

Jean Schmitt*,
Gudrun Lettner

Zusammenfassung

Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) besitzen bemerkenswerte Eigenschaften, die sie für viele Anwendungen attraktiv machen: Antihafbeschichtungen, wasserdichte Kleidung und Feuerlöschschäume. Doch gerade ihre thermische und chemische Widerstandsfähigkeit bedeutet auch, dass sie nach ihrer Freisetzung in die Umwelt nur schwer abgebaut werden. PFAS werden mittlerweile in den entlegensten Regionen der Erde nachgewiesen, regelmäßig in Blutproben von Menschen und Wildtieren gefunden, und stehen mit einer Vielzahl negativer gesundheitlicher Auswirkungen in Verbindung.

Obwohl Herstellung und Verwendung einiger PFAS in vielen Ländern eingeschränkt sind, reichern sie sich weiterhin in der Umwelt an und bleiben dort oft Jahrzehnte bestehen, wodurch Lebensmittel und Wasser kontaminiert werden. Die Entfernung von PFAS aus der Umwelt wird in Europa auf Kosten von € 2 Billionen geschätzt, mit wiederkehrenden jährlichen Kosten von € 100 Mrd. zur Eindämmung zukünftiger Emissionen. Zusätzlich werden die durch PFAS verursachten gesundheitlichen Auswirkungen der Gesellschaft jährliche Kosten in Höhe von mehreren zehn Milliarden Euro auferlegen.

Regulatorische Maßnahmen fokussieren sich derzeit darauf, die Nutzung von PFAS zu reduzieren und die Exposition zu begrenzen, indem maximal zulässige Konzentrationen in Wasser und Lebensmitteln festgelegt werden. Allerdings werden etwa 1.400 PFAS derzeit in industriellen Anwendungen eingesetzt, was umfassende toxikologische und Umweltbewertungen zu einer gewaltigen Herausforderung macht.

Eine strenge Regulierung ist dringend erforderlich, um PFAS so schnell wie möglich auslaufen zu lassen, während zeitlich begrenzte, sektorspezifische Ausnahmen für Anwendungen gewährt werden, die derzeit keine sicheren Alternativen haben. Dies muss von einer verstärkten Unterstützung für die Einführung sicherer Ersatzmaterialien begleitet werden.

* Korrespondenzautor

PFAS

Eine globale Krise für Umwelt und Gesundheit

Einleitung

Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS), auch bekannt als „Ewigkeitschemikalien“, sind eine Klasse synthetischer organischer Chemikalien mit mindestens einer Kohlenstoff-Fluor-Bindung. Diese zählen zu den stärksten Einfachbindungen in der organischen Chemie. Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) liefert eine weithin akzeptierte und umfassende Definition von PFAS-Verbindungen.¹ In der PubChem-Datenbank sind derzeit mehr als 7 Millionen Moleküle als PFAS gelistet.

Ihre chemische Struktur verleiht PFAS eine hohe thermische und chemische Stabilität, was sie für eine Vielzahl von Anwendungen attraktiv macht. Allerdings ist diese Eigenschaft ein zweischneidiges Schwert: PFAS sind umweltbeständig, bauen sich nur sehr langsam ab und reichern sich über lange Zeiträume in Böden, Gewässern und lebenden Organismen, einschließlich Menschen, an. Bemühungen, PFAS abzubauen und aus der Umwelt zu entfernen, fokussieren sich darauf, die Kohlenstoff-Fluor-Bindung zu brechen – ein kostspieliger und energieintensiver Prozess, der derzeit schwer in großem Maßstab umzusetzen ist.²

PFAS sind außerdem wasser-, öl- und staubabweisend, was sie ideal für Schutzbeschichtungen macht. Sobald sie jedoch in die Umwelt freigesetzt werden, sind sie hochmobil und schwer aus kontaminiertem Wasser und Boden zu entfernen.

Etwa 1.400 PFAS werden gegenwärtig in mehr als 200 industriellen Anwendungen eingesetzt,³ darunter im Energiesektor, in medizinischen Geräten, Konsumgütern und Halbleitern. Insbesondere in hochbeständigen Beschichtungen für Windturbinen, in Batterien, Schmierstoffen, wasserdichten und leistungsstarken Textilien, Kosmetika, Antihafbeschichtungen für Kochgeschirr, Pestiziden, Feuerlöschschäumen und Lebensmittelverpackungen finden sie Verwendung. Sie kommen auch in Kühlsystemen und Wärmepumpen zum Einsatz. Mit der raschen Expansion von Rechenzentren, die durch Fortschritte in der künstlichen Intelligenz vorangetrieben wird, könnten diese Einrichtungen in Zukunft zu einer bedeutenden Quelle von PFAS werden.⁴

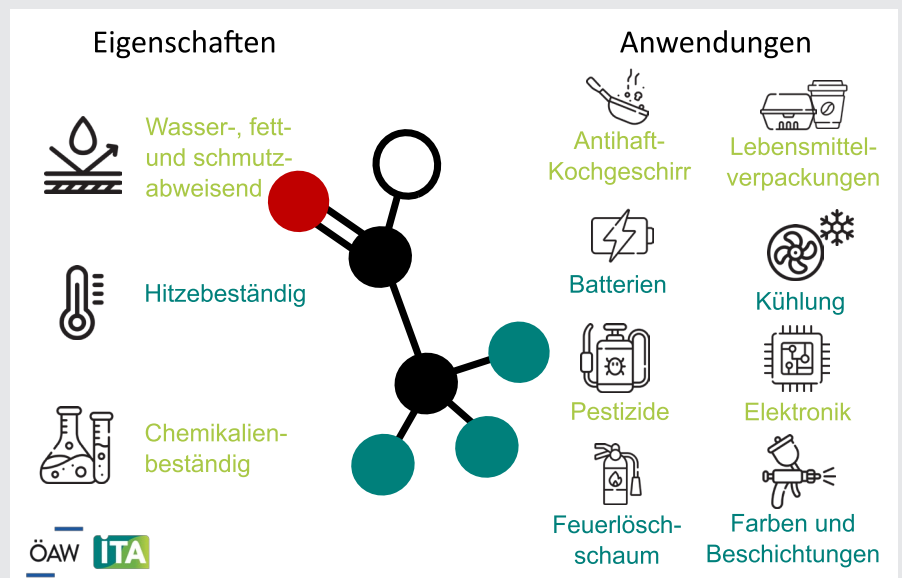


Abbildung 1: Eigenschaften und Hauptanwendungsbereiche von PFAS

PFAS sind wichtige Bestandteile vieler fortschrittlicher Materialien, von denen einige für Anwendungen im medizinischen Bereich und für die Energiewende von entscheidender Bedeutung sind. Dennoch hat ihre weit verbreitete Nutzung schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt. Der Fall PFAS verdeutlicht die Notwendigkeit von Instrumenten, die Innovationen in Advanced Materials lenken können, speziell angesichts der hohen Unsicherheit über potenzielle negative Folgen.

