

EMERGING POLLUTANTS

Ungebetene Gäste im Stoffkreislauf

EIN PERSÖNLICHER BLICK VON

Dipl.-Ing. Dr. Klaus Bernhard

Wir alle sind von einer steigenden Zahl von chemischen Stoffen umgeben, die unseren Alltag erleichtern und unser Leben wertvoller machen. Doch manche von ihnen entfalten neben den gewünschten Effekten auch unerwartete negative Nebenwirkungen – sogenannte Emerging Pollutants, die Umwelt und Gesundheit gefährden. Ziel zukunftsfähiger Stoffkreisläufe sollte daher nicht nur die Schonung von Ressourcen, sondern ebenso das frühzeitige Erkennen und konsequente Ausschleusen von Schadstoffen sein.

Menschen nutzen seit jeher unterschiedlichste Stoffe, Materialien und chemische Substanzen, um sich den Alltag zu erleichtern. Materialien haben das Leben der Menschen so sehr bestimmt, dass sogar geschichtliche Epochen wie die Bronzezeit (3000 – 1000 v. Chr.) nach diesen benannt wurden.

Der Hauptbestandteil von Bronze, das chemische Element Kupfer, ist jedoch ein gutes Beispiel dafür, dass ein Stoff sowohl positive als auch – unerwartete – negative Auswirkungen haben kann: Kupfertöpfe sind verhältnismäßig leicht aus dem gut verformbaren Material herzustellen, leiten Wärme hervorragend und wirken



Historische Kupferbehältnisse, Quelle: Silar – commons.wikimedia.org: CC-BY-SA-4.0

antibakteriell. Jahrhunderte kochten Menschen ihre Speisen in kupfernen Töpfen und bewahrten Trinkwasser darin auf. Allerdings konnten sich beim Kontakt mit säurehaltigen Speisen wie Salaten hohe Dosen an

Kupferionen lösen, sodass es zu Vergiftungen kam – ein drastischer Preis für die Vorteile des Metalls. Die Menschen lernten deshalb früh, Kupfergefäße vorsichtig zu nutzen, etwa durch Innenbeschichtungen aus Zinn. [1] Daher konnten die Menschen zwar von den Vorteilen profitieren, die negativen Auswirkungen jedoch (weitgehend) vermeiden.

Was sind Emerging Pollutants?

In den letzten Jahrzehnten hat sich auf Grund der enormen technischen Fortschritte und der Zunahme des allgemeinen Wohlstandes die Tonnage und die Anzahl an Stoffen vervielfacht. Schätzungsweise 350.000 Chemikalien und Chemikaliengemische sind weltweit auf dem Markt registriert. [2] Die meisten davon wurden erst in den letzten Jahrzehnten entwickelt, und ihre Auswirkungen auf Umwelt und Menschen sind häufig noch nicht komplett verstanden.

Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass immer wieder neue Schadstoffe in der Umwelt nachgewiesen werden, die bis vor kurzem kaum beachtet wurden. Diese Emerging Pollutants, deren Vorkommen in der Umwelt oder ihre Gefährlichkeit definitionsgemäß erst seit den 1990er Jahre bekannt wurde, umfassen ein breites Spektrum verschiedenster Substanzen. Leider gibt es keine einheitliche, international anerkannte Liste aller Emerging Pollutants.

Symbol	Stoffgruppe	Beispiele	Typische Anwendungen / Quellen
	Hormone & hormonähnliche Substanzen	Bisphenol A, DEHP, Ethinylestradiol	Weichmacher in Kunststoffen, hormonelle Verhütungsmittel, Lebensmittelverpackungen
	PFAS (Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen)	PFOA, PFOS	Löschschäume, fett- & wasserabweisende Beschichtungen, Pflanzenschutzmittel
	Bromierte Flammschutzmittel	PBDEs, HBCD	Flammschutz in Textilien, Polstermöbeln, Elektronikgehäusen
	Mikroplastik	Polyethylen-Mikropartikel, Reifenabrieb	Kosmetika, Reinigungsprodukte, Abrieb von Kunststoffteilen & Reifen
	Kurzkettige Silikone	D4, D5	Shampoos, Cremes, Imprägniermittel, Schmierstoffe
	Arzneimittel & Drogen	Diclofenac, Ibuprofen, Antibiotika, Kokainrückstände	Human- & Veterinärmedizin, Freizeitkonsum
	Pestizide	Atrazin-Abbauprodukte, Fluopyram	Landwirtschaft, Rückstände in Grund- & Oberflächenwasser
	(Schwer-) metall-Nanopartikel	Silber-, Zinkoxid-, Titandioxid-NPs	Beschichtungen, Desinfektionsmittel, Sonnenschutzcremes
	Andere Industriechemikalien	Quaternäre Ammoniumverbindungen, Benzotriazole, 6PPD	Korrosionsschutz, Reinigungsmittel, Antioxidantien, industrielle Additive

