



Neues aus der Verfahrenstechnik 2025/1

Marjan Raimovic, Prof. Dr.-Ing. Frank Rögner

Regulierung von PFAS in Europa:

Rechtliche Rahmenbedingun- gen und politische Entschei- dungsprozesse

Technology
Arts Sciences
TH Köln

Marjan Raimovic, Prof. Dr.-Ing. Frank Rögner

Regulierung von PFAS in Europa

Rechtliche Rahmenbedingungen und politische Entscheidungsprozesse

Neues aus der Verfahrenstechnik 2025/1

Institut für Material- und Prozesstechnologie

TH Köln

Betzdorfer Str. 2 | 50679 Köln

Titelbild: VSMA, „PFAS – Musterbedingungen des GDV: Ein (fast) juristischer Kommentar zum vorgeschlagenen Totalausschluss“, Abbildung aus einem Online-Artikel, 2023. Verfügbar unter: https://www.vσμα.de/wp-content/uploads/2025/06/pfas_juristischer_kommentar_vsma_maschinenbau.jpg. [Zugegriffen: 18. November 2025].

URN: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:832-epub4-31205>

DOI: <https://doi.org/10.57683/EPUB-3120>



Dieses Werk ist lizenziert unter einer

Creative Commons Namensnennung 3.0 Deutschland Lizenz.

Abkürzungsverzeichnis

AmCham EU	American Chamber of Commerce to the European Union
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
CSS	Chemical Strategy for Sustainability
DSF	Decision Support Framework
DüMV	Düngemittelverordnung
DWR	Durable Water Repellent
ECHA	European Chemicals Agency (Europäische Chemikalienagentur)
EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
EFPIA	European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EIB	European Investment Bank (Europäische Investitionsbank)
ESBAF	European Small Business Alliance for Fluoropolymers
ETRMA	European Tyre and Rubber Manufacturers' Association
EU	Europäische Union
FEP	Fluoriertes Ethylenpropylen
FPP4EU	FluoroProducts and PFAS for Europe
GFS-Werte	Geringfügigkeitsschwellenwerte
GOW	Gesundheitliche Orientierungswerte
HEAL	Health and Environment Alliance
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LCA	Lebenszyklusanalysen
LOQ	Limit of Quantification (Bestimmungsgrenze)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PFA	Perfluoralkoxypolymere
PFAA	Perfluoralkylsäuren
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFBA	Perfluorbutansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFCA	Perfluorcarbonsäuren
PFCs	Polyfluorierte Kohlenstoffe
PFDA	Perfluordecansäure
PFDoDA	Perfluordodecansäure
PFDoDS	Perfluordodecansulfonsäure
PFDS	Perfluordecansulfonsäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFNS	Perfluornonansulfonsäure
PFOA	Perfluoroctansäure
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure

PFPeA	Perfluorpentansäure
PFPEs	Per- und polyfluorierte Polyether
PFPeS	Perfluorpentansulfonsäure
PFSA	Perfluorsulfonsäuren
PFT	perfluorierte Tenside
PFTrDA	Perfluortridecansäure
PFTrDS	Perfluortridecansulfonsäure
PFUnDA	Perfluorundecansäure
PFUnDS	Perfluorundecansulfonsäure
PM(T)	Persistente, mobile und potenziell toxische Stoffe
POP	Persistent Organic Pollutants (persistente organische Schadstoffe)
ppb	parts per billion
ppm	parts per million
PPWR	EU-Verpackungsverordnung
PROMISCES	Preventing Recalcitrant Organic Mobile Industrial chemicals for Circular Economy in the Soil-sediment-water system
PTFE	Polytetrafluorethylen
QSPR	Quantitative Structure-Property Relationship
RAC	Committee for Risk Assessment
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
SAFF	Surface-Active Foam Fractionation
SCENARIOS	Strategies for health protection, pollution Control and Elimination of Next generation Refractive Organic chemicals from the Soil, vadose zone and water
SEAC	Committee for Socio-economic Analysis
SERS	Raman-basierte Spektroskopie
SSbD	Safe and Sustainable by Design
SSbD4Chem	Safe and Sustainable by Design for Chemicals and Materials
SVHC	Substance of Very High Concern
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UBA	Umweltbundesamt
VMS	Vadose Zone Monitoring System
ZeroPM	Zero Pollution of Persistent and Mobile Substances

Inhalt

Tabellenverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen	1
1.3 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen zu PFAS	3
2.1 Definition und Eigenschaften.....	3
2.2 Vorkommen und Anwendungen	4
2.3 Umwelt- und Gesundheitsrisiken.....	7
3 Politische Entwicklungen.....	10
3.1 Überblick über politische Initiativen in der EU	10
3.1.1 Regulatorische Initiativen	10
3.1.2 Strategische Programme	11
3.1.3 Forschungs- und Innovationsförderung.....	13
3.1.4 Kooperations- und Dialogformate.....	18
3.2 Wichtige Akteure und Lobbyismus	20
3.3 Aktueller Stand des EU-Beschränkungsverfahrens	23
3.3.1 Verfahrensstand und Timeline	23
3.3.2 Zeitplan, Entscheidung und Ausnahmen.....	24
4 Rechtslage und Regulierungsmaßnahmen.....	25
4.1 Bestehende Rechtsvorschriften	25
4.2 Geplante Beschränkungen und Ausnahmen	29
5 Auswirkungen und Herausforderungen.....	30
5.1 Auswirkungen eines PFAS-Verbots	30
5.1.1 Wirtschaftliche Belastung für die Industrie.....	30
5.1.2 Gesellschaftliche Folgekosten der PFAS-Verschmutzung.....	31
5.2 Herausforderungen bei der Umsetzung	32
5.3 Herausforderungen und Chancen einer nachhaltigen Chemikalienpolitik	34
6 Fazit	37
Literaturverzeichnis	38
Anhang.....	47
Anhang 1: „Stammbaum“ der PFAS-Familie aus OECD 2021	47
Erklärung	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der PFAS-Substanzen mit Abkürzungen, CAS-Nummern sowie Angaben zu Anwendung und Vorkommen nach [4].....	6
Tabelle 2: Strategische EU-Programme zur PFAS-Regulierung.....	11
Tabelle 3: Wichtige Akteure in der PFAS-Debatte mit ihren Kerninteressen und zentralen Aktivitäten (2023-2025).....	22
Tabelle 4: Grenzwerte für PFAS-20 und PFAS-4 gemäß Trinkwasserverordnung [18]	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele für PFAS. Die vollständig fluorierten Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatome sind rot markiert. [2]	4
Abbildung 2: „Stammbaum“ der PFAS-Familie nach OECD 2018 [4]	5
Abbildung 3: Besorgniserregende Eigenschaften von PFAS [8], Kettenlängen modifiziert gemäß OECD [2] und Buck et al. [3]	7
Abbildung 4: Überblick über die zehn Zero Pollution Targets der EU bis 2030 und deren aktueller Umsetzungsstand [25]	13
Abbildung 5: Darstellung des ganzheitlichen Ansatzes von ZeroPM zur Vermeidung, Priorisierung und Entfernung persistenter, mobiler Schadstoffe [29].	14
Abbildung 6: „Stammbaum“ der PFAS-Familie aus OECD 2021 [2]	47

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) zählen zu den zentralen umwelt- und gesundheitspolitischen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Aufgrund ihrer außergewöhnlichen chemischen Stabilität sind sie nahezu nicht abbaubar und verbleiben über Jahrzehnte in der Umwelt sowie im menschlichen Organismus. Die Stoffgruppe umfasst mehr als 10.000 Verbindungen, die seit den 1940er Jahren in zahlreichen industriellen und konsumbezogenen Anwendungen verbreitet sind, darunter Imprägnierungen, technische Beschichtungen und spezielle Prozesshilfsmittel.

Inzwischen lassen sich PFAS weltweit in Böden, Gewässern, der Atmosphäre sowie in Wildtieren und Lebensmitteln nachweisen. Studien zeigen einen Zusammenhang mit schwerwiegenden Gesundheitswirkungen, darunter Leberschäden, Störungen des Immunsystems, hormonelle Dysbalancen und ein erhöhtes Krebsrisiko. Allein für Europa werden die jährlichen gesundheitlichen Folgekosten auf bis zu 84 Milliarden Euro geschätzt.

Angesichts dieser Risiken hat die Europäische Union im Rahmen ihrer Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit und des Zero Pollution Action Plans umfassende regulatorische Maßnahmen eingeleitet. Im Februar 2023 legten fünf Mitgliedstaaten einen Vorschlag zur REACH-Beschränkung vor, der erstmals eine gruppenbasierte Regulierung aller PFAS vorsieht. Dieses Vorhaben stellt nicht nur wissenschaftlich, sondern auch politisch und wirtschaftlich einen tiefgreifenden Wendepunkt in der europäischen Chemikalienpolitik dar.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Ziel der Arbeit ist es, die politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen der PFAS-Regulierung in Europa zu analysieren und deren praktische Umsetzung sowie gesellschaftliche Tragweite zu bewerten. Im Fokus steht die Frage, wie sich eine ambitionierte, aber zugleich realisierbare Chemikalienpolitik gestalten lässt.

Die Arbeit geht dazu folgenden Forschungsfragen nach:

- Welche politischen Entwicklungen und Akteursdynamiken prägen das EU-Beschränkungsverfahren für PFAS?
- Wie gestaltet sich der aktuelle und geplante rechtliche Rahmen zur PFAS-Regulierung in Europa?
- Welche wirtschaftlichen, technologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen sind von einem gruppenbasierten PFAS-Verbot zu erwarten?
- Welche Herausforderungen bestehen bei der praktischen Umsetzung und dem Vollzug der Beschränkung?

- Wie lässt sich eine ausgewogene Balance zwischen Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie industrieller Innovationsfähigkeit erreichen?

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel, die schrittweise von den naturwissenschaftlichen Grundlagen über politische und rechtliche Rahmenbedingungen bis hin zu praktischen Konsequenzen führen:

- **Kapitel 2** vermittelt grundlegende Informationen zur Stoffgruppe PFAS, deren Eigenschaften, Verwendungszwecke und den damit verbundenen Umwelt- und Gesundheitsrisiken.
- **Kapitel 3** beleuchtet die politischen Rahmenbedingungen, laufende Forschungs- und Förderprogramme sowie die Positionen zentraler Stakeholder und Akteure.
- **Kapitel 4** untersucht bestehende rechtliche Regelungen und den Vorschlag zur gruppenbasierten REACH-Beschränkung einschließlich geplanter Ausnahmen und Übergangsfristen.
- **Kapitel 5** analysiert die ökonomischen, technologischen und sozialen Auswirkungen einer PFAS-Beschränkung. Neben Chancen und Risiken werden auch die praktischen Herausforderungen bei der Umsetzung betrachtet.
- **Kapitel 6** fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen und formuliert Schlussfolgerungen für eine wissenschaftlich fundierte und umsetzbare PFAS-Regulierung in Europa.

Die Arbeit stützt sich auf ein breites Spektrum an Quellen, darunter wissenschaftliche Publikationen, politische Stellungnahmen und regulatorische Dokumente. Durch die interdisziplinäre Herangehensweise werden technische, rechtliche und sozioökonomische Aspekte gleichermaßen berücksichtigt.

2 Grundlagen zu PFAS

Um die Regulierungsdebatte zu PFAS sachgerecht einordnen zu können, ist zunächst ein grundlegendes Verständnis der Stoffgruppe erforderlich. Dieses Kapitel erläutert zentrale Begriffe und Eigenschaften von PFAS, zeigt deren Strukturvielfalt auf und stellt dar, in welchen Anwendungsfeldern sie heute eingesetzt werden. Dies bildet die fachliche Grundlage für die anschließende Bewertung ihrer Risiken und der regulatorischen Maßnahmen.

2.1 Definition und Eigenschaften

Chemisch bestehen PFAS aus Kohlenstoffketten, bei denen Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind. Die einzigartige Bindung zwischen Kohlenstoff- und Fluoratomen verleiht diesen Substanzen eine außergewöhnliche Stabilität gegenüber thermischem, chemischem und biologischem Abbau. Dies führt zu ihrer Langlebigkeit (Persistenz) in der Umwelt, weshalb sie als „Ewigkeitschemikalien“ bezeichnet werden. Eine weitere charakteristische Eigenschaft von PFAS ist ihre ausgeprägte Wasser-, Fett- und Schmutzabweisung, die maßgeblich für ihre vielfältigen industriellen und alltäglichen Anwendungen verantwortlich ist [1].

Eine präzise und international anerkannte Definition von PFAS lautet:

“PFASs are defined as fluorinated substances that contain at least one fully fluorinated methyl or methylene carbon atom (without any H/Cl/Br/I atom attached to it), i.e. with a few noted exceptions, any chemical with at least a perfluorinated methyl group (-CF₃) or a perfluorinated methylene group (-CF₂-) is a PFAS.” [2]

PFAS lassen sich in kurzkettige und langkettige Verbindungen unterteilen. Nach einer Definition der OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) [2] und Buck et al. [3] gelten als langkettig alle Perfluorcarbonsäuren (PFCA) mit sieben oder mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen sowie alle Perfluorsulfonsäuren (PFSA) mit sechs oder mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen. Kurzkettige PFAS besitzen entsprechend weniger perfluorierte Kohlenstoffatome, das heißt, bei PFCA weniger als sieben und bei PFSA weniger als sechs perfluorierte Kohlenstoffatome. Sie zeichnen sich durch eine besonders hohe Mobilität im Wasser aus und können sich daher sehr schnell in der Umwelt verbreiten. Während langkettige PFAS zudem eine stärkere Tendenz zur Bioakkumulation in Organismen, einschließlich des Menschen, aufweisen, ist die Bioakkumulation bei kurzkettigen PFAS in der Regel geringer [1].

Abbildung 1 zeigt verschiedene Beispiele für PFAS-Strukturen. Die vollständig fluorierten Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatome, die für die Definition entscheidend sind, sind in Rot hervorgehoben.

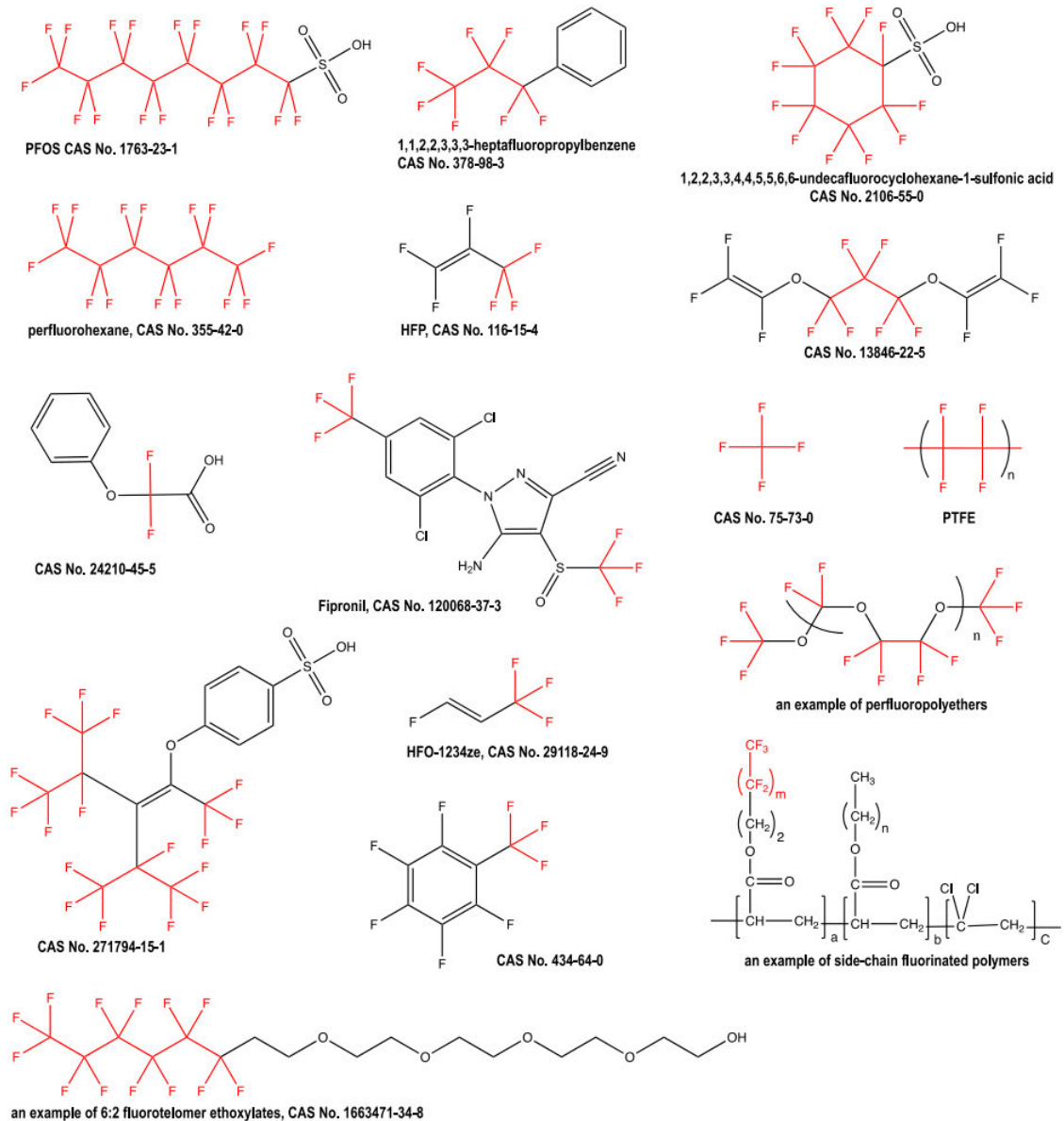


Abbildung 1: Beispiele für PFAS. Die vollständig fluorierten Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatome sind rot markiert. [2]

2.2 Vorkommen und Anwendungen

Die Einsatzbereiche von PFAS sind eng mit ihrer chemischen Struktur verknüpft. Abbildung 2 zeigt den „Stammbaum“ der PFAS-Familie, basierend auf der Klassifikation der OECD. Dabei wird deutlich, dass PFAS keine einheitliche Stoffgruppe sind, sondern sich in zahlreiche Untergruppen mit unterschiedlichen funktionellen Eigenschaften und Anwendungen gliedern lassen. Zur besseren Übersichtlichkeit wird im Folgenden die Darstellung von A.-M. Kaiser [4] (basierend auf OECD 2018 [5]) verwendet. Die aktuellste und umfassendste Klassifikation nach OECD 2021 [2] ist ergänzend im Anhang (siehe Abb. 6, S. 48) zu finden.

