 University of Copenhagen
 Thorvaldsensvej 40
 1871 Frederiksberg
 Denmark
 E-mail: seti@plen.ku.dk

Professur für Technische Chemie und Umweltchemie, Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen, Ernst-Abbe-Hochschule Jena



Prof. Dr. Christoph Koch

Beruflicher Werdegang

Vor seiner Ernennung zum Professor an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena hat Herr Koch sieben Jahre lang beim Dämmstoffhersteller ROCKWOOL gearbeitet. Zuletzt leitete er dort konzernweit den Bereich Regulatory Affairs Health & Safety und saß dem gleichnamigen Ausschuss des europäischen Dachverbands der Mineralwollehersteller in Brüssel vor. Neben der regulatorischen Toxikologie widmete er sich in dieser Zeit auch der Planung (öko)toxikologischer Studien und Arbeiten zum Abbauverhalten von künstlichen Mineralfasern und -partikeln. Neben seiner Tätigkeit war Herr Koch Lehrbeauftragter für das Modul „European Environmental Legislation“ an der Universität Duisburg-Essen, wo er auch 2019 seine Promotion zum Abbau und der Ökotoxikologie von Polymeren abschloss.

Forschung

Im Jahr 2021 übernahm Herr Koch die Professur für „technische Chemie und Umweltchemie“ im Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena. Seine Forschungsschwerpunkte liegen hier weiterhin auf der regulatorischen Toxikologie, aber auch die Umweltanalytik spielt eine große Rolle. Nach vorherigen Arbeiten im aquatischen Bereich, hat sich Herr Koch kürzlich auch der Umweltmatrix Boden zugewandt. So führte er eine Studie zur Schadstoffkontamination von knapp 250 Böden in privaten Gärten in Thüringen durch, um herauszufinden, ob diese einen unbeachteten Expositionsweg darstellen. Zum Team von Herrn Koch gehören drei Mitarbeitende (Dr. Maria Peter, Dr. Luise Knoblich, M.Sc. Patrick Knicknie), die ihn sowohl in Forschung als auch Lehre unterstützen.



Versuche mit Daphnien gehören zum Standardrepertoire in der regulatorischen Toxikologie.

Für Forschungsarbeiten und Laborpraktika stehen diverse Geräte in den Räumen von Herrn Koch bereit. So ist ein Bereich der Laborflächen den verschiedenen Schritten der Probenvorbereitung (Aufschlussmikrowelle, Schüttelturm, Probenteiler, Mühlen, etc.) gewidmet. Die Analytik findet mittels klassischer (automatisierte Volumetrie und Gravimetrie) und instrumenteller Methoden statt. Letztere umfassen sowohl chromatographische (DC, HPLC, IC etc.) als auch spektroskopische Systeme (UV-VIS, TOC/TN, AAS etc.). Ein besonderer Fokus liegt zudem auf der mobilen Analytik unter anderem mittels RFA und Photometrie. Ergänzt wird die Laborausstattung durch Geräte in benachbarten Arbeitsgruppen der Hochschule (FT-IR, Fluoreszenzspektroskopie, Nano-Partikelmessung etc.).



Methoden wie die Ionenchromatographie werden sowohl in Forschung als auch Lehre genutzt.

Lehre

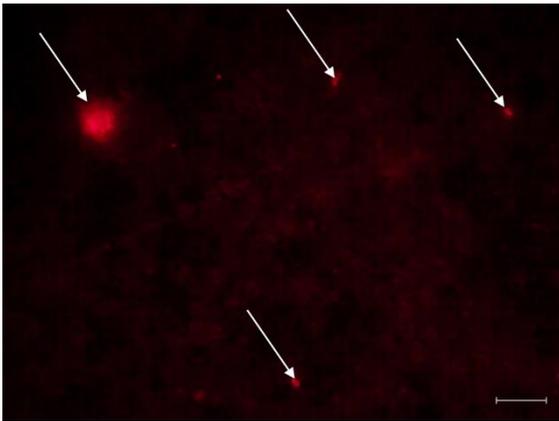
Herr Koch ist insbesondere in den Bachelorstudiengängen „Umwelttechnik“ und „Umwelttechnik und Entwicklung“ an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena involviert. Neben der Grundlagen-Vorlesung zur „Allgemeinen Chemie“, durchlaufen alle Studierenden ebenfalls die von ihm angebotenen Module „Physikalische Chemie“, „Umweltchemie“, „Analytische Chemie“ und „Umweltanalytik und Ökotoxikologie“. Als Studien-

gangsleiter dieser Studiengänge setzt sich Herr Koch für eine sehr praxisnahe Ausbildung der Studierenden ein. Neben Exkursionen gehören obligatorische Laborpraktika zu jedem Modul. Hierbei ist ihm besonders wichtig, dass die Studierenden, wenn möglich, einen persönlichen Bezug zu ihren Studien aufbauen, indem sie entweder selbst Proben mitbringen oder die Probenahme direkt im Feld stattfindet. Auch im Zuge der Analytik sollen die Studierenden möglichst viele Arbeitsschritte selbst durchführen.

Kontakt

Prof. Dr. Christoph Koch
Technische Chemie und Umweltchemie
Ernst-Abbe-Hochschule Jena
Carl-Zeiss-Promenade 2
07745 Jena
03641/205-908
christoph.koch@eah-jena.de

Mit dem Modul „Chemie nachwachsender Rohstoffe“ wird Herr Koch auch im – mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena gemeinsamen angebotenen – Masterstudiengang „Umwelt- und Georessourcenmanagement“ aktiv werden. Die im Bereich der technischen Chemie und Umweltchemie geschriebenen Bachelor- und Masterarbeiten finden in der Regel in Kooperation mit (über)regionalen Unternehmen statt, werden aber auch teilweise arbeitsgruppenintern zu aktuellen Forschungsthemen wie der Detektion von Mikroplastik in Böden durchgeführt.



Fluoreszierende Mikroplastikpartikel in der Bodenmatrix nach Anfärbung mit Nilrot.

Nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Lehre ist Herr Koch bestrebt, neue Wege zu gehen. So veröffentlicht er regelmäßig neue Folgen im Podcast „Chemie erklärt“, in dem es darum geht, chemische Grundlagen einfach zu vermitteln. Zudem entwickelt er mit seinen Mitarbeitenden im von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderten Projekt „Thüringen lehrt und lernt nachhaltig“ asynchrone Lehrangebote im Bereich der Umweltchemie für Thüringer Ingenieure. Desweiteren hat er im Zuge eines Fellowships für digitale Innovationen des Stifterverbands für die deutsche Wissenschaft ein Seminar erarbeitet, in dem Studierende verschiedene zukünftige Berufsfelder kennenlernen. Hierbei nehmen die Studierenden unterschiedliche Rollen innerhalb eines Szenarios ein, bei dem es um die Einleitung von Schadstoffen in einen Fluss geht. Auf diese Weise bekommen die Studierenden Einblicke in Bereiche der Probenahme, Analytik, Sanierung und Chemikalienentwicklung und -bewertung. Überdies engagiert sich Herr Koch im VDI Fachausschuss „Aus- und Fortbildung in der Umwelttechnik“.

Das war die „Umwelt 2024“

Die diesjährige „Umwelt 2024“, die Jahrestagung unserer Fachgruppe, fand in bewährter Tradition Anfang September gemeinsam mit dem SETAC GLB statt. Lokale Ausrichter waren in diesem Jahr die Technische Hochschule Mittelhessen, die Arbeitsgruppe Umweltchemie, Umweltanalytik und Ökotoxikologie der Justus-Liebig-Universität Gießen sowie das Forschungszentrum Neu-Ulrichstein. Gemäß dem Tagungsmotto „Vom Hörsaal zur Praxis & von der Labor- bis zur Feldskala“ fand nach der erfolgreichen Premiere bei der Tagung im Jahr 2014 wieder ein Feldtag statt.

Die Tagung mit ca. 250 Teilnehmenden begann am Sonntagabend an der Technischen Hochschule Mittelhessen mit einem Plenarvortrag von Thomas Backhaus, RWTH Aachen, zu seinen Gedanken zum Zusammenspiel von Umweltwissenschaften und Politik. Wie bereits auf der Jahrestagung im Vorjahr wurde deutlich, wie wichtig es ist, die Ergebnisse der Umweltforschung in die Politik einzubringen. Zum Teil kontrovers wurde beim anschließenden Get-together weiter über den Unterschied zwischen einem Bias, also einer u.U. unbewusst verzerrten Wahrnehmung, und einem Interessenskonflikt, der mit direkten oder indirekten materiellen Vorteilen verbunden ist, diskutiert.



Plenarvortrag von Prof. Masahiro Ryo (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung) zu künstlicher Intelligenz in der Umweltforschung

Die folgenden Tage zeigten die ganze Vielfalt der Umweltchemie und Ökotoxikologie - von der empirischen Wissenschaft über Kommunikation bis zur Nutzung künstlicher Intelligenz (KI). Dabei müssen alle Gebiete gut zusammenspielen, damit die Ergebnisse so gut wie möglich verwertet werden können. Der Plenarvortrag von Markus Flörs vom Zweckverband Landeswasserversorgung in Langenau am Montagmorgen zeigte beispielsweise, wie die Kombination von Non-Target-Screening und effektbasierter Analytik dabei helfen kann, unbekannte Schadstoffe zu identifizieren. Carolin Völker ging in ihrem Plenarvortrag am Mittwoch auf neue Wege in der Kommunikation und im Wissenstransfer ein. Diese müssen im

Rahmen der Forschung mitbedacht und mit ausreichend Ressourcen ausgestattet werden. Möchten Forschende ihre Ergebnisse in die Politikberatung einbringen, so können interdisziplinär angelegte wissenschaftliche Publikationen im Idealfall dazu dienen, dass Personen aus der Politik den Kontakt aufnehmen und sich Expertise einholen. Doch nicht nur in die Politik muss kommuniziert werden, die ganze Gesellschaft sollte bei der Wissenschaftskommunikation zielgruppenorientiert in den Blick genommen werden. Professionelle Unterstützung durch Kommunikationsabteilungen in Universitäten und Behörden ist hier gefragt.



Verleihung des Paul Crutzen-Preises durch den Fachgruppenvorsitzenden Dr. Stefan Hahn

Tief in die Details der Umweltforschung tauchten über 70 Vorträge und 50 Poster in 18 verschiedenen Sessions. Die Arbeitskreise unserer Fachgruppen waren dabei gut vertreten, es gab Sessions zu Atmosphärenchemie, Böden, Umweltmonitoring und Regulatorik. Die beiden Preisträgerinnen, die mit dem Paul Crutzen-Preis unserer Fachgruppe ausgezeichnet wurden, stellten ihre Arbeiten zu aktuellen Themen vor: Bioinformatik und Mikroplastik. Alexandra Loll kombinierte einen verkürzten Wachstumshemmungstest mit Transkriptomik und Proteomik zur schnellen Bewertung und Differenzierung von Wirkungsweisen bei Wasserpflanzen. Anja Ramsperger zeigte, dass sich augenscheinlich identische Partikel aus verschiedenen Quellen in ihren Oberflächeneigenschaften erheblich unterscheiden. In ihrem Vortrag anlässlich der Preisverleihung machte sie dem wissenschaftlichen Nachwuchs Mut: Ihre nun ausgezeichnete Publikation wurde zu Beginn mehrfach von wissenschaftlichen Zeitschriften abgelehnt und musste immer wieder überarbeitet werden. Ihr langer Atem wurde nun mit dem Fachgruppenpreis belohnt.