Legacy PFAS

PFAS werden seit den 1940er Jahren industriell eingesetzt, und bereits in den 1950er Jahren tauchten die ersten Bedenken hinsichtlich ihrer Umweltbeständigkeit und potenzieller Gesundheitsauswirkungen auf, was zugleich die ersten Initiativen zur Regulierung und Begrenzung ihrer Nutzung auslöste.⁵ Der Begriff „Legacy-PFAS“ bezieht sich im Allgemeinen auf vom Markt genommene Verbindungen, und umfasst typischerweise vier Moleküle und deren Derivate: Perfluorooctansäure (PFOA), Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und Perfluorononansäure (PFNA). PFOS und PFOA gehörten zu den ersten PFAS, die im industriellen Maßstab eingeführt wurden, insbesondere in wasserdichten Textilien und Feuerlöschschäumen.⁶ In den 1970er- und 1980er-Jahren wurden sie in Umwelt- und menschlichen Blutproben nachgewiesen.⁷ In den 1990er Jahren tauchten erste Hinweise auf ihre krebserregenden Wirkungen bei exponierten Arbeitern auf.⁸

Mit zunehmendem Nachweis ihrer Toxizität schränkte die Europäische Union die Verwendung von PFOS im Jahr 2006⁹ und von PFOA im Jahr 2020¹⁰ ein. Beide Substanzen sind im Rahmen des Stockholmer Übereinkommens

über persistente organische Schadstoffe gelistet, das die Produktion, den Handel und die Verwendung von persistenten organischen Schadstoffen streng reguliert. PFHxS, das ursprünglich als Ersatz für PFOS eingeführt wurde, wurde 2022 aufgrund wachsender Bedenken hinsichtlich seiner Toxizität ebenfalls in das Übereinkommen aufgenommen. Diese Stoffe sind in der EU gemäß der Verordnung 2019/1021 über persistente organische Schadstoffe (POPs-Verordnung) eingeschränkt. Die vier Chemikalien wurden umfassend untersucht und werden in der EU typischerweise gemeinsam reguliert.

Dank dieser regulatorischen Maßnahmen sind die Blutkonzentrationen von Legacy-PFAS in den letzten Jahrzehnten zurückgegangen: Die PFOS-Werte sanken zwischen 1999 und 2018 um 85 %, die PFOA-Werte um 70 %, was die Wirksamkeit der regulatorischen Maßnahmen unterstreicht.¹¹ Dennoch machen Legacy-PFAS weiterhin einen großen Anteil der in Umwelt- und menschlichen Blutproben nachgewiesenen PFAS aus.¹² Messungen zeigen ihr Vorkommen bei mehr als 99 % der Weltbevölkerung¹³, und sie wurden weltweit in Wildtieren nachgewiesen: von antarktischen Pinguinen bis hin zu arktischen Robben und Eisbären.^{14,15} Im Oktober 2025 wurden bei 24 EU-Politiker:innen aus 19 Ländern drei bis acht PFAS in Blutproben nachgewiesen; bei der Hälfte von ihnen wurden Konzentrationen festgestellt, die mit potenziellen negativen Gesundheitsauswirkungen in Zusammenhang stehen.¹⁶

Die Umweltbeständigkeit von PFAS und ihre langsame Ausscheidung aus dem menschlichen Körper bedeuten, dass diese Substanzen auch nach Inkrafttreten eines Verbots noch jahrzehntelang Gesundheitsrisiken darstellen werden. Darüber hinaus können einige nicht regulierte PFAS in PFOS, PFOA und andere problematische Moleküle abgebaut werden.¹⁷ Außerdem erhöhen sich die Konzentrationen anderer PFAS,

die als Alternativen zu eingeschränkten Chemikalien verwendet werden (auch als „Emerging PFAS“ bezeichnet), trotz begrenztem Verständnis ihrer langfristigen Toxizität und Gesundheitsauswirkungen.^{18,19}

Gesundheitliche Auswirkungen von PFAS

Obwohl die akute Toxizität von PFAS im Allgemeinen gering ist, reichern sie sich im menschlichen Körper an, und chronische Exposition selbst gegenüber niedrigen Konzentrationen hat sich als Ursache für eine Vielzahl von negativen Gesundheitsfolgen erwiesen (Abbildung 2). PFAS akkumulieren hauptsächlich im Blut und in Organen wie der Leber, den Nieren und dem Fettgewebe.²⁰

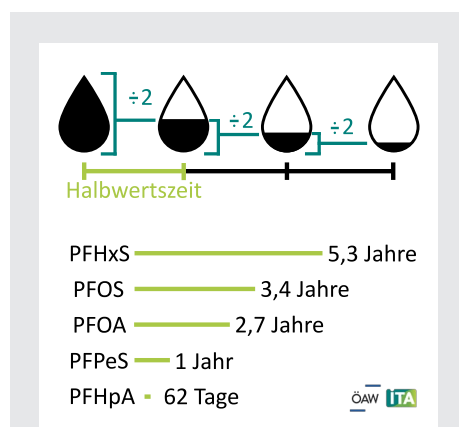
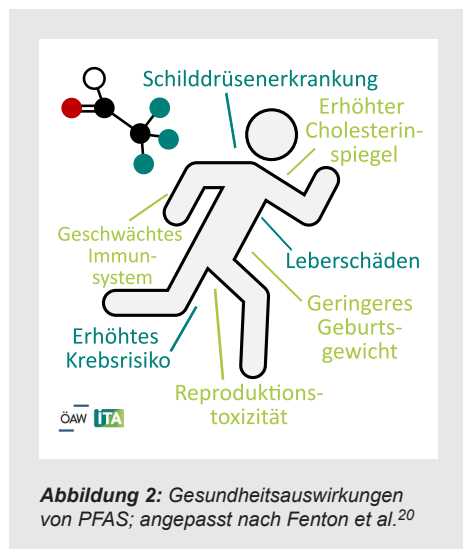
PFAS können die Immunfunktion beeinträchtigen²¹, wodurch die Fähigkeit des Körpers, Infektionen zu bekämpfen, verringert und die Wirksamkeit bestimmter Impfstoffe geschwächt wird. Dies betrifft insbesondere Kinder und Personen mit einem geschwächten Immunsystem. PFAS stören das endokrine System, was zu Stoffwechselstörungen und einem erhöhten Risiko für die Entwicklung von Typ-2-Diabetes führt.^{7,22} Während die Rolle der PFAS-Exposition bei spezifischen Krankheiten (z. B. Nierenkrebs) noch diskutiert wird, häufen sich die Beweise für ihre negativen Gesundheitsauswirkungen.