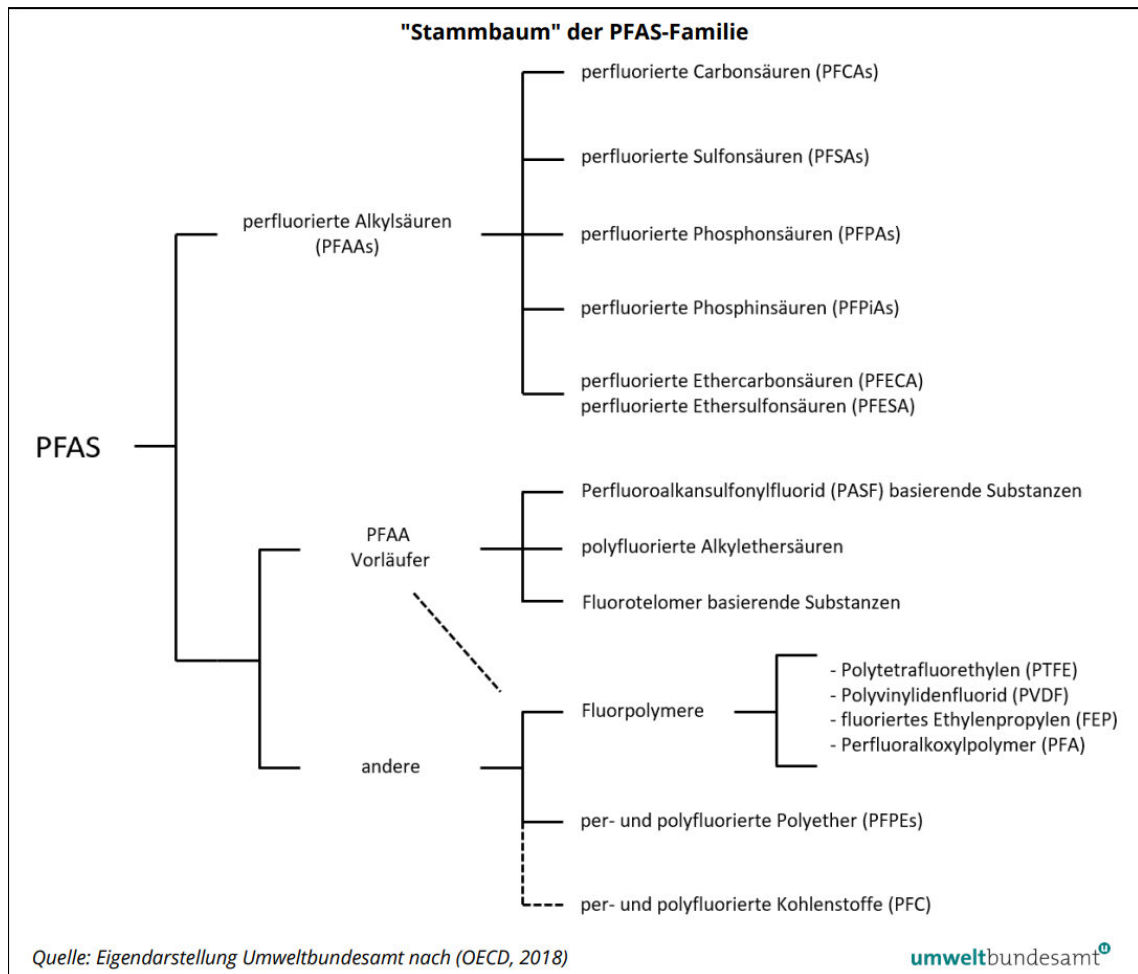


Abbildung 2: „Stammbaum“ der PFAS-Familie nach OECD 2018 [4]

Im Zentrum stehen die perfluorierten Alkylsäuren (PFAAs), insbesondere Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) und Perfluorsulfonsäuren (PFSAs), die in zahlreichen Umwelt- und Humanproben nachgewiesen wurden und zu den am besten untersuchten PFAS zählen [4]. Außerdem gibt es sogenannte PFAA-Vorläuferstoffe, die durch Umwandlungsprozesse (z. B. in der Umwelt) in persistenterere Endprodukte überführt werden können [6].

Neben den perfluorierten Alkylsäuren (PFAAs) und deren Vorläufern umfasst die PFAS-Familie laut der Darstellung des Umweltbundesamts auch Fluorpolymere, darunter Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyvinylidenfluorid (PVDF), fluoriertes Ethylenpropylen (FEP) und Perfluoralkoxypolymere (PFA). Diese zählen strukturell zu den polymeren PFAS und unterscheiden sich von den kleinmolekularen PFAAs. Auch per- und polyfluorierte Polyether (PFPEs) sowie per- und polyfluorierte Kohlenstoffe (PFCs) werden in der Abbildung als eigenständige Gruppen innerhalb der PFAS-Familie aufgeführt.

Diese Vielfalt spiegelt sich auch in den Anwendungen wider: PFAS finden sich in Feuerlöschschäumen, Textilien, Lebensmittelverpackungen, Farben, Kosmetika, Medizinprodukten sowie in industriellen Prozessen und Spezialanwendungen [4]. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden einige Vertreter, ihre CAS-Nummer sowie deren Anwendungen bzw. deren Vorkommen tabellarisch dargestellt.

Substanz (Abkürzung)	CAS-Nummer	Anwendung und Vorkommen
Perfluorbutansäure (PFBA)	375-22-4	Kabelisolatoren, Fotofilme, Kosmetikartikel*, Additive in LC-MS-Lösungsmitteln
Perfluorpentansäure (PFPeA)	2706-90-3	Plastikbodenbeläge*, Kosmetikartikel*
Perfluorhexansäure (PFHxA)	307-24-4	Plastikbodenbeläge*, Schuhwachs*, Kosmetikartikel*, wasserabweisende Textilien*
Perfluorheptansäure (PFHpA)	375-85-9	laminierte Plastikbodenbeläge*, Kosmetikartikel*
Perfluoroctansäure (PFOA)	335-67-1	Feuerlöschschäume, Emulgator für die Fluorpolymerproduktion, Isolatoren, Kosmetikartikel*, Schuhwachs*, wasserabweisende Textilien und Abdeckungen*
Perfluorononansäure (PFNA)	375-95-1	Emulgator für die Fluorpolymerproduktion
Perfluordecansäure (PFDA)	335-76-2	Kosmetikartikel*
Perfluorundecansäure (PFUnDA)	2058-94-8	Kosmetikartikel*
Perfluordodecansäure (PFDoDA)	307-55-1	Kosmetikartikel*
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	72629-94-8	Kosmetikartikel*
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	375-73-5	Dispersant, wasserabweisende und atmungsaktive Fasern bei Textilien (z. B. als Seitenketten von Polymeren), Beschichtung von Kochutensilien, Flammschutzmittel
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	2706-91-4	Flammschutzmittel, Emulsionsstabilisator, Fotolack
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	355-46-4	Feuerlöschschäume
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	375-92-8	Flammschutzmittel, Emulsionsstabilisator, Verpackungsmaterialien
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	1763-23-1	Feuerlöschschäume, Dispersant, laminierte Plastikbodenbeläge*
Perfluorononansulfonsäure (PFNS)	68259-12-1	Flammschutzmittel, Emulsionsstabilisator
Perfluordecansulfonsäure (PFDS)	335-77-3	laminierte Plastikbodenbeläge*
Perfluorundecansulfonsäure (PFUnDS)	749786-16-1	in der Quelle keine Angaben
Perfluordodecansulfonsäure (PFDoDS)	79780-39-5	Additive in Fotolacken
Perfluortridecansulfonsäure (PFTrDS)	791563-89-8	in der Quelle keine Angaben

Tabelle 1: Übersicht der PFAS-Substanzen mit Abkürzungen, CAS-Nummern sowie Angaben zu Anwendung und Vorkommen nach [4]

unzureichend erforscht ist, gelten langkettige PFAS als besonders besorgniserregend. Sie zeigen eine hohe Bioakkumulation im menschlichen Körper, insbesondere im Blut und in der Muttermilch, und stehen im Verdacht, fortpflanzungsschädigende und potenziell krebserregende Wirkungen zu entfalten [8].

Im menschlichen Körper reichern sich PFAS insbesondere in der Leber und im Blut an und verbleiben dort über viele Jahre. Wissenschaftliche Studien bringen eine chronische PFAS-Exposition mit verschiedenen gesundheitlichen Auswirkungen in Verbindung, dabei sei angemerkt, dass die Datenlage unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Gut belegt sind Zusammenhänge mit erhöhten Cholesterinwerten, veränderten Leberenzymwerten und Hinweisen auf Leberschäden. Ebenfalls konsistent sind Störungen des Immunsystems, insbesondere eine verringerte Impfantwort bei Kindern, die als besonders empfindlich gelten [9].

Für andere gesundheitliche Auswirkungen bestehen Hinweise, jedoch keine einheitlichen Ergebnisse. So zeigen einzelne Studien einen möglichen Zusammenhang mit Störungen des Hormon- und Fortpflanzungssystems, Fruchtbarkeitsproblemen sowie einem früheren Einsetzen der Menopause. Auch für ein leicht reduziertes Geburtsgewicht bei Neugeborenen liegen Studien mit gemischten Ergebnissen vor. In Tierversuchen wurden zudem neurotoxische Effekte und Veränderungen endokriner Organe beobachtet, deren Relevanz für den Menschen jedoch noch nicht abschließend geklärt ist [9].

Gesicherte Hinweise auf ein erhöhtes Krebsrisiko bestehen bislang nur für Nieren- und Hodenkrebs bei hoher PFOA-Exposition, insbesondere bei beruflich exponierten Personen. Für andere Krebsarten oder weitere PFAS-Verbindungen ist die Datenlage entweder uneinheitlich oder unzureichend [9].

Vor diesem Hintergrund wurden einige der gefährlichsten PFAS wie PFOA und PFOS sowohl in der Europäischen Union als auch weltweit stark eingeschränkt oder verboten [10]. Dennoch lassen sich diese Substanzen aufgrund ihrer Beständigkeit weiterhin in der Umwelt und im menschlichen Körper nachweisen. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit stellte im Jahr 2020 fest, dass ein erheblicher Teil der europäischen Bevölkerung PFAS-Konzentrationen ausgesetzt ist, die über der tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemenge liegen [11].

Auch gesellschaftlich und politisch ist die PFAS-Problematik von großer Bedeutung. Für den Europäischen Wirtschaftsraum werden die jährlich durch PFAS verursachten Gesundheitskosten auf 52 bis 84 Milliarden Euro geschätzt. Hinzu kommen erhebliche Umweltkosten, die, allein für die nordischen Länder, auf bis zu 11 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt werden [12]. Die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) weist darauf hin, dass im Europäischen Wirtschaftsraum ohne zusätzliche Maßnahmen in den nächsten 30 Jahren schätzungsweise etwa 4,5 Millionen Tonnen PFAS während Herstellung und Nutzung in die Umwelt gelangen könnten [13].

PFAS stellen aufgrund ihrer Eigenschaften ein gravierendes Umwelt- und Gesundheitsproblem dar. Die wissenschaftliche Evidenz belegt zahlreiche Risiken für Mensch und

Natur, was den Handlungsdruck auf Gesetzgeber und Industrie erhöht, um eine wirksame Regulierung und Reduktion dieser Stoffe zu erreichen.

Trotz der berechtigten Besorgnis über die Umwelt- und Gesundheitsrisiken bestimmter PFAS ist es wichtig zu betonen, dass nicht alle PFAS gleichermaßen problematisch sind. Die Stoffgruppe der PFAS umfasst mehrere tausend verschiedene Verbindungen, die sich in ihrer chemischen Struktur, ihrem Umweltverhalten und ihrer Toxizität teils erheblich unterscheiden [14]. Während insbesondere langkettige PFAS wie PFOA und PFOS aufgrund ihrer hohen Persistenz, Bioakkumulation und Toxizität als besonders besorgniserregend gelten, weisen kurz- und mittelkettige PFAS nach derzeitigem Kenntnisstand geringere Eliminationshalbwertszeiten auf und zeigen in Tier- und Zellstudien eine vergleichsweise niedrigere Toxizität [11]. Darüber hinaus werden in Forschung und Industrie zunehmend neue PFAS-Alternativen entwickelt, die weniger umwelt- und gesundheitsbelastend sind [15].

Viele PFAS-Anwendungen, etwa in spezialisierten technischen Prozessen oder bei der Herstellung von Medizinprodukten, gelten aufgrund fehlender Alternativen derzeit noch als unverzichtbar [13]. Insbesondere Materialien wie Polytetrafluorethylen (PTFE), bekannt unter dem Handelsnamen Teflon®, werden weiterhin in medizinischen Implantaten, chirurgischen Instrumenten oder Dichtungen eingesetzt, da sie sich durch hohe chemische Stabilität und Biokompatibilität auszeichnen [13]. Der EU-Beschränkungs-vorschlag sieht daher in bestimmten Fällen zeitlich befristete oder sachlich begründete Ausnahmen vor, wie sie in Tabelle 9 mit dem Titel „RO2 - Summary table of derogations“ des Dossiers konkret aufgeführt sind [13]. Diese Ausnahmen beruhen auf dem Prinzip, dass nicht alle PFAS gleichermaßen kritisch zu bewerten sind.

Eine differenzierte Regulierung, die auf Gefährdungspotenzial, Expositionsrisiko und funktionaler Notwendigkeit basiert, ermöglicht es, besonders bedenkliche Substanzen gezielt zu beschränken, ohne zugleich essenzielle Anwendungen unverhältnismäßig zu beeinträchtigen. Diese Unterscheidung ist nicht nur für die wissenschaftliche Risikobewertung, sondern auch für die öffentliche Kommunikation und die politische Entscheidungsfindung von zentraler Bedeutung, um eine sachliche und ausgewogene Debatte über Chancen und Risiken von PFAS zu gewährleisten.

3 Politische Entwicklungen

Die geplante PFAS-Beschränkung ist nicht isoliert zu betrachten, sondern eingebettet in einen komplexen politisch-rechtlichen Kontext auf europäischer Ebene. Kapitel 3 beleuchtet die institutionellen Rahmenbedingungen, Entscheidungsprozesse und zentralen Akteure, die den Verlauf des Beschränkungsverfahrens maßgeblich beeinflussen. Dabei werden sowohl die formalen Abläufe als auch strategische Positionierungen der beteiligten Institutionen und Interessengruppen berücksichtigt.