Preisträgerin Dr. Anja Ramsperger belegt, dass auch mehrfach abgelehnte Manuskripte zu preiswürdigen Publikationen führen können

Ebenfalls an den wissenschaftlichen Nachwuchs richtete sich der Karriere-Lunch, der erstmals stattfand. Hier stellten sich sieben verschiedene Arbeitgeber aus Forschung, Industrie und Behörden den teilnehmenden Personen vor. Bei einem Rundgang und dem anschließenden gemeinsamen Mittagessen konnten die Studierenden ihre Fragen stellen.

Erinnerungen an frühere Klassenfahrten kamen auf, als am frühen Dienstagmorgen mehrere Busse von Gießen in Richtung Homburg (Ohm) aufbrachen. Dort erwartete uns ein spannender Plenarvortrag, der im Zusammenspiel mit dem praktischen Feldtag die Vielfalt der möglichen Ansätze in Umweltchemie und Ökotoxikologie aufzeigte. Es sprach Masahiro Ryo vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung zu den Möglichkeiten und Grenzen bei der Nutzung von KI in den Umweltwissenschaften. KI kann aus seiner Sicht insbesondere dann genutzt werden, wenn nicht-lineare komplexe Abhängigkeiten aufgedeckt werden sollen. Sogenannte „erklärbare KI“ (explainable AI) kann sogar erläutern, wie die KI zu ihren Antworten kommt, eine ansonsten häufig vorgebrachte Kritik an KI-Ergebnissen aus der „Blackbox“. Doch auch KI kann zu falschen Ergebnissen kommen, deshalb ist es wichtig, die Ergebnisse transdisziplinär zu diskutieren und zu hinterfragen. Wie die notwendigen Grundlagen dafür geschaffen werden, konnte man anschließend bei zahlreichen Ausstellungsständen auf dem weitläufigen Forschungsgelände des Forschungszentrums Neu-Ulrichstein erleben. Liebevoll vorbereitet, wurden in praktischen Demonstrationen verschiedenste ökotoxikologischen und umweltchemische Methoden vorgestellt. Auf der anschließenden Party mit Livemusik wurden die kalten Füße dann spätestens auf der Tanzfläche wieder warm.



Ausstellungsstände auf dem weitläufigen Gelände



Verleihung der Vortrags- und Posterpreise durch GDCh-FG UC&ÖT und SETAC GLB

Die Tagung endete am Mittwochnachmittag mit der Auszeichnung der besten Vorträge und Poster des wissenschaftlichen Nachwuchses und der Ernennung von Henner Hollert zum Ehrenmitglied des SETC GLB. Die in diesem Rahmen gezeigten Bilder der aktuellen und von vergangenen Jahrestagungen machten Lust auf mehr und steigerten die Vorfreude auf die Umwelt 2025. Diese wird vom 22.-24. September 2025 in Dessau-Roßlau am Umweltbundesamt stattfinden.



Danke an das engagierte lokale Orga-Team unter der Leitung von Harald Platen, Rolf-Alexander Düring und Peter Ebke!

Weitere Tagungsfotos finden sich auf der Tagungshomepage und im illustrierten Tagungsband: <https://www.setac-gl.de/tagung-2024/impressionen-tagung-2024>

Rückblick Junges Umweltforum 2024

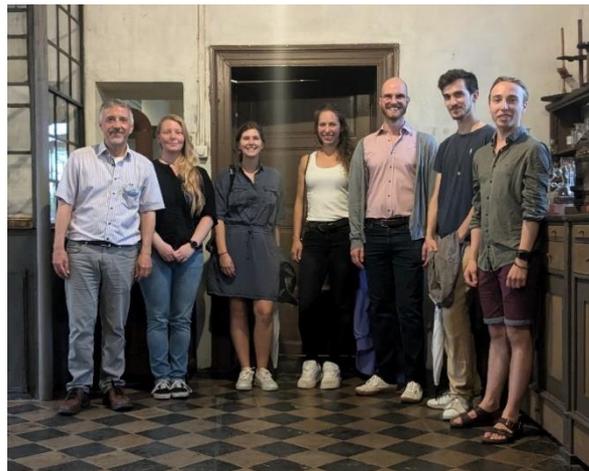
Am 08. September 2024 fand in Gießen im Vorfeld der Umwelt 2024 bereits zum zweiten Mal das von der jungen Umweltchemie & Ökotoxikologie (jUCÖT) gestaltete „Junge Umweltforum – JUF“ unter Beteiligung des SETAC GLB statt. Die aus dem „Jungen Umweltchemie Forum“ und „Forum Junger Umweltwissenschaftler“ hervorgegangene Nachwuchstagung bietet Studierenden und Promovierenden aus umweltwissenschaftlichen Fachgebieten die besondere Möglichkeit, ihre Forschung schon in einem frühen Stadium in Form eines Vortrags zu präsentieren, sich mit anderen Jungwissenschaftler/-innen auszutauschen und neue Kontakte zu knüpfen.



Vortrag von Herrn Rocha Vogel im Rahmen des Jungen Umweltforums

In diesem Jahr gab es vormittags neben einer Vorstellung der Jungfachgruppe und deren Aktivitäten, unter anderem die Perspektiventage und den monatlichen Stammtisch, spannende Vorträge von teilnehmenden Doktoranden/Doktorantinnen. Während der gemeinsamen Mittagspause gab es bei Pizza und Kaltgetränken die Möglichkeit zu Diskussion und Austausch. Durch unterschiedliche Expertisen und Blickwinkel eröffneten sich teilweise auch neue Aspekte bei den vorgestellten Themen.

Im Anschluss gab es eine Privatführung durch das Justus-Liebig-Museum in Gießen von Prof. Dr. Gerd Hamscher (Professor für Lebensmittelchemie und Lebensmitteltechnologie), der den Teilnehmer/-innen während der Führung den bemerkenswerten Lebensweg von Justus Liebig nähergebracht und seine Errungenschaften am Ort seines Wirkens vorgestellt hat.



Prof. Hamscher (links) mit Teilnehmer/innen des Jungen Umweltforums

Am Ende waren sowohl die Veranstalter/-innen des JUF 2024 als auch die Teilnehmenden sehr zufrieden über eine mehr als gelungene Veranstaltung! Insbesondere für die Jungwissenschaftler/-innen, die im Anschluss noch an der Umwelt 2024 teilnahmen, war es eine ideale Möglichkeit schon vorab Kontakte zu knüpfen. Wir freuen uns schon sehr auf das nächste JUF im kommenden Jahr in Dessau-Roßlau und hoffen auf viele Teilnehmende!

Bericht aus dem Vorstand:

Treffen am 17.10.2024

Am 17. Oktober 2024 traf sich der erweiterte Vorstand der Fachgruppe per Videokonferenz, so dass in diesem Treffen ein besonderer Fokus auf dem Austausch zwischen den FG-Vorstandsmitgliedern und den Leitungen der Arbeitskreise lag. In dem Zusammenhang wurde auch ausführlich über die Weiterentwicklung der Formate der Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit der FG sowie der Gewinnung neuer und vor allem junger Mitglieder diskutiert. Der Ausblick auf die Veranstaltungen im kommenden Jahr, an denen die FG beteiligt ist, ist wieder vielversprechend, z.B. mit dem German PharmTox Summit in Hannover (März), der ICCE in Belgrad (Juni) oder der Umwelt 2025 in Dessau (September), um nur ein paar Beispiele zu nennen. Weitere Informationen folgen dazu über unsere Webseiten, die Mitteilungen und über LinkedIn. Wir freuen uns auf einen regen Austausch und viele persönliche Wiedersehen!

Protokoll zur Mitgliederversammlung der FG Umweltchemie und Ökotoxikologie am 7.11.2024

Datum/Zeit: 07.11.2024, Beginn 10:35h, Ende 11:55h

Teilnehmer: 25 Personen einschl. des Vorstandes

Ort: Online via Zoom

1. Begrüßung

- Stefan Hahn (SH) begrüßte alle anwesenden Mitglieder
- Das Protokoll der letztjährigen Mitgliederversammlung wurde ohne Änderungen angenommen
- Protokoll der aktuellen Sitzung: Jan Schwarzbauer
- Die Agenda wurde ohne Änderungen angenommen
- Es wurde den verstorbenen Mitgliedern gedacht

2. Bericht des Vorstands

Mitgliederentwicklung:

- Stabile Mitgliederzahl (2023: 831)
- Anteil ordentlicher Mitglieder nimmt kontinuierlich leicht ab, Zahl der Jungmitglieder nimmt stetig zu.
- Verhältnis weibl. zu männl. Mitglieder in der Fachgruppe: 1:2
- Verhältnis weibl. zu männl. Mitglieder bei den jungen Mitgliedern ausgeglichener (44%/56%)

Finanzen:

- Leichte Abnahme auf ca. 29.000€ aufgrund wieder regelmäßig stattfindender Tagungsaktivitäten
- Sponsorensuche wird initiiert

Tätigkeiten des Vorstands:

- 1 Präsenzsitzung und 3 virtuelle Sitzungen
- Gemeinsame Ergänzung zur PFAS-Stellungnahme der GDCh; SH berichtete von den Änderungen, die innerhalb der GDCh für zukünftige Stellungnahmen eingerichtet wurden/werden; Herr Große Ophoff berichtete zum Think Tank, Frau Schmitz (Öffentlichkeitsarbeit der GDCh) berichtete zur Monitoring Group
- Vergabe des Paul Crutzen-Preises 2024, Ausschreibung für den Preis 2025 startet in Kürze
- Teilnahme von SH an der Klausurtagung der GDCh
- Entwicklung des Postgradualstudiengangs (PGS) Ökotoxikologie (gemeinsam mit SETAC-GLB):

Martin Brüggemann berichtete zur Zusammensetzung des PGS-Gremiums und zur Entwicklung der Teilnehmendenzahlen (nahezu wieder auf Vor-Corona Niveau). Ebenso wurde vom PGS-Vermögen berichtet, hier ebenfalls eine dynamische, aber stabile Entwicklung. Bei den PGS-Kursen ergibt sich ein Problem mit Kursangeboten bzw. Kursleiterschaften. Daher werden Kursleitungen/Kurse als Ersatz für eingestellte und in naher Zukunft auslaufende Kurse gesucht.