Bisher haben sich die meisten toxikologischen Studien auf eine kleine Auswahl an Molekülen konzentriert, hauptsächlich auf Legacy-PFAS. Die Entwicklung alternativer Substanzen hat jedoch zur Einführung von Tausenden neuer PFAS geführt, zu denen es kaum toxikologische Daten gibt. Darüber hinaus sind die Gesundheitsauswirkungen einer kombinierten Exposition gegenüber mehreren PFAS noch wenig erforscht.²³

Die Eliminierung von PFAS aus dem menschlichen Körper (ihre Toxikokinetik) hängt stark von ihrer chemischen Struktur ab. Ihre biologische Halbwertszeit – also die Zeit, die benötigt wird, damit die PFAS-Konzentration im Körper um die Hälfte abnimmt – kann mehrere Jahre betragen; vorausgesetzt, es erfolgt keine neuerliche Aufnahme durch Wasser oder Nahrung. (Abbildung 3).

Freisetzung in die Umwelt

Auf industrieller Ebene können PFAS während ihrer Synthese sowie der Herstellung von PFAS-haltigen Produkten in die Umwelt freigesetzt werden.²⁶ Die Verwendung PFAS-basierter Feuerlöschschäume ist eine weitere bedeutende Kontaminationsquelle, insbesondere in der Nähe von Flughäfen, Militärbasen und Ausbildungsstätten



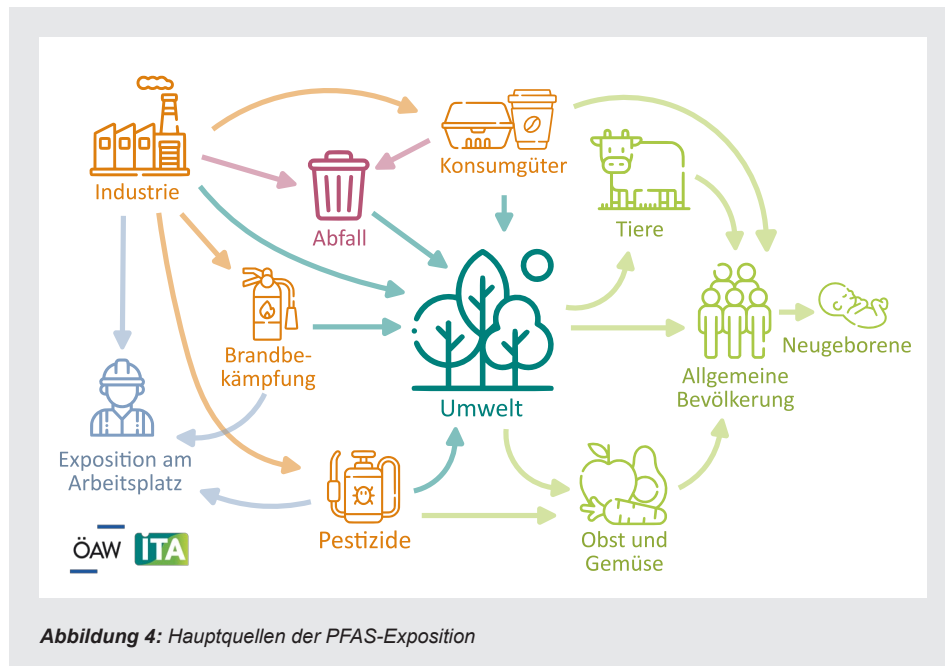


Abbildung 4: Hauptquellen der PFAS-Exposition

für Feuerwehkräfte. Das *Forever Pollution Project* dokumentiert 23.000 bekannte und 21.500 potenziell verunreinigte Standorte in Europa einschließlich unfallbedingter Freisetzung.²⁷

Konsumgüter, die PFAS enthalten, sind eine weitere Kontaminationsquelle. So führt etwa das Waschen wasserdichter Kleidung zu Emissionen in das Abwasser, die Verwendung bestimmter Reinigungsprodukte kann Freisetzungen in die Innen- und Außenluft verursachen, und PFAS in Lebensmittelverpackungen können in Nahrungsmittel und Getränke durchdringen. Das Ende der Nutzungsdauer eines Produkts bedeutet nicht das Ende der PFAS, die es enthält: sie verbleiben in Abfallströmen, gelangen weiterhin in die Umwelt und können teilweise in kleinere PFAS-Verbindungen abgebaut werden.

In der Landwirtschaft werden PFAS bestimmten Pestiziden zugesetzt, um deren Leistung zu verbessern, und können auch als Abbauprodukte anderer Chemikalien entstehen.²⁸ Darüber hinaus können Düngemittel, die aus Klärschlamm gewonnen werden, PFAS enthalten, die über das Abwassersystem transportiert werden.²⁹

Aufgrund ihrer weit verbreiteten Verwendung in Konsumgütern und industriellen Prozessen, die zahlreiche Freisetzungspfade schaffen, reichern sich PFAS in Luft, Wasser und Boden an und werden mittlerweile weltweit nachgewiesen, selbst an extrem abgelegenen Orten wie dem Svalbard-Archipel, dem Südpolarmeer und dem Gipfel des Mount Everest.