3.1 Überblick über politische Initiativen in der EU

Die Europäische Union hat in den letzten Jahren zahlreiche politische Initiativen ergriffen, um den Risiken durch PFAS zu begegnen. Diese Maßnahmen spiegeln ein wachsendes Bewusstsein für die Umweltrisiken, Gesundheitsgefahren und wirtschaftlichen Folgekosten wider, die mit PFAS verbunden sind. Angesichts der im Grundlagenkapitel dargestellten enormen Stoffvielfalt innerhalb der PFAS-Familie ist eine pauschale Regulierung jedoch besonders herausfordernd und erfordert eine differenzierte Betrachtung einzelner Substanzgruppen. Politische Maßnahmen müssen deshalb sowohl das breite Anwendungsspektrum als auch die unterschiedlichen Persistenz-, Bioakkumulations- und Toxizitätsprofile einzelner PFAS berücksichtigen. Die politischen Initiativen der EU lassen sich grob in vier Kategorien einteilen: regulatorische Vorhaben, strategische Programme, Forschungsförderung sowie Kooperations- und Dialogformate. Im Folgenden werden zentrale politische Bestrebungen vorgestellt, die auf eine Reduktion oder den Ersatz von PFAS in der Europäischen Union abzielen.

3.1.1 Regulatorische Initiativen

Ein zentrales politisches Vorhaben stellt der REACH-Beschränkungs-vorschlag dar, der im Februar 2023 bei der ECHA eingereicht wurde. Die Initiative wurde von den nationalen Behörden Deutschlands, Dänemarks, der Niederlande, Norwegens und Schwedens gemeinsam erarbeitet. Ziel ist ein nahezu vollständiges Verbot der Herstellung, Verwendung und des Inverkehrbringens von über 10.000 PFAS-Verbindungen [13]. Der Vorschlag befindet sich derzeit im Prüfverfahren, das unter anderem Stellungnahmen von Ausschüssen für Risikobewertung (RAC) und sozioökonomische Analyse (SEAC) umfasst [16]. Darüber hinaus wurden PFAS in verschiedenen anderen Rechtsakten berücksichtigt:

- Die EU-Trinkwasserrichtlinie (2020/2184/EU) legt erstmals verbindliche Grenzwerte für PFAS fest, sowohl für Einzelsubstanzen (PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS) als auch für die Gesamtsumme bestimmter PFAS-Klassen [17].
- In Deutschland wurden diese Vorgaben durch die neue Trinkwasserverordnung ergänzt. Sie sieht ab 2026 einen Grenzwert für die Summe von 20 PFAS („PFAS-20“) sowie ab 2028 einen zusätzlichen nationalen Grenzwert für vier besonders relevante PFAS („PFAS-4“) vor [18].

- In der POP-Verordnung (EU) 2019/1021 sind ausgewählte PFAS (z. B. PFOS, PFOA, PFHxS) als langlebige organische Schadstoffe (persistent organic pollutants) gelistet und unterliegen daher weitreichenden Verwendungsbeschränkungen [19].

Die rechtliche Ausgestaltung und Umsetzung dieser Maßnahmen sowie einiger weiteren Rechtsvorschriften werden in Kapitel 4 auf Seite 25 nochmals aufgegriffen und detailliert erläutert.

3.1.2 Strategische Programme

Mit der EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit (Chemical Strategy for Sustainability, CSS [20]), die Teil des Green Deal ist [21], verfolgt die EU das langfristige Ziel, die Verwendung von PFAS so weit wie möglich zu beenden, es sei denn, ihr Einsatz ist unverzichtbar. Damit wird ein politisches Signal für den schrittweisen Ausstieg gegeben, verbunden mit einem Aufruf zur Entwicklung sicherer Alternativen. Ergänzt wird dies durch den Zero Pollution Action Plan [22], der PFAS explizit als prioritäre Stoffgruppe benennt, deren Emissionen bis 2050 auf ein „nicht schädliches Niveau“ gesenkt werden sollen. Zur besseren Übersicht sind die zentralen strategischen Programme der EU mit Bezug zu PFAS in Tabelle 2 zusammengefasst.

Programm / Strategie	Ziele in Bezug auf PFAS	Wichtige Maßnahmen
Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit (CSS) [20]	Langfristiger Ausstieg aus der PFAS-Nutzung, sofern nicht unverzichtbar („essential use only“)	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung sicherer Alternativen (z. B. Projekt „SSbD4Chem“ zur Entwicklung nachhaltiger Chemikalien) • Einstufung von PFAS als „besonders besorgniserregend“ • Anwendung des „Ein Stoff, eine Bewertung“-Prinzips
Europäischer Green Deal [21]	Schutz von Gesundheit und Umwelt durch nachhaltiges Chemikalienmanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Politischer Rahmen für die CSS • Ziel einer schadstofffreien Umwelt (z. B. EU-Ziel der Nullverschmutzung in Luft, Wasser und Boden)
Zero Pollution Action Plan [22]	Senkung der PFAS-Emissionen auf ein nicht schädliches Niveau bis 2050	<ul style="list-style-type: none"> • Priorisierung von PFAS als Schadstoffgruppe • Stärkung von Monitoring und Forschung (z. B. EU-Chemikalienmonitoring im Rahmen der EEA-Initiative „Zero Pollution Monitoring Framework“)

Tabelle 2: Strategische EU-Programme zur PFAS-Regulierung

Das Forschungsprojekt „SSbD4Chem“ (Safe and Sustainable by Design for Chemicals and Materials), gefördert im Rahmen von Horizon Europe, zielt auf die Entwicklung eines Bewertungsrahmens zur frühzeitigen Identifikation sicherer und nachhaltiger Chemikalien und Materialien ab. Es unterstützt die Umsetzung der EU-Chemikalienstrategie (CSS) und adressiert insbesondere Stoffe wie PFAS. Anwendungsbeispiele sind PFAS-

freie Textilbeschichtungen, biobasierte Werkstoffe im Automobilbereich und mikroplastikfreie Kosmetik. Mithilfe einer digitalen Toolbox sowie innovativer Methoden wie In-silico-Modellen (computergestützten Simulationen chemischer Eigenschaften) und Lebenszyklusanalysen sollen Risiken und Nachhaltigkeit bereits in der Produktentwicklung bewertet werden [23].

Das Prinzip „Ein Stoff, eine Bewertung“ soll bestehende Fragmentierungen in der EU-Chemikaliengesetzgebung überwinden, indem Risikobewertungen von Chemikalien künftig zentral und einheitlich durchgeführt werden, statt wie bisher mehrfach unter REACH, CLP, Biozid- oder Pflanzenschutzrecht. Dies erhöht die Effizienz und Kohärenz bei der Regulierung von Stoffgruppen wie PFAS [20].

Die Initiative „Zero Pollution Monitoring Framework“ der Europäischen Umweltagentur (EEA) dient der systematischen Überwachung der Fortschritte beim Null-Schadstoff-Ziel der EU. PFAS werden darin als prioritäre Stoffgruppe geführt. Ziel ist es, verlässliche Indikatoren zur Emissionsentwicklung bereitzustellen und politische Maßnahmen datenbasiert zu unterstützen. In diesem Zusammenhang werden derzeit EU-weite Leitlinien für das PFAS-Monitoring entwickelt, insbesondere für Trinkwasser. Diese sollen genaue Anforderungen an Nachweisgrenzen, Analysemethoden und Probenahmen definieren und bis spätestens 2026 in die nationale Umsetzung der EU-Trinkwasserrichtlinie einfließen [24].

Die Abbildung 4 zeigt die zehn strategischen Umweltziele der EU im Rahmen des Zero Pollution Action Plans für das Jahr 2030. Auch wenn PFAS nicht ausdrücklich genannt werden, lassen sie sich inhaltlich mehreren Zielbereichen zuordnen. Dazu gehört insbesondere Target 5B, das die Reduktion besonders umweltschädlicher Stoffe in Gewässern anstrebt. Auch Target 4B, das den Einsatz gefährlicher chemischer Pestizide verringern soll, ist relevant, da bestimmte PFAS in Pflanzenschutzmitteln eingesetzt wurden. Zudem steht Target 1 in Zusammenhang mit PFAS, da diese auch über Luftpfade verbreitet werden können und somit zur Belastung der Atemluft beitragen. Die farbliche Darstellung zeigt, wie weit die Umsetzung der jeweiligen Ziele fortgeschritten ist. Während einige als realistisch erreichbar gelten, etwa Target 4C oder 5A, sind andere wie Target 5B oder 6B deutlich im Rückstand. Hier besteht besonders großer Handlungsbedarf, auch im Hinblick auf langlebige Schadstoffe wie PFAS [25].

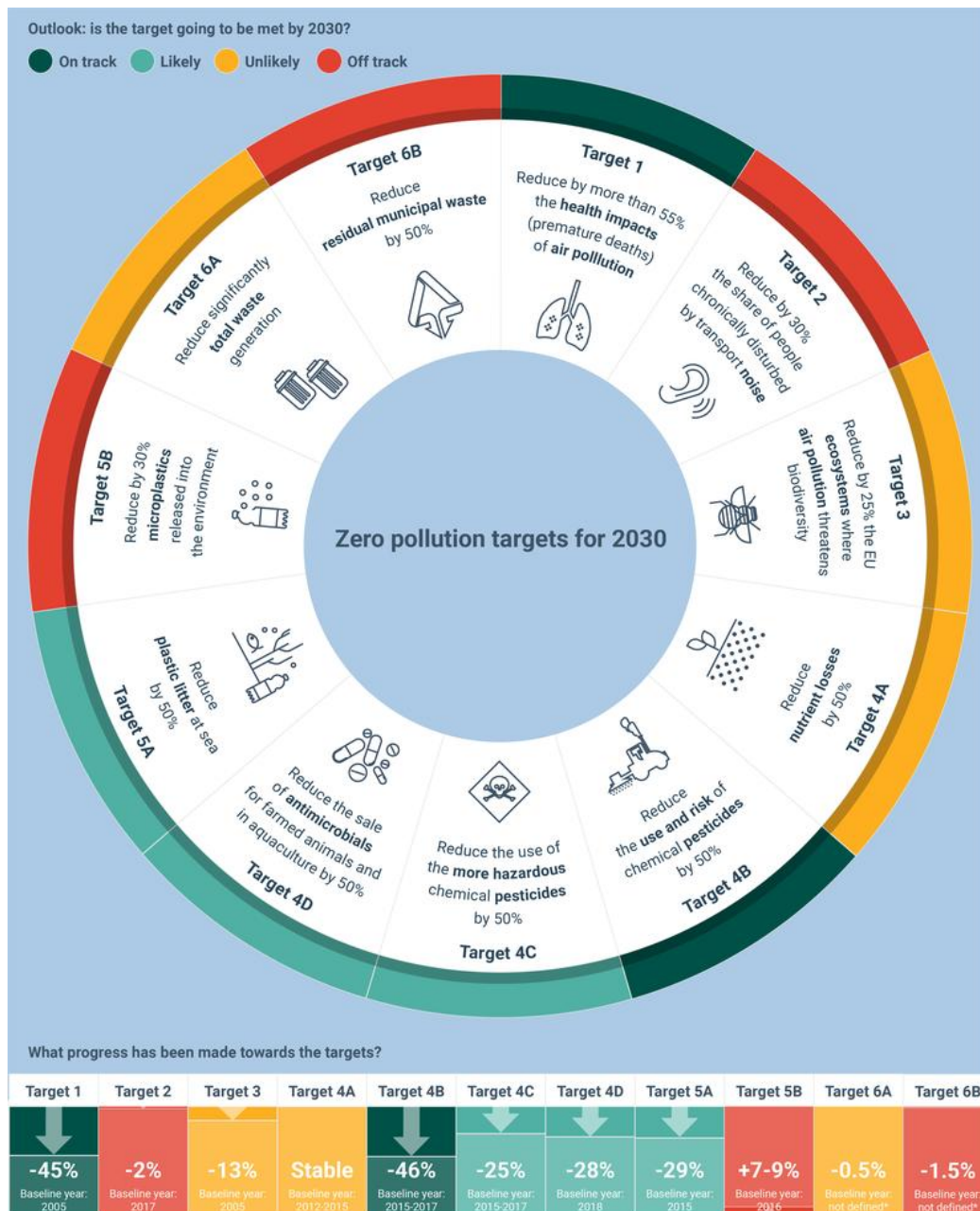


Abbildung 4: Überblick über die zehn Zero Pollution Targets der EU bis 2030 und deren aktueller Umsetzungsstand [25]

3.1.3 Forschungs- und Innovationsförderung

Die Europäische Union fördert im Rahmen von Horizon Europe gezielt Projekte, die sich mit der Risikobewertung, Detektion und Substitution von PFAS beschäftigen. Ziel ist es, wissenschaftliche Grundlagen für eine effektive Regulierung zu schaffen und gleichzeitig praktikable Alternativen für Industrie und Umwelt bereitzustellen. Im Folgenden werden exemplarisch drei aktuelle EU-Forschungsprojekte vorgestellt, die sich mit der PFAS-Problematik befassen: ZeroPM, SCENARIOS und PROMISCES.

Zero PM

Da wäre das Projekt ZeroPM (Zero Pollution of Persistent and Mobile Substances), das einen ganzheitlichen Ansatz zur PFAS-Bekämpfung verfolgt. Neben der Prävention und Priorisierung von PFAS-Emissionen steht die Entwicklung von Strategien zur Entfernung

dieser Stoffe im Mittelpunkt. ZeroPM unterstützt Unternehmen unter anderem mit dem PFAS Guide von ChemSec, einem webbasierten Tool zur Identifikation von PFAS-Hotspots in spezifischen Produktanwendungen [26]. Nutzer können dort nach Sektor, Produktart, Material und Funktion filtern und erhalten gezielte Hinweise zu potenziellen PFAS-Risiken in der Wertschöpfungskette sowie Zugang zu weiterführenden Dokumenten.

Ein konkretes Beispiel aus dem Tool betrifft den Textilbereich: Für Outdoor-Textilien mit wasser- und ölabweisender Funktion wird auf den Einsatz von PFAS in DWR-Finishes (Durable Water Repellent) hingewiesen. In einem verlinkten Fachbericht, dem „PFAS Substitution Guide for Textile Supply Chains“, werden vier Hauptgruppen fluorfreier Alternativen vorgestellt, darunter Paraffinwachse, Silikone und hydrophobe Kohlenwasserstoffpolymere. Zugleich wird betont, dass jede Alternative sorgfältig hinsichtlich ihrer Umwelt- und Gesundheitswirkungen bewertet werden muss, um „regrettable substitution“ zu vermeiden [27].

Ergänzend stellt das Projekt eine Alternative Assessment Database zur Verfügung, in der bereits geprüfte Substitutionsoptionen für verschiedene Funktionsbereiche dokumentiert sind. Diese öffentlich zugängliche Excel-Tabelle bietet Informationen zu konkreten Anwendungsfeldern und Alternativtypen [28].

Grundlage von ZeroPM ist ein evidenzbasiertes, mehrstufiges Rahmenwerk, das politische, technologische und marktbezogene Anreize zur Reduktion der Verwendung und Freisetzung ganzer Stoffgruppen schaffen soll. ZeroPM verfolgt dabei ausdrücklich das Ziel, problematische Ersatzlösungen („regrettable substitution“) und ineffiziente oder schädliche Sanierungen („regrettable remediation“) zu vermeiden [29]. Die folgende Abbildung 5 veranschaulicht das zentrale Konzept von ZeroPM. Sie zeigt, wie die drei miteinander verknüpften Strategien Vermeidung, Priorisierung und Entfernung ineinandergreifen.

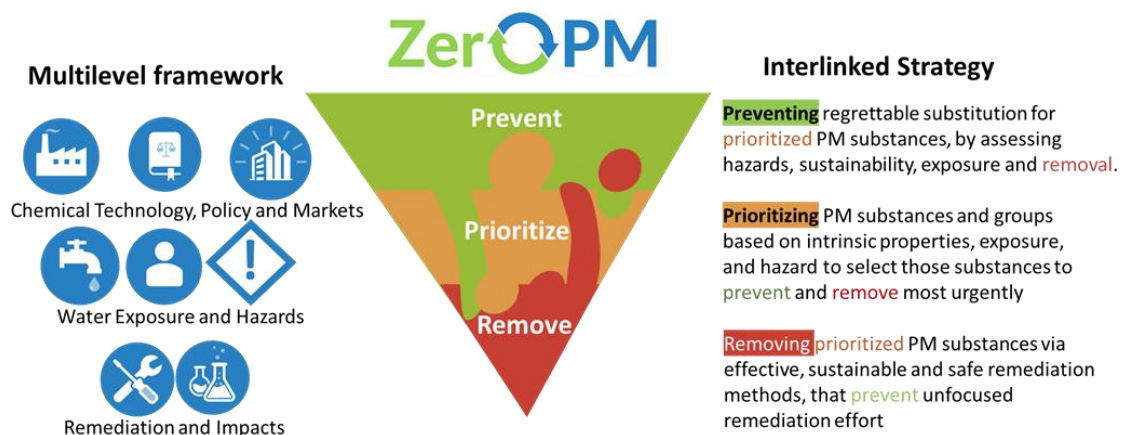


Abbildung 5: Darstellung des ganzheitlichen Ansatzes von ZeroPM zur Vermeidung, Priorisierung und Entfernung persistenter, mobiler Schadstoffe [29].