3. Veranstaltungen

2024 wurden durch die Fachgruppe folgende Veranstaltungen organisiert und durchgeführt:

- Arbeitskreissitzungen
- PAK-Workshop des AK-Boden
- Gemeinsamer Workshop der AKs in Schmallenberg
- 2 Perspektiventage (jUCÖT)
- Junges Umweltforum (jUCÖT)
- Umwelt 2024 in Gießen und Homburg (Ohm)

Geplante Beteiligung/Organisation an folgenden Tagungen in 2025:

- GPTS 2025 in Hannover (25.-28.03.25)
- ICCE 2025 in Belgrad (08.-12.06.25)
- Umwelt 2025 in Dessau-Roßlau (22.-24.09.25) inkl. JUF
- Perspektiventag(e), Ort und Datum noch nicht bekannt

4. Junge Umweltchemie & Ökotoxikologie

Angus Rocha Vogel berichtete zur gegenwärtigen Zusammensetzung des jUCÖT-Vorstands und zur Organisation/Durchführung des Jungen Umweltforums sowie der Perspektiventage.

Zukünftig geplante Aktivitäten:

- Verbesserung des online-Auftritts
- jUCÖT-interner Newsletter (einmal im Monat)
- Etablierung eines Online-Stammtisches

5. Berichte aus den Arbeitskreisen

Aus den einzelnen Arbeitskreisen (AKs) wurde vom jeweiligen AK-Vertreter berichtet. Es wurden Mitgliederzahlen, Zusammensetzung der AK-Leitungen, durchgeführte Sitzungen/Veranstaltungen, Kooperationen mit anderen wissenschaftlichen Institutionen sowie zu den eigenen Arbeitsthemen für die AKs Atmosphärenchemie, Boden, Chemikalienbewertung Umweltmonitoring vorgestellt.

6. Öffentlichkeitsarbeit

Mitt. Umweltchem. Ökotox:

Klaus Fischer berichtete zur Entwicklung der Mitteilungen. Hier wurden auch einige kritische Anmerkungen diskutiert (z.B. geringe Anbindung an AKs, keine gute Verzahnung mit digitalen Medien ...).

LinkedIn:

Patrick Riefer berichtete von der 2024 neu gestarteten LinkedIn UCÖT Plattform (z.Z. 530 Follower)

Arbeitsgruppe Öffentlichkeitsarbeit:

Es ist geplant eine Arbeitsgruppe zur Bündelung der Öffentlichkeitsarbeit zu gründen. Es erfolgte ein Aufruf zur Teilnahme (Interessensbekundungen an Patrick Riefer per E-Mail: patrick.riefer@ibacon.com)

7. Verschiedenes

Aufruf zur Mitarbeit im wissenschaftlichen Komitee der Umwelt 2025 (Interessensbekundung an Stefanie Wieck per E-Mail: stefanie.wieck@uba.de)

Tagungen



6. Hannover Fachtagung Pflanzenschutzmittel und ihre Metabolite – Bedeutung für die Wasserversorgung, 6.02.2025

Die 6. Hannover Fachtagung „Pflanzenschutzmittel und ihre Metabolite – Bedeutung für die Wasserversorgung“ stellt aktuelles und praxisrelevantes Wissen vor – mit innovativen regionalen und nationalen Ansätzen. Wasserbehörden, Wasserversorger und Forschungsinstitute berichten vom Stand des Wissens und ihren Erfahrungen im Umgang mit Pflanzenschutzmitteln und ihren Metaboliten. Die Fachtagung stellt sich der Diskussion mit den Teilnehmern, um gemeinsame Erfahrungen zu sich ändernden Rahmenbedingungen, z.B. zur Neubewertung von nicht-relevanten Metaboliten, auszutauschen.

Das ganztägige wasserbezogene Fachseminar wird gemeinsam vom Wasserverbandstag e.V. und dem IWW in Hannover veranstaltet. Die Veranstaltung richtet sich an die Fachleute der Wasserversorgung und der Siedlungswasserwirtschaft, der Umwelt-, Gesundheits- und Wasserwirtschaftsbehörden aus Bund und Ländern, der Planungsbüros, der Kommunen und der Wissenschaft.

Weitere Informationen: <https://iww-wasserforschung.de/veranstaltung/hannoverfachtagung/>

10th German Pharm-Tox Summit (GPTS), 25-28.03.2025, Hannover

General Announcement

The GPTS is organized by the German Society for Experimental and Clinical Pharmacology and Toxicology (DGPT) together with several other scientific societies.

The scientific committee covers all fields of pharmacology and toxicology and will ensure that the program with three plenary talks, various symposia including one by the Paul-Martini-Foundation, many short talk and poster sessions will provide exciting insights into cutting edge topics of pharmacology and toxicology and enhance scientific exchange to initiate new collaborations.

Topics

Basic Research

- G-protein coupled receptors
- Receptor tyrosine kinases
- Signal transduction and second messengers
- Nuclear receptors, enzymes and other targets
- Ion channels and membrane transporters
- Drug transport/delivery and metabolism
- Disease models, drug development
- Pharmacokinetics and PK/PD modelling

Applied Pharmacology

- Cardiac pharmacology
- Immunopharmacology/inflammation/anti-infectives
- Cancer pharmacology
- CNS
- Endocrine pharmacology
- Pharmacogenomics and personalized medicine
- Pharmacoepidemiology and drug safety

Education

- Pharmacological education
- Toxicological education

Toxicology

- Computational toxicology
- Inhalation toxicology
- Mixture toxicology
- Biogenic toxins
- Carcinogenesis
- Regulatory toxicology
- 3R Practice/Alternative methods
- General toxicology
- Endocrine toxicology

Further information: <https://gpts-kongress.de/general-information/downloads-announcements-links>





Workshop zu molekularen Methoden in der Umweltbeobachtung, 26.-28.03.2025, Essen

UBA, Universität Duisburg-Essen und das TrendDNA Konsortium organisieren am 26 - 28.03.2025 einen Workshop zu molekularen Methoden in der Umweltbeobachtung. Auf dem DACH AnwenderInnen Workshop diskutieren Fachleute aus Behörden und Forschung, wie weit DNA Metabarcoding und andere molekulare Verfahren bereits entwickelt sind, welche Anforderungen nationale - und Länderbehörden an die Methoden stellen und welche Erfahrungen sie bislang damit gemacht haben. Im Zentrum stehen Analysen von Lebensgemeinschaften und das Monitoring ihrer Veränderungen. Am dritten Tag findet der Abschlussworkshop des TrendDNA Projektes zur Langzeitbeobachtung der Biodiversität statt.

- Tag 1: Möglichkeiten und Herausforderungen DNA basierter Umweltbeobachtung aus Sicht der Forschung.
- Tag 2: Erfahrungen der NutzerInnen aus dem behördlichen Monitoring, Fragen zum Reifegrad der Standardisierung und konkrete Anwendungsbeispiele der Länder
- Tag 3: Langzeitdaten im Kontext aktueller Untersuchungen des Bundes und der Länder. Die Umweltprobenbank des Bundes ist im Projekt TrendDNA der Frage nachgegangen, wie sich die Biodiversität in den letzten Jahrzehnten entwickelt hat.

Ein Basiskurs begleitet Tag 1 und Tag 2, Interessierte können den Umgang eDNA-basierter Methoden in Freiland, Labor und am Computer erlernen.

Weitere Informationen:

<https://www.umweltbundesamt.de/tagung-workshops-zu-molekularen-methoden-in-der>



7th International Conference „Advanced Oxidation Processes“, 8.-10.04.2025, Frankfurt a.M.

The 7th International Advanced Oxidation Processes will take place from 8 - 10 April 2025 in Frankfurt am Main. This conference is one of the very successful International Conference Series and serves to discuss and promote Advanced Oxidation Processes (AOPs) in the field of water, wastewater, groundwater and potable water.

AOPs are progressing rapidly all over the world as they have proved to be successful in meeting increasingly stringent global regulations as well as protecting public health and the environment. Continuous basic and applied R&D already helped to improve the effort-benefit ratio of AOP in many applications as well as exploring and consolidating new fields of application and concepts of AOPs.

The conference will bring forward the most recent advances in the fundamentals as well as the development and the application of the Advanced Oxidation Processes (AOPs), especially in the field of water recycling and reuse. It will help to disseminate new achievements in these areas and to identify future research and development needs through strong cooperation between scientists, engineers, operators, and decision makers.

Topics

- Fundamentals
- Processes
- Process Integration
- Application
- Photocatalysis
- Trace Pollutants
- Recycling
- Reuse
- Digital Integration

Conference' Homepage: <https://iwa-aop.org/>



Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft vom 26.-28. Mai 2025 in Münster

Die WASSER 2025 ist die zentrale deutsche Tagung, welche die neuesten Erkenntnisse zu allen Themen der Wasserqualität präsentiert.

Profis aus dem Bereich der Wasserchemie, der Wasseraufbereitung sowie Fachleute anderer Disziplinen des Wasserfachs treffen sich zu einem intensiven Erfahrungs- und Gedankenaustausch.

Ein Schwerpunkt liegt auf der persönlichen Begegnung und den wissenschaftlichen Diskussionen aktueller fachlicher Herausforderungen.

Die Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft wird im Mai 2025 als Präsenzveranstaltung in Münster stattfinden.

Themenbereiche

- Prozesse der Abwasserreinigung
- Trinkwasseraufbereitung und –verteilung
- Analytische Methoden
- Nachweis/Verbleib von Nanopartikeln und Mikroplastik
- Hygiene und Mikrobiologie
- Moderne bioanalytische Verfahren
- Nachweis/Verbleib natürlicher/ anthropogener (Schad-) Stoffe
- Flusssysteme, Seen/Talsperren und Grundwasser
- (Öko)toxikologische Methoden/Untersuchungen
- Klimawandel: Auswirkung auf die Wasserwirtschaft
- Meereschemie
- Normung

Tagungshomepage: <https://www.wasserchemische-gesellschaft.de/de/veranstaltungen/jahrestagungen/muenster/2025>



EuChemS
European Chemical Society
— Division of Chemistry and the Environment —



Serbian Chemical Society

19th International Conference on Chemistry and the Environment (ICCE), June 8-12, 2025, Belgrade

Continual knowledge development is essential to ensure a healthy environment and the safe progress of society. ICCE 2025 aims to accelerate this process by addressing a wide range of challenges and developments from the perspective of Environmental Chemistry, serving societal sustainability goals.

ICCE 2025 will provide an excellent platform for networking, exchange and collaboration. It offers a unique opportunity to share and discuss research not only within the research community but also with industry professionals and competent authorities.

The goal of ICCE 2025 is to jointly contribute to a better understanding of pollutants' cycling, and their fate and effects in the environment, while advancing pollution prevention and waste management. The latest developments in environmental analysis, pollution monitoring and risk assessment directly impact societal response, which inevitably focus on various sustainability strategies. To be effective, these responses must be supported by excellent knowledge-based tools and societal inspiration, both offered by ICCE 2025. Scientific program will be available from March 7, 2025.

