



Fachbereich WD 8

PFAS – Vorkommen und gesundheitliche Wirkung

PFAS – Vorkommen und gesundheitliche Wirkung

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 031/25

Abschluss der Arbeit: 04.06.2025

Fachbereich: WD 8: Gesundheit, Familie, Bildung und Forschung,
Lebenswissenschaften

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzugeben und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) und ihre gesundheitliche Relevanz	4
1.1.	PFAS: Definition und Vorkommen	4
1.2.	Gesundheitliche Relevanz von PFAS und die Frage der toxikologischen Vergleichbarkeit	5
2.	Addendum: Sind Windkraftanlagen eine zentrale Kontaminationsquelle für PFAS?	9

1. Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) und ihre gesundheitliche Relevanz

1.1. PFAS: Definition und Vorkommen

PFAS steht für „perfluorierte und polyfluorierte Alkylverbindungen“. Dabei handelt sich um eine Gruppe von Chemikalien mit ähnlicher Molekülstruktur, die allesamt mindestens eine, meist mehrere Kohlenstoff-Fluorverbindungen enthalten. Es ist unklar, wie viele kommerziell verfügbare Substanzen zu den PFAS zählen. Offiziellen Schätzungen zufolge umfasst die Stoffgruppe der PFAS mehr als 10.000 im Handel befindliche Einzelstoffe.¹

Gelangen PFAS in die Umwelt, werden sie dort kaum oder gar nicht biologisch abgebaut und reichern sich im Wasserhaushalt, in den Böden und in der Folge auch in der Nahrungskette an. PFAS gelangen auch in die Luft und werden über globale Luftströmungen bis in entlegene Gebiete wie die Arktis verfrachtet. In Luft und Wasser verhalten sie sich ausgesprochen mobil. Aufgrund des ubiquitären Vorkommens in der Umwelt sind PFAS auch in Wildtieren, ebenso in Pflanzen und im Blut des Menschen, der am Ende der Nahrungskette steht, nachweisbar. Aus diesem Grund werden PFAS trivial auch als „Ewigkeits-Chemikalien“ bezeichnet. Beispielhaft sei erwähnt, dass das Hessische Landeslabor bestimmte PFAS in Wildtieren in Hessen identifizierte. In der Folge empfahl die Landesregierung 2021 auf den Verzehr von besonders belasteter Wildschweinleber zu verzichten.²

Allerdings gibt es erst für etwas mehr als 20 PFAS in Ringversuchen validierte analytische Methoden, um diese in bestimmten Medien quantitativ zu erfassen. Kommerziell angeboten wird der Nachweis von etwas mehr als 40 PFAS.³ Aus der Fachliteratur geht hervor, dass die Methodenentwicklung für Wasser und tierische Gewebe am weitesten fortgeschritten ist.⁴ Für jedes Umweltmedium – ob Wasser, Boden, Gewebe oder Blut – muss die Nachweismethode gesondert entwickelt und validiert werden, was in einem mehrmonatigen bis jahrelangen Arbeitsprozess geschieht. Das heißt: Derzeit kann der größte Teil der mehr als 10.000 PFAS nicht gemessen werden. Ihre Gehalte in der Umwelt, im Menschen, in Wildtieren etc. sind unbekannt.

1 Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2025). Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS). Online abrufbar <https://www.bmuv.de/faqs/per-und-polyfluorierte-chemikalien-pfas>.

2 Hessischer Landtag (2024). Kleine Anfrage zu PFAS in Wildschweinleber und Windkraft und Antwort, Minister für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat, 20.08.2024, online abrufbar <https://start.web.hessen.de/cache/DRS/21/5/00975.pdf>.

3 Beispielhaft hier: <https://www.sgl-mbh.de/de/news-und-messen/news/news-detail/zwei-jahre-erfolgreiche-pfas-analytik-im-sgl-labor>.

4 Jiménez-Skrzypek, Gabriel/González-Sálamo, Javier/Hernández-Borges, Javier (2023). Analytical methodologies and occurrence of per- and polyfluorinated alkyl substances – A review. In: Journal of Chromatography, Bd. 4, 27.11.2023, online abrufbar: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772391723000130>.