Auswahl an Emerging Pollutants in unserer Umwelt; Quelle Symbole: KI-generiert (DALL-E), Öö. Zukunftsakademie

Vielmehr existieren verschiedene EU-weit gültige Verzeichnisse, die Hinweise auf derartige Substanzen geben. Dies sind insbesondere:

- Substances restricted under REACH [3]
- Candidate List of substances of very high concern for Authorisation [4]
- EU surface water watchlist [5]

Darunter fallen sehr unterschiedliche Substanzen, die von organischen über anorganischen bis hin zu mikroskopischen Teilchen (Mikroplastik) reichen. In der oben angeführten Auswahl an Emerging Pollutants sind sowohl aktuelle als auch vor wenigen Jahren gängige Anwendungen enthalten, die aber noch immer Auswirkungen auf Menschen und Umwelt entfalten können.

Zwar sind die Konzentrationen vieler dieser Stoffe oft gering, dennoch können schon kleine Mengen langfristig Folgen für Gesundheit und Wohlbefinden haben. Kritisch sind beispielsweise Substanzen, die in den Hormonhaushalt eingreifen und so Entwicklungsprozesse, Fruchtbarkeit oder das Immunsystem beeinflussen können.

Emerging Pollutants im Stoffkreislauf

Eine besondere Herausforderung besteht darin, dass aus Gründen der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes immer mehr auf Kreislaufwirtschaft gesetzt wird. Diese soll die in früheren Jahrzehnten übliche Wegwerfgesellschaft längerfristig ablösen. Falls Emerging Pollutants beispielsweise aus ehemals zulässigen Anwendungen in den Stoffkreislauf gelangen, dauert es in manchen Fällen lange Zeit, bis sie aus diesem wieder ausgeschieden sind.

Auf diese Weise können zirkulierende Schadstoffe zu unangenehmen und „ungebetenen“ Gästen im Stoffkreislauf werden und stellen eine längerfristige Belastung von Umwelt und Gesundheit dar.

PFAS: Ewige Chemikalien – endlose Probleme

Die bekannteste Stoffklasse unter den Emerging Pollutants sind zweifellos die perfluorierten Substanzen (PFAS), auch „forever chemicals“ genannt.



Modell der Kreislaufwirtschaft, Quelle: Wissenschaftlicher Dienst des Europäischen Parlaments

Diese Substanzen sind bzw. waren bis vor kurzem in verschiedensten Alltagsprodukten weit verbreitet, wie etwa

- Imprägnierte Textilien
- Beschichtete Fastfoodverpackungen
- Spezielle Pflanzenschutzmittel
- Feuerlöschschäume (AFFF Schäume)
- Kosmetika

Dies führt dazu, dass PFAS wenn auch in unterschiedlichen Konzentrationen mittlerweile sowohl in der Natur als auch in sehr vielen Stoffkreisläufen wiederzufinden sind. Die „Map of Forever Pollution in Europe“ in der bekannte und vermutete PFAS-Schadensfälle eingetragen sind, gibt einen Hinweis auf die umfassende Problematik dieser Substanzklasse. [6]

PFAS (Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen), stehen neben Auswirkungen auf das Immunsystem im Verdacht, den Cholesterinspiegel im Blut zu erhöhen und dadurch Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu begünstigen. [7] Diese Substanzen werden neuerdings auch mit ökologischen Auswirkungen wie der Verringerung der Fruchtbarkeit von Meeresorganismen wie Schildkröten in Verbindung gebracht. [8]

In Oberösterreich sind PFAS-Kontaminationen vorwiegend in Hinblick auf die Verwendung von bis zum Jahr 2023 [9] zugelassenen fluorhaltigen Löschschäumen sowie der Verwendung von bestimmten fluorhaltigen Pestiziden (als Quelle von Trifluoracetat) bekannt. [10] Die Kreislaufwirtschaft steht hier vor einer großen Herausforderung, weil langlebige Schadstoffe die Qualität von Recyclingmaterialien beeinträchtigen können. Einmal in den Stoffkreislauf eingebracht, lassen sich PFAS kaum rückstandsfrei entfernen und gefährden so das Prinzip geschlossener Kreisläufe.