Further information: <https://icce2025.com/>



Gordon Research Conference: Applied and Environmental Microbiology: Bridging Scales to Unveil the Power of Environmental Microbiology, 13.-18.07.2025, South Hadley, Massachusetts, United States

The Applied and Environmental Microbiology GRC is a premier, international scientific conference focused on advancing the frontiers of science through the presentation of cutting-edge and unpublished research, prioritizing time for discussion after each talk and fostering informal interactions among scientists of all career stages. In addition to premier talks, the conference has designated time for poster sessions from individuals of all career stages, and afternoon free time

and communal meals allow for informal networking opportunities with leaders in the field.

As one of the longest running of all Gordon Research Conferences, Applied and Environmental Microbiology (AEM) continues to provide a unique forum for discussing cutting-edge research that advances our understanding and increases our appreciation of the oldest lifeforms on Earth. Its success and resilience results from the profound influence that microorganisms have on Earth, driving evolution, sustaining the environment, influencing ecosystem and human health, and catalyzing reactions that solve anthropogenic issues and push the bioeconomy.

The 2025 AEM GRC will explore microbiology across scales to understand breakthroughs in the applied and environmental aspects of the unseen majority of organisms on our planet. Applied and environmental microbiology is the realm of problem solvers and crosses temporal, organismal, and spatial scales to advance unique solutions that address critical global challenges. This GRC will highlight cutting-edge studies that shed light on what governs novel forms of life today and how we can exploit microbial functions for broad applications that bridge scales across biomes, organisms, and trophic levels. We will explore how organismal and spatial scales influence microbial applications across natural, industrial, and clinical environments and within a One Health framework. Understanding temporal change across history is needed for highlighting the ever-present relationship between microbes and the changing environment. Research across all lineages of life (Bacteria, Archaea, Eukaryotes, and viruses) in natural and synthetic communities, and holobionts in an applied context will be showcased. Topics will include fundamental environmental microbiology studies, biogeochemical cycling, critical mineral recovery, waste and energy storage, bioremediation, climate change, monitoring, emerging contaminants (e.g., PFAS and microplastics), and diseases (e.g., zoonotic).

Further information: <https://www.grc.org/applied-and-environmental-microbiology-conference/2025/>

Kurznachrichten



Air quality: Council gives final green light to strengthen standards in the EU

Today (14th October) the Council formally adopted a directive setting updated air quality standards across the EU. The new rules will contribute to the EU's objective on zero pollution by 2050 and will help prevent premature deaths due to air pollution. EU citizens will be able to seek compensation for damage to their health in cases where EU air quality rules are not respected.

Strengthening air quality standards

The revised directive prioritises the health of EU citizens: it sets new air quality standards for pollutants to be reached by 2030 which are more closely aligned with the WHO air quality guidelines. Those pollutants include, among others, particulate matter PM₁₀ and PM_{2.5}, nitrogen dioxide and sulphur dioxide, all known to cause respiratory problems. Member states may request that the 2030 deadline be postponed if specific conditions are met.

Air quality is assessed using common methods and criteria across the EU, and the revised directive brings further improvements to air quality monitoring and modelling. The revised directive will also ensure early action, with air quality roadmaps that need to be prepared ahead of 2030 if there is a risk that the new standards will not be attained by that date. The air quality standards will be reviewed regularly in line with latest scientific evidence to assess whether they continue to be appropriate.

Access to justice and right to compensation

The new directive ensures fair and equitable access to justice for those affected or likely to be affected by the implementation of the directive. Member states need to ensure that citizens have the right to claim and obtain compensation when their health has been damaged due to a violation of air quality rules set in the directive.

Next steps

The text will be published in the EU's Official Journal and enter into force on the twentieth day following publication. Member states will have two years after the entry into force to transpose the directive into national law.

By 2030, the European Commission will review the air quality standards and every five years thereafter, in line with latest scientific evidence.

Council of the EU, Press release (shortened),
14 October 2024 11:02

Complete document with various further links:

<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/10/14/air-quality-council-gives-final-green-light-to-strengthen-standards-in-the-eu/#:~:text=Strengthening%20air%20quality%20standards,particulate%20matter%20PM10%20and%20PM2.>

Weniger Luftverschmutzung – weniger lungenkranke Kinder

Im Kinderspital Birmingham sank die Zahl der Kinder mit Atemproblemen um einen Fünftel. Das Spital liegt in einer «Clean Air Zone».

Die britische Stadt Birmingham führte im Juli 2021 eine «Saubere-Luft-Zone» ein. Autolenker, deren Fahrzeug die Abgasvorgaben nicht erfüllt, müssen seither eine Gebühr zahlen, wenn sie ins Stadtzentrum fahren möchten.

Für die Kinder scheint sich die Regelung positiv auszuwirken, berichtet die britische Medizinzeitung «BMJ». Im Kinderspital von Birmingham, das in der Zone liegt, sank die Anzahl der Kleinkinder mit Atemproblemen von 2022 bis 2023 um 22 Prozent. In den drei Spitälern ausserhalb der Zone dagegen stieg sie um 16 Prozent. In ganz Birmingham wurden von 2022 bis 2023 vier Prozent mehr Kleinkinder mit Atemwegs- oder Lungenerkrankungen hospitalisiert.

Der eindruckliche Rückgang im «Birmingham Children's Hospital» beweist den Zusammenhang mit der Luftqualität zwar nicht. Ob beispielsweise Familien mit Kindern wegen höherer Mieten aus der Zone weggezogen, wurde nicht erhoben. Allerdings ist bekannt, dass Luftverschmutzung sowohl akute als auch chronische Atemwegs- und Lungenerkrankungen begünstigt. Mit Verweis auf die positive Entwicklung schlagen die Befürworter der «Saubere-Luft-Zone» vor, diese Zone nun auf die gesamte Stadt und auf noch mehr Fahrzeuge auszuweiten.

Martina Frei, InfoSperber, 21.11.2024 ,
<https://www.infosperber.ch/gesundheit/weniger-luftverschmutzung-weniger-lungenkranke-kinder/>

BMJ-Publikation: Paediatric respiratory admissions decreased in Birmingham's clean air zone, data show, BMJ 2024; 387
doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.q2369>



Urban wastewater: Council adopts new rules for more efficient treatment

Today (5th November), the Council gave the final green light for a revised EU directive on urban wastewater treatment. The revised directive extends the scope to smaller agglomerations, covers more pollutants, including micropollutants, and contributes to energy neutrality. The new rules are one of the key deliverables under the EU's zero-pollution action plan.

More agglomerations and more pollutants covered

According to the revised directive, member states must collect and treat wastewater from all agglomerations above 1 000 population equivalents – a measurement used to calculate urban wastewater pollution – according to EU minimum standards (instead of the threshold of 2 000 population equivalents set in the previous rules). To better tackle the pollution and to prevent discharges of untreated urban wastewater into the environment, all agglomerations between 1 000 and 2 000 population equivalents need to be provided with collecting systems and all sources of domestic wastewater need to be connected to these systems by 2035. For such agglomerations, by 2035 member states will have to remove biodegradable organic matter from urban wastewater (secondary treatment) before it is discharged into the environment. Derogations will apply to member states where the coverage of the collecting systems is very low and therefore would require significant investments. Member states that have joined the EU more recently and have already made more recent significant investments to implement the current directive (i.e. Romania, Bulgaria and Croatia) can also benefit from derogations.

By 2039, the removal of nitrogen and phosphorus (tertiary treatment) will be mandatory for urban wastewater treatment plants treating urban wastewater with a load of 150 000 population equivalents and above. For those urban wastewater treatment plants, by 2045 member states will have to apply an additional treatment to remove micropollutants, known as quaternary treatment.

Micropollutants

Producers of pharmaceuticals and cosmetics – the main source of micropollutants in urban wastewater – will need to contribute a minimum of 80% of the additional costs for the quaternary treatment, through an extended producer responsibility (EPR) scheme and in accordance with the 'polluter pays' principle.

Towards energy neutrality

The urban wastewater treatment sector could play an important role in significantly reducing greenhouse gas emissions and helping the EU achieve its climate neutrality objective. The new rules introduce an energy neutrality target, meaning that by

2045 urban wastewater treatment plants treating a load of 10000 population equivalents and above will have to use energy from renewable sources generated by the respective plants.

Next steps

This formal adoption today marks the final step in the ordinary legislative procedure.

The directive will now be signed and published in the Official Journal of the EU. It will enter into force on the 20th day following publication. EU member states will then have up to 31 months to adapt their national legislation to take account of the new rules ('transpose the directive').

Council of the EU, Press release (without „background“), 5 November 2024 13:35

Complete document and further information:

<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/11/05/urban-wastewater-council-adopts-new-rules-for-more-efficient-treatment/>

High PFAS level found in Muskegon Lake foam



Muskegon Lake foam. Muskegon Lake surface water foam piles on the shoreline at the Hartshorn public launch on Monday, Sept. 23, 2024. Grand Valley State University testing found high PFAS levels in similar surface water foam at the nearby Grand Trunk launch in August. (Courtesy | David J. Ruck, Great Lakes Outreach Media).

MUSKEGON, MI — High concentrations of toxic PFAS chemicals were found in surface water foam this summer on Muskegon Lake. Surface water foam which began to accumulate along the lake's southern shoreline this summer has tested at 4,757 parts-per-trillion (ppt) for perfluorooctane sulfonate, or PFOS, according to data from Grand Valley State University.

On lakes, PFAS foam can occur year-round but tends to accumulate on breezy days when a chemical microlayer on the water surface froths up due to wind and wave action. Testing has found PFAS levels in foam at other pollution sites such as

the Rogue River near the former Wolverine Worldwide tannery in Rockford, in Van Etten Lake near the former Wurtsmith Air Force Base in Oscoda, Lake Margrethe near the Camp Grayling base and in the Thornapple River downstream of the Gerald R. Ford International Airport.

There are many potential contamination sources. The closest is the former Sappi mill site — which contains high PFAS levels, according groundwater testing in 2022 which found PFOS at 780-ppt and PFOA at 1,800-ppt. Beyond Sappi, there are several other known PFAS contamination sites around the Muskegon area. Low concentrations have been found in the groundwater at the L3Harris Technologies plant on Getty Street. Moderate concentrations up to 290-ppt of PFOS have been found at the former BASF facility on Whitehall Road and the former Northside Landfill on East McMillan Road. Each of those sites drains to Muskegon Lake via creeks or the river. The Muskegon County municipal wastewater plant on North Maple Island Road passes PFAS into the Muskegon River via its treated discharge. Other known local PFAS sources such as the Muskegon County Airport in Norton Shores, MAHLE Engine Components site on Harvey Street, Bofors Nobel site on Evanston Ave., former ESCO site on E. Barney Ave., Peerless Plating on Getty Street and Quality Plating on Mcilwraith Street discharge to Mona Lake via groundwater or local creeks.