PFAS kommen in einer unüberschaubaren und nicht bekannten Fülle an Konsumprodukten vor so etwa in Lebensmittelkontaktmaterialien, Kosmetika, Kinder-Tattoos⁵, Reinigungsmitteln, Textilien, Teppichen, Möbeln, Farben und Lacken, aber auch in weniger bekannten Anwendungen wie Skiwachs, den Saiten von Musikinstrumenten, Hilfsstoffe in Pestiziden u. v. a. m. Sie imprägnieren Produkte, sodass diese Wasser, Schmutz oder Fett abweisen. Sie wirken auch als Emulgatoren und sorgen so dafür, dass sich nicht mischbare Substanzen miteinander vermengen lassen. Aufgrund ihrer fett- und wasserabweisenden Eigenschaften sowie ihrer hohen Beständigkeit haben sie mannigfaltige industrielle Anwendungen in zahlreichen Branchen, u. a. Maschinenbau, Fahrzeugbau, Elektronik- und Elektroindustrie, Kältetechnik, Bauindustrie, Raumfahrt u. v. a. m. Verkehrsmittel, Maschinen und Anlagen enthalten in der Regel zahlreiche Bauteile, die PFAS enthalten können, etwa Dichtungen, Ventile, Klappen und andere Komponenten. PFAS treten seit etwa 60 Jahren regelmäßig im Abwasser auf. Sie stammen insbesondere aus Produktionsprozessen der Chemiebranche, von Galvanik- und Tiefdruckbetrieben, Papier- und Lederfabriken sowie Textilveredlern und aus bestimmten Deponien.^{6 7}

1.2. Gesundheitliche Relevanz von PFAS und die Frage der toxikologischen Vergleichbarkeit

Naturgemäß unterscheiden sich unterschiedliche Moleküle in ihrer Wirkung auf Mensch und Umwelt; damit müsste jeder einzelne der über 10.000 PFAS jeweils gesondert toxikologisch und ökotoxikologisch untersucht werden.

Hinsichtlich der Frage der gesundheitlichen Wirkung wird in der Risikobewertung üblicherweise die Belastung (Exposition) von Beschäftigten (Arbeitsschutz) von jener der Verbraucher (Verbraucherschutz) unterschieden. Unabhängige Untersuchungen zur Frage der Exposition, in den zahlreichen Branchen, die PFAS verwenden, lassen sich kaum identifizieren. PFAS kommen beispielsweise in elektronischen Geräten vor; eine kleine Zahl von Studien untersuchte die Exposition von Arbeitern in Elektronikschrott-Recyclinganlagen und wies erhöhte Gehalte an bestimmten PFAS in deren Blut nach.⁸

Im Januar 2023 haben fünf europäische Länder – Deutschland, Niederlande, Norwegen, Dänemark und Schweden – einen Vorschlag zur Beschränkung aller PFAS unter der Chemikalienverordnung REACH bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) eingereicht. Dem Vorschlag zufolge sollen PFAS künftig nur noch zu Zwecken eingesetzt werden, in denen es auf absehbare

⁵ Throl, Christine et al. (2025). Bunt, aber ungesund: Fast alle Kindertattoos im Test mit bedenklichen Stoffen. 24.02.2025, online abrufbar https://www.okeotest.de/kinder-familie/Bunt-aber-un gesund-Fast-alle-Kindertattoos-im-Test-mit-bedenklichen-Stoffen_15185_1.html.

⁶ Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2021). Fachbericht der PFAS-Koordinierungsgruppe Fragestellungen zur konsistenten Ableitung von Bewertungskriterien für die Medien Grund- und Oberflächenwasser sowie Boden vor dem Hintergrund neuer EFSA-Empfehlungen. 23. September 2021, online abrufbar https://www.lawa.de/documents/lawa-labo-fachbericht-pfas-barrierefrei_1689855505.pdf.

⁷ Glüge, Juliane/Scheringer, Martin et al. (2020). An overview of the uses of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS), in: Environmental Science: Processes & Impacts, Band 22, Ausgabe 12, S. 2345-2373, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/em/d0em00291g>.

⁸ Tansel, Berrin (2022). PFAS use in electronic products and exposure risks during handling and processing of e-waste: A review, in: Journal of Environmental Management, Band 316, 15. August 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722008647>.

Zeit keine geeigneten Alternativen geben wird oder bei denen die sozioökonomischen Vorteile die Nachteile für Mensch und Umwelt überwiegen. Die Europäische Chemikalienagentur wird den Vorschlag bis 2026/2027 bewerten.⁹

Das Risiko für gesundheitliche Wirkungen ergibt sich aus der Belastung des Menschen mit einer Chemikalie in Kombination mit den toxikologischen Effekten, die die Chemikalie hervorzurufen vermag. Besonders relevant für das Risiko ist insofern, dass PFAS eine hohe Lebensdauer, mitunter von Jahren haben, und Menschen den Substanzen somit chronisch ausgesetzt sind bzw. sein können.