Laut der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) könnten in den nächsten 30 Jahren ohne weitere regulatorische Maßnahmen 4,4 Millionen Tonnen PFAS in die Umwelt freigesetzt werden.³⁰

Menschliche Exposition

Wasser, sowohl abgefüllt als auch in Form von Leitungswasser, und Lebensmittel, allen voran Fisch, Fleisch, Obst und Eier, sind die Hauptquellen der PFAS-Exposition für Menschen. Sie machen typischerweise etwa 90 % der gesamten Aufnahme aus.³¹ Neben Pestiziden und Wasser sind auch Materialien mit Lebensmittelkontakt wie Takeaway-Behälter, Pappbecher oder Pizzakartons eine Quelle für PFAS-Kontamination. Zusätzliche Exposition kann durch Hautkontakt (z. B. Kosmetika und Textilien) und das Einatmen von kontaminiertem Staub erfolgen.

Die Exposition beginnt bereits im Mutterleib über die Plazenta und setzt sich nach der Geburt durch das Stillen fort. Laut der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) liegt die tägliche diätetische Aufnahme von vier PFAS-Arten (PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS) bei Erwachsenen zwischen 0,42 und 41,5 ng/kg Körpergewicht.³² Die Aufnahme ist bei Kindern doppelt so hoch. Die EFSA hat eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme von 4,4 ng/kg Körpergewicht für die Summe dieser vier PFAS festgelegt.

Neuere Erkenntnisse deuten darauf hin, dass aktuelle Nachweismethoden nur einen Bruchteil der in die Umwelt freigesetzten organofluorierten Verbindungen erfassen, was möglicherweise zu einer Unterschätzung der PFAS-Exposition führt.³³

Berufliche Exposition betrifft Arbeiter in der chemischen Produktion, der Brandbekämpfung, im Sportsektor (insb. Skiwachsen), in der Textilindustrie und in der Landwirtschaft.³⁴ Diese Gruppen können direkt mit PFAS oder PFAS-haltigen Produkten (z. B. Pestiziden) in Kontakt kommen und Blutkonzentrationen aufweisen, die 100- bis 10.000-mal höher sind als die der Allgemeinbevölkerung. Die Identifizierung potenzieller Expositionswege (z. B. inhalativ, oral oder dermal) am Arbeitsplatz ist entscheidend, um Risiken zu minimieren, etwa durch ausreichende Belüftung, die Verwendung von PFAS-freien Alternativen, die Nutzung persönlicher Schutzausrüstung und die Implementierung regelmäßiger Gesundheitsüberwachung.

Abhängig von den Expositionsbedingungen variieren die Blutkonzentrationen in der Gesamtbevölkerung erheblich und können je nach Region und Zeit unterschiedlich sein (siehe Abbildung 5 für PFOS). Das Leben in der Nähe von Chemieproduktionsanlagen oder in kontaminierten Gebieten ist typischerweise mit höheren PFAS-Werten verbunden.

Regulatorische Landschaft

Die Verwendung, der Import und die Herstellung von Stoffen in der EU werden durch die Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) geregelt. Insbesondere Stoffe, die als besonders besorgniserregende Stoffe (*Substances of Very High Concern*, SVHC) identifiziert wurden, können in die Zulassungsliste (Anhang XIV von REACH) aufgenommen werden und unterliegen nach einem festgelegten Ablaufdatum einer Einzelfallzulassung durch die Europäische Kommission.

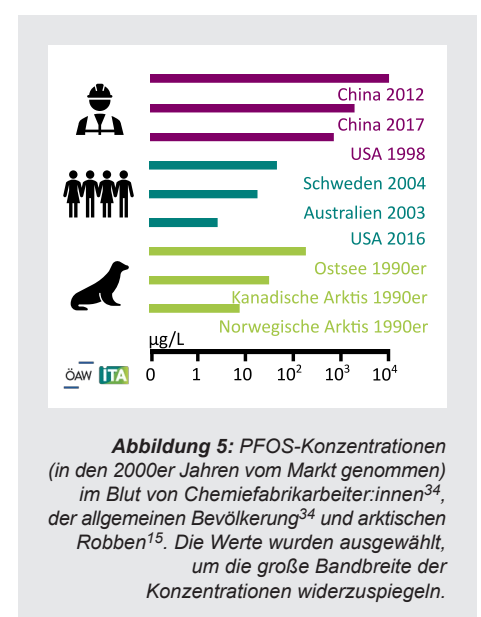


Abbildung 5: PFOS-Konzentrationen (in den 2000er Jahren vom Markt genommen) im Blut von Chemiefabrikarbeiter:innen³⁴, der allgemeinen Bevölkerung³⁴ und arktischen Robben¹⁵. Die Werte wurden ausgewählt, um die große Bandbreite der Konzentrationen widerzuspiegeln.

Die Liste der eingeschränkten Stoffe (Anhang XVII von REACH) legt Beschränkungen und Bedingungen für ihre Verwendung auf dem Markt fest. Beispielsweise werden PFAS-basierte Feuerlöschschäume mit einer Gesamtkonzentration von über 1 mg/L ab Oktober 2030 gemäß Anhang XVII verboten.

Zusätzlich zu REACH fallen einige PFAS unter die EU-Verordnung über die *Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung* (CLP). Diese zielt darauf ab, die Transparenz durch verpflichtende Kennzeichnung und adäquate Verpackung gefährlicher Stoffe zu erhöhen. PFAS, die im Rahmen des Stockholmer Übereinkommens über persistente organische Schadstoffe gelistet sind, werden ebenfalls durch die EU-POPs-Verordnung reguliert.

Die EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit, die Teil des EU-Green Deals ist, hat es sich zum Ziel gesetzt, die industrielle Nutzung von PFAS zu reduzieren und die Entwicklung sowie Einführung sicherer Alternativen zu fördern. Letztendlich strebt diese Strategie an, alle PFAS in der EU auslaufen zu lassen und ihre Verwendung nur dort zu gestatten, wo sie nachweislich für die Gesellschaft unverzichtbar sind.³⁵ Im Jahr 2023 schlugen fünf europäische Länder eine umfassende Beschränkung von PFAS im Rahmen von REACH vor, wobei nur zeitlich begrenzte Ausnahmen gewährt werden sollen, wenn keine geeigneten Alternativen verfügbar sind.³⁰ Die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) erklärte im März 2026 ihre Unterstützung für den Vorschlag, und eine Entscheidung der Europäischen Kommission wird für 2027 erwartet.