SCENARIOS

Ein weiteres bedeutendes Forschungsprojekt ist SCENARIOS (Strategies for health protection, pollution Control and Elimination of Next generAtion RefractIve Organic chemicals from the Soil, vadose zone and water), das im Rahmen von Horizon Europe gefördert wird. Mit 19 Partnerinstitutionen aus zehn europäischen Ländern und Israel verfolgt das Projekt einen technologieorientierten, systemischen Ansatz zur Bewältigung der PFAS-Problematik. Ziel ist es, die gesamte Kette von der Detektion über die Risikobewertung bis hin zur Sanierung und Kontrolle dieser persistenten Schadstoffe wissenschaftlich fundiert abzudecken [30] [31].

Im Bereich der Detektion und Überwachung entwickelt SCENARIOS neuartige Sensortechnologien, darunter Raman-basierte Spektroskopie (SERS) und elektrochemische Verfahren. Diese ermöglichen eine schnelle und empfindliche Erfassung von PFAS in Umwelt- und Humanproben. In besonders belasteten Regionen, beispielsweise im italienischen Spinetta Marengo, werden diese Methoden im Rahmen eines öffentlich zugänglichen Biomonitorings auch zur Analyse von Blutproben der Bevölkerung eingesetzt. Ergänzend kommt das sogenannte Vadose Zone Monitoring System (VMS) zum Einsatz, ein bodenintegriertes Sensorsystem zur Echtzeitüberwachung von PFAS-Verlagerungen in der ungesättigten Bodenzone [32].

Zur Sanierung pilotiert SCENARIOS mehrere innovative Verfahren, die auf Energieeffizienz und minimale chemische Zusatzstoffe ausgelegt sind. Dazu gehört die Schaumfraktionierung (Surface-Active Foam Fractionation, SAFF) zur Entfernung insbesondere kurz- und mittelkettiger PFAS aus Wasser, wie sie beispielsweise in einer spanischen Trinkwasseraufbereitungsanlage demonstriert wird. Ergänzend wird eine Kaltplasmatechnologie getestet, die auf die vollständige Zerstörung von PFAS-Molekülen abzielt [31] [32].

Die Technologien werden in vier europäischen Demonstrationsstandorten unter realen Bedingungen validiert, darunter Biomonitoring in Italien, Boden- und Grundwasserüberwachung in Schweden, Dänemark und Israel sowie Trinkwasseraufbereitung in Spanien. Diese Pilotanlagen liefern nicht nur technische Daten, sondern auch regulatorisch relevante Erkenntnisse für Behörden und Politik [32].

Im Bereich der Gesundheitsbewertung kombiniert SCENARIOS moderne In-vitro- und molekularbiologische Verfahren mit toxikogenomischen Ansätzen. Ziel ist es, tierversuchsfreie Methoden zu etablieren, um die Auswirkungen von PFAS auf Leberfunktion, endokrines System und andere physiologische Prozesse zu analysieren. Die Ergebnisse fließen in die Entwicklung eines integrierten Decision Support Systems ein, das Behörden und Industrie künftig bei der Risikoabschätzung und Planung von Sanierungsmaßnahmen unterstützen soll [31] [33]. Zusätzlich werden Lebenszyklusanalysen (LCA) und Kosten-Nutzen-Bewertungen durchgeführt, um die wirtschaftliche und ökologische Praxistauglichkeit der entwickelten Technologien zu belegen [31].

SCENARIOS trägt damit wesentlich zur Etablierung wissenschaftlicher, technischer und regulatorischer Grundlagen für ein nachhaltiges PFAS-Management in Europa bei. Der besondere Fokus auf klima- und kreislaufwirtschaftskompatible Lösungen macht das Projekt zu einem wichtigen Bestandteil der europäischen Zero-Pollution-Strategie.

PROMISCES

Ein weiteres von der Europäischen Union im Rahmen von Horizon 2020 gefördertes Projekt ist PROMISCES (Preventing Recalcitrant Organic Mobile Industrial chemicals for Circular Economy in the Soil-sediment-water system). Mit einer Laufzeit von November 2021 bis April 2025 und einem Gesamtbudget von 12 Millionen Euro verfolgt das Projekt das Ziel, wissenschaftlich fundierte und technologisch tragfähige Lösungen zum Umgang mit persistenten, mobilen und potenziell toxischen Schadstoffen (PM(T)), insbesondere PFAS, zu entwickeln. Im Fokus stehen die Minimierung von Emissionen, die Analyse von Ausbreitungswegen sowie die Bereitstellung praxisnaher Grundlagen für eine nachhaltige Chemikalienpolitik im Sinne des europäischen Green Deal [34].

Das Projekt verfolgt einen integrativen Ansatz, der Prävention, Überwachung und Sanierung miteinander kombiniert. PROMISCES entwickelte neuartige Monitoringverfahren, unter anderem auf Basis hochauflösender Massenspektrometrie und innovativer Probenahmesysteme. Insgesamt wurden zehn validierte Analyseverfahren für unterschiedliche Umweltmatrizes wie Grundwasser, Oberflächenwasser, Deponiesickerwasser und Klärschlamm erstellt. Damit lassen sich 57 PFAS gezielt und empfindlich nachweisen [35].

Darüber hinaus wurden wissenschaftlich fundierte Risikomodelle erarbeitet. Dazu zählen ökotoxikologische Testverfahren sowie die Entwicklung von QSPR-Modellen (Quantitative Structure-Property Relationship) und maschinellen Lernansätzen zur Vorhersage von Stoffeigenschaften wie Wasserlöslichkeit, Dampfdruck oder aquatische Toxizität. Auf dieser Grundlage lassen sich die potenziellen Gefahren durch PFAS besser abschätzen und priorisieren [36] [37].

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Entwicklung und Pilotierung von Sanierungstechnologien. Hierzu wurden physikalisch-chemische und biologische Verfahren untersucht und hinsichtlich ihrer Effizienz, Umweltverträglichkeit und Energieintensität bewertet [34]. Die praktische Umsetzung erfolgte in sieben europäischen Fallstudienregionen, darunter Standorte in Spanien, Frankreich, Italien, Bulgarien und Deutschland sowie im Donauraum zwischen Wien und Budapest. Diese Regionen decken unterschiedliche Anwendungsfelder der Kreislaufwirtschaft ab, etwa Trinkwasseraufbereitung, Abwasserwiederverwendung, Rückgewinnung von Nährstoffen aus Klärschlamm und die Sanierung kontaminierter Böden [38].

Ein besonders anschauliches Beispiel liefert der italienische Cluster unter Leitung von Acea Infrastructure, in Kooperation mit SIMAM und der Polytechnischen Universität Marche. Dieser Cluster war in drei zentrale Arbeitspakete eingebunden [39]. Erstens entwickelte und validierte er analytische Methoden zur PFAS-Erkennung in komplexen

Umweltmatrizes wie Hafensedimenten oder Deponiesickerwasser. Zweitens wurden diese Methoden in zwei italienischen Fallstudien angewandt, um die PFAS-Belastung in verschiedenen Wasserkreisläufen zu erfassen. Drittens untersuchte das Team die Wirksamkeit verschiedener Behandlungsverfahren in großtechnischen Sickerwasseranlagen. Die analysierten Anlagen nutzten unterschiedliche Verfahrenskombinationen, darunter konventionelle Behandlungen mit Klärflockung, biologische Reaktoren mit intermittierender Belüftung sowie hochentwickelte Stufen mit Sandfiltern, Umkehrosmose und Konzentrataufbereitung [40] [41].

Die Ergebnisse zeigten, dass viele herkömmliche Verfahren nicht in der Lage sind, PFAS wirksam zu entfernen. Zudem konnte in einigen Fällen ein Anstieg der PFAS-Konzentrationen im Ablauf nachgewiesen werden, der auf die Transformation von Vorläufersubstanzen während biologischer Prozesse zurückzuführen ist. Dies unterstreicht das Risiko, dass PFAS über Deponiesickerwasser in die aquatische Umwelt gelangen oder sich im Klärschlamm anreichern. Eine agronomische Wiederverwertung dieses Schlamms wird dadurch erheblich erschwert [40] [41].

Ein wesentliches Ergebnis des Projekts ist das Decision Support Framework (DSF), ein modulares Entscheidungsunterstützungssystem für das Management von PM(T)-Stoffen. Es enthält Instrumente zur Bewertung von Stoffeigenschaften, Diagnose von Risikosituationen, Auswahl technischer und politischer Maßnahmen sowie zur Entwicklung sektorübergreifender Strategien. Das DSF richtet sich an Behörden, Industrie und Forschung und unterstützt eine fundierte Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Minimierung von PM(T)-Risiken in der Kreislaufwirtschaft [42].

PROMISCES lieferte darüber hinaus Politikempfehlungen und wirkte an der Entwicklung des CEN Workshop Agreements „Soil-sediment-water system - Solutions to deal with PMT/vPvM substances“ mit, das gemeinsam mit den Schwesterprojekten SCENARIOS und ZeroPM erarbeitet wurde. Dieses Dokument enthält praxisorientierte Leitlinien zur Identifikation, Bewertung und Behandlung von PM(T)-Stoffen sowie zur Prävention an der Quelle [43].

Das interdisziplinäre Konsortium bestand aus 27 Partnern aus neun europäischen Ländern unter der Koordination des französischen geologischen Dienstes BRGM. Es vereinte akademische Institutionen, Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Wasserversorger und trug dazu bei, wissenschaftliche, technische und regulatorische Grundlagen für ein effektives Management von PFAS und verwandten Schadstoffen zu schaffen [44].

PROMISCES leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der europäischen Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit und des Zero Pollution Action Plans. Die entwickelten Technologien, Werkzeuge und politischen Instrumente fördern eine umweltgerechte Kreislaufwirtschaft und stärken den Schutz von Wasser- und Bodenressourcen in Europa.

3.1.4 Kooperations- und Dialogformate

Die Europäische Union hat zur Bewältigung der komplexen PFAS-Problematik zahlreiche Kooperations- und Dialogformate etabliert, die verschiedene Stakeholder aus Wissenschaft, Industrie, Zivilgesellschaft und Politik zusammenbringen. Diese Plattformen ermöglichen den Austausch von Fachwissen, koordinieren wissenschaftliche Erkenntnisse und unterstützen eine evidenzbasierte Regulierungsentwicklung [45].

Öffentliche Konsultationsverfahren der ECHA

Die Europäische Chemikalienagentur organisiert seit der Einreichung des PFAS-Beschränkungsvorschlags umfangreiche öffentliche Konsultationsverfahren. Die öffentliche Konsultation, die von März bis September 2023 stattfand, erstreckte sich über sechs Monate und über 5.600 Kommentare von Unternehmen, Verbänden, Wissenschaftlern und Nichtregierungsorganisationen wurden eingereicht. Diese breite Beteiligung verdeutlicht sowohl das hohe Interesse als auch die Komplexität der PFAS-Regulierung [46].

Die Konsultationen folgen einem strukturierten Verfahren und umfassen mehrere Informationsveranstaltungen. Am 5. April 2023 organisierte die ECHA eine Online-Informationsveranstaltung, bei der Experten der Agentur und der fünf einreichenden Behörden das Beschränkungsverfahren, den Inhalt des Vorschlags und die Teilnahmemöglichkeiten erläuterten. Diese Veranstaltungen sind öffentlich zugänglich und können ohne Anmeldung über die ECHA-Homepage verfolgt werden. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit zur direkten Interaktion mit Expertengremien. Fragen können im Vorfeld von Veranstaltungen eingereicht und während der Sitzungen beantwortet werden. Dies ermöglicht einen direkten Dialog zwischen Regulierungsbehörden und betroffenen Akteuren [47].

Sektorspezifische Stakeholder-Dialoge

Die wissenschaftlichen Ausschüsse der ECHA (RAC und SEAC) führen sektorspezifische Bewertungen durch, die gezielt Stakeholder aus verschiedenen Industriezweigen einbeziehen. In den Ausschusssitzungen werden spezifische Anwendungsbereiche von PFAS diskutiert [48]:

- **Verbraucherprodukte:** Konsumgüter, Kosmetika und Skiwachs
- **Industrieanwendungen:** Metallbeschichtung, Halbleiter, Elektronik
- **Lebensmittelsektor:** Lebensmittelkontaktmaterialien und Verpackungen
- **Textil- und Bekleidungsindustrie:** Textilien, Polstermöbel, Leder und Teppiche
- **Energie- und Verkehrswesen:** Fluorierte Gase, Transport und Energiesektor

Diese Aufteilung ermöglicht es, die spezifischen Herausforderungen und Bedürfnisse einzelner Branchen gezielt zu berücksichtigen und maßgeschneiderte Regulierungsansätze zu entwickeln.

Nationale und internationale Koordinationsmechanismen

Auf nationaler Ebene wurden verschiedene Plattformen etabliert, um den Austausch zwischen Behörden, Industrie und Wissenschaft zu fördern. In Deutschland spielen das Umweltbundesamt (UBA), die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) eine zentrale Rolle bei der Koordination der nationalen PFAS-Politik [49].

Die Initiative Group on Per- and Polyfluoroalkyl substances (PFAS) der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) stellt ein beispielhaftes Format für die internationale Zusammenarbeit dar. Eine 2023 eingerichtete europäische Arbeitsgruppe zur Koordination toxikologischer Bewertungen von PFAS ermöglicht den systematischen Austausch zwischen nationalen Behörden zu Laborkapazitäten, Analysemethoden und Datenlücken. Die Hauptziele umfassen [50]:

- Austausch von Informationen über Analysemethoden und Laborkapazitäten
- Teilen von Daten über PFAS-Vorkommen in Lebensmitteln, Futtermitteln und Umweltmedien
- Koordination toxikologischer Bewertungen und Mischungseffekte
- Identifikation und Schließung von Datenlücken
- Etablierung einer engen Verbindung zu den EFSA-Gremien

Industrielle und zivilgesellschaftliche Kooperationsplattformen

Die Industrievertreter haben eigene Dialogformate entwickelt, um ihre Positionen und technischen Expertise in den Regulierungsprozess einzubringen. Das Netzwerk "Fluoro-Products and PFAS for Europe" (FPP4EU) organisiert regelmäßige Collaboration Platform Events, die downstream-Anwender mit Dossier-Einreichern und Regulierungsbehörden zusammenbringen [51]. Diese Veranstaltungen umfassen:

- Globale Perspektiven auf PFAS-Regulierung (USA, Kanada, Japan, China)
- Diskussion von Ausnahmeregelungen und Übergangsfristen
- Bewertung alternativer Technologien und Substitutionsoptionen
- Austausch über bewährte Praktiken im Risikomanagement

Forschungsinstitute wie das Fraunhofer-Institut haben spezialisierte Dialogtage organisiert, um den Austausch zwischen angewandter Forschung und Industrie zu fördern [52]. Diese Veranstaltungen fokussieren auf praktische Aspekte der PFAS-Substitution, Materialentwicklung und technologische Herausforderungen.

EU-Kommission: Strategischer Dialog zur Chemikalienindustrie

Die Europäische Kommission hat einen strategischen Dialog zur Zukunft der EU-Chemieindustrie initiiert, der PFAS als einen der Schwerpunkte behandelt. Acht zivilgesellschaftliche Gruppen wurden zur Teilnahme eingeladen, um eine ausgewogene

Vertretung verschiedener Stakeholder-Perspektiven zu gewährleisten. Die Diskussionspunkte umfassen [53]:

- Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der EU-Chemieindustrie
- Sicherung der strategischen Autonomie bei PFAS
- Schutz der Umwelt und öffentlichen Gesundheit
- Investitionen in die Energiewende

Der strategische Dialog zeigt, dass PFAS nicht nur als Umweltproblem, sondern auch als industriepolitisches Schlüsselthema auf höchster EU-Ebene verhandelt wird

3.2 Wichtige Akteure und Lobbyismus

Die Regulierung von PFAS zählt zu den umstrittensten Vorhaben in der aktuellen Chemikalienpolitik der Europäischen Union. Aufgrund ihrer weitreichenden Anwendung, wirtschaftlichen Bedeutung und wissenschaftlich belegten Gesundheits- und Umweltrisiken steht diese Stoffgruppe im Zentrum eines intensiven politischen Aushandlungsprozesses. Die Diskussion um das im Februar 2023 eingereichte Beschränkungsossier [13] nach REACH entwickelte sich zu einem politischen Kräftemessen. Unterschiedliche Akteursgruppen aus Industrie, Zivilgesellschaft, Behörden und Wissenschaft vertreten dabei teils gegensätzliche Interessen und verfolgen unterschiedliche Strategien, um Einfluss auf die regulatorische Ausgestaltung zu nehmen [54].