Ein aktuelles Beispiel ist das Recycling von Textilien, die in Oberösterreich in großen Mengen als Abfälle anfallen und künftig verstärkt im Kreislauf gehalten werden sollen. Dies soll etwa durch stoffliche Verwertung von nicht mehr tragbaren Kleidungsstücken erfolgen. Dabei ergibt sich die Herausforderung, dass mit PFAS beschichtete Textilien in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden bzw. wurden, um besondere Schutz- und Komforteigenschaften zu erreichen. [8,9] Dazu zählen Outdoor- und Sportbekleidung, die durch Imprägnierungen wasser- und schmutzabweisend gemacht wird, ebenso wie öl- und chemikalienresistente Arbeitskleidung.

Emerging Pollutants kennen keine Grenzen – was einmal in der Umwelt ist, findet den Weg zu uns zurück.

Im Sinne von künftigen Stoffkreisläufen im Textilsektor [11,12] sollten nun PFAS-beschichtete Kleidungsstücke mit großem Aufwand erfasst und ordnungsgemäß entsorgt werden. Ein Trost ist, dass unter den üblichen Bedingungen in Abfallverbrennungsanlagen PFAS-Verbindungen laut derzeitigem Wissensstand zum allergrößten Teil zerstört werden. [13]



Mit PFAS imprägniertes wasserabweisendes Textil
Quelle: Brocken Inaglori – commons.wikimedia.org: CC BY-SA 3.0

Die PFAS sind auch ein Beispiel dafür, dass sich das seit Jahrzehnten im Land Oberösterreich gelebte „Vorsorgeprinzip“ ausgezahlt hat: Obwohl mögliche Kontamination von industriellen Klärschlämmen (z.B. aus der Papierindustrie) mit PFAS noch nicht bekannt war, wurden diese niemals landwirtschaftlich verwertet, sondern ordnungsgemäß thermisch behandelt. In anderen Ländern hingegen entstanden durch diese Praxis teilweise bedeutende Bodenkontamination von großen landwirtschaftlich genutzten Flächen. [14,15]

Allerdings stellt auch die in Oberösterreich noch erlaubte Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen einen Eintragspfad von PFAS und anderen Emerging Pollutants (neben dem positiven Aspekt der Nährstoffausbringung) dar und wird daher zunehmend kritisch gesehen. [16] Im Folgenden soll beispielhaft noch ein anderes aktuelles Beispiel

einer chemischen Substanz vorgestellt werden, die bis vor kurzem für wenig problematisch gehalten wurde.

6PPD: Gummischutz mit Nebenwirkungen



Stapel Altreifen, Quelle: PheobeLongneck – commons.wikimedia.org; CC0 1.0

Damit Gummiwaren wie Reifen, aber auch andere Haushaltsgegenstände nicht verspröden, werden sogenannte Antioxidantien wie das 6PPD bei der Produktion beigelegt. Dieses wurde bis vor wenigen Jahren als ziemlich „harmlos“ betrachtet, sodass 6PPD sogar lange Zeit in Lebensmittelkontaktmaterialien wie z.B. Gummischläuchen in Melkmaschinen eingesetzt wurde.

Überraschend zeigte sich 2020 in den USA,

dass ein Reaktionsprodukt von 6PPD im Reifenabrieb die Erklärung für mysteriöse Fischsterben nach Starkregenereignissen war. [17] Da Reifenabrieb weltweit in großen Mengen entsteht, gilt 6PPD inzwischen als ein global relevantes Umweltproblem, für das bislang keine sichere Alternative existiert.

Was bedeutet dies für die Kreislaufwirtschaft? Im Juli 2025 wurde 6PPD als Kandidat für künftige Restriktionen laut europäischen Chemikalienrecht aufgenommen und es wird im Detail geprüft, wo sie verwendet wird und was mögliche Auswirkungen auf Menschen und Natur sind. [18] Immerhin hat 6PPD – im Vergleich zu den Ewigkeitschemikalien – die Eigenschaft, dass sie

während des Gebrauches z.B. als Reifen mit der Zeit als Antioxidans aufgebraucht wird. Recyclinggummi, der z.B. für Matten in der Tierhaltung oder im Sportplatzbau eingesetzt wird, weist im Schnitt nur mehr 10 % der Konzentration eines Neureifens auf. 6PPD bleibt daher nicht „ewig“ im Stoffkreislauf, sobald ein Ersatzstoff gefunden ist.