Ein Beschränkungsvorschlag muss stets mit einem umfangreichen Dossier auf Basis wissenschaftlicher Daten begründet werden, das auf dem aktuellen wissenschaftlichen Stand fußt – auch zu den gesundheitlichen Wirkungen der betreffenden Chemikalie auf den Menschen. Es ist weit umfassender als jedes wissenschaftliche Review zu der Thematik und wird von mehreren Fachbehörden erstellt. Das Beschränkungsdossier der fünf Mitgliedstaaten zu PFAS umfasst weit über tausend Seiten. Anlage B enthält eine Zusammenfassung der bekannten Risiken von PFAS für den Menschen, die sich auf 50 Seiten erstreckt.¹⁰

Im Beschränkungsdossier wird klargestellt, dass nicht für alle toxikologisch denkbaren Wirkungen (Endpunkte) zu allen (mehr als 10.000) PFAS-Daten vorliegen und auch der Evidenzgrad unterschiedlich ist.¹¹ Die meisten Daten liegen zu zwei PFAS vor: zu PFOA, Perfluoroktansäure, und PFOS, Perfluoroktansulfonsäure, vor. Diese sind in der EU bereits reguliert. Anlass zur Besorgnis gibt, dass PFOA und PFOS schon in sehr geringen Mengen von wenigen Nanogramm je Kilogramm Körpergewicht der Gesundheit zusetzen können. Allerdings wächst auch der Fundus toxikologischer Daten zu anderen PFAS. Die Daten zeigen vor allem auch, dass Menschen gegenüber PFAS empfindlicher sind als die meisten anderen bisher untersuchten Arten.¹² Die Gehalte an PFOS und PFOA im Blutserum sind mit einer verminderten Antikörperantwort nach Impfung von Kindern assoziiert. Belegt sind für beide Substanzen auch nachteilige Effekte auf das Ge-

9 Europäische Chemikalienagentur (2023). ECHA publishes PFAS restriction proposal, online abrufbar <https://echa.europa.eu/de/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>.

10 Europäische Chemikalienagentur (2023). ECHA publishes PFAS restriction proposal, online abrufbar <https://echa.europa.eu/de/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>.

11 Europäische Chemikalienagentur (2023). ECHA publishes PFAS restriction proposal, online abrufbar <https://echa.europa.eu/de/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>.

12 Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2021). Fachbericht der PFAS-Koordinierungsgruppe Fragestellungen zur konsistenten Ableitung von Bewertungskriterien für die Medien Grund- und Oberflächenwasser sowie Boden vor dem Hintergrund neuer EFSA-Empfehlungen. 23. September 2021, online abrufbar https://www.lawa.de/documents/lawa-labo-fachbericht-pfas-barrierefrei_1689855505.pdf.

burtsgewicht und die Reproduktion. Zielorgane sind die Nieren und die Leber, weshalb lebertoxische Effekte auftreten können. Langzeitig können beide Substanzen vermutlich das Risiko für bestimmte Krebsarten erhöhen.¹³

Als kritischste Wirkung für die Gesundheit werden Beeinträchtigungen des Immunsystems angesehen. Ein nachteiliger Effekt auf das Immunsystem, insbesondere von Kindern, wird auch bei anderen PFAS beobachtet: Zuletzt fasste eine Metaanalyse 14 Studien zusammen, die allesamt die Belastung mit fünf PFAS mit der Zahl der Antikörper nach Impfung in Beziehung setzte. Bei den Impfungen gegen Diphtherie, Tetanus und Röteln lagen die Antikörpertiter umso niedriger, je mehr PFAS im Blut waren. Bei Röteln zeigte sich der Effekt in allen Altersgruppen, nicht nur bei Kindern.¹⁴ Eine weitere Studie kommt zu dem Schluss, dass PFOA und PFOS verglichen mit sechs weiteren PFAS eher am unteren Ende der Skala für Immunschädigung stehen. Namentlich PFDA (Perfluordecansäure), PFNA (Perfluorononansäure) und PFHxA (Perfluorhexansäure) wirkten stärker.¹⁵