Dieses Kapitel fasst die zentralen Akteure und ihre Positionen zusammen, analysiert die zugrunde liegenden Interessenkonflikte und zeigt auf, wie Einfluss auf den regulatorischen Prozess genommen wird. Dabei wird deutlich, dass die Entscheidungsfindung im PFAS-Dossier nicht nur auf wissenschaftlicher Evidenz basiert, sondern auch durch wirtschaftliche, politische und kommunikative Machtverhältnisse geprägt ist.

Die folgende Übersicht fasst zentrale Stakeholder aus Industrie, Zivilgesellschaft, Verwaltung und Wissenschaft zusammen. Dargestellt werden ihre jeweiligen Kernanliegen sowie ausgewählte Aktivitäten, die sie im Zeitraum 2023 bis 2025 zur Einflussnahme auf das Regulierungsverfahren entfaltet haben.

Akteur	Kerninteresse	Prominente Aktivitäten (2023-2025)
CEFIC (Chemie-Dachverband)	Ablehnung eines pauschalen Gruppenverbots; Forderung nach risikobasiertem, differenziertem Regulierungsansatz unter Berücksichtigung essentieller Anwendungen und bestehender Vorschriften [55]	• Budgetsteigerung von 34% für EU-Lobbying [56]

FPP4EU (Sektorgruppe von CEFIC)	„Essential-Use-Only“-Ansatz, sektorielle Ausnahmen, differenzierte Risikologik [57]	<ul style="list-style-type: none"> • Regelmäßige Collaboration Plattform-Events mit EU-Behörden & internationalen Stakeholdern [58] • Einreichung einer 596-PFAS-Verwendungslisten („missed uses“) [59] • Veröffentlichung eines 6-Punkte-Plans im April 2023 zur Stärkung risikobasierter Ausnahmeregelungen [57]
3M, Chemours, Daikin, Arkema (Hersteller)	Schutz strategischer PFAS-Anwendungen in Industrie, Luftfahrt, Medizin und Halbleitern; Ablehnung pauschaler Verbote [60]	<ul style="list-style-type: none"> • Intensive Lobbyarbeit gegenüber der EU-Kommission [60] • Chemours mit Spitzenwert an hochrangigen Lobbytreffen [56] • 3M kündigte Produktionsstopp aller Fluorpolymere, fluorierten Flüssigkeiten und PFAS-basierten Additivprodukte bis 2025 an [61] • Arkema & Daikin in Rechtsstreitigkeiten zu PFAS-Emissionen verwickelt [62]
DG ENV	Starker Umwelt- und Gesundheitsschutz, klare PFAS-Reduktionen, abgestimmte Übergangsfristen im Rahmen des Zero-Pollution-Action-Plans	<ul style="list-style-type: none"> • Juli 2023: Treffen mit Industrie (CEFIC/FPP4EU) zu Alternativen [63] • April 2025: ENVI-Dialog mit Kommission, Fokus auf Umweltschutz [64]
DG GROW	Schutz industrieller Schlüsselanwendungen; Vermeidung pauschaler Restriktionen auf Kosten industrieller Wettbewerbsfähigkeit; Sicherung der globalen Wettbewerbsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Juli 2024: Gemeinsames Antwortschreiben (GROW & ENV) zu PFAS-Lobbying und Transparenz [65] • Juli 2025: Vorstellung des „European Chemicals Industry Action Plan“ mit PFAS-Ausnahmen [66]
ECHA, RAC/SEAC	Wissenschaftlich fundierte Bewertung von PFAS-Risiken (RAC), Abwägung von sozioökonomischen Auswirkungen und Derogationen (SEAC), Sektorielle, differenzierte Analyse statt pauschaler Gruppenverbote	<ul style="list-style-type: none"> • Juni & September 2024: Vorläufige Stellungnahmen zu verschiedenen PFAS-Sektoren (z. B. Textilien, Metallverarbeitung, Verbraucherprodukte) [67] • März 2025: Diskussion zu Anwendungen von fluorierten Gasen, vorläufige Schlussfolgerungen für Transport- und Energieanwendungen [68] • Juni 2025: Weitere Fortschritte in Sektoren wie Medizin, Transport, Elektronik; SEAC prüft sozioökonomische Derogationen [68]

HEAL (Health and Environment Alliance)	Fokus auf gesundheitliche Folgen von PFAS: Krebs, Immun- und endokrine Dysfunktionen; Förderung eines strengen PFAS-Gruppenverbots; Schutz betroffener Gemeinschaften durch Transparenz und Vorsorgeprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • November 2023: Einreichung der Stellungnahme zur ECHA-Konsultation mit Forderung nach vollständigem PFAS-Bann und nur minimalen, zeitlich befristeten Ausnahmen [69] • März 2024: Veröffentlichung einer Infografik zu Stärken/Schwächen des PFAS-Restriktionsvorschlags, mit Fokus auf Grenzwerte und Ausnahmetransparenz [70] • Januar 2025: Internationale Konferenz in Warschau („Worst Pollution Crisis in Human History“) und offener Brief an Kommissionspräsidentin von der Leyen mit Forderung nach umfassendem Verbot [71]
ChemSec	Förderung eines EU-weiten PFAS-Gruppenverbots auf Basis des Vorsorge- und Substitutionsprinzips; Aufklärung über Risiken durch NGO-Werkzeuge (PFAS-Guide) [72]	<ul style="list-style-type: none"> • November 2024: Veröffentlichung des Berichts „BUSTED! Five industry myths about the PFAS ban“ mit Widerlegung zentraler Industrieargumente und Darstellung verfügbarer Alternativen [73] • Januar 2024: Durchführung einer PFAS-Bluttest-Kampagne bei EU-Politikern gemeinsam mit EEB; alle getesteten Personen wiesen PFAS-Belastungen auf [74] • 2023-2025: Weiterentwicklung des Online-Tools „PFAS-Guide“ zur Unterstützung von Unternehmen bei der Identifikation von PFAS-Hotspots und verfügbaren Substitutionsmöglichkeiten [72]
Forever Lobbying Project / CEO (Watchdogs)	Aufdeckung und Analyse industrieller Einflussnahme auf den PFAS-Regulierungsprozess; Förderung von Transparenz, demokratischer Kontrolle und Schutz wissenschaftsbasierter Entscheidungsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> • 2024: Start des Projekts „Forever Lobbying“ mit 18 internationalen Wissenschaftlern und Juristen aus 16 Ländern, begleitet von investigativen Medienpartnern zur Analyse von PFAS-Lobbystrategien [75] • Januar 2025: Veröffentlichung einer Recherche mit Fokus auf wirtschaftliche Folgen der PFAS-Verschmutzung und industriegetriebene Desinformationskampagnen [76] • Januar 2025: Medienberichte in Le Monde, FT & Guardian über systematische Einflussnahme großer Chemieunternehmen auf ECHA- und Kommissionsprozesse [77]

Tabelle 3: Wichtige Akteure in der PFAS-Debatte mit ihren Kerninteressen und zentralen Aktivitäten (2023-2025)

Tabelle 3 ermöglicht eine komprimierte Gegenüberstellung der Interessenlagen und macht deutlich, wie unterschiedlich die Schwerpunkte, Zielsetzungen und Kommunikationsstrategien der einzelnen Akteursgruppen sind. Damit schafft sie die Grundlage für die nachfolgende Analyse von Konfliktlinien, Einflussmechanismen und politischen Dynamiken im weiteren Verlauf des Kapitels.

3.3 Aktueller Stand des EU-Beschränkungsverfahrens

Das PFAS-Beschränkungsverfahren befindet sich in einem mehrstufigen wissenschaftlichen Bewertungsverfahren, das sich deutlich komplexer und zeitaufwändiger entwickelt hat als ursprünglich erwartet. Der aktuelle Fortschritt zeigt sowohl die enorme Tragweite als auch die technischen Herausforderungen auf, die mit der Regulierung von über 10.000 Substanzen verbunden sind.

3.3.1 Verfahrensstand und Timeline

Der formelle Verfahrensweg begann durch die fünf Mitgliedstaaten Deutschland, Dänemark, Niederlande, Norwegen und Schweden bei der ECHA. Am 7. Februar 2023 wurde das vollständige Dossier öffentlich zugänglich gemacht, gefolgt von einer sechsmonatigen öffentlichen Konsultation vom 22. März bis 25. September 2023. Die eingereichten Stellungnahmen werden derzeit von den wissenschaftlichen Ausschüssen RAC und SEAC systematisch ausgewertet [16] [47].

Die Bewertung erfolgt auf sektoraler Ebene, um der Komplexität des Vorhabens gerecht zu werden. In ihren Sitzungen des Jahres 2025 haben RAC und SEAC bereits vorläufige Einschätzungen für mehrere Anwendungsbereiche formuliert [16].

Abgeschlossene vorläufige Bewertungen (Stand Juli 2025):

- Fluorierte Gase (beide Ausschüsse)
- Transport- und Energieanwendungen (RAC abgeschlossen, SEAC für Transport abgeschlossen, Energie wird fortgesetzt)
- Medizinprodukte (beide Ausschüsse, Juni 2025)
- Schmierstoffe (RAC, Juni 2025)
- Verbraucherprodukte: Kosmetika, Skiwachs und andere Mischungen
- Industrielle Anwendungen: Metallbeschichtung und Metallverarbeitung
- Textilien, Polstermöbel, Leder, Bekleidung und Teppiche
- Lebensmittelkontaktmaterialien und Verpackungen
- Bauprodukte

Für September 2025 geplante Bewertungen:

- Vertiefende Bewertung von Elektronik und Halbleitern
- PFAS-Herstellung
- Allgemeine Durchsetzbarkeits- und Konzentrationsgrenzen-Diskussionen
- Fortsetzung der SEAC-Bewertung für Energie und Schmierstoffe

3.3.2 Zeitplan, Entscheidung und Ausnahmen

Die wissenschaftlichen Ausschüsse RAC (Risk Assessment Committee) und SEAC (Committee for Socio-Economic Analysis) befinden sich weiterhin in der Bewertung des PFAS-Beschränkungs-vorschlags. Nach aktuellen Prognosen wird mit dem Abschluss dieser wissenschaftlichen Gutachten bis zum Jahr 2026 gerechnet. Anschließend wird die Europäische Kommission auf dieser Grundlage einen Legislativvorschlag vorlegen, über den die Mitgliedstaaten im Rahmen des REACH-Regelungsausschusses abstimmen. Die finale Entscheidung über die Beschränkung wird voraussichtlich im Jahr 2027 getroffen. Ein Inkrafttreten der Regelung wäre demnach frühestens im Zeitraum 2028 bis 2029 zu erwarten [78].

Nach dem Inkrafttreten der Regelung ist eine allgemeine Übergangsfrist von 18 Monaten vorgesehen. Für Anwendungen ohne verfügbare Alternativen sieht der Vorschlag befristete Ausnahmeregelungen („Derogationen“) mit Laufzeiten zwischen 5 und 12 Jahren vor. Im Dossier werden folgende sektorale Übergangsfristen als befristete Ausnahmen diskutiert [13]:

- 13,5 Jahre für Medizinprodukte, persönliche Schutzausrüstung, spezielle Kühlmittelanwendungen sowie Anwendungen in der Luftfahrt und Automobilindustrie
- 6,5 Jahre für Lebensmittelkontaktmaterialien und Wasserstoff-Brennstoffzellen

Zusammenfassend zeigt sich, dass das PFAS-Beschränkungsverfahren in seiner technischen Tiefe, sektoralen Breite und politischen Reichweite weit über bisherige Regulierungsansätze im Rahmen der REACH-Verordnung hinausgeht. Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Aspekte wie die Bewertung tausender Substanzen, die Berücksichtigung branchenspezifischer Anwendungsbereiche sowie die politischen und sozioökonomischen Spannungsfelder verdeutlichen die hohe Komplexität des Vorhabens. Wie sich diese Herausforderungen in bestehende und geplante Rechtsvorschriften übersetzen und welche Regulierungsinstrumente zur Anwendung kommen, wird im folgenden Kapitel näher erläutert.

4 Rechtslage und Regulierungsmaßnahmen

Aufbauend auf den politischen Rahmenbedingungen widmet sich Kapitel 4 den bestehenden und geplanten rechtlichen Regelungen zu PFAS. Es werden zunächst die derzeit geltenden Vorschriften auf EU- und nationaler Ebene analysiert, bevor im Anschluss die beabsichtigte umfassende Beschränkung unter REACH und die dazugehörigen Ausnahmeregelungen näher betrachtet werden.

4.1 Bestehende Rechtsvorschriften

Die Regulierung von PFAS in der Europäischen Union erfolgt bislang durch eine Reihe von sektoralen Einzelregelungen, die jeweils bestimmte Substanzgruppen oder Anwendungsbereiche betreffen. Eine umfassende, gruppenbasierte Regulierung der gesamten PFAS-Familie steht hingegen noch aus (siehe Kapitel 4.2). Zu den zentralen bestehenden Rechtsvorschriften zählen insbesondere die EU-Trinkwasserrichtlinie (2020/2184/EU) [17], die Verordnung über persistente organische Schadstoffe (POP-Verordnung 2019/1021) [19] sowie mehrere Einträge im Anhang XVII der REACH-Verordnung [79] [80]. Ergänzt wird der europäische Rechtsrahmen durch die EU-Verpackungsverordnung (PPWR) [81] sowie nationale Vorgaben wie die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2023) [18], die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [82], die Düngemittelverordnung (DüMV) [83] und den Leitfaden der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) [84]. Im Folgenden wird auf diese Regelwerke im Hinblick auf ihre Relevanz für die PFAS-Regulierung im Detail eingegangen.

EU-Trinkwasserrichtlinie

Mit der Überarbeitung der EU-Trinkwasserrichtlinie im Jahr 2020 wurden erstmals Grenzwerte für PFAS im Trinkwasser festgelegt. Die Richtlinie unterscheidet dabei zwei Parameter:

- PFAS-20: Summe von 20 spezifisch benannten PFAS mit einem Grenzwert von 0,10 µg/l (siehe Tabelle 4)
- PFAS-Total: Summe aller messbaren PFAS mit einem Grenzwert von 0,50 µg/l

Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Umsetzung dieser Grenzwerte bis spätestens Januar 2026 [17].

Trinkwasserverordnung in Deutschland

Deutschland hat die Anforderungen der EU-Trinkwasserrichtlinie mit der im Juni 2023 veröffentlichten Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2023) nur teilweise übernommen. Die Verordnung enthält folgende Regelungen:

- Ab 12. Januar 2026: Grenzwert von 0,10 µg/l für die Summe von 20 benannten PFAS (PFAS-20)

- Ab 12. Januar 2028: zusätzlicher, nationaler Grenzwert von 0,02 µg/l für die Summe von vier besonders relevanten PFAS („PFAS-4“: PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS)

Der in der EU-Richtlinie vorgesehene Grenzwert von 0,50 µg/l für die Gesamtheit aller PFAS („PFAS-Total“) wurde in der deutschen Verordnung nicht übernommen. Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Auszug aus der deutschen Trinkwasserverordnung und listet die jeweils berücksichtigten Substanzen der PFAS-20- und PFAS-4-Summenparameter einschließlich ihrer Grenzwerte auf [18]:

Summenparameter	Grenzwert [µg/l]	Enthaltene PFAS-Verbindungen	Hinweise
Summe PFAS-20	0,1	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA, PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS, PFTrDS	<ul style="list-style-type: none"> • Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze werden nicht berücksichtigt. • Konzentrationen sind einzeln auszuweisen. • Grenzwert gilt ab 12. Januar 2026.
Summe PFAS-4	0,02	PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS	<ul style="list-style-type: none"> • Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze werden nicht berücksichtigt. • Konzentrationen sind einzeln auszuweisen. • Grenzwert gilt ab 12. Januar 2028

Tabelle 4: Grenzwerte für PFAS-20 und PFAS-4 gemäß Trinkwasserverordnung [18]

POP-Verordnung (EU) 2019/1021

Die sogenannte POP-Verordnung setzt das internationale Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe in EU-Recht um. In ihrer aktuellen Fassung sind mehrere PFAS in den Anhängen der Verordnung gelistet, darunter:

- PFOS (seit 2009)
- PFOA (seit 2020)
- PFHxS (seit 2023)

Für diese Substanzen gelten strikte Verwendungsbeschränkungen, inklusive Herstellungs- und Inverkehrbringensverbote sowie spezifischen Ausnahmeregelungen. Diese Verbote gelten unmittelbar in allen Mitgliedstaaten der EU [19].