Allerdings bleiben PFAS, die bereits in die Umwelt freigesetzt wurden, über Jahrzehnte bestehen und reichern sich weiterhin an. Darüber hinaus wird praktisch jedes PFAS-Molekül, das derzeit in Konsumgütern enthalten ist, letztlich in der Umwelt landen. Neben der Reduzierung zukünftiger Emissionen zielen die EU-Regulierungsbehörden darauf ab, die Exposition der Bevölkerung zu minimieren, indem sie Umweltfreisetzungen begrenzen und maximale Konzentrationen von PFAS in Wasser und Lebensmitteln festlegen.

Mit der *Trinkwasserrichtlinie* (DWD)³⁶ werden Grenzwerte für PFAS in Trinkwasser eingeführt und zwei spezifische Parameter definiert: (1) die Gesamtkonzentration messbarer PFAS und (2) die Konzentration einer definierten Liste von 20 PFAS, die aufgrund ihrer gesundheitsschädlichen Auswirkungen ausgewählt wurden. Die Mitgliedstaaten können wählen, welchen Parameter sie überwachen. Österreich hat sich für die Liste der 20 PFAS entschieden. Die Einhaltung der Grenzwerte ist seit dem 12. Jänner 2026 verpflichtend.

Messungen des österreichischen Trinkwassers zeigen, dass in 99 % der Fälle die PFAS-Konzentrationen unter dem gesetzlichen Grenzwert von 0,1 µg/L, und in 90 % der Fälle zwischen 0,01 µg/L und 0,1 µg/L lagen.³⁷ Allerdings gibt es erhebliche regionale Unterschiede, und die Konzentrationen können in kontaminierten Gebieten deutlich höher sein.

Die *Grundwasserrichtlinie* (GWD)³⁸ zielt darauf ab, die Qualität des Grundwassers durch Begrenzung oder Verhinderung des Eintrags von Schadstoffen zu schützen. Eine von der Europäischen Kommission im Jahr 2022⁸ vorgeschlagene Überarbeitung umfasst die Regulierung der vier Legacy-PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS und PFNA), die zu den am gründlichsten untersuchten gehören und mit erheblichen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden sind.

Oberflächengewässer werden durch die Richtlinie über *Umweltqualitätsnormen* (engl. *Environmental Quality Standards*, EQSD)³⁹ reguliert. In ihrer jüngsten Überarbeitung legt die EQSD Grenzwerte für eine Summe von 25 PFAS fest.

Die geltenden Grenzwerte für PFAS in Wasser sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Basierend auf der Bewertung der EFSA zur tolerierbaren wöchentlichen Aufnahme, empfiehlt der *EU-Wissenschaftliche Ausschuss für Gesundheit, Umwelt- und neu auftretende Risiken* einen Grenzwert von 4,4 ng/L für PFAS im Trinkwasser.⁴⁰ Mehrere EU-Länder haben strengere nationale Grenzwerte als die in der Trinkwasserrichtlinie (DWD) festgelegten Werte (0,50 bzw. 0,1 µg/L) eingeführt, darunter Dänemark (2 ng/L), Schweden (4 ng/L), die Niederlande (4,4 ng/L) und Deutschland (20 ng/L).

Das komplexe regulatorische Rahmenwerk zur Kontrolle der PFAS-Konzentrationen in Wasser spiegelt die Bemühungen der Regulierungsbehörden wider, mit den sich schnell entwickelnden

wissenschaftlichen Erkenntnissen Schritt zu halten. Die Europäische Kommission hat ihre Absicht bekundet, die Regulierung von PFAS in Zukunft weiter zu harmonisieren.

Die Verordnung (EU) 2023/915, *Kontaminanten-Verordnung*, legt Höchstwerte für die vier Legacy-PFAS in Lebensmitteln fest. Sie definiert individuelle Grenzwerte für jede der vier Substanzen sowie einen kumulativen Grenzwert für deren Gehalt in Fleisch, Fisch, Weichtieren und Eiern.⁴¹ Zusätzliche Beschränkungen sind in der Gesetzgebung zu städtischem Abwasser, Industrieemissionen, Spielzeug, Verpackungen und Verpackungsabfällen festgelegt.

Gesellschaftliche Auswirkungen

Im Jahr 2018 schätzte der Nordische Ministerrat die jährlichen Gesundheitskosten der PFAS-Exposition in Europa auf € 52 bis € 84 Mrd.⁴² In den Vereinigten Staaten lagen die Schätzungen für 2018 zwischen \$ 5,5 und \$ 62,6 Mrd.⁴³ Eine im Jänner 2026 veröffentlichte Studie der Europäischen Kommission schätzte die gesundheitsbezogenen Kosten der PFAS-Exposition in Europa im Jahr 2024 auf € 39,5 Mrd. und führte rund 1.050 statistische Todesfälle auf die Exposition gegenüber PFOS, PFOA, PFHxS und PFNA zurück.⁴⁴ Prognosen für 2050 reichen von € 0,5 Mrd. im Falle eines vollständigen Verbots von Produktion und Nutzung bis zu € 29,5 Mrd. unter einem *Business-as-usual*-Szenario.

Unter Einbeziehung der Sanierungskosten für die Entfernung von PFAS aus kontaminiertem Wasser und Boden schätzt die Europäische Kommission die Gesamtkosten für den Zeitraum 2024–2050 auf € 330 Mrd. (bei einem vollständigen Produktionsverbot) bis € 1,7 Billionen (bei strengeren Umweltauflagen ohne weitere Produktionsbeschränkungen).⁴⁴ Das *Business-as-usual*-Szenario, das die aktuellen politischen

Tabelle 1: Maximale EU-Konzentrationen von PFAS in Wasser

Richtlinie	Gilt für	Parameter	Wert	Inkrafttreten
Trinkwasserrichtlinie [DWD]	Trinkwasser	PFAS gesamt*	0,50 µg/L	12.01.2026
		Summe von 20 PFAS§	0,10 µg/L	12.01.2026
Grundwasserrichtlinie [GWD]	Grundwasser	Summe von 20 PFAS	0,10 µg/L	Vorschlag
		Summe von 4 PFAS#	0,0044 µg/L	Vorschlag
EQSD	Oberflächengewässer	Summe von 25 PFAS†	0,0044 µg/L	Vorschlag
* PFAS gesamt bezieht sich auf die absolute Konzentration aller nachweisbaren PFAS im Wasser.				
§ Summe von 20 PFAS bezieht sich auf eine Liste von 20 PFAS-Molekülen, die aufgrund ihrer Gesundheitsauswirkungen ausgewählt wurden.				
# Summe von 4 PFAS bezieht sich auf die vier Legacy-PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS, und PFNA).				
† Summe von 25 PFAS bezieht sich auf die 20 in der DWD und der GWD regulierten PFAS, sowie die vier Legacy-PFAS und ein zusätzliches Molekül, TFA.				