Auf Grundlage der toxikologischen und vor allem epidemiologischen Daten hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bereits im September 2020 die tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (Tolerable Weekly Intake (TWI)) für vier PFAS in Summe auf 4,4 Nanogramm pro Kilogramm (kg) Körpergewicht pro Woche begrenzt. Zu den vier PFAS gehören: Perfluoroktansulfonsäure (PFOS), Perfluoroktansäure (PFOA), Perfluornonansäure (PFNA) und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS). Die EFSA sieht neben Lebensmitteln wie Fisch, Obst, Eiern und Eiproducten auch Trinkwasser als eine wichtige mögliche Expositionsquelle für PFAS an.¹⁶ Toxikologische Abschätzungen und Messungen am Menschen im Rahmen des Human Biomonitoring zeigen, dass dieser Wert oft ausgeschöpft und überschritten wird.¹⁷

Entsprechend der Forschung ist die Belastung des Wasserhaushalts mit PFAS in Europa besonders problematisch. Sie kann in Ballungsräumen, am Standort von Bränden und Löschübungsplätzen und an ehemaligen oder weiterhin tätigen Produktionsstandorten von PFAS besonders

13 Fenton, Suzanne/Alan Ducatman et al. (2020). Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. In: Environmental Toxicology and Chemistry, 2020, 40(3), S.:606–630, online abrufbar <https://PMC7906952/>.

14 Crawford, Lori/Scott Halperin et al. (2023). Systematic review and meta-analysis of epidemiologic data on vaccine response in relation to exposure to five principal perfluoroalkyl substances. online abrufbar <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412023000077>.

15 Wieneke, Bil/Ehrlich, Veronika, et al. (2023). Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring, in: Environment International, 171, online abrufbar <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022006547?via%3Dihub>.

16 Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (2024). Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS), online abrufbar <https://www.efsa.europa.eu/de/topics/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>.

17 Brunn, Hubertus/Gottfried, Arnold et al. (2023). PFAS: forever chemicals—persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites. In: Environmental Sciences Europe, Band 35, 20, online abrufbar <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-023-00721-8>.

ausgeprägt sein kann. Löschschaume enthalten vielfach PFAS.¹⁸ In Reaktion auf das allgegenwärtige Vorkommen von PFAS im Wasserhaushalt hat die EU in der Trinkwasserrichtlinie 2020/2184 einen Grenzwert von 0,10 Mikrogramm je Liter für die Summe von 20 PFAS vorgegeben. Der Grenzwert gilt ab 12. Januar 2026. Die 20 Verbindungen sind im Anhang der Richtlinie aufgeführt. Ab 12. Januar 2028 gilt zusätzlich für die vier wichtigsten PFAS-Verbindungen PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS ein Grenzwert von 0,020 Mikrogramm je Liter. Erste Messungen von 1.300 Trinkwasserproben hierzulande zeigten im Vorgriff auf die Regulierung, dass 2024 bei 4,1 Prozent der Proben Gehalte über dem Grenzwert Summe PFAS-20 gefunden wurden. Der PFAS-4-Grenzwert wurde bei 6,4 Prozent der Proben überschritten.¹⁹

Eine Orientierung zu den gesundheitlichen Wirkungen der PFAS gibt weiterhin die Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien nach dem Globally Harmonized System²⁰, einem weltweit gültigen einheitlichen Einstufungssystem für Chemikalien. Die Einstufung erfolgt in der EU auf Grundlage der vorhandenen standardisierten Daten zu den Wirkungen auf Mensch und Umwelt und einer festgelegten Herangehensweise. Rechtsgrundlage für die Einstufung von GHS ist in der EU die CLP-Verordnung.

Für PFOS, PFOA, PFNA, PFDA (Perfluordekansäure) und PFHpA (Perfluorheptansäure) und ihre Salze liegen ausreichende toxikologische und ökotoxikologische Daten für eine harmonisierte Einstufung vor. Sie stehen demnach im Verdacht, eine krebserzeugende Wirkung am Menschen zu haben (Karzinogenität (Kategorie: Carc. 2, außer PFHpA)) und tragen einen Warnhinweis für Reproduktionstoxizität (Kategorie: Repr. 1B) und STOT RE 1 (außer für PFDA). STOT RE 1 bedeutet bei Menschen eindeutig toxisch oder eine in Tierversuchen ermittelte toxische Wirkung nach wiederholter Exposition.