Verordnung (EU) 2021/1297

Ergänzend zur POP-Verordnung wurden im Rahmen von Anhang XVII der REACH-Verordnung bereits weitere PFAS-relevante Stoffgruppen beschränkt. Seit dem 25. Februar 2023 unterliegt die Gruppe der perfluorierten Carbonsäuren mit neun bis vierzehn Kohlenstoffatomen (C9-C14-PFCA), einschließlich ihrer Salze und verwandten Stoffe, einer

spezifischen Beschränkung. Ziel ist es, eine Substitution verbotener PFAS wie PFOA durch langkettige Alternativen zu verhindern. Die Beschränkung legt unionsweit folgende Konzentrationsgrenzen fest:

- 25 ppb (parts per billion) für die Summe der C9-C14-PFCA und ihrer Salze
- 260 ppb für die Summe der C9-C14-PFCA-verwandten Stoffe

Für bestimmte Spezialanwendungen gelten darüber hinaus zeitlich befristete, höhere Grenzwerte. Für Fluorkunststoffe und Fluorelastomere, die Perfluoroalkoxy-Gruppen enthalten, beträgt der Konzentrationsgrenzwert für die Summe der C9-C14-PFCA bis zum 25. August 2024 2.000 ppb, ab dem 26. August 2024 dann 100 ppb. Zusätzlich wurde für PTFE-Mikropulver, die durch ionisierende Bestrahlung oder thermischen Abbau hergestellt werden, ein Grenzwert von 1.000 ppb festgelegt. Die Regelung enthält anwendungsabhängige Übergangsfristen, etwa eine befristete Zulässigkeit der Verwendung in Feuerlöschschäumen bis zum 4. Juli 2025 [79].

Am 10. Oktober 2024 trat eine weitere Beschränkung in Kraft, die Undecafluorhexansäure (PFHxA), ihre Salze sowie verwandte Stoffe betrifft. Die Regelung erfasst unter anderem Verbrauchertextilien, Lebensmittelkontaktmaterialien, Kosmetika, Imprägniersprays sowie bestimmte Feuerlöschschäume. Die Konzentrationsgrenzwerte liegen bei 25 ppb für PFHxA und ihre Salze sowie bei 1.000 ppb für verwandte Stoffe. Die Übergangsfristen variieren je nach Anwendungsbereich zwischen 18 Monaten und fünf Jahren [80].

Verpackungsverordnung (EU) 2025/40

Mit der am 11. Februar 2025 in Kraft getretenen PPWR wurden erstmals unionsweit Grenzwerte für PFAS in Lebensmittelverpackungen eingeführt. Die Vorschriften gelten ab dem 12. August 2026 und sehen folgende Konzentrationsgrenzen vor:

- 25 ppb für jedes gezielt nachgewiesene PFAS (ohne polymere PFAS),
- 250 ppb für die Summe gezielt analysierter PFAS einschließlich Abbauprodukte (ohne polymere PFAS),
- 50 ppm (parts per million) für PFAS einschließlich polymerer Verbindungen; bei Überschreitung ist ein Nachweis über die gemessene Fluorkonzentration erforderlich.

Ziel ist die schrittweise Reduktion von PFAS-haltigen Verpackungsmaterialien auf dem Binnenmarkt [81].

Nationale Vorschriften (Deutschland)

Auch auf nationaler Ebene wurden ergänzende Regelungen zur Begrenzung von PFAS erlassen. Mit der Novellierung der BBodSchV zum 1. August 2023 wurden erstmals Prüfwerte für PFAS für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser eingeführt. Diese sind in Anlage 2, Tabelle 3 der Verordnung festgelegt und wurden für sieben Einzelsubstanzen

definiert. Die folgenden Konzentrationsgrenzwerte gelten für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser gemäß BBodSchV [82].

- Perfluorbutansäure (PFBA): 10 µg/l
- Perfluorhexansäure (PFHxA): 6 µg/l
- Perfluorbutansulfonsäure (PFBS): 6 µg/l
- Perfluoroktansäure (PFOA): 0,1 µg/l
- Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,1 µg/l
- Perfluoroktansulfonsäure (PFOS): 0,1 µg/l
- Perfluornonansäure (PFNA): 0,06 µg/l

Ergänzend zu den in der BBodSchV verankerten Prüfwerten existieren auch weitere nationale Regelungen mit Relevanz für den Bodenpfad. So begrenzt die DüMV die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm, der mit bestimmten PFAS belastet ist. Für die Summe aus PFOS und PFOA, die in diesem Zusammenhang als perfluorierte Tenside (PFT) klassifiziert werden, gilt ein Grenzwert von 100 µg/kg Trockenmasse. Wird ein Wert von 50 µg/kg überschritten, besteht eine Kennzeichnungspflicht. Bei Überschreitung des Höchstwertes ist eine landwirtschaftliche Nutzung unzulässig [83].

Zur weiteren Orientierung bei der PFAS-Bewertung wurde ein bundeseinheitlicher Leitfaden der LAWA eingeführt, der Bewertungsmaßstäbe für das Auftreten von PFAS im Grundwasser vorgibt. Der Leitfaden enthält unter anderem Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) für sieben PFAS, die mit den Substanzen der BBodSchV übereinstimmen (PFBA, PFBS, PFHxA, PFHxS, PFOA, PFNA, PFOS). Darüber hinaus wurden gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für sechs weitere PFAS festgelegt. Diese basieren auf toxikologischen Bewertungen und sollen insbesondere den Schutz empfindlicher Bevölkerungsgruppen gewährleisten. Für alle nicht bewerteten PFAS wird ein pauschaler Einzelwert von 0,1 µg/l empfohlen. Die GOW-Werte gelten für folgende Substanzen [84]:

- PFPeA: 3,0 µg/l
- PFDA: 0,3 µg/l
- PFUnDA: 0,3 µg/l
- PFDoDA: 0,3 µg/l
- PFHpA: 1,0 µg/l
- PFHpS: 0,3 µg/l

Zusammenfassend zeigt sich, dass der bestehende europäische und nationale Rechtsrahmen bislang nur ausgewählte PFAS-Verbindungen oder spezifische Anwendungsgebiete adressiert. Zwar wurden in den letzten Jahren zahlreiche Regelwerke angepasst oder neu eingeführt, doch bleibt die Regulierung fragmentiert. Eine kohärente, umfassende Beschränkung der gesamten PFAS-Stoffgruppe steht weiterhin aus.

4.2 Geplante Beschränkungen und Ausnahmen

Kapitel 4.2 fasst die geplanten Regulierungsmaßnahmen auf europäischer Ebene noch einmal gebündelt zusammen. Während Kapitel 3.3 vor allem den Verfahrensstand und die sektoralen Bewertungen beleuchtet, liegt der Fokus hier auf der finalen rechtlichen Zielsetzung, den diskutierten Regelungsoptionen sowie den vorgesehenen Ausnahmen und Übergangsfristen.

Nach Abschluss der wissenschaftlichen Begutachtung durch RAC und SEAC (voraussichtlich 2026) plant die Europäische Kommission, eine gruppenbasierte Beschränkung aller PFAS im Rahmen der REACH-Verordnung zu erlassen [78]. Ziel ist ein nahezu vollständiges Verbot von Herstellung, Verwendung, Inverkehrbringen und Import von über 10.000 PFAS-Verbindungen[13]. Der aktuelle Entwurf unterscheidet zwei Optionen [13]:

- **Option 1:** Vollständiges PFAS-Verbot nach einer generellen Übergangsfrist von 18 Monaten.
- **Option 2:** PFAS-Verbot mit befristeten Ausnahmen (5 bis 13,5 Jahre) für essenzielle Anwendungen ohne verfügbare Alternativen.

Im Rahmen der sektoralen Bewertung wurden bereits Übergangsfristen für zentrale Anwendungsbereiche identifiziert (siehe Kapitel 3.3). Dazu zählen unter anderem [13]:

- 13,5 Jahre: für Medizinprodukte, persönliche Schutzausrüstung, Halbleitertechnik, Batterien, Brennstoffzellen, Spezialkältemittel.
- 6,5 Jahre: für Lebensmittelkontaktmaterialien und Schmierstoffe in der Energietechnik.
- 18 Monate: für Kosmetika, Outdoor-Textilien, Schuhwaren, Skiwachse.
- 5-10 Jahre: für Feuerlöschschäume mit PFAS in Bestandsanlagen.
- Anwendungen in der Landwirtschaft (z. B. Pflanzenschutzmittel, Biozide) sowie Arzneimittel sollen außerhalb des Verfahrens separat geregelt werden.

Neben Option 1 und 2 wird im Rahmen der Konsultationen ein gestuftes Modell („Use until substitution“) diskutiert, das die Nutzung unter Auflagen bis zur Verfügbarkeit sicherer Alternativen ermöglicht [13].

Einzelne Mitgliedstaaten wie Frankreich haben bereits mit nationalen Verboten vorgegriffen. Diese Maßnahmen erhöhen den Handlungsdruck auf europäischer Ebene, können jedoch zu Divergenzen im Binnenmarkt führen, solange keine einheitliche EU-Regelung vorliegt [85].

Die weitere Ausgestaltung der Beschränkung wird wesentlich von den noch ausstehenden Gutachten, den sozioökonomischen Abwägungen sowie dem Entscheidungsprozess im REACH-Ausschuss abhängen [16].

5 Auswirkungen und Herausforderungen

Nach Darstellung der politischen Entwicklungen (Kapitel 3) und des geltenden sowie geplanten Rechtsrahmens (Kapitel 4) beleuchtet Kapitel 5 die praktischen Folgen eines PFAS-Ausstiegs. Zunächst werden potenzielle Auswirkungen auf Industrie und Umwelt analysiert (5.1), anschließend die operativen Herausforderungen bei Vollzug und Substitution diskutiert (5.2) und daraus Chancen sowie Risiken abgeleitet (5.3). Abschließend skizziert ein Szenario 2030 (5.4) mögliche Verläufe nach einem EU-weiten PFAS-Verbot.

5.1 Auswirkungen eines PFAS-Verbots

Die geplante gruppenbasierte PFAS-Beschränkung wird tiefgreifende Konsequenzen für Industrie, Umwelt und Gesellschaft haben. Dieses Kapitel beleuchtet die ökonomischen, technologischen und sozialen Implikationen auf Grundlage aktueller Studien und Gutachten. Es folgt eine Gegenüberstellung der erwartbaren Industriebelastungen und der gesellschaftlichen Folgekosten durch PFAS-Verschmutzung, ergänzt durch eine differenzierte Betrachtung der verfügbaren Alternativen.

5.1.1 Wirtschaftliche Belastung für die Industrie

Direkte Kosten und Beschäftigungsauswirkungen

Eine im Auftrag des europäischen Chemieverbands CEFIC durchgeführte Studie prognostiziert, dass der Umsatz der PFAS-Hersteller und Importeure im Falle einer umfassenden Beschränkung um bis zu 91 % einbrechen könnte. Dies entspräche einem jährlichen Verlust von bis zu 3,5 Milliarden Euro. Die Analyse schätzt zudem, dass etwa 14.300 direkt beschäftigte Arbeitsplätze betroffen sein könnten. Dies entspricht rund 30 % der befragten PFAS-Hersteller-Belegschaft [86].

Die Pharmaindustrie rechnet mit besonders gravierenden Folgen. Die European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations (EFPIA) beziffert die potenziellen sozioökonomischen Auswirkungen einer PFAS-Beschränkung auf über 328 Milliarden Euro, davon entfallen allein 40 Milliarden Euro auf die Einschränkung PFAS-haltiger Wirkstoffe [87]. Auch andere Industrien berichten über erhebliche Belastungen. Die European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (ETRMA) z.B. schätzt die wirtschaftlichen Auswirkungen einer Einbeziehung von Fluorpolymeren auf die Reifen- und Gummiindustrie auf bis zu 1,4 Milliarden Euro [88]. Zusätzlich wird in der Elektronikindustrie vor Produktionsverzögerungen und höheren Herstellungskosten gewarnt, da PFAS als unverzichtbare Prozesschemikalien in der Halbleiterfertigung gelten [89].

Technologische Hürden bei der Substitution

Ein Forschungsbericht von Thinktank Industrial Resource Strategies stellt fest, dass es derzeit „für viele Anwendungen keine oder nur zwei bis drei potenzielle Alternativmaterialien“ gebe [90]. In besonders sensiblen Sektoren wie Medizin, Halbleitertechnik oder

Luftfahrt gelten PFAS weiterhin als schwer ersetzbar. Entwicklungs- und Zulassungszeiten verstärken das Problem [87]:

- Pharmazeutische Alternativen: 12-22 Jahre Entwicklungszeit
- Medizinprodukte: 5-7 Jahre
- unmittelbare Verpackungsmaterialien für Arzneimittel: 7-12 Jahre

5.1.2 Gesellschaftliche Folgekosten der PFAS-Verschmutzung

Gesundheitliche Auswirkungen

Der Nordische Ministerrat beziffert die gesundheitlichen Folgekosten der PFAS-Exposition in Europa auf jährlich 52 bis 84 Milliarden Euro. Diese betreffen unter anderem Krebsarten, hormonelle Störungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen [12]. Quantifizierte Schätzungen zu verhinderten Todesfällen und Krankheitsfällen durch PFAS-Regulierung liegen für Europa nicht vor, weshalb hier exemplarisch US-amerikanische EPA-Daten herangezogen werden. Laut der US-Umweltschutzbehörde EPA wird die neue PFAS-Trinkwasserregelung voraussichtlich über 9.600 Todesfälle verhindern und etwa 30.000 schwere Krankheitsfälle vermeiden [91].

Sanierungskosten

Die Reinigung PFAS-kontaminierter Böden und Gewässer ist mit enormen Summen verbunden:

- Für England liegen die geschätzten Gesamtkosten zwischen 31 und 121 Milliarden Pfund (etwa 36-139 Milliarden Euro) bei 2.900-10.200 kontaminierten Standorten [92].
- Das Forever Pollution Project schätzt die europäischen Sanierungskosten auf 100 Milliarden Euro jährlich, bei 20 Jahren ergibt das 2 Billionen Euro [93].
- Hans Peter Arp (einer der weltweit führenden PFAS-Experten) beziffert allein die Wassersanierungskosten für die EU auf 238 Milliarden Euro [94].
- Die gesamtgesellschaftlichen Kosten von PFAS (inklusive Gesundheitsschäden, Produktivitätsverluste und weitere Folgekosten) werden global auf 16 Billionen Euro jährlich geschätzt ohne Berücksichtigung von Schäden an Ökosystemen oder Immobilienwerten [94].

Verfügbarkeit von Alternativen

Die Verfügbarkeit von Substitutionsstoffen ist ein entscheidender Faktor für die politische Umsetzbarkeit und Zeitplanung der PFAS-Regulierung. Eine Analyse der ZeroPM-Datenbank zeigt: 530 PFAS-freie Alternativen wurden für 325 Anwendungen identifiziert. Die Verfügbarkeit lässt sich in drei Hauptkategorien einteilen [95]:

- **Marktreife Alternativen:** Für 40 Anwendungen existieren bereits verfügbare Alternativen. Beispiele sind fluorfreie Lebensmittelverpackungsbeschichtungen oder textile Oberflächenbehandlungen.

- **Alternativen in Entwicklung:** Für 93 Anwendungen wurden potenzielle Alternativen identifiziert, die sich jedoch noch in verschiedenen Entwicklungsstadien befinden oder deren Eignung noch nicht ausreichend nachgewiesen ist. Weitere Zeit und zusätzliche Informationen sind erforderlich, um deren Marktreife zu bewerten.
- **Keine Alternativen bekannt:** Für 83 Anwendungen sind keine geeigneten Alternativen bekannt. Besonders betroffen sind hier Gummi- und Hochleistungskunststoffe. Es besteht ein erheblicher Forschungsbedarf.

