



Hintergrundinformationen: PFAS und TFA als persistente Belastung für Umwelt, Biodiversität und Wasserressourcen

Hintergrundinformationen für das Projekt [fassadengrün.org](https://fassadengruen.org)

Kurzfassung.

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) bilden eine sehr große Stoffgruppe technischer Chemikalien, deren gemeinsamer umweltfachlicher Nenner vor allem in ihrer außergewöhnlichen Persistenz liegt [2], [11]. Für den Gewässer- und Biodiversitätsschutz sind zwei Muster besonders relevant: Erstens klassische PFAS wie PFOS und PFOA, die in Hotspots und Nahrungsketten zu Bioakkumulation und toxikologisch relevanten Belastungen führen können; zweitens sehr mobile, ultrakurzkettige PFAS wie Trifluoressigsäure (TFA), die sich breit im Wasserkreislauf verteilen und technisch kaum entfernen lassen [3], [10], [13]. Im Klartext heißt das: Wir bekommen derzeit bei jedem Regen 500 Gramm TFA pro Quadratmeter Fläche „serviert“.

Die vorliegenden Berichte zeigen für Deutschland deutliche Langzeittrends steigender TFA-Gehalte in archivierten Pflanzenproben der Umweltprobenbank des Bundes. Gleichzeitig wird TFA im Grundwasser an 76 % der Messstellen nachgewiesen, was auf eine nahezu flächendeckende Hintergrundbelastung hinweist [4]-[6]. Für das Voralpenland ist diese Entwicklung relevant, weil mobile und persistente PFAS Trinkwasserressourcen, landwirtschaftliche Stoffpfade, Böden und aquatische Ökosysteme gleichzeitig betreffen. Der wissenschaftliche Befund stützt daher einen vorsorgeorientierten Ansatz aus Substitution, Emissionsminderung, Monitoring und Ressourcenschutz [3], [9], [10], [13].

1. Einleitung und Begriffsbestimmung

PFAS umfassen nach der OECD-Definition fluorierte Stoffe, die mindestens eine vollständig fluorierte Methyl- oder Methylengruppe enthalten [2]. Es gibt zwei typische PFAS Anwendungen: einmal der Einsatz von PFAS in Feuerlöschschäumen mit überwiegend kurzkettigen PFAS und zum zweiten der Einsatz als Industriechemikalie mit einem eher langkettigen Spektrum. Für die fachliche Bewertung ist es sinnvoll, zwischen langkettigen, stärker bioakkumulativen PFAS und sehr mobilen kurz- bzw. ultrakurzkettigen Verbindungen zu unterscheiden.

PFAS gelangen über industrielle Anwendungen, Beschichtungen, Feuerlöschschäume, Abfälle, belastete Böden, Klärschlämme, Produkte des täglichen Gebrauchs und atmosphärische Vorläufersubstanzen in die Umwelt [3], [10], [13].

Diese Gruppendifinition ist regulatorisch bedeutsam, weil sie den Fokus von einzelnen Leitstoffen auf die gemeinsame Problemlogik verschiebt: PFAS sind in der Umwelt außerordentlich persistent; einzelne Vertreter sind darüber hinaus bioakkumulativ, toxisch oder sehr mobil [2], [3], [11]

Das TFA nimmt dabei eine Sonderrolle ein: Der Stoff ist sehr mobil, persistent, kaum technisch entfernbar und entsteht sowohl aus direkter Verwendung als auch aus dem atmosphärischen oder umweltchemischen Abbau zahlreicher Vorläuferstoffe, darunter Kälte- und Treibmittel sowie verschiedene Pflanzenschutzmittelwirkstoffe [4], [7], [10], [12].

Mittlerweile gibt es mindestens 15.000 verschiedene PFAS auf dem Markt. Davon können derzeit 20 sicher bestimmt werden, bis zu 100 möglicherweise erfasst werden. Nur für 16 PFAS liegen ökotoxikologische Bewertungen vor.