News from „Michigan LIVE“, Published: Sep. 23, 2024, 8:04 a.m.

Source: <https://www.mlive.com/environment/2024/09/weve-never-seen-this-before-high-pfas-level-found-in-muskegon-lake-foam.html>

Link to PFAS research at Grand Valley State University: <https://www.gvsu.edu/pfas/gvsu-pfas-activity-3.htm>

University of Southern California (USC) study finds link between PFAS, kidney function and gut health

New research has revealed that the connection between per- and polyfluoroalkyl substances, or PFAS, and kidney damage may be tied to dysregulation of the gut microbiome, which is made up of bacteria and other microorganisms that live in the digestive tract. [...]. The group of chemicals is known to increase risk for a range of health problems, including cardiovascular disease, cancer and chronic kidney disease, but the biological mechanisms behind that risk are poorly understood.

[The researcher] found that increased PFAS exposure was associated with worse kidney function four years later, and that changes in the gut microbiome and related metabolites explained up to 50% of that decrease in function. The results

were just published in the journal *Science of The Total Environment*.

Declining kidney function

The researchers analyzed data from 78 participants, ages 17 to 22, enrolled in the Southern California Children's Health Study, a large-scale longitudinal effort to understand the effects of pollution on health. Fifty-six percent of the sample was Hispanic, a group that faces an outsized risk for chronic kidney disease. At baseline, the researchers collected blood and stool samples that allowed them to measure PFAS exposure, gut microbiome bacteria and circulating metabolites (these metabolites, many of which are produced by the gut microbiome, are present in the blood). At a follow-up appointment four years later, the researchers collected a second round of data on kidney function.

They found that when PFAS exposure increased by one standard deviation, kidney function was 2.4% worse at the follow-up visit. The researchers then performed a statistical analysis to determine whether a third factor—gut bacteria and related metabolites—contributed to that association. The analysis revealed two separate groups of bacteria and metabolites that helped explain the effect of PFAS exposure on kidney function. One group explained 38% of the change in kidney function, and one group explained 50% of the change. Both groups of bacteria and metabolites performed beneficial activities, such as lowering inflammation in the body, that were hindered when PFAS exposure went up. "We saw that exposure to PFAS was potentially altering the composition of the microbiome, associated with lower levels of beneficial bacteria and lower anti-inflammatory metabolites", the main author said.

A roadmap for future work

The findings provide a roadmap for researchers seeking to better understand the link between PFAS and kidney health. Hampson and her colleagues observed reductions in anti-inflammatory metabolites, as well as the bacteria that produce them, and increases in inflammatory metabolites. "This points to inflammation and oxidative stress as a potential mechanism, so that's an area where future research can focus," she said. One limitation of the study is its small sample size. Larger studies are needed to determine whether and how the findings can be used to protect against PFAS-induced kidney damage. Press release, Keck School of Medicine of USC, October 17, 2024

Source: <https://keck.usc.edu/news/usc-study-finds-link-between-pfas-kidney-function-and-gut-health/>

Original publication: Hampson, H.E. et al.: The potential mediating role of the gut microbiome and metabolites in the association between PFAS and kidney function in young adults: A proof-of-concept study. *Science of The Total Environment* 2024, Volume 954, 176519, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176519>



Europäische
Union

Die Europäische Kommission veröffentlicht den Eintrag zur Beschränkung der Verwendung von PFHxA und PFHxA- verwandten Stoffen

Am 19. September 2024 hat die Europäische Kommission die Verordnung (EU) 2024/2462 veröffentlicht, die den Eintrag 79 zur Beschränkung der Verwendung von Undecafluorhexansäure („PFHxA“, Perfluorhexansäure) und PFHxA-verwandten Stoffen in den Anhang XVII der REACH-Verordnung aufnimmt.

Die PFHxA und PFHxA-verwandten Stoffe sind eine Untergruppe der Per- und Polyfluoralkylsubstanzen („PFAS“). Sie sind sehr persistent und im Wasser mobil, und ihre Verwendung in bestimmten Produkten stellt ein inakzeptables Risiko für die menschliche Gesundheit und die Umwelt dar.

Die Beschränkung verbietet beispielsweise den Verkauf und die Verwendung von PFHxA in Verbrauchertextilien wie Regenjacken, Lebensmittelkontaktmaterialien wie Pizzakartons, Verbrauchermischungen wie Imprägniersprays, Kosmetika wie Hautpflegeprodukten und in einigen Feuerlöschschaum-Anwendungen wie für Schulungen und Tests, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen. Andere Anwendungen von PFHxA, z. B. in Halbleitern, Batterien oder Brennstoffzellen, sind davon nicht betroffen.

Ziel dieser Beschränkung ist eine Reduzierung der PFAS-Emissionen, da PFHxA häufig als Ersatz für ein andere bereits verbotene langkettige PFAS (z. B. Perfluorooctansäure oder „PFOA“) verwendet wird.

Die PFHxA-Beschränkung tritt 20 Tage nach ihrer Veröffentlichung im Amtsblatt und somit dem 10. Oktober 2024 offiziell in Kraft. Abhängig von der jeweiligen Verwendung enthält sie darüber hinaus Übergangsfristen zwischen 18 Monaten und fünf Jahren.

Hilfdesk REACH CLP, Eintrag vom 14.10.2024

Originaldokument: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402462

Bundeskanzler Scholz will PFAS-Ewigkeitschemikalien nicht verbieten

Im Umgang mit den sogenannten Ewigkeitschemikalien, PFAS, hat sich Bundeskanzler Scholz für pragmatische Lösungen ausgesprochen. Beim Besuch des Evonik-Standorts im Chemiepark Marl in Nordrhein-Westfalen sagte Scholz, es brauche Lösungen, die die industrielle Entwicklung Deutschlands nicht behindert, sondern sie fördert. Schnelle und umfassende Verbote lehnt er ab. Die Chemikalien seien für viele Prozesse in der modernen chemischen Industrie und auch bei Erneuerbaren Energien unverzichtbar, erklärte der Kanzler. Sie seien „noch nicht konkret ersetzbar.“ Evonik-Chef Christian Kullmann nannte die Position des Bundeskanzlers eine „klare Hinwendung zur chemischen Industrie“. In der EU wird ein Verbot von per- und polyfluorierten Alkylverbindungen, PFAS, schon seit längerem diskutiert.

Deutschlandfunk, Nachricht (gekürzt) vom 28.08.2024



Petition des BUND an Bundesgesundheitsminister Karl Lauterbach zur PFAS-Beschränkung gestartet

Die Ewigkeitschemikalien PFAS sind überall und es werden immer mehr. Dabei bergen einige PFAS enorme Gesundheitsrisiken. Der BUND hat deswegen eine Petition an Gesundheitsminister Karl Lauterbach gestartet: Der Minister soll sich entschieden für eine EU-weite Beschränkung von PFAS aussprechen.

Zur Unterschriftenliste:

https://aktion.bund.net/pfas?utm_source=newsletter&utm_medium=themennl&utm_campaign=pfas
<https://www.bund.net/service/publikationen/detail/publication/pfas-petition-unterschriftenliste/>

Science-Artikel zur neurotoxischen Mischungs-effekten von Umweltchemikalien

Editor's summary

Exposure to exogenous chemicals can influence human health, particularly during critical periods such as pregnancy. Braun et al. used high-resolution mass spectrometry and an in vitro assay to identify chemicals in the blood of pregnant women from Germany and characterized the individual and mixed neurotoxicity effects. Chemicals attributed to industry and consumer goods were the major drivers of the neurotoxic effects in mixtures. This work demonstrates the power of comprehensive

monitoring to inform human chemical exposure and help guide risk assessment.

Abstract

Human biomonitoring studies typically capture only a small and unknown fraction of the entire chemical universe. We combined chemical analysis with a high-throughput in vitro assay for neurotoxicity to capture complex mixtures of organic chemicals in blood. Plasma samples of 624 pregnant women from the German LiNA cohort were extracted with a nonselective extraction method for organic chemicals. 294 of >1000 target analytes were detected and quantified. Many of the detected chemicals as well as the whole extracts interfered with neurite development. Experimental testing of simulated complex mixtures of detected chemicals in the neurotoxicity assay confirmed additive mixture effects at concentrations less than individual chemicals' effect thresholds. The use of high-throughput target screening combined with bioassays has the potential to improve human biomonitoring and provide a new approach to including mixture effects in epidemiological studies.

Neurotoxic mixture effects of chemicals extracted from blood of pregnant women

Georg Braun et al., 2024, *Science*, 386 (6719), pp. 301-309, DOI: 10.1126/science.adq0336

Trinkwasserverunreinigungen durch Chlorothalonil

Im Jahr 2022 wurden in zwei **costa-ricanischen** Bergdörfern in Laborproben von lokalem Quellwasser Rückstände des Fungizids Chlorothalonil in alarmierenden Mengen gefunden. Es handelte sich um Stoffe, die beim Abbau von Chlorothalonil in der Umwelt entstehen und die Gesundheit gefährden. Die Ergebnisse lagen um das 200-Fache über den zulässigen Höchstwerten. Im April 2023 veröffentlichte das Gesundheits- und das Umweltministerium von Costa Rica einen gemeinsamen Bericht über die Situation in den Dörfern Cipreses und Santa Rosa. In der landwirtschaftlichen geprägten Region seien rund 65000 Menschen auf Wasser aus ähnlichen Quellen angewiesen, heisst es darin. Die Landwirtschaft werde so nahe an den Wasserquellen betrieben, dass sie «die Wasserqualität beeinträchtigt» und «die Quellen höchstwahrscheinlich durch den Einsatz von chemischen Produkten kontaminiert» seien. Aufgrund dessen empfahlen die Autoren ein nationales Verbot der Verwendung von Chlorothalonil, das Ende 2023 erfolgte.

Abbauprodukte von Chlorothalonil sind äusserst langlebig

Der Abbau von Chlorothalonil im Boden hängt von mehreren Faktoren ab und kann für die Gesundheit und Umwelt giftige Metaboliten erzeugen. So ist das Fungizid hochgiftig für Fische und wirbellose Wassertiere, vor allem dann, wenn es während der Regenperioden ausgebracht wird. Von der Internationalen

Agentur für Krebsforschung (IARC) wird Chlorothalonil als «wahrscheinlich krebserregend» für den Menschen eingestuft. Zudem kann es sich auch auf die embryonale Entwicklung auswirken.

In der **Schweiz** wurde das Fungizid seit den 1970er Jahren in der Landwirtschaft eingesetzt. Obwohl Chlorothalonil in der EU, Grossbritannien und der Schweiz bereits seit 2019 verboten ist, wird es in der Schweiz noch heute an jeder dritten Messstelle nachgewiesen. Insgesamt treten fünf verschiedene Chlorothalonil-Metaboliten in Konzentrationen von mehr als 0,1 Mikrogramm pro Liter im Grundwasser auf. Besonders stark ist das Grundwasser mit Chlorothalonil R471811 belastet. Die Rückstände dieses Metabolits überschreiten im Schweizer Mittelland an mehr als 60 Prozent der Messstellen den Wert von 0,1 Mikrogramm pro Liter. Landesweit ist jede dritte Messstelle betroffen.