Die verfügbaren Studien deuteten auf ähnliche Bedenken für einige andere PFAS hin. Die Industrie selbst stuft HFPO-DA (Ammonium-2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propanoat, auch als FRD-902 oder „GenX“ bezeichnet), POSF (Perfluoroctansulfonylfluorid), 6:2 FTSA (6:2-Fluortelomersulfonsäure) und 8:2 FTSA (8:2-Fluortelomersulfonsäure) als toxisch für den Menschen ein (Einstufung STOT RE), POSF auch als reproduktionstoxisch. Auch mehrere andere Per-

18 Umweltbundesamt (2025). PFAS in Feuerlöschmitteln, 3.2.2025, online abrufbar <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-reach/stoffgruppen/per-polyfluorierte-chemikalien-pfc/pfc-in-feuerloeschmitteln>.

19 Umweltbundesamt (2024). Empfehlung des Umweltbundesamtes: PFAS im Trinkwasser – Sachstand und Aspekte zur Bewertung, online abrufbar https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/twk_2023_22_24051uba_empfehlung_pfas_im_trinkwasser_sachstand_und_aspekte_zur_bewertung_final.pdf.

20 Umweltbundesamt (2014). Globally Harmonised System (GHS), 16. Mai 2014, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/einstufung-kennzeichnung-von-chemikalien/globally-harmonised-system-ghs#aufbau-des-ghs>.

fluoralkylsäuren (PFAA) und ihre Vorläuferverbindungen sind dem Beschränkungsdossier zu folge selbst als mutmaßlich krebserregend, reproduktionstoxisch über den Pfad der Muttermilch und toxisch für den Menschen (STOT RE) klassifiziert.²¹

Obschon für viele PFAS die toxikologischen und ökotoxikologischen Daten unvollständig sind, ist in der Toxikologie bekannt, dass Moleküle ähnlicher Struktur und die ähnlich im menschlichen Körper verstoffwechselt werden, ähnliche Wirkungen auf den Menschen haben können. Auf dieser Struktur-Wirkungs-Analogie rekurrenkt mithin der Beschränkungsvorschlag, der sämtliche PFAS betrifft. Auch möchte dieser alle PFAS umfassende Vorschlag vermeiden, dass einzelne verbotene PFAS durch nahezu identische, chemisch verwandte PFAS ersetzt werden, die vergleichbare toxikologische Wirkungen haben. Diese nachteilige Substitution regulierter Chemikalien wird als „regrettable substitution“ bezeichnet; das Chemikalienrecht der letzten Jahrzehnte kennt eine Reihe von Beispielen hierfür. Zugleich setzt eine zielführende Substitution in einer konkreten Anwendung die Verfügbarkeit ungefährlicher Alternativstoffe voraus. Die bereits regulierten Substanzen PFOA und PFOS sind teils durch andere per- oder polyfluorierte Chemikalien ersetzt worden, darunter ADONA, GenX für PFOA, H4PFOS für PFOS. Zu diesen neuen Stoffen liegen weniger Daten zur toxikologischen Wirkung vor. Es kann nicht pauschal angenommen werden, dass sie toxikologisch und ökotoxikologisch unbedenklicher als die PFAS-Altstoffe sind. Für GenX hat die amerikanische Zulassungsbehörde Food and Drug Administration die täglich tolerierbare Aufnahmemenge niedriger festgesetzt als für PFOA und PFOS, da die Verbindung toxischer ist.

2. Addendum: Sind Windkraftanlagen eine zentrale Kontaminationsquelle für PFAS?

Auftragsgemäß wird kurz zur Frage Stellung genommen, ob Windkraftanlagen eine Hauptkontaminationsquelle für PFAS seien. Mit Blick auf die branchenübergreifende und massenhafte Verwendung von mehr als 10.000 PFAS in Fahrzeugen, Kosmetika, Lebensmittelverpackungen, Textilien, Bauprodukte, so dass in jedem Haushalt PFAS zu finden sind, sind Windkraftanlagen nur eines unter ungezählten Konsumgütern, die PFAS enthalten. Wissenschaftliche Überlegungen oder Belege für eine Hauptverantwortung der Windkraftbranche an der ubiquitären Belastung mit PFAS gibt es nicht. So stellte auch die Hessische Landesregierung in ihrer Antwort auf eine Kleine Anfrage zu „PFAS in Wildschweinleber und der Windkraft“ fest: „Es liegen keine Anhaltspunkte für eine Verursacherrolle von Windkraftanlagen vor.“

21 Europäische Chemikalienagentur (2024). Registry of restriction intentions until outcome, <https://echa.europa.eu/de/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18663449b>.