Maßnahmen widerspiegelt, würde Kosten von etwa € 440 Mrd. verursachen. Das *Forever Pollution Project* beziffert die Dekontaminationskosten mit bis zu € 2 Billionen, um Legacy-PFAS und laufende Emissionen zu bewältigen, sowie zusätzliche € 100 Mrd. pro Jahr zur Eindämmung zukünftiger Emissionen.²⁷ Diese hohen Sanierungskosten spiegeln die zunehmende Schwierigkeit wider, gesundheitsbasierte Standards für Trinkwasser und Lebensmittel ohne umfassende Regulierung aufrechtzuerhalten, da sich PFAS weiterhin in der Umwelt anreichern.

Ohne Anwendung des Verursacherprinzips bei Kontamination durch PFAS werden die Bürger:innen den Großteil der damit verbundenen Kosten tragen. Jüngste Urteile in den Niederlanden⁴⁵ und Italien⁴⁶ haben historische Präzedenzfälle geschaffen, indem sie die strafrechtliche Haftung von Herstellern für PFAS-Verschmutzung anerkannten.

Ein im Jahr 2025 vom Europäischen Parlament in Auftrag gegebener Bericht⁴⁷ hebt die praktischen Herausforderungen bei der Umsetzung eines vollständigen PFAS-Verbots in der EU hervor. Derzeit stehen in kritischen Sektoren, darunter Luft- und Raumfahrt sowie Halbleiterfertigung, keine praktikablen Alternativen zur Verfügung. Auch die *Clean-Tech*- und Erneuerbare-Energieindustrie sind auf PFAS angewiesen. Das nährt Bedenken, dass ein sofortiges Verbot die Energiewende verlangsamen könnte, während Alternativen noch in der Laborphase sind. Der Bericht empfiehlt daher zeitlich begrenzte, sektorspezifische Ausnahmen, die aufgehoben werden sollen, sobald geeignete Alternativen kommerziell verfügbar sind.

Forschungsschwerpunkte

Die Europäische Kommission finanziert derzeit etwa 50 PFAS-bezogene Projekte im Rahmen der *Horizon*-Programmreihe mit einer Gesamtinvestitionssumme von rund € 120 Mio. Diese Initiativen konzentrieren sich auf vier zentrale Forschungsschwerpunkte: (1) die Detektion neu auftretender PFAS in der Umwelt, (2) die Entwicklung effektiver Technologien zur Entfernung und Sanierung, (3) die Untersuchung der gesundheitlichen Auswirkungen und (4) die Entwicklung sicherer Alternativen.

Zu den bedeutenden Projekten gehört *GENESIS*, das sich auf die Entwicklung PFAS-freier Polymere für die Halbleiterindustrie konzentriert. *ZeroF* und *BIO-SUSHY* arbeiten an der Entwicklung PFAS-freier Beschichtungen für Lebensmittelverpackungen und Textilien. *PFAS foreverwhere* erforscht innovative Techniken zur Entfer-

nung von PFAS aus menschlichem Blut, während *FOREVER-WATER* graphenbasierte Wasseraufbereitungstechnologien entwickelt, um PFAS aus Abwasser zu eliminieren.

Das *PARC*-Projekt vereint 200 Partner aus 30 Ländern, um mit einer Gesamtfinanzierung von € 400 Mio. über einen Zeitraum von 7 Jahren Werkzeuge zur chemischen Risikobewertung zu entwickeln.

Fazit

Die gesundheitlichen Auswirkungen, die mit der weit verbreiteten Verwendung von PFOS und PFOA verbunden sind, sowie deren Substitution durch ebenso gefährliche oder in einigen Fällen sogar gefährlichere Chemikalien verursachen für die europäische Gesellschaft mittlerweile jährliche Kosten von mehreren zehn Milliarden Euro. PFAS, die sich bereits in der Umwelt angesammelt haben, werden über Jahrzehnte bestehen bleiben und Sanierungskosten in Höhe von Hunderten Milliarden Euro verursachen, um die Qualität von Lebensmitteln und Wasser zu schützen. Gleichzeitig würde ein allgemeines Verbot von PFAS Kosten von mehreren zehn Milliarden Euro pro Jahr für die europäische Industrie mit sich bringen, bedingt durch den Verlust der Wettbewerbsfähigkeit sowie die Investitionen, die für den Übergang zu sichereren Alternativen erforderlich sind.

Um weitere Umweltfreisetzungen zu verhindern, ist eine strikte Ausphasung aller PFAS notwendig, ohne auf vollständige toxikologische Bewertungen der etwa 1.400 einzelnen, derzeit industriell genutzten PFAS-Moleküle zu warten. Ein solcher Prozess sollte sektorspezifische, zeitlich begrenzte Ausnahmen für essenzielle Anwendungen umfassen, bei denen die Entwicklung von Alternativen besonders schwierig ist oder bestehende Ersatzstoffe vergleichbare oder gar größere Risiken darstellen könnten (z. B. Technologien für saubere Energie, Halbleiter). Dies sollte durch eine Kosten-Nutzen-Analyse unterstützt werden, die die indirekten, von der Gesellschaft zu tragenden Kosten, vollständig berücksichtigt. Robuste Maßnahmen zur Emissionskontrolle müssen umgesetzt werden, um Freisetzungen während des gesamten Lebenszyklus zu minimieren, insbesondere in der *End-of-Life*-Phase, um die Kontamination von Abwasser und festen Abfallströmen zu begrenzen. Ein klar definierter Ausstiegsplan wird die regulatorische Unsicherheit verringern und Investitionen zeitnah in die Entwicklung und Industrialisierung sicherer Alternativen lenken.