Susanne Aigner, 10.09.2024 auf InfoSperber (modifiziert), vollständige Originalnachricht:
<https://www.infosperber.ch/umwelt/syngenta-pestizid-vergiftet-trinkwasser-in-costa-rica/>

Syngenta unterliegt im Streit mit Bund (CH) vor Gericht

Der Bund darf eine neue Weisung an die Kantone erlassen zu Massnahmen gegen möglicherweise krebserregende Abbauprodukte des Pestizids Chlorothalonil. Das Bundesverwaltungsgericht hat eine Beschwerde des Agrochemiekonzerns Syngenta grösstenteils abgewiesen.

Mit einem ablehnenden Entscheid des Bundesverwaltungsgerichtes sei die Rechtssicherheit beim Höchstwert für Chlorothalonil-Abbauprodukte im Trinkwasser wieder hergestellt, teilte das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) am Mittwoch mit. Nun dürfe der Bund eine neue Weisung an die Kantone zu Massnahmen gegen möglicherweise krebserregende Abbauprodukte des Pestizids Chlorothalonil erlassen und damit hätten die Trinkwasserversorger wieder die klare Vorgabe, dass die Abbauprodukte 0,1 Mikrogramm pro Liter nicht überschreiten dürften. Mit dem Entscheid im Rücken erliess der BLV eine neue Weisung. Die Kantone müssen jetzt die Wasserversorger auffordern, früher evaluierte Massnahmen für eine Reduktion der Metabolitenkonzentrationen sofort umzusetzen. In gewissen Regionen wird der Höchstwert im Trinkwasser überschritten.

Vollständige Nachricht: AQUA & GAS, 23.05.2024:
<https://www.aquaetgas.ch/aktuell/branchen-news/20240523-chlorothalonil-bvg-urteil-vs-syngenta/>

Schutz vor hormonell schädigenden Stoffen noch immer unzureichend

(PAN) Ein Jahr nach der Vorstellung des Fünf-Punkte-Plans der Bundesregierung zum Schutz vor hormonell schädigenden Chemikalien (Endokrine Disruptoren) ziehen Umwelt- und Verbraucherschutzorganisationen eine ernüchternde Bilanz. Trotz klarer wissenschaftlicher Warnungen und der Zusicherung, den Schutz der Bevölkerung zu verstärken, fehlt es weiterhin an konkreten Massnahmen und ausreichender Finanzierung. Die gesundheitliche Gefährdung durch Endokrine Disruptoren, die u. a. in Alltagsprodukten wie Plastik, Kosmetika und Reinigungsmitteln enthalten sind, bleibt ungebremst.

Nichtregierungsorganisationen fordern dringendes Handeln

Umwelt- und Verbraucherschutzorganisationen kritisieren die Untätigkeit der Regierung scharf und beschreiben in ihrem heute (15.10.2024) veröffentlichten Papier konkrete Massnahmen, um den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt sicherzustellen. An jedem weiteren Tag, an dem die Bundesregierung nicht handelt, werden diese schädlichen Chemikalien weiterhin freigesetzt – das geht auf Kosten der Gesundheit heutiger und zukünftiger Generationen sowie unserer Umwelt, kritisieren die Initiatoren CHEM Trust Europe, Health and Environmental Justice Support (HEJSupport), das Pestizid Aktions-Netzwerk e.V. (PAN Germany) und Women Engage for a Common Future (WECF). Die Forderungen werden bisher von 17 Organisationen unterstützt.

Bei der Ankündigung des Fünf-Punkte-Plans der Bundesregierung versprach Bundesumweltministerin Steffi Lemke einen umfassenden Schutzplan gegen hormonell schädigende Stoffe mit einem Bündel an Massnahmen und Zielen. Von einem umfassenden Schutzplan kann aber keine Rede sein, da der Plan im Wesentlichen lediglich bestehende Massnahmen zusammenfasst. Das reicht aber nicht aus, wie wissenschaftliche Studien zur Belastung der Bevölkerung und der Umwelt zeigen.

Forderungen an die Politik

Die unterzeichnenden Organisationen fordern die Bundesregierung dazu auf, endlich konkrete Massnahmen umzusetzen und den Schutz vor hormonell schädigenden Chemikalien ernst zu nehmen. Zu den Forderungen gehören:

- Reduktion der Belastung (Exposition) und/oder Phase-out von hormonell schädigenden Chemikalien in allen relevanten Produkten sowie Förderung nachhaltiger Alternativen,
- Kennzeichnungspflicht für Produkte, die endokrine Disruptoren enthalten,
- Aufklärungskampagnen für besonders betroffene Gruppen, wie z. B. Schwangere,

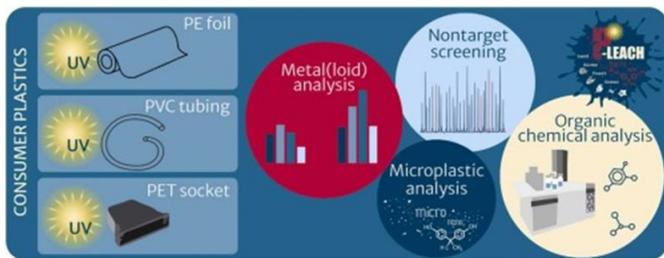
d) Beschleunigung der Regulierung von hormonell schädigenden Pestiziden und Bioziden.

Pressemitteilung (gekürzt, modifiziert) PAN, 15.10.2024, Originalnachricht: <https://pan-germany.org/edcs/schutz-vor-hormonell-schaedigenden-stoffen-noch-immer-unzureichend/>

Forderungspapier

Fünf-Punkte-Plan der Bundesregierung unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Chemikaliensicherheit/fuenf_punkte_plan_hormonell_schaedigende_stoffe_bf.pdf

JHM article: Screening the release of chemicals and microplastic particles from diverse plastic consumer products into water under accelerated UV weathering conditions



Abstract. Photodegradation of plastic consumer products is known to accelerate weathering and facilitate the release of chemicals and plastic particles into the aquatic environment. However, these processes are complex. In our presented pilot study, eight plastic consumer products were leached in distilled water under strong ultraviolet (UV) light simulating eight months of Central European climate and compared to their respective dark controls (DCs). The leachates and formed plastic particles were exploratorily characterized using a range of chemical analytical tools to describe degradation and leaching processes. These techniques covered (a) microplastic analysis, showing substantial liberation of plastic particles further increased under UV exposure, (b) non-targeted mass spectrometric characterization of the leachates, revealing several hundreds of chemical features with typically only minor agreement between the UV exposure and the corresponding DCs, (c) target analysis of 71 organic analytes, of which 15 could be detected in at least one sample, and (d) metal(loid) analysis, which revealed substantial release of toxic metal(loid)s further enhanced under UV exposure. A data comparison with the US-EPA's ToxVal and ToxCast databases showed that the detected metals and organic additives might pose substantial health and environmental concerns, requiring further study and comprehensive impact assessments.

F. Menger et al., Journal of Hazardous Materials 2024, Volume 477, N 135256, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135256>

30. Jahrg. 2024/ Nr.4

Kommentar zum UN-Plastikgipfel in Busan: Weniger Plastik – oder mehr?

(FR) Artenschwund, Klimakrise – und nun Plastikverschmutzung. Am heutigen Montag (25.11.) beginnt im südkoreanischen Busan erneut ein UN-Gipfel, der Lösungen für eines der zentralen Umweltprobleme des Planeten finden soll. Es handelt sich um die fünfte und wahrscheinlich letzte Verhandlungsrunde für ein globales Abkommen gegen Plastikmüll, das 2025 zur Verabschiedung ansteht. Das Kernziel: Bis 2040 soll ein Ende der Umweltverschmutzung durch Kunststoffabfall erreicht werden.

Ziel der Busan-Konferenz ist es, dass sich die Weltgemeinschaft auf einen finalen Vertragstext einigt. Es verhandeln Delegationen von etwa 170 Staaten. Auch Vertreter/innen von Wirtschaft, Umweltverbänden und Hochschulen nehmen teil.

Der Beschluss, dass es ein Plastikabkommen geben soll, fiel bereits 2022 auf der Umweltversammlung der UN in Nairobi. Das galt als Durchbruch, angesichts der in vielen Ländern unregelmäßigen Entsorgungsfrage, der grassierenden Verschmutzung der Ozeane und der weltweiten Verbreitung von Mikroplastik. Doch die Fortschritte bei den Verhandlungen seither waren gering. Vor allem der Lösungsansatz, die aktuell weltweit steigenden Produktionsmengen neuer Kunststoffe zu begrenzen, ist sehr umstritten. Es wird erwartet, dass sich die Produktion wegen der wachsenden Plastiknutzung besonders in Asien, Afrika und Lateinamerika bis 2050 verdoppeln bis verdreifachen könnte. Ähnlich umstritten ist das Verbot bedenklicher Additive in den Kunststoffen. Immerhin blieben diese Ansätze trotz der Einwände von Ländern mit starker Plastikproduktion und der Industrielobby in den Textentwürfen als Option enthalten.

Erwartet werden harte Verhandlungen, ein Scheitern ist nicht ausgeschlossen. Laut einer Analyse des Berliner Thinktanks Adelphi Research, die der FR vorliegt, lehnen mehr als 20 Staaten jegliche Maßnahmen zur Begrenzung der Plastikproduktion ab, darunter einflussreiche Länder wie China, Indien, Russland und Saudi-Arabien. Weniger als 50 der rund 170 Staaten unterstützen globale, rechtlich verbindliche Ziele, darunter EU-Länder. Die Mehrheit plädiert für freiwillige nationale Ziele.

Kritisch ist die Lage laut Adelphi auch bei den Zusatzstoffen. Hier lehnen zwar nur zehn Staaten jegliche Regelung ab, darunter Russland und Saudi-Arabien, doch wichtige Produktionsländer wie China, Indien und die USA plädieren hier für nur wenig ambitionierte Maßnahmen. Adelphi begleitet die Verhandlungen seit 2022 intensiv.

Deutlich besser sieht es bei den geplanten Standards für Plastikprodukte aus, die sie umweltverträglicher und leichter recyclebar machen sollen. Hier unterstützt der größte Teil der

Staaten global verbindliche Regelungen. Am wenigsten umstritten ist das Ziel, die bestehende Plastikverschmutzung zu beseitigen, allerdings muss hier noch die Frage der Finanzierung geklärt werden.