Für 216 der 325 bewerteten Anwendungen erfolgte eine Kategorisierung. Für die übrigen 109 lagen keine ausreichenden Informationen vor. Diese Differenzierung erklärt die im REACH-Vorschlag vorgesehenen, sektorspezifischen Übergangsfristen von 18 Monaten bis zu 13,5 Jahren. Anwendungen mit marktnahen oder bereits verfügbaren Substituten (z. B. Verpackungen, Textilien) können kurzfristig umgestellt werden, während komplexe Hightech-Bereiche mehr Zeit benötigen.

Fazit der Kosten-Nutzen-Betrachtung

Die Regulierung von PFAS ist zweifellos mit erheblichen Herausforderungen und Kosten für Industrie, Forschung und Verwaltung verbunden. Dennoch zeigen die Zahlen deutlich: Die gesellschaftlichen Folgekosten der PFAS-Kontamination übersteigen die direkten Industriekosten um ein Vielfaches mit einem Verhältnis von mindestens 1:10 bis 1:50. Die vorgeschlagenen Übergangsfristen im REACH-Beschränkungsvorschlag orientieren sich nachvollziehbar am Entwicklungsstand der Alternativen. Eine gezielte Forschungsförderung für die 83 besonders kritischen Anwendungsfelder ohne bekannte Alternativen erscheint ebenso notwendig wie der zügige Markthochlauf bereits vorhandener Lösungen. Aus ökonomischer Sicht wäre ein frühzeitiger Ausstieg aus PFAS langfristig sogar günstiger, insbesondere unter Berücksichtigung der vermiedenen Umwelt- und Gesundheitsschäden.

5.2 Herausforderungen bei der Umsetzung

Die geplante gruppenbasierte PFAS-Beschränkung stellt nicht nur regulatorisch, sondern auch operativ eine erhebliche Herausforderung dar. Verschiedene Behörden, Branchenverbände und wissenschaftliche Studien weisen auf zentrale Vollzugs- und Umsetzungshindernisse hin, die die Wirksamkeit der Maßnahme gefährden könnten. Fünf Problemfelder sind dabei besonders hervorzuheben.

Unzureichende Analysekapazitäten und technische Grenzen

Ein wesentliches Hindernis bei der Durchsetzung der PFAS-Regulierung liegt in der analytischen Erfassbarkeit der Stoffgruppe. Derzeit existieren nur für einen begrenzten Teil der mehr als 10.000 PFAS-Verbindungen etablierte Nachweismethoden. Selbst gut ausgestattete Labore können nur eine vergleichsweise kleine Auswahl an Substanzen detektieren. Für viele PFAS fehlen geeignete Referenzstandards oder akkreditierte Verfahren. Zudem überschreiten die Nachweisgrenzen (LOQ) in komplexen Matrices wie

Wachsen oder Polymeren teilweise die regulatorisch angestrebten Schwellenwerte. Auch polymere PFAS lassen sich mit herkömmlichen Methoden kaum erfassen. Diese technischen Begrenzungen erschweren sowohl die Marktüberwachung als auch die rechtssichere Kontrolle der Einhaltung bestehender oder künftiger Beschränkungen [96].

Defizite bei Grenzkontrollen und Marktsurveillance

Die Überwachung PFAS-haltiger Produkte beim Import stellt eine erhebliche Hürde dar. Zollbehörden verfügen bislang nicht über geeignete Instrumente zur Identifikation von PFAS in komplexen Erzeugnissen, insbesondere bei fluorierten Polymeren. Ein europaweites Produktregister existiert ebenso wenig wie portable Screeninggeräte, die für den Einsatz an Außengrenzen praktikabel wären. Auch der Onlinehandel entzieht sich weitgehend einer effektiven Kontrolle.

Branchenvertreter warnen vor erheblichen praktischen Umsetzungslücken. So betont die American Chamber of Commerce to the European Union (AmCham EU), dass es derzeit „a complete lack of standardisation and methods relative to testing for all possible PFAS substances [97]“ gebe. Eine effektive Marktüberwachung sei daher „impossible today, and extremely expensive once the methods are finally developed“, da der Nachweis von Fluor insbesondere in Polymerstrukturen hochspezialisierte Geräte und je nach Molekülgröße unterschiedliche Verfahren erfordere. Dies gefährde sowohl die Wirksamkeit der Regulierung als auch die europäische technologische Souveränität [97].

Unzureichende Koordination zwischen Mitgliedstaaten

Die einheitliche Durchsetzung der geplanten PFAS-Beschränkung wird durch unterschiedliche Vollzugsstrukturen in den Mitgliedstaaten erschwert. Abweichende Laborkapazitäten und Akkreditierungsstandards führen dazu, dass PFAS-Verstöße nicht überall gleich erkannt und verfolgt werden [98]. Nationale Vorabregelungen, wie Frankreichs sektorales Verbot von PFAS in Kosmetika, Textilien und Skiwachsen ab 2026, können kurzfristig den Gesundheitsschutz stärken, werfen aber Fragen zur Kohärenz des EU-Binnenmarkts auf [99]. Die Europäische Kommission plant als Antwort die Einführung eines EU-weiten PFAS-Monitoring-Frameworks bis Ende 2026, um eine harmonisierte Datengrundlage und vergleichbare Überwachungspraktiken sicherzustellen [66].

Belastung für kleine und mittlere Unternehmen

Besonders kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sehen sich durch die PFAS-Regulierung erheblich unter Druck gesetzt. Im Vergleich zu Großunternehmen verfügen sie über deutlich geringere Ressourcen für Forschung, Substitutionsentwicklung und regulatorische Compliance. Branchenverbände wie die European Small Business Alliance for Fluoropolymers (ESBAF) warnen vor Produktionsverlagerungen und Marktverlusten, da viele KMU die regulatorischen Anforderungen allein nicht bewältigen könnten [100].

Mangel an praxistauglichen Alternativen

Wie bereits in Kapitel 5.1 (Verfügbarkeit von Alternativen) dargestellt, ist die Verfügbarkeit geeigneter Alternativen in vielen Anwendungsfeldern begrenzt. Von 325 bewerteten

Anwendungen konnten bislang nur für 40 marktreife Substitute identifiziert werden. Für 83 Anwendungen sind keine geeigneten Alternativen bekannt. In sensiblen Bereichen wie der Halbleiter- oder Medizintechnik bestehen zudem lange Entwicklungs- und Zulassungszeiträume von teils über zehn Jahren. Ohne gezielte Forschungsförderung und Übergangsfristen droht eine Überforderung betroffener Industriezweige.

Zusammenfassung der Umsetzungsdefizite

Die dargestellten Herausforderungen verdeutlichen, dass der Erfolg der geplanten PFAS-Beschränkung wesentlich von ihrer praktischen Umsetzbarkeit abhängt. Ohne gezielte Maßnahmen zur Stärkung analytischer Kapazitäten, zur Harmonisierung der Marktüberwachung und zur Förderung praxistauglicher Substitutionsforschung droht ein regulatorisches Vollzugsdefizit. Die Beschränkung wäre zwar rechtlich in Kraft, ließe sich jedoch in vielen Bereichen faktisch kaum durchsetzen. Die Europäische Kommission adressiert zentrale Engpässe im Rahmen des Chemikalien-Aktionspakets 2025. Ob die geplanten Maßnahmen jedoch rechtzeitig greifen bleibt offen.

5.3 Herausforderungen und Chancen einer nachhaltigen Chemikalienpolitik

Die geplante gruppenbasierte PFAS-Beschränkung eröffnet weitreichende Chancen, birgt zugleich jedoch erhebliche Risiken für Industrie, Umwelt und Gesellschaft. Die Bewertung dieser Aspekte erfordert eine differenzierte Betrachtung unter Berücksichtigung der in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Umsetzungsbedingungen (vgl. Kapitel 5.1 und 5.2), der dokumentierten Schadwirkungen (vgl. Kapitel 2.3), der politischen Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 3.1) sowie der gegenläufigen Akteurspositionen (vgl. Kapitel 3.2).

Chancen

Ein zentraler Ausgangspunkt der geplanten Regulierung ist der Schutz der menschlichen Gesundheit. Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, bestehen konsistente wissenschaftliche Belege für schädliche Wirkungen einer chronischen PFAS-Exposition. Hierzu zählen unter anderem erhöhte Cholesterinwerte, Leberfunktionsveränderungen und eine geschwächte Immunantwort, insbesondere bei Kindern. Hinzu kommen Hinweise auf hormonelle Störungen, Fruchtbarkeitsprobleme sowie ein erhöhtes Risiko für Nieren- und Hodenkrebs bei bestimmter beruflicher Exposition. Diese Effekte verursachen erhebliche gesellschaftliche Folgekosten, die vom Nordischen Ministerrat für Europa auf jährlich 52 bis 84 Milliarden Euro geschätzt werden (vgl. Kapitel 5.1.2).

Auch im Umweltbereich bietet die Regulierung Chancen. Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften reichern sich PFAS in der Umwelt an und lassen sich dort nur schwer wieder entfernen. Ein Rückgang der Emissionen würde zur Reduktion von Boden-, Wasser- und Luftbelastung führen und somit langfristig auch Sanierungsaufwände minimieren (vgl. Kapitel 2.3 und 5.1.2). Die Maßnahme steht in direkter Verbindung zur EU-Zero-

Pollution-Strategie, die eine Senkung schädlicher Einträge bis 2050 vorsieht (vgl. Kapitel 3.1.2).

Darüber hinaus entfaltet die PFAS-Regulierung auch einen innovationspolitischen Impuls. Wie in Kapitel 5.2 ausgeführt, konnten für 40 von 325 bewerteten Anwendungen bereits marktreife PFAS-freie Alternativen identifiziert werden. Für weitere 93 Anwendungen existieren Entwicklungsansätze mit mittelfristigem Umsetzungspotenzial. Diese Substitutionsdynamik eröffnet neue Marktchancen, beschleunigt Forschungsaktivitäten und stärkt das Prinzip einer schadstoffarmen Materialwirtschaft. Unterstützt werden diese Prozesse durch gezielte Forschungs- und Innovationsförderung im Rahmen des EU-Programms Horizon Europe (vgl. Kapitel 3.1.3). Auch die Förderung von kreislauforientiertem Produktdesign und abfallvermeidenden Prozessen gewinnt im Kontext eines PFAS-Verbots weiter an Bedeutung.

Risiken

Gleichzeitig ist die PFAS-Regulierung mit beträchtlichen Herausforderungen verbunden. Besonders technologieintensive Industriezweige wie die Halbleiterfertigung, Luftfahrttechnik oder medizinische Produktentwicklung sind auf bestimmte PFAS-Anwendungen bislang angewiesen. Für 83 Anwendungen liegen derzeit keine geeigneten Ersatzstoffe vor, in weiteren Fällen ist mit langen Entwicklungs- und Zulassungszeiten zu rechnen (vgl. Kapitel 5.2). Ohne angepasste Übergangsfristen oder flankierende Maßnahmen könnten Produktionsausfälle, Lieferkettenstörungen und Investitionsrisiken die Folge sein.

Hinzu kommen strukturelle Belastungen für kleine und mittlere Unternehmen. Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, verfügen KMU nur eingeschränkt über Ressourcen für regulatorische Anpassung, Forschung und Validierung. Branchenverbände warnen vor Standortverlagerungen und Markteintrittsbarrieren, sofern kein gezielter Ausgleich geschaffen wird.

Auch auf Ebene des Regulierungsvollzugs bestehen Defizite. Die vorhandenen Analysekapazitäten reichen derzeit nicht aus, um das gesamte Spektrum der PFAS-Gruppe abzubilden. Für viele Substanzen fehlen akkreditierte Nachweisverfahren und Referenzstandards. Polymere PFAS lassen sich mit gängigen Methoden kaum erfassen, was insbesondere in komplexen Matrices wie technischen Produkten oder Umweltproben problematisch ist. Die Grenzüberwachung stößt ebenfalls an ihre Grenzen. Zollbehörden verfügen nicht über praktikable Geräte zur Identifikation PFAS-haltiger Produkte, ein zentrales Produktregister fehlt, und der Onlinehandel unterliegt weitgehend keiner systematischen Kontrolle (vgl. Kapitel 5.2).

Ein zusätzliches Risiko liegt im sogenannten Problem der „regrettable substitution“, also dem Ersatz gefährlicher Stoffe durch andere, möglicherweise ebenso problematische Substanzen. Wie in Kapitel 3.1.3 dargestellt, entwickeln Initiativen wie ZeroPM derzeit standardisierte Bewertungsrahmen, um Substitutionsstoffe systematisch hinsichtlich

Umwelt- und Gesundheitsrisiken zu prüfen. Dieser präventive Ansatz ist entscheidend, um künftige Belastungen bereits im Vorfeld zu vermeiden.

6 Fazit

Die vorliegende Arbeit hat die Regulierung von PFAS in Europa umfassend beleuchtet, indem sie die chemischen Eigenschaften, Umwelt- und Gesundheitsrisiken, politischen Entwicklungen, Rechtsgrundlagen sowie die praktischen Auswirkungen und Herausforderungen eines gruppenbasierten Verbots darstellte.

Zunächst wurde gezeigt, dass PFAS aufgrund ihrer Persistenz, Bioakkumulation und vielfältigen Einsatzgebiete als Ewigkeitschemikalien ein erhebliches Risiko für Mensch und Umwelt darstellen. Langkettige Verbindungen wie PFOA und PFOS sind besonders besorgniserregend, während kurzkettige PFAS zwar mobil sind, jedoch geringere Bioakkumulation aufweisen. Die breite Detektion in Wasser, Boden und Organismen unterstreicht das dringende Handeln.

Auf politischer Ebene verleiht die EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit im Rahmen des Green Deal dem PFAS-Ausstieg Priorität. Der REACH-Beschränkungs-vorschlag zielt auf ein nahezu vollständiges Verbot von über 10 000 PFAS ab und befindet sich aktuell im wissenschaftlichen Begutachtungsprozess bei ECHA/RAC und SEAC. Strategische Programme wie Zero Pollution und SSbD4Chem fördern zugleich substitutionsoffene Innovationspfade.

Das fragmentierte Rechtsregime, bestehend aus EU-Trinkwasserrichtlinie, POP-Verordnung, Anhang XVII-REACH-Beschränkungen und nationalen Regelungen, schafft bereits erste Grenzwerte für ausgewählte PFAS, adressiert jedoch nur Teilaspekte der Stoffgruppe. Eine kohärente, gruppenbasierte Regulierung unter REACH wird daher als entscheidender Schritt bewertet.

Die sozioökonomischen Folgen eines PFAS-Verbots sind erheblich. Industriekosten in Milliardenhöhe stehen potenziellen Gesundheits- und Umweltkosten von mindestens dem Zehnfachen gegenüber. Die vorgeschlagenen Übergangsfristen (18 Monate bis 13,5 Jahre) berücksichtigen die Verfügbarkeit von Ersatzstoffen und den Innovationsbedarf in Hightech-Sektoren. Dennoch bleiben kritische Lücken. Für 83 Anwendungen sind keine Alternativen bekannt, was gezielte Forschungsförderung erfordert.

Operativ bestehen große Umsetzungsdefizite: begrenzte analytische Kapazitäten, fehlende standardisierte Nachweisverfahren, lückenhafte Marktüberwachung und ungleiche Vollzugsstrukturen in den Mitgliedstaaten gefährden die Effektivität der Regulierung. Kleine und mittlere Unternehmen benötigen begleitende Unterstützungsmaßnahmen, um die Compliance zu gewährleisten.