Chancen nutzen – Risiken managen

Diese beiden sehr unterschiedlichen Stoffe als Teil der umfangreicheren Gruppe der Emerging Pollutants erinnern uns daran, dass Fortschritt und Wohlstand stets auch Schattenseiten mit sich bringen. Genauso wie wir lernen, Materialien mit immer besseren technischen Eigenschaften herzustellen, werden wir in Zukunft immer wieder – auch überraschende – Risiken neuer, aber auch schon bekannter Stoffe herausfinden.

Um mit den vielfältigen Risiken in einer optimalen Weise umzugehen, sind abgestimmte Strategien auf verschiedensten Ebenen empfehlenswert, wobei der PFAS-Aktionsplan als Vorbild dienen kann. [19] Dazu gehört es, möglichst viel über die betreffenden Substanzen herauszufinden – zunehmend auch mit dem Einsatz von Künstlicher Intelligenz, die große Datenmengen schneller auswertbar macht.

Das übergeordnete Ziel bleibt, die umfassende Kreislaufwirtschaft voranzutreiben und Stoffströme nachhaltig zu gestalten. Gerade für Oberösterreich eröffnen sich dabei mit seinen innovativen, umweltbewussten Unternehmen und leistungsstarken Forschungseinrichtungen zahlreiche Chancen. Sie reichen von der KI unterstützten Erforschung der Analytik und Substitution schädlicher Stoffe bis zur Entwicklung digitaler Produktpässe, die die Zusammensetzung von Produkten noch nach Jahrzehnten nachvollziehbar machen.

Quellen

- [1] Kröner, A. 1895 (aus Wikisource), Gefährlichkeit des Kupfergeschirrs: https://de.wikisource.org/wiki/Gef%C3%A4hrliches_Kochgeschirr
- [2] Geneva Environment Network, 2025: <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/geneva-and-chemicals/>
- [3] European Chemicals Agency ECHA, 2025, Restricted substances under Reach: <https://echa.europa.eu/de/substances-restricted-under-reach>
- [4] European Chemicals Agency ECHA, 2025, Candidate List of substances of very high concern for Authorisation: <https://echa.europa.eu/de/candidate-list-table>
- [5] European Commission, 2025, EU Surface Water Watch List: https://environment.ec.europa.eu/news/new-substances-added-eu-surface-water-watchlist-2025-03-03_en
- [6] The forever pollution project, 2025: <https://foreverpollution.eu/map/>
- [7] Biggeri, A. et al., 2024, Environmental Health: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-024-01074-2>
- [8] Miniero, R. et al., 2025, Environmental Toxicology and Chemistry, 44, 3, 2025, 710–717: <https://academic.oup.com/etc/article/44/3/710/7942973>
- [9] Land Oberösterreich, 2023, LRⁱⁿ Langer-Weninger/LR Kaineder, Aus für PFAS Löschschäummittel: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/294440.htm>
- [10] Land Oberösterreich, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, 2025, PFAS: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/343808.htm>
- [11] Umweltprofis Oö, 2025: https://www.umweltprofis.at/allgemein/ooe_weite_projekte/upcycling.html
- [12] European Environment Agency, 2024, Pfas in Textiles: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/pfas-in-textiles-in-europes-circular-economy>
- [13] ORF, 2024, Mitverbrennung zerstört PFAS: <https://science.orf.at/stories/3227150/>
- [14] Land Oberösterreich, 2025, Abfall- und Kreislaufwirtschaft: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/651.htm>
- [15] Röhrer, K. et al., 2021, Journal of Contaminant Hydrology, 241: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169772221000516>
- [16] Land Oberösterreich, 2025, Klärschlammfall und -verwertung in Oberösterreich 2024: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/116626.htm>
- [17] Tian, Z. et al., 2020, Science, 371, 6525: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abd6951>
- [18] APA Engineering, 2025, EU Revises REACH Restrictions Roadmap: <https://apaengineering.com/compliance-news/reach-update-adds-6ppd-removes-thf>
- [19] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2024, PFAS-Aktionsplan: <https://www.bmluk.gv.at/service/publikationen/klima-und-umwelt/pfas-aktionsplan.html>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Amt der Oö. Landesregierung, Direktion Präsidium, Abteilung Trends und Innovation, Oö. Zukunftsakademie, Altstadt 30a, 4021 Linz, Tel.: +43 732 7720 14402,

E-Mail: zak.post@ooe.gv.at, ooe-zukunftsakademie.at | Redaktion: Dipl.-Ing. Dr. Klaus Bernhard

Auflage: Oktober 2025 | DVR: 0069264 | Titelbild: KI-generiert | Text KI-unterstützt erstellt

Informationen zum Datenschutz finden Sie unter: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/datenschutz>