Wie schwierig die Verhandlungen in Busan zu werden drohen, kann man daran ablesen, dass der offizielle, über 70 Seiten umfassende Textentwurf zu dem Abkommen noch 3500 Klammern enthält, die fehlenden Konsens markieren. Zwar liegt inzwischen ein Vorschlag der Konferenzleitung für einen vereinfachten Text vor, doch auch dieser ist umstritten. So dürfte es schon als Erfolg gelten, wenn die Staaten sich auf ein Rahmenabkommen einigen, bei dem die konkrete Umsetzung erst in weiteren Verhandlungsrunden entschieden wird.

Kommentar von Joachim Wille, Frankfurter Rundschau, Stand 25.11.2024, 13:23 Uhr

Reifenabrieb bedroht Süßgewässer

Ein Forschungsteam unter Leitung von Prof. Dr. Markus Pfenninger vom Senckenberg Biodiversität und Klimafor­schungs­zentrum Frankfurt (SBiK-F) hat die Auswirkungen von Reifenabriebpartikeln auf Süßwasser-Ökosysteme untersucht. Ihre nun im Fachjournal "Science of The Total Environment" erschienene Studie zeigt: Das aus dem Straßenverkehr stam­mende toxische Partikelgemisch schädigt wichtige Wasserorganismen. [...].

Das Team mit Forschenden unter anderem des LOEWE-Zentrums für Translationale Biodiversitätsgenomik (TBG) und der Goethe-Universität Frankfurt untersuchte die Auswirkungen von Reifenabriebpartikeln auf Larven der Zuckmückenart *Chironomus riparius* - eines der häufigsten Lebewesen in Gewässerökosystemen und ein viel genutzter Organismus bei Umweltverträglichkeitsprüfungen - und kam zu alarmierenden Ergebnissen: Der Reifenabrieb beeinträchtigt das Überleben, die Entwicklung und die Fortpflanzung der Organismen. [...].

Die Forschenden analysierten Sedimente aus straßennahen Rückhaltebecken und bestimmten zunächst die Menge und die Zusammensetzung des darin enthaltenen Reifenabriebs. Die Zuckmückenlarven wurden dann unterschiedlichen Konzentrationen der Sedimente ausgesetzt, anschließend maßen die Forschende Parameter wie Sterblichkeit, Entwicklung, das Geschlechterverhältnis, Fruchtbarkeit und Größe. Zudem wurde analysiert, in welchem Umfang die Organismen "oxidativem Stress" durch freie Radikale ausgesetzt waren und die Entwicklung der Populationswachstumsrate geschätzt.

"Wir haben in den urbanen Sedimenten ein hochkomplexes, für die Verschmutzung durch Straßenabflüsse typisches Stoffgemisch gefunden", berichtet Lorenzo Rigano, Erstautor der Studie und Doktorand am LOEWE-Zentrum für Translationale Biodiversitätsgenomik (TBG), und fährt fort: "Diese Mischung

hatte bei unseren Laboruntersuchungen komplexe und deutlich schädliche Auswirkungen auf die Mückenlarven und die adulten Organismen. Das kontaminierte Sediment erhöhte die Sterblichkeit um fast 30 Prozent. Auch die Fruchtbarkeit nahm sichtbar ab und es kam zu einer Verringerung der Zahl fruchtbarer Eier pro Weibchen. Wir konnten deutliche Zeichen von oxidativem Stress feststellen und die Populationswachstumsrate war je nach Konzentration signifikant verringert. Unsere Studie zeigt deutlich, dass Reifenabriebpartikel eine unterschätzte Gefahr für unsere Gewässer darstellen. Die in den Partikeln enthaltenen Schadstoffe wirken sich zusammen toxischer auf Wasserorganismen aus, als es jede einzelne Komponente allein tun würde." Als besonders besorgniserregend stellt die Studie heraus, dass die beobachteten Fortpflanzungsstörungen möglicherweise über mehrere Generationen hinweg bestehen bleiben könnten. Zudem enthalten TRWPs eine Vielzahl von Chemikalien und Schadstoffen, die sich im Körpergewebe anreichern können und so über die Nahrungskette kaskadenartige Auswirkungen auf Süßwasser-Ökosysteme haben können. [...]. "Konkret müssen wir die Belastung unserer Umwelt durch den toxischen Reifenabrieb reduzieren, um unsere Gewässer zu schützen und die biologische Vielfalt zu erhalten."

Pressemitteilung (gekürzt) der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung vom 10.09.2024

Vollständiger Text: /

<https://www.senckenberg.de/de/pressemeldungen/ausgebremst-reifenabrieb-bedroht-suessgewaesser>

Originalpublikation:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972405753X?via%3Dihub>



EuChemS-DCE survey on representation of Environmental Chemistry in programmes of higher education

What about the dissemination of environmental chemistry knowledge and the establishment of environmental chemistry as a subject in higher education?

(14.11.2024) Chemistry is one of the fundamental disciplines of the environmental sciences and, consequently, is usually included in related programmes of higher education, such as Environmental Science, Environmental Assessment, Environmental Engineering, Sustainability, Biotechnology, and many other programme titles, including also Chemistry and Environmental Chemistry. Environmental Chemistry creates knowledge that is important for human health, ecosystem integrity, and, in broader terms, the achievement of a good quality of life. Regardless of various societies' perspectives, education is key to sustainable development, and it has to include environ-

mental chemistry. Generally, for all disciplines, curricular reforms (Bologna reforms, since the 2000s) lead to notable diversification of existing programmes of higher education in Europe, a process that is still on-going.

The science of chemistry in environmental media (air, water and soil compartments) and the entire (multicompartment) environment has its roots in geosciences (biogeochemistry, hydrology, oceanography, meteorology and soil science) on one hand, and traditional chemical disciplines (physical, analytical, inorganic and organic chemistry, among others) on the other. The development and application of environmental technologies for mitigation and remediation purposes have also been grounded in the engineering sciences. Environmental chemistry has been emerging since the 1970s, stimulated by investigations into air and water pollution and their impacts, and is reflected today in numerous dedicated scientific journals, textbooks, and curricula. Progress in environmental chemistry is picked up by ecotoxicology and environmental and human health risk assessment.

The EuChemS Division of Chemistry and the Environment is dedicated to supporting and promoting the establishment and incorporation of Environmental Chemistry in higher education. To identify environmental science (including engineering) programmes in higher education across Europe, as well as their contents and trends, DCE conducts a Europe-wide survey, its second since 2012. Information and data on these programmes are collected via a questionnaire published on the EuChemS website.

Gerhard Lammel*, Ivana Ivančev-Tumbas**, Ester Heath***,

*Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany,

**University of Novi Sad, Novi Sad, Republic of Serbia,

***Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

Access to the survey: <https://www.euchems.eu/dce-survey-on-ec-in-higher-education/>

Anja Ramsperger erhält den Kulturpreis Bayern



Für ihre herausragende Doktorarbeit im Fachbereich Biologie hat Dr. Anja Ramsperger vom Sonderforschungsbereich 1357 Mikroplastik der Universität Bayreuth den Kulturpreis Bayern

erhalten. Der Preis der Bayerwerk AG (Bayerwerk) ehrt neben Kulturschaffenden auch Doktorandinnen und Doktoranden an bayerischen Hochschulen und Universitäten.

[...]„Ich freue mich sehr, dass meine Dissertation mit dem Kulturpreis Bayern ausgezeichnet wurde. Es ist eine große Anerkennung für das Engagement und die harte Arbeit, die ich in dieses Projekt gesteckt habe. Ich bin dankbar für die Unterstützung, die ich an der Uni Bayreuth während des gesamten Prozesses erhalten habe“, sagt Ramsperger.

Der Bayerische Wissenschafts- und Kunstminister Markus Blume betont: „Wissenschaft und Kunst sind aufs engste miteinander verbunden – sie sind Lebenselixier der freiheitlichen Gesellschaft. Es ist richtig und wichtig, dass wir beim Kulturpreis Bayern in der Sparte Wissenschaft junge Talente aus unseren Hochschulen für ihre Ideen und ihren Mut auszeichnen. Die Preisträger beleben mit ihrem Zukunfts-Spirit unseren Wissenschaftsstandort. Hier zeigt sich: Unsere Hochschulen sind echte Talent- und Innovationschmieden.“

Dr. Egon Leo Westphal, Vorstandsvorsitzender der Bayerwerk AG, sieht die Wissenschaft als Basis für die Realität von morgen: „Innovation, Technologie und Wissenschaft sind die Fundamente, um Realitäten zu verändern oder neue zu schaffen – das gilt nicht nur für die Energiewirtschaft, sondern für alle Lebensbereiche. Die Wissenschaft zeigt uns auf, was nötig ist und was möglich ist. Unsere diesjährigen Preisträgerinnen und Preisträger aus der Hochschullandschaft gehen wichtigen gesellschaftlichen Fragen auf den Grund und geben mit ihren Arbeiten wertvolle Impulse für die Realität von heute und morgen. Mit unserer Auszeichnung möchten wir das würdigen.“

Die Preise in der Sparte Wissenschaft sind mit jeweils 3.000 Euro dotiert. Alle 33 Preisträgerinnen und Preisträger erhielten außerdem die von dem Schwandorfer Bildhauer Peter Mayer geformte Bronzestatue „Gedankenblitz“. Ausgewählt werden die Preisträgerinnen und Preisträger von den staatlichen bayerischen Hochschulen, Kunsthochschulen und Universitäten. Die Kunstpreisträgerinnen und -preisträger wiederum werden von einer Fachjury ausgewählt.

Die Dissertation entstand im von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereich 1357 Mikroplastik unter dem Titel „Environmental Microplastics: How the Surface Properties of Microplastic Particles Determine their Particle-Cell Interactions“. Seit 2024 ist Dr. Anja Ramsperger Postdoc am Lehrstuhl für Tierökologie I an der Universität Bayreuth. Derzeit erforscht sie im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts „Plastics Fate and Effects in the human body -PlasticsFatE“ die Expositions-szenarien des Menschen gegenüber Mikro- und Nanoplastik, deren Verbleib in menschlichen Geweben und deren mögliche schädliche Auswirkungen *in vitro*.

Universität Bayreuth, Pressemitteilung Nr. 126/2024 (gekürzt) vom 15.11.2024



Wie gefährlich sind die Vulkane am Golf von Neapel?

Matthias Kudra (kudra@uni-leipzig.de)

Wilhelm-Ostwald-Institut für Physikalische und Theoretische Chemie
Linnéstraße 2, 04103 Leipzig



Blick auf den Vesuv am Golf von Neapel, Foto: M. Kudra

Im Golf von Neapel - zu dem u.a. die Großstadt Neapel aber auch die Inseln Ischia, Capri, Procida, Vivara und Nisida gehören, befinden sich gleich zwei gefährliche Vulkane, der Vesuv und die Phlegräischen Felder, die den Geologen Sorgen bereiten. Der heute 1281 m hohe Vesuv ist überall sichtbar. Bei den Phlegräischen Feldern handelt es sich dagegen um Vulkanfelder, aus denen giftige Gase wie Schwefeldioxid und Kohlendioxid aufsteigen und den Boden systematisch anheben. Deshalb riecht es in der Umgebung der Großstadt Neapel immer wieder nach Schwefel. Gefährlicher ist aber der gleichzeitige Ausstoß von Kohlendioxid, das geruchlos ist und sich in Senken ansammelt und so zu einer Gesundheitsgefährdung der Anwohner führen kann.