Verursacher müssen für Gesundheits- und Sanierungskosten zur Verantwortung gezogen werden, indem das Verursacherprinzip auf PFAS-Emissionen angewendet wird. Dies würde die Last, die derzeit die Bürger:innen trifft, verringern und die Hersteller dazu drängen, gesellschaftliche Kosten und Nutzen in ihren Innovationsprozess einzubeziehen.

Der Fall von PFAS verdeutlicht die Schwierigkeit, neue Chemikalien und Advanced Materials unter hoher Unsicherheit über ihre Gesundheits- und Umweltauswirkungen zu regulieren. Er unterstreicht die Notwendigkeit, Gesundheits- und Umweltüberlegungen proaktiv in die frühesten Entwicklungsstadien fortschrittlicher Materialien zu integrieren. Dies würde die Identifizierung potenzieller negativer externer Effekte ermöglichen und rechtzeitige Korrekturmaßnahmen erlauben. Für Materialien ohne sichere Alternativen zum gegenwärtigen Zeitpunkt stellen sozioökonomische Bewertungen sicher, dass ihre Verwendung auf Anwendungen beschränkt wird, die klare gesellschaftliche Vorteile bieten, beispielsweise die Beschleunigung der Energiewende oder die Unterstützung kritischer medizinischer Technologien, bei denen diese Vorteile gegenüber den damit verbundenen Risiken überwiegen. Ergänzende Lebenszyklusanalysen sind wichtig, um Umweltfreisetzungen zu minimieren.

Eine frühzeitige und kontinuierliche Zusammenarbeit zwischen Industrie und Regierungsbehörden ist entscheidend, um Prioritätsbereiche für die Forschung zu identifizieren und die Entwicklung tragfähiger Alternativen zu beschleunigen. Eine solche Kooperation verbessert die regulatorische Vorbereitung, stärkt die langfristige Wettbewerbsfähigkeit und reduziert die Risiken und Kosten, die durch ein plötzliches Verbot besorgniserregender Substanzen entstehen könnten.

Anmerkungen und Literaturhinweise

Alle URLs wurden am 24. Juli 2026 überprüft.
Quelle der Icons: Freepik, auf flaticon.com

1. E. L. Schymanski et al., Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in PubChem: 7 Million and Growing, *Environmental Science & Technology*, 57, 44, 16918–16928, **2023**. [10.1021/acs.est.3c04855](https://doi.org/10.1021/acs.est.3c04855).
2. J. Schmitt, PFAS-Entfernungstechnologien, Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, **2025**. parlament.gv.at/dokument/fachinfos/zukunftsthemen/173_pfas-entfernung.pdf.
3. J. Glüge et al., An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22, 12, 2345–2373, **2020**. [10.1039/d0em00291g](https://doi.org/10.1039/d0em00291g).
4. T. Perkins, Advocates raise alarm over Pfas pollution from datacenters amid AI boom, *The Guardian*, **2025**. theguardian.com/environment/2025/oct/04/pfas-pollution-data-centers-ai.
5. O. Dosunmu et al., The unintentional role of chemical regulation in regrettable substitution: The case of PFAS, *Environmental Science & Policy*, 174, 104275, **2025**. [10.1016/j.envsci.2025.104275](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104275).
6. Perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS), International Agency for Research on Cancer, **2025**. publications.iarc.who.int/download/Volume135.pdf.
7. S. Y. Wee and A. Z. Aris, Environmental impacts, exposure pathways, and health effects of PFOA and PFOS, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115663, **2023**. [10.1016/j.ecoenv.2023.115663](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115663).
8. Gilliland, Frank Davis, Fluorocarbons and Human Health: Studies in an Occupational Cohort, PhD Thesis, University of Minnesota, **1992**. primo.lib.umn.edu/permalink/01UMN_INST/ijl1rs/alma9936122760001701.
9. Directive 2006/122/EC of the European Parliament and of the Council, 372. **2006**. Accessed: Feb. 16, 2026. data.europa.eu/eli/dir/2006/122/oj.
10. Commission Delegated Regulation (EU) 2020/784, 188l. **2020**. Accessed: Feb. 16, 2026. data.europa.eu/eli/reg_del/2020/784/oj.
11. CDC, Fast Facts: PFAS in the U.S. Population, Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) and Your Health, **2024**. atsdr.cdc.gov/pfas/data-research/facts-stats/index.html.
12. A. Jaus et al., Serum biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the adult population of Switzerland: Results from the pilot phase of the Swiss health study, *Environment International*, 198, 109382, **2025**. [10.1016/j.envint.2025.109382](https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109382).
13. A. M. Calafat et al., Polyfluoroalkyl Chemicals in the U.S. Population: Data from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2003–2004 and Comparisons with NHANES 1999–2000, *Environmental Health Perspectives*, 115, 11, 1596–1602, **2007**. [10.1289/ehp.10598](https://doi.org/10.1289/ehp.10598).
14. N. Trilla-Prieto et al., Accumulation of perfluoroalkyl acids as forever chemicals in Antarctic waters, *Communications Earth & Environment*, 6, 1, 545, **2025**. [10.1038/s43247-025-02535-3](https://doi.org/10.1038/s43247-025-02535-3).
15. J. P. Giesy and K. Kannan, Global Distribution of Perfluorooctane Sulfonate in Wildlife, *Environmental Science & Technology*, 35, 7, 1339–1342, **2001**. [10.1021/es001834k](https://doi.org/10.1021/es001834k).
16. B. Ortiz, EU leaders contaminated with PFAS 'forever chemicals', **2025**. eeb.org/eu-leaders-contaminated-with-pfas-forever-chemicals/.
17. R. Vestergren et al., Estimating the contribution of precursor compounds in consumer exposure to PFOS and PFOA, *Chemosphere*, 73, 10, 1617–1624, **2008**. [10.1016/j.chemosphere.2008.08.011](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.08.011).
18. A. Watson, EU court again rules against Chemours on GenX 'forever chemicals', *CHEM Trust*, **2023**. chemtrust.org/genx_court_appeal/.
19. E. M. Sunderland et al., A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29, 2, 131–147, **2019**. [10.1038/s41370-018-0094-1](https://doi.org/10.1038/s41370-018-0094-1).
20. S. E. Fenton et al., Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40, 3, 606–630, **2020**. [10.1002/etc.4890](https://doi.org/10.1002/etc.4890).
21. Editorial – Forever chemicals: the persistent effects of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances on human health, *eBioMedicine*, 95, 104806, **2023**. [10.1016/j.ebiom.2023.104806](https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.104806).
22. L. Jane L. Espartero et al., Health-related toxicity of emerging per- and polyfluoroalkyl substances: Comparison to legacy PFOS and PFOA, *Environmental Research*, 212, 113431, **2022**. [10.1016/j.envres.2022.113431](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113431).
23. A. F. Ojo et al., Assessing the human health risks of per- and polyfluoroalkyl substances: A need for greater focus on their interactions as mixtures, *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124863, **2021**. [10.1016/j.jhazmat.2020.124863](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124863).
24. Y. Li et al., Half-lives of PFOS, PFHxS and PFOA after end of exposure to contaminated drinking water, *Occupational and Environmental Medicine*, 75, 1, 46–51, **2018**. [10.1136/oemed-2017-104651](https://doi.org/10.1136/oemed-2017-104651).
25. Y. Xu et al., Serum Half-Lives for Short- and Long-Chain Perfluoroalkyl Acids after Ceasing Exposure from Drinking Water Contaminated by Firefighting Foam, *Environmental Health Perspectives*, 128, 7, 077004, **2020**. [10.1289/EHP6785](https://doi.org/10.1289/EHP6785).
26. S. Y. Wee and A. Z. Aris, Revisiting the 'forever chemicals', PFOA and PFOS exposure in drinking water, *npj Clean Water*, 6, 1, 57, **2023**. [10.1038/s41545-023-00274-6](https://doi.org/10.1038/s41545-023-00274-6).
27. The Forever Pollution Project – Tracking PFAS across Europe, *The Forever Pollution Project*. foreverpollution.eu/.
28. PFAS-haltige Pestizide in der Landwirtschaft, *Umweltbundesamt*, **2025**. umweltbundesamt.de/pfas-haltige-pestizide-in-der-landwirtschaft.
29. A. Press, Chemicals in sewage sludge fertilizer used on farms pose cancer risk, EPA says, *The Guardian*, **2025**. theguardian.com/environment/2025/jan/14/pfas-sewage-fertilizer.
30. All news, ECHA. echa.europa.eu/de/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal.
31. S. Poothong et al., Multiple pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs): From external exposure to human blood, *Environment International*, 134, 105244, **2020**. [10.1016/j.envint.2019.105244](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105244).
32. D. Schrenk et al., Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food, *EFSA Journal*, 18, 9, **2020**. [10.2903/j.efsa.2020.6223](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223).
33. V. Müller et al., PFAS contamination and fluorine mass balance in sediments of the Upper Ganges River and Ganges Canal, *Environment International*, 208, 110104, **2026**. [10.1016/j.envint.2026.110104](https://doi.org/10.1016/j.envint.2026.110104).
34. B. T. Christensen and M. M. Calkins, Occupational exposure to per- and polyfluoroalkyl substances: a scope review of the literature from 1980–2021, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 33, 5, 673–686, **2023**. [10.1038/s41370-023-00536-y](https://doi.org/10.1038/s41370-023-00536-y).
35. Chemicals Strategy for Sustainability, European Commission, **2020**. eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0667&qid=176615333937.
36. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption, 435. **2020**. data.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj.
37. AGES, Perfluorierte Alkylsubstanzen in Trinkwasser – Monitoring, **2025**. ages.at/mensch/schwerpunkte/schwerpunktaktionen/detail/perfluorierte-alkylsubstanzen-in-trinkwasser-monitoring-1.
38. Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration, 372. **2006**. data.europa.eu/eli/dir/2006/118/oj.
39. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, 348. **2008**. data.europa.eu/eli/dir/2008/105/oj.
40. European Commission, Scientific opinion on 'Draft environmental quality standards for priority substances under the Water Framework Directive': PFAS. Publications Office, **2023**. data.europa.eu/doi/10.2875/97550.
41. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. **2023**. data.europa.eu/eli/reg/2023/915/2023-08-10.
42. G. Goldenman et al., *The cost of inaction*, 2019:516. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, **2019**. [10.6027/TN2019-516](https://doi.org/10.6027/TN2019-516).