2. Umweltvorkommen und Stoffpfade

Der europäische Beschränkungsvorschlag bezieht deshalb mehr als 10.000 PFAS ein und zielt auf eine umfassende Emissionsminderung ab [9]. Während bei klassischen PFAS Hotspots an Produktions-, Übungs- oder Löschmittelstandorten besonders relevant sind, erfolgt der Eintrag von TFA häufig diffus



über Niederschläge sowie über Vorläufersubstanzen aus Kälte- und Treibmitteln und aus der Landwirtschaft [4], [7], [10], [12].

Der UBA-Bericht zu TFA-Langzeittrends hebt hervor, dass TFA aufgrund seiner hohen Wasserlöslichkeit und geringen Sorption vor allem durch nasse Deposition (also mit dem Niederschlag) aus der Atmosphäre in Böden, Oberflächengewässer und schließlich in das Grund- und Trinkwasser eingetragen wird [4]. Damit unterscheidet sich TFA von vielen anderen persistenten organischen Schadstoffen: Der Stoff reichert sich weniger in fettigen Geweben an, ist dafür aber räumlich außerordentlich mobil und wasserwirtschaftlich besonders problematisch [4], [10].

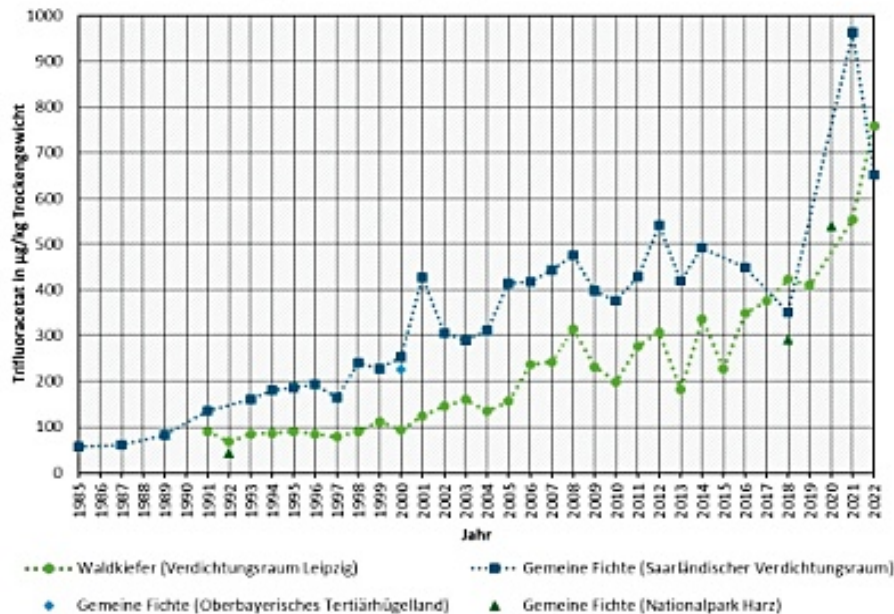


Abbildung 1. Zeitliche Entwicklung der TFA-Gehalte in Nadelproben der Waldkiefer und der Gemeinen Fichte; wiedergegeben aus Freeling und Käberich [4].

3. Empirische Befunde und Langzeittrends

Die Befundlage für Deutschland ist inzwischen deutlich genug, um von einem großräumigen Trend zu sprechen. Freeling und Käberich untersuchten 62 Nadelbaumproben der Umweltprobenbank des Bundes aus den Jahren 1985 bis 2022 und fanden für Waldkiefer im Verdichtungsraum Leipzig sowie Gemeine Fichte im Saarländischen Verdichtungsraum statistisch signifikante positive Trends [4]. Die Steigungen der Linien betragen 13,3 bzw. 15,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockengewicht pro Jahr [4]. Besonders auffällig ist der starke Anstieg in den letzten Jahren des Untersuchungszeitraums; für die Gemeine Fichte wurden 2021 bis zu 962 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockengewicht gemessen [4].

Diese Ergebnisse ergänzen die frühere Studie zu Laubbaumproben, in der ebenfalls signifikante Anstiege festgestellt wurden [5]. Zusammengenommen belegen beide Arbeiten, dass sich TFA nicht nur in Wasser, sondern auch in terrestrischen Pflanzen langfristig anreichert und dass die atmosphärische TFA-Deposition in Deutschland in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen hat [4], [5]. Für das Oberbayerische Tertiärhügelland ist ein lokaler Ankerpunkt im Bericht enthalten: Eine Fichtenprobe aus dem Jahr 2000 vom Standort Scheyern wies 225 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockengewicht auf und lag damit in derselben Größenordnung wie eine Vergleichsprobe aus dem Saarland (253 $\mu\text{g}/\text{kg}$) [4].

Auch die Niederschlagsdaten stützen diesen Befund. Der UBA-Bericht verweist darauf, dass die mittlere TFA-Konzentration im Niederschlag in Deutschland 2019 bei 0,335 $\mu\text{g}/\text{L}$ liegt und damit etwa drei- bis viermal höher ist als in Monitoringstudien der Jahre 1995/96 [4]. **Im Klartext heißt das: Wir bekommen derzeit bei jedem Regen 500 Gramm TFA pro Quadratkilometer Fläche „serviert“.**



Zudem zeigt die UBA-Modellierung, dass allein das Kältemittel R1234yf im Jahr 2050 TFA-Einträge über Niederschläge von 2,5 kg/km² pro Jahr für Europa und bis zu **4 kg/km² pro Jahr für Deutschland** verursachen könnte, wenn keine wirksame Begrenzung erfolgt [7].

4. Gesundheits- und Biodiversitätsrelevanz

Die humantoxikologische Bewertung der PFAS-Stoffgruppe ist heterogen; einige Vertreter sind deutlich problematischer als andere. Für PFOA bewertete die IARC 2025 die Evidenz als ausreichend für eine Einstufung als krebserzeugend für den Menschen (Gruppe 1), PFOS als möglicherweise krebserzeugend für den Menschen (Gruppe 2B) [8]. Der Gesundheitsbezug ist umweltfachlich deshalb relevant, weil PFAS-Emissionen über Nahrung, Trinkwasser, Staub und Umweltkontakte in die Bevölkerung zurückwirken [3], [8], [13].

Für die Biodiversität ist die Bedeutung von PFAS breiter als die klassische Toxizitätsdebatte. PFAS treten mittlerweile in Wildtieren, Fischen, Amphibien, Wirbellosen und Mikroorganismen sowie in fast allen Menschen dieser Erde (im Blut) auf und überlagern andere Belastungen wie Nährstoffüberschüsse, Mikroplastik, Pestizide, Spurenstoffe, Nährstoffüberschüsse, Habitatverlust und Klimawandel [1], [3], [11]. Besonders problematisch sind chronische Misch- und Hintergrundexpositionen, die nicht zwingend in akuten Sterbeereignissen sichtbar werden, aber Reproduktion, Immunfunktion und ökologische Resilienz beeinträchtigen können [3], [8], [11].

TFA wird nach der OECD-Definition ebenfalls den PFAS zugeordnet [2]. Die akute Ökotoxizität gilt zwar nach heutigem Kenntnisstand als vergleichsweise gering, doch die Kombination aus extremer Persistenz, Ubiquität, chronischer Exposition und technischer Nicht-Entfernbarkeit verschiebt die Bewertung in Richtung Vorsorge [4], [10], [14]. Gerade weil TFA wassergebunden transportiert wird und sich in Pflanzen nachweisen lässt, berührt der Stoff unmittelbar die Schutzgüter Wasser, Boden, Vegetation und Trinkwassergewinnung [4], [10].