Der letzte große Ausbruch des Vesuvs liegt fast 2000 Jahre zurück. Im Jahre 79 n. Chr. explodierte der Vesuv und begrub die ehemalige römische Stadt Pompeji mit einer 20 m hohen Schicht aus vulkanischen Ablagerungen und viele Menschen fanden in den 800 Grad heißen Gasen einen grausamen Tod. Der letzte Ausbruch der Phlegräischen Felder liegt dagegen nur 500 Jahre zurück. Von den großen Ausbrüchen existieren also keine genauen Messdaten, auf die sich die Wissenschaft heute stützen kann, was immer wieder zu Spekulationen führt und die Frage steht im Raum ob „Beide Vulkane reif für eine Eruption sind“¹. Die letzte Eruption am Vesuv liegt 80 Jahre zurück. Im März 1944 begrub der Vulkan die Orte Massa di Somma und San Sebastiano und mehr als 12.000 Personen mussten evakuiert werden. Seitdem ereignen sich am Vesuv und den Phlegräischen Feldern immer wieder kleinere Erdbeben. Im April dieses Jahres wurde die Großstadt Neapel von Dutzenden Erdbeben erschüttert. Die Stärke der Erdbeben lag laut dem Nationalen Institut für Geophysik und Vulkanologie

(INGV) bei der Magnitude 4,4. Das letzte spürbare Erdbeben am Vesuv liegt auch nur wenige Monate zurück. Im April dieses Jahres gab es im Gipfelbereich des Vesuvs ein Erdbeben der Stärke 3,1.² Laut den Experten ist dies die intensivste Erdbebenserie seit vier Jahrzehnten.



Phlegräische Felder. Quelle:
<https://www.italia.it/en/campania/campi-flegrei>



Messstation am Krater des Vesuvs, Foto: M. Kudra

Natürlich werden sowohl der Vesuv als auch die Phlegräischen Feldern durch ein engmaschiges Netz von Messstationen ständig überwacht. Eine Vielzahl von speziellen Messinstrumenten wie Seismometer aber auch satellitengestützte Fernerkundung fühlen den Vulkanen am Puls und übermitteln ihre Daten per Funk zum Vesuv-Observatorium, dem ältesten vulkanologischen Observatorium der Welt, das 1841 gegründet wurde. Dabei werden u.a. Gas- und Lavaprobe gesammelt und analysiert sowie Temperaturen gemessen, um festzustellen, ob Magma in den Untergrund eindringt.² Im Observatorium laufen nicht nur die Daten vom Vesuv zusammen, sondern

auch von allen Vulkanen Kampaniens, insbesondere von den Phlegräischen Feldern, der Insel Ischia und vom Stromboli. Das Vesuv-Observatorium untersteht dem INGV (Nationalen Institut für Geophysik und Vulkanologie) und wird vom italienischen Ministerium für Bildung und Forschung finanziert. Zudem untersucht ein interdisziplinäres Team um den Vulkanologen Prof. Thomas Walter (Universität Potsdam und Deutsches GeoForschungsZentrum im Rahmen der Helmholtz-Zentrums) auf neuartige Weise, wie die Hänge von Vulkanen ins Rutschen geraten können oder wie es zu plötzlichen Eruptionen kommt. Die Aktivitäten an den Vulkanen schätzt der Professor so ein: „Geologisch gesehen ist das alles normal, aber für den Menschen gelten andere Zeitspannen, sodass hier sicherlich nicht von Normalität gesprochen werden kann.“ und beruhigt: „Der Vulkan wird überwacht wie kein anderer Vulkan weltweit.“⁴

Drei Millionen Menschen leben in der Gefahrenzone, mindestens 600.000 von ihnen in der besonders gefährlichen Roten Zone auf den Hängen des Vesuvs. Der Staat hatte diesen Bewohnern 30.000 Euro geboten, falls sie wegzögen - nur ein paar Tausend nahmen die Offerte bislang an.³ Trotzdem werden ständig an den Hängen des Vulkans neue Häuser gebaut, darunter sogar ein Krankenhaus. Natürlich gibt es einen Notfallplan, der eine Evakuierung der Vulkanhänge vorsieht - in einer Gegend, in der schon alltags Verkehrschaos herrscht.

Die vulkanischen Aktivitäten beeinflussen auch das Klima auf der Erde; insbesondere führt der Ausstoß von Schwefelgasen bei einer Eruption zu einer Abkühlung des Klimas, denn die entstehenden Aerosole, streuen das einfallende Sonnenlicht von der Stratosphäre ins Weltall zurück. Wie das Umweltbundesamt zu einer Anfrage erläutert, dauert dieser Effekt der Abkühlung nur wenige Jahre. Dagegen ist der vulkanische CO₂-Ausstoß gegenüber dem des Menschen unbedeutend. Eine Datenrecherche des Umweltbundesamtes belegt, dass dieser Ausstoß etwa 0,3 bis 0,6 Milliarden Tonnen Kohlenstoffdioxid beträgt, das entspricht – verglichen mit den Emissionen des Menschen – 0,7 bis 1,5 Prozent.⁶



Blick von der Insel Capri auf den Golf von Neapel, Foto: M. Kudra



Der Krater des Vesuvs, Foto: M. Kudra

Da sich am Golf von Neapel Gegenwart und Vergangenheit, Kultur und Landschaft so harmonisch miteinander verbinden, ist die Region natürlich auch ein sehr beehrtes Reiseziel. Täglich besuchen tausende Touristen nicht nur den Krater des Vesuv und die antike Ausgrabungsstätte Pompeji sondern suchen auch Entspannung und Erholung in den Heilquellen auf den Inseln z.B. Ischia. Viele Reiseveranstalter bieten einen Bus-Ausflug zum Vesuv an. Unterhalb des Vulkans in ca. 1000m Höhe gibt es einen kostenpflichtigen Parkplatz, von dem man auf vielen Serpentina in mehr als 1 Stunde bis an den Kraterlauf laufen kann. Der Aufstieg lohnt sich wirklich. Man hat nicht nur einen Eindruck vom gigantischen Krater des Vesuvs sondern auch einen herrlichen Blick auf den Golf von Neapel.

Links

- (1) Forscher sorgt sich um Vesuv und Phlegräische Felder in Italien: „Beide Vulkane sind reif für eine Eruption“, Frankfurter Rundschau vom 28.08.2024
- (2) Vesuv: Spürbares Erdbeben erschüttert Neapel, Vulkane Net Newsblog, <https://www.vulkane.net/blogmobil/vesuv-spuerbares-erdbeben-erschuettert-neapel/>
- (3) Spiegel der Wissenschaft: Gefährliche Nähe <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/vesuv-bei-neapel-gefaehrliche-naehe-a-1151469.html>
- (4) Supervulkan lässt Italien beben – „Hier kann sicherlich nicht von Normalität gesprochen werden“ Nachrichtenmagazin Merkur vom 11.09.2024 <https://www.merkur.de/wissen/flegrei-italien-sicherlich-nicht-normalitaet-erdbeben-boden-hebung-supervulkan-campi-93033098.html>
- (5) Pompeji - Der Untergang einer römischen Stadt <https://www.vulkane.net/vulkane/pompeji/pompeji.html>
- (6) Übersehen die Klimatologen die vulkanischen Einflüsse auf das Klima? <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/uebersehen-die-klimatologen-die-vulkanischen>

Unsere neuen Mitglieder

Neuaufnahmen in die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie vom 14.08. bis 22.11.2024

Kintzi, Aaron, FG-Eintritt: 20.08.2024
Wintermeyer, Cosima, FG-Eintritt: 22.08.2024
Daniel, Christian, FG-Eintritt: 26.08.2024
Wolff, Lucas, FG-Eintritt: 26.08.2024
Warkocz, Carlos, FG-Eintritt: 06.09.2024
Schmitt, Annette, FG-Eintritt: 13.09.2024
Käfer, Katharina, FG-Eintritt: 27.09.2024
Krause, Ann-Cathrin FG-Eintritt: 07.10.2024
Peifer, Julia Sophie, FG-Eintritt: 07.10.2024
Ramsperger, Anja, FG-Eintritt: 10.10.2024
Adebowale, Adetola, FG-Eintritt: 10.10.2024
Phung, Thi Hanh Nguyen, FG-Eintritt: 23.10.2024
Mundt, Leonie, FG-Eintritt: 24.10.2024
Ringelmann, Anne Elisabeth, FG-Eintritt: 28.10.2024
Randt, Philipp, FG-Eintritt: 30.10.2024
Föcking, Frederik, FG-Eintritt: 30.10.2024
Berkemeier, Thomas, FG-Eintritt: 05.11.2024
Beyer, Doreen, FG-Eintritt: 14.11.2024
Kullik, Hannah, FG-Eintritt: 22.11.2024

Geburtstage

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

Geburtstagsliste Januar bis März 2025

60 Jährige

Dipl.-Chem. Matthias Wittstock, Geburtstag: 07.01.1965
Dr. Robby Wegner, Geburtstag: 17.02.1965
Dipl.-Chem. Karin Menting, Geburtstag: 02.03.1965
Prof. Dr. Arno Weber, Geburtstag: 03.03.1965
• 2020 Vorsitzender des Vorstands des Verbands für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit (NCh 3/20)

65 Jährige

Dr. Brigitte Zarnitz, Geburtstag: 12.01.1960
Dr. Klaus Rettinger, Geburtstag: 21.01.1960
Dr. Frank Siedler, Geburtstag: 19.02.1960
Prof. Dr. Roland Kallenborn, Geburtstag: 22.03.1960

70 Jährige

Dr. Karl-Heinz Kühnemund, Geburtstag: 04.01.1955
Dr. Reinhard Beck, Geburtstag: 06.01.1955
Prof. Dr. Walter Sterzel, Geburtstag: 10.01.1955
• 01.01.1999–31.12.2006 FG-Beisitzer: FG Umweltchemie und Ökotoxikologie
Dipl.-Chem. Arnold Schmidts, Geburtstag: 13.01.1955
Prof. Dr. Hans-Gerd Löhmannsröben, Geburtstag: 12.03.1955
• 01.04.1994–31.03.1995 OV-Vorsitzender: Braunschweig

75 Jährige

Dr. Eberhard Winkler, Geburtstag: 26.01.1950
Dr. Franz Saykowski, Geburtstag: 16.02.1950

80 Jährige

• Prof. Dr. Cornelius Zetzsch, Geburtstag: 25.02.1945
01.01.1999–31.12.2004 Arbeitskreis-Vorsitzender: U+Ö
AK Atmosphärenchemie