Insgesamt zeigt die Arbeit, dass eine gruppenbasierte PFAS-Beschränkung aus wissenschaftlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Perspektive notwendig ist und langfristig vorteilhaft, erfordert jedoch begleitende Innovationsoffensiven, harmonisierte Überwachungsstrukturen und passgenaue Übergangsfristen. Nur so kann Europa eine nachhaltige, PFAS-minimierte Chemikalienpolitik realisieren und das Ziel einer schadstoffarmen Umwelt im Sinne des Zero Pollution Action Plans erreichen.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), „Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS) – BMUV – Cluster.“ [Online]. Verfügbar: <https://www.bmuv.de/FQ148>. [Zugegriffen: 15. Mai 2025].
- [2] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), „Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances,“ 2021. [Online]. Verfügbar: https://www.oecd.org/en/publications/reconciling-terminology-of-the-universe-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances_e458e796-en.html. [Zugegriffen: 15. Mai 2025].
- [3] R. C. Buck, J. Franklin, U. Berger, J. M. Conder, I. T. Cousins, P. de Voogt, A. A. Jensen, K. Kannan, S. A. Mabury und S. P. J. van Leeuwen, „Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins,“ *Integr. Environ. Assess. Manag.*, Bd. 7, Nr. 4, S. 513–541, Okt. 2011, doi: 10.1002/ieam.258.
- [4] A.-M. Kaiser, „Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen – Überblick und Situation in Österreich,“ Umweltbundesamt, REP-0820, Wien, 2022. [Online]. Verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0820.pdf>. [Zugegriffen: 15. Mai 2025].
- [5] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), „Summary report on the new comprehensive global database of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs),“ 2018. [Online]. Verfügbar: https://www.oecd.org/en/publications/summary-report-on-the-new-comprehensive-global-database-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfass_1a14ad6c-en.html. [Zugegriffen: 24. Mai 2025].
- [6] M. G. Evich, M. J. B. Davis, J. P. McCord, et al., „Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment,“ *Science*, Bd. 375, Nr. 6580, S. eabg9065, Feb. 2022, doi: 10.1126/science.abg9065.
- [7] U.S. Consumer Product Safety Commission (CPSC), „Characterizing PFAS Chemistries, Sources, Uses, and Regulatory Trends in U.S. and International Markets: White Paper,“ 2022. [Online]. Verfügbar: <https://www.cpsc.gov/s3fs-public/CPSC-PFAS-WhitePaper.pdf>. [Zugegriffen: 24. Mai 2025].
- [8] M. Heidenreich, „Besorgniserregende Eigenschaften von PFAS,“ Umweltbundesamt, 2023. [Online]. Verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/besorgniserregende-eigenschaften-von-pfas>. [Zugegriffen: 28. Mai 2025].
- [9] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), „Toxicological profile for perfluoroalkyls,“ 2021. [Online]. Verfügbar: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp200.pdf>. [Zugegriffen: 28. Mai 2025].
- [10] Europäische Chemikalienagentur (ECHA), „Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) – ECHA,“ [Online]. Verfügbar: <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>. [Zugegriffen: 30. Mai 2025].
- [11] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), „Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food,“ *EFSA J.*, Bd. 18, Nr. 9, S. e06223, 2020, doi: 10.2903/j.efsa.2020.6223.
- [12] G. Goldenman, M. Fernandes, M. Holland, T. Tugran, A. Nordin, C. Schoumacher und A. McNeill, „The cost of inaction: A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS,“ *TemaNord* 2019:516. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2019, doi: 10.6027/TN2019-516.
- [13] Europäische Chemikalienagentur (ECHA), BAuA, BfR, CTB, DHI und Umweltbundesamt, „Annex XV Restriction Report – Proposal for a Restriction: Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs),“ 2023. [Online]. Verfügbar: <https://echa.europa.eu/documents/10162/1c480180-ece9-1bdd-1eb8-0f3f8e7c0c49>. [Zugegriffen: 30. Mai 2025].

- [14] Wasser 3.0, „PFAS – Wissen,“ [Online]. Verfügbar: <https://wasserdrei-null.de/wissen/mikroschadstoffe/pfas/>. [Zugegriffen: 1. Juni 2025].
- [15] R. Figuière, L. Miaz, E. Savvidou und I. Cousins, „Database of alternatives to persistent, mobile and toxic (PMT) substances, and to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS),“ Zenodo, 2. Apr. 2024, doi: 10.5281/zenodo.10852739.
- [16] Europäische Chemikalienagentur (ECHA), „State of play of the evaluation of the PFAS restriction proposal (UPFAS evaluation state of play),“ 2024. [Online]. Verfügbar: https://echa.europa.eu/documents/10162/67348133/upfas_evaluation_state_of_play_en.pdf/d1ad6892-e726-84a7-d2dd-74bbf8fa09af?t=1727262011016. [Zugegriffen: 30. Mai 2025].
- [17] Europäische Union, „Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung),“ Amtsblatt der Europäischen Union, L 435, S. 1–62, Dez. 2020. [Online]. Verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184>. [Zugegriffen: 5. Juni 2025].
- [18] Bundesministerium der Justiz, „Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV),“ BGBl. I S. 1666, 2023. [Online]. Verfügbar: https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2023/TrinkwV.pdf. [Zugegriffen: 5. Juni 2025].
- [19] Europäische Union, „Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe,“ Amtsblatt der Europäischen Union, L169, 25.6.2019, S. 45–77. [Online]. Verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R1021>. [Zugegriffen: 7. Juni 2025].
- [20] Europäische Kommission, „Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit – Für eine schadstofffreie Umwelt,“ COM(2020) 667 final, Brüssel, 14. Okt. 2020. [Online]. Verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0667>. [Zugegriffen: 7. Juni 2025].
- [21] Europäische Kommission, „Der europäische Grüne Deal,“ COM(2019) 640 final, Brüssel, 11. Dez. 2019. [Online]. Verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640>. [Zugegriffen: 7. Juni 2025].
- [22] Europäische Kommission, „Weg zu einer gesunden Erde für alle – EU-Aktionsplan: ‚Für eine schadstofffreie Umwelt von Luft, Wasser und Boden,‘“ COM(2021) 400 final, Brüssel, 12. Mai 2021. [Online]. Verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0400>. [Zugegriffen: 7. Juni 2025].
- [23] SSbD4Chem, „Project summary,“ [Online]. Verfügbar: <https://www.ssbD4chem.eu/project-summary/>. [Zugegriffen: 7. Juni 2025].
- [24] Europäische Umweltagentur und Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission, „Zero pollution monitoring and outlook 2025,“ EEA-JRC-Bericht 13/2024, Luxemburg, 2024. [Online]. Verfügbar: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/zero-pollution-monitoring-and-outlook-report>. [Zugegriffen: 7. Juni 2025].
- [25] Europäische Umweltagentur (EEA), „Zero pollution monitoring assessment,“ [Online]. Verfügbar: <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/zero-pollution>. [Zugegriffen: 7. Juni 2025].
- [26] ChemSec, „PFAS Guide – Find PFAS chemicals in your products,“ [Online]. Verfügbar: <https://pfas.chemsec.org/>. [Zugegriffen: 9. Juni 2025].
- [27] RISE Research Institutes of Sweden, „PFAS Substitution Guide for Textile Supply Chains,“ [Online]. Verfügbar: https://www.ri.se/sites/default/files/2022-09/PFAS_Substitution_Guide_for_Textile_Supply_Chains.pdf. [Zugegriffen: 9. Juni 2025].
- [28] ZeroPM, „ZeroPM Alternative Assessment Database,“ [Online]. Verfügbar: <https://zeropm.eu/alternative-assessment-database/>. [Zugegriffen: 9. Juni 2025].

- [29] ZeroPM, „Aims & Objectives“, Zugriff am 9. Juni 2025. [Online]. Verfügbar: <https://zeropm.eu/aims-objectives/>
- [30] CORDIS | European Commission, „Strategies for health protection, pollution Control and Elimination of Next generation Refractive Organic chemicals from the Soil, vadose zone and water | H2020,“ [Online]. Verfügbar: <https://cordis.europa.eu/project/id/101037509/reporting>. [Zugegriffen: 11. Juni 2025].
- [31] SCENARIOS Project, „SCENARIOS Main,“ [Online]. Verfügbar: <https://scenarios-project.eu/>. [Zugegriffen: 11. Juni 2025].
- [32] SCENARIOS Project, „SCENARIOS Pilots,“ [Online]. Verfügbar: <https://scenarios-project.eu/pilots/>. [Zugegriffen: 11. Juni 2025].
- [33] Deutsches Zentrum zum Schutz von Versuchstieren (Bf3R), „SCENARIOS – Strategies for health protection,“ [Online]. Verfügbar: <https://www.bf3r.de/en/research/third-party-funded-projects/scenarios-strategies-for-health-protection/>. [Zugegriffen: 11. Juni 2025].
- [34] CORDIS, „Preventing Recalcitrant Organic Mobile Industrial chemicalS for Circular Economy in the Soil-sediment-water system | H2020,“ [Online]. Verfügbar: <https://cordis.europa.eu/project/id/101036449/reporting>. [Zugegriffen: 29. Juni 2025].
- [35] F. Zietzschmann, M. Llorca, I. Babatoundé, E. Van Hullebusch, E. Saracevic, Z. Saracevic, M. Lazzazzara und A. Frugis, „PROMISCES Deliverable D1.1 – Methods for PFAS in waters and complex matrices“, PROMISCES, Leitnutznießer BWB, Version 2, 18. September 2023 [Online]. Verfügbar: https://promisces.eu/Results/_/PROMISCES_D1.1_Methods%20for%20PFAS%20in%20waters%20and%20complex%20matrices.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [36] PROMISCES, „Objectives – Preventing Recalcitrant Organic Mobile Industrial chemicalS for Circular Economy in the Soil-sediment-water system“, [Online]. Verfügbar: <https://promisces.eu/Project/Objectives.html>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [37] A. Sosnowska, N. Bulawska, D. Kowalska und T. Puzyn, „Towards higher scientific validity and regulatory acceptance of predictive models for PFAS,“ Green Chemistry, Bd. 25, Nr. 4, S. 1261–1275, 2023, doi: 10.1039/D2GC04341F.
- [38] Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB), „PROMISCES,“ [Online]. Verfügbar: <https://www.kompetenz-wasser.de/en/forschung/projekte/promisces>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [39] Acea Infrastructure, „PROMISCES Project,“ [Online]. Verfügbar: <https://www.gruppoacea.it/en/acea-infrastructure/projects/promisces>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [40] PROMISCES, „Assessment of PFAS pathways during landfill leachate treatment“, PROMISCES Blog, [Online]. Verfügbar: <https://promisces.eu/News/Blog/Assessment+of+PFAS+pathways+during+landfill+leachate+treatment.html> [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [41] N. Lancioni, E. Blumenthal, M. Sgroi, F. Fatone, A. Frugis, M. Lazzazzara, I. Ribarova, D. Valchev, V. Lubomirova und S. Lincheva, „D4.5 – Mass flow and fate analysis for PFAS from landfill leachate in Bulgaria and Italy“, PROMISCES, Lead Beneficiary: UNIVPM, Version 2, Fällig: 31. October 2023, [Online]. Verfügbar: https://promisces.eu/Results/_/D4.5.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [42] PROMISCES, „PROMISCES Decision Support Framework for risk management of PM(T) in a circular economy“, PROMISCES – Tools, [Online]. Verfügbar: <https://promisces.eu/Results/Tools/PROMISCES+DSF.html>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [43] CEN-CENELEC, „CWA 18201:2025 – Soil-sediment-water system – Solutions to deal with PMT/vPvM substances“, CEN-Workshop-Agreement, [Online]. Verfügbar: https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/CWAs/RI/2025/cwa18201_2025.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].

- [44] BRGM, „PROMISCES to help establish a zero pollution circular economy“, Press Release, 15. October 2021, [Online]. Verfügbar: <https://www.brgm.fr/en/news/press-release/promisces-help-establish-zero-pollution-circular-economy>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [45] European Commission, „Role and functioning of the Zero Pollution Stakeholder Platform“, Agenda-Dokument, 7th Zero Pollution Stakeholder Platform meeting, 3. März 2025, [Online]. Verfügbar: https://environment.ec.europa.eu/document/download/576cba67-50c0-4560-bc2d-6a7762a61c81_en?filename=Role+and+functioning+of+the+Zero+Pollution+Stakeholder+Platform.pdf&prefLang=cs. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [46] D. Muro, „Aktueller Stand des PFAS-Beschränkungsverfahrens“, Sicherheitsingenieur.NRW Magazin, [Online]. Verfügbar: <https://sicherheitsingenieur.nrw/aktueller-stand-des-pfas-beschränkungsverfahrens/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [47] Europäische Kommission – Vertretung in Deutschland, „Europäische Chemikalienagentur ECHA eröffnet Konsultation zur Beschränkung von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS)“, Pressemitteilung, 23. März 2023, [Online]. Verfügbar: https://germany.representation.ec.europa.eu/news/europaische-chemikalienagentur-echa-eroffnet-konsultation-zur-beschränkung-von-und-2023-03-23_de. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [48] European Sealing Association (ESA), „PFAS Restrictions: Updates and Next Steps from ECHA“, News Article, 29. April 2025, [Online]. Verfügbar: <https://www.europeansealing.com/pfas-restrictions-updates-and-next-steps-from-echa/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [49] Umweltbundesamt (UBA), „Mögliches Verbot von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen in der EU“, Pressemitteilung, 13. Januar 2023, [Online]. Verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/moegliches-verbot-von-per-polyfluorierten>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [50] AGES GmbH, „Initiative Group on Per- and Polyfluoroalkyl substances (PFAS) – AFIGPFAS“, AGES Forschungsportal, Laufzeit: 1. Mai 2024 bis 30. April 2025, [Online]. Verfügbar: <https://www.ages.at/forschung/forschungsportal/detail?forschungsportal%5BForschung%5D=FP-2240&cHash=9e136524d607d3fcfb4dbca24fd677b7>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [51] FPP4EU – Fluorinated Products and PFAS for Europe, „Ready to work with Europe to address PFAS“, Supplerende svar på spørgsmål 49, Europaudvalget (EUU), Folketinget, Juli 2021, [Online]. Verfügbar: <https://www.ft.dk/samling/20222/almdel/euu/spm/49/svar/1951975/2698320.pdf>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [52] Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, „PFAS-Verbot: Drängende Aufgaben für die angewandte Forschung“, Dialogtag am Fraunhofer ISC in Würzburg, 12. Oktober 2023, [Online]. Verfügbar: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/messen-veranstaltungen/2023/pfas-verbot.html>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [53] Europäisches Umweltbüro (EU-Umweltbüro), „ENDS Europe: Nichtregierungsorganisationen erhalten einen Platz am Tisch für den Branchendialog über Chemikalien“, Newsletter-Meldung, 21. März 2025, [Online]. Verfügbar: <https://www.eu-umweltbuero.at/inhalt/ends-europe-nichtregierungsorganisationen-erhalten-einen-platz-am-tisch-fuer-den-branchendialog-ueber-chemikalien>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [54] Forever Pollution Project – The Forever Lobbying Project, „The Forever Lobbying Project exposes the real cost of PFAS pollution on the environment, science, and politics“, Webseite, veröffentlicht 14. Januar 2025, [Online]. Verfügbar: <https://foreverpollution.eu/lobbying/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].

- [55] Chemische Industrie der Europäischen Gemeinschaft (CEFIC), Cefic input to the Call for Evidence supporting an analysis of restriction options for PFAS, PDF-Dokument, Juli 2020, [Online]. Verfügbar: <https://www.bayerische-chemieverbaende.de/wp-content/uploads/sites/4/2020/08/200731-cefic-cfe-pfas-general-comments.pdf>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [56] Corporate Europe Observatory, „Chemical reaction: Inside the corporate fight against the EU’s PFAS restriction“, Briefing, Januar 2025, [Online]. Verfügbar: <https://corporateeurope.org/sites/default/files/2025-01/Chemical%20reaction%20briefing%20EN.pdf>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [57] FluoroProducts and PFAS for Europe (FPP4EU), Position Paper April 2023: FPP4EU views on the proposal for a restriction on per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), Positionspapier, April 2023, [Online]. Verfügbar: <https://www.fpp4eu.eu/wp-content/uploads/2023/04/FPP4EU-Position-Paper-April-2023-final-1.pdf>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [58] FluoroProducts and PFAS for Europe (FPP4EU), Events – Collaboration Platform, Webseite, [Online]. Verfügbar: <https://www.fpp4eu.eu/news-and-events/events/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [59] FluoroProducts and PFAS for Europe (FPP4EU), „FPP4EU submits list of missed uses of PFAS to the stakeholder consultation“, News-Beitrag, 2. November 2023, [Online]. Verfügbar: <https://www.fpp4eu.eu/news/fpp4eu-submits-list-of-missed-uses-of-pfas-to-the-stakeholder-consultation/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [60] Horel, S., „Forever chemicals’: Industrialists lobby to avoid ban on toxic substances“, Les Décodeurs (Le Monde), Investigative Article, 25 February 2023, [Online]. Verfügbar: https://www.lemonde.fr/en/les-decodeurs/article/2023/02/25/forever-chemicals-industrialists-lobby-to-avoid-ban-on-toxic-substances_6017217_8.html. [Zugegriffen: 7 August 2025].
- [61] 3M, „3M to Exit PFAS Manufacturing by the End of 2025“, Pressemitteilung, 20. Dezember 2022, [Online]. Verfügbar: <https://news.3m.com/2022-12-20-3M-to-Exit-PFAS-Manufacturing-by-the-End-of-2025>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [62] Peters & Peters Solicitors LLP, „Criminal complaint filed against chemical giants for endangering life“, Webseite, Mai 2023, [Online]. Verfügbar: <https