5. Relevanz für Wasser und Grundwasser

Der wasserwirtschaftliche Befund ist besonders belastbar. Das Umweltbundesamt berichtet 2026, dass TFA an 76 % der Messstellen gefunden wird und damit nahezu flächendeckend im Grundwasser vorkommt [6]. Zugleich weist das UBA darauf hin, dass TFA technisch kaum aus dem Wasser zu entfernen ist [6], [10]. Damit unterscheidet sich TFA in der Praxis von vielen konventionellen Schadstoffen: Schon mäßige Konzentrationen können wegen der Persistenz, der räumlichen Verbreitung und der begrenzten Aufbereitungsmöglichkeiten zu einem strukturellen Problem der Trinkwasserbewirtschaftung werden [10], [13], [14].

Das UBA hat 2025 einen gesundheitlichen Leitwert für TFA von 3 µg/L abgeleitet [14]. Unabhängig von der unmittelbaren Frage der gesundheitlichen Schwelle bleibt aus Umweltsicht zentral, dass der Stoff emissionsseitig minimiert werden muss, weil eine nachträgliche technische Problemlösung nur eingeschränkt möglich ist [10], [14]. Der Science-of-the-Total-Environment-Beitrag von Sonne et al. plädiert deshalb ergänzend zu Regulierungen für ein systematisches Biomonitoring und für besonders geschützte Grundwasserressourcen, sogenannte Groundwater Parks [3].

6. Einordnung für das Voralpenland

Für das Voralpenland ergibt sich eine mehrfache Relevanz. Erstens ist die Region in hohem Maße auf intakte Trinkwasser- und Grundwasserressourcen angewiesen. Zweitens überlagern sich landwirtschaftliche Nutzung, Siedlungs- und Verkehrsdruck, touristische Nutzung und empfindliche aquatische Systeme. Drittens zeigt der Standort Scheyern im Oberbayerischen Tertiärhügelland, dass TFA bereits in archivierten Pflanzenproben aus Oberbayern nachweisbar ist [4]. Zudem ist in Gendorf ein Produktionshub mit gleich drei Herstellern ansässig. Die Kombination aus diffuser Hintergrundbelastung und regional sensiblen Wasserressourcen spricht daher für einen vorsorgenden Umgang: Einträge möglichst früh minimie-



ren, Grundwassereinzugsgebiete schützen und lokale Hinweise systematisch in ein überregionales PFAS-Monitoring einordnen [3], [4], [10], [13].

7. Handlungsoptionen

- Stoffgruppe regulieren: Der regulatorische Fokus sollte auf die Stoffklasse PFAS gerichtet bleiben, weil Einzelstoffverbote das Problem der Substitution durch strukturell ähnliche Stoffe oft nicht lösen [2], [9], [11].
- Quellen minimieren: PFAS-haltige Produkte, Feuerlöschschäume und fluorierte Vorläuferstoffe sind dort zu substituieren, wo Alternativen verfügbar sind; für TFA-Vorläufer in Kälte- und Treibmitteln sowie Pflanzenschutzmitteln ist eine konsequente Eintragsminderung zentral [7], [9], [10], [12].
- Monitoring ausbauen: Grundwasser, Oberflächenwasser, Niederschlag und Biota sollten systematisch und vergleichbar überwacht werden; TFA darf dabei nicht ausgeklammert werden [3], [4], [13].
- Wasserressourcen sichern: Besonders empfindliche Trinkwassergewinnungsgebiete benötigen einen vorsorgenden Schutz vor diffusen und punktuellen PFAS-Einträgen [3], [10], [13].
- Kommunikation verbessern: Für Öffentlichkeit und Kommunen ist wichtig, PFAS nicht nur als Skandal einzelner Altlastenstandorte, sondern als langfristige Systembelastung des Wasserkreislaufs zu vermitteln [3], [10], [11].
- **Problematisch ist der Sachverhalt, dass die Sanierungskosten allein für auf mehrere 100 Mrd. Euro geschätzt worden; für die USA wurden Kilogrammpreise von 2-67 Million USD evaluiert. Das Problem ist also inzwischen so groß, dass es nicht mehr bezahlt werden kann. Zudem sind die Konzentrationen bei denen keine negativen Effekte zu erwarten sind im Nanogramm-bereich, was das Problem noch erschwert.**

8. Literatur

[1] C. Wirth, H. Bruelheide, N. Farwig, J. M. Marx und J. Settele, Hrsg., Faktencheck Artenvielfalt: Bestandsaufnahme und Perspektiven für den Erhalt der biologischen Vielfalt in Deutschland. München: oekom, 2024. doi: 10.14512/9783987263361.

[2] Z. Wang et al., "A New OECD Definition for Per- and Polyfluoroalkyl Substances," *Environmental Science & Technology*, Bd. 55, Nr. 23, S. 15575-15578, 2021, doi: 10.1021/acs.est.1c06896.

[3] C. Sonne et al., "EU need to protect its environment from toxic per- and polyfluoroalkyl substances," *Science of the Total Environment*, Bd. 876, 162770, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162770.

[4] F. Freeling und M. Käberich, Langzeittrends für Trifluoressigsäure in terrestrischen Umweltproben - Untersuchung von Pflanzenproben der Umweltprobenbank des Bundes (UPB) auf Trifluoressigsäure - Teil 2. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, TEXTE 09/2023, 2023.

[5] F. Freeling, M. Scheurer, J. Koschorreck, G. Hoffmann, T. A. Ternes und K. Nödler, "Levels and Temporal Trends of Trifluoroacetate (TFA) in Archived Plants - Evidence for Increasing Emissions of Gaseous TFA Precursors over the Last Decades," *Environmental Science & Technology Letters*, Bd. 9, Nr. 5, S. 400-405, 2022, doi: 10.1021/acs.estlett.2c00164.

[6] Umweltbundesamt, "Pestizide im Grundwasser: Weniger Wirkstoffe, mehr Metaboliten," 2026. [Online]. Verfügbar: Umweltbundesamt-Webseite. Zugriff: 28. April 2026.

[7] Umweltbundesamt, "Trifluoressigsäure aus fluorierten Kältemitteln belastet Regenwasser," Pressemitteilung, 2021. [Online]. Verfügbar: Umweltbundesamt-Webseite. Zugriff: 28. April 2026.

[8] International Agency for Research on Cancer (IARC), Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic Acid (PFOS), IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans, Vol. 135. Lyon: IARC, 2025.

[9] European Chemicals Agency (ECHA), "ECHA's Risk Assessment Committee adopts its opinion on PFAS restriction proposal," News Release, 3. März 2026. [Online]. Verfügbar: ECHA-Webseite. Zugriff: 28. April 2026.



[10] Umweltbundesamt, Trifluoracetat (TFA): Grundlagen für eine effektive Minimierung schaffen - Räumliche Analyse der Eintragungspfade in den Wasserkreislauf. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, TEXTE 102/2023, 2023.

[11] I. T. Cousins et al., "Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)," *Environmental Science & Technology*, Bd. 56, Nr. 16, S. 11172-11179, 2022, doi: 10.1021/acs.est.2c02765.

[12] H. Joerss et al., "Pesticides can be a substantial source of trifluoroacetate (TFA) to water resources," *Environment International*, Bd. 193, 109061, 2024, doi: 10.1016/j.envint.2024.109061.

[13] Umweltbundesamt, "PFAS -Überwachung im Grundwasser und Geringsfügigkeitsschwellen," 2026. [Online]. Verfügbar: Umweltbundesamt-Webseite. Zugriff: 28. April 2026.

[14] Umweltbundesamt, "Ableitung eines gesundheitlichen Leitwertes für Trifluoressigsäure (TFA)," 2025. [Online]. Verfügbar: Umweltbundesamt-Webseite. Zugriff: 28. April 2026.

9. Abkürzungen

- ECHA: European Chemicals Agency, Europäische Chemikalienagentur.
- IARC: International Agency for Research on Cancer.
- OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- PFAS: per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen.
- PFOS: Perfluorooctansulfonsäure.
- PFOA: Perfluorooctansäure.
- REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals.
- TFA: Trifluoracetat.
- UBA: Umweltbundesamt.
- UPB: Umweltprobenbank des Bundes.