43. V. Obsekov et al., Leveraging Systematic Reviews to Explore Disease Burden and Costs of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Exposures in the United States, *Exposure and Health*, 15, 2, 373–394, **2023**. [10.1007/s12403-022-00496-y](https://doi.org/10.1007/s12403-022-00496-y).
44. European Commission. Directorate-General for Environment et al., The cost of PFAS pollution for our society, Publications Office of the European Union, LU, **2026**. data.europa.eu/doi/10.2779/9590509.
45. S. Siepmann, Dutch court holds chemical factory accountable for leaching PFAS, *IGRAC*, **2023**. un-igrac.org/latest/stories/dutch-court-holds-chemical-factory-accountable-for-leaching-pfas/.
46. Italian Court Sentences 11 Over Crimes Related to PFAS Contamination, Law Bulletins, Taft Law, **2026**. taftlaw.com/news-events/law-bulletins/italian-court-sentences-11-over-crimes-related-to-pfas-contamination/.
47. R. Richards et al., PFAS and their role as enablers in the competitiveness of European industry, European Parliament, **2025**. [europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2025/778581/ECTI_STU\(2025\)778581_EN.pdf](https://europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2025/778581/ECTI_STU(2025)778581_EN.pdf).

Danksagung

Die Autor:innen möchten Viktoria Müller von der Universität Graz und Barbara Perthen-Palmisano vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft herzlich dafür danken, dass sie dieses Dossier überprüft und wertvolle Kommentare sowie Anregungen eingebracht haben.

IMPRESSUM

Medieninhaber: Österreichische Akademie der Wissenschaften; Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 31/2018); Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

Herausgeber: Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA); Bäckerstraße 13, A-1010 Wien; www.oew.ac.at/ita

Erscheinungsweise: Die NanoTrust-Dossiers erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung sowie seiner Kooperationspartner:innen im Rahmen des Projekts NanoTrust. Die Berichte werden ausschließlich über das Internetportal „epub.oew“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt: epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/

NanoTrust-Dossier Nr. 071, August 2026:
epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier071.pdf

ISSN: 1998-7293

Dieses Dossier steht unter der Creative Commons (Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 2.0 Österreich)
Lizenz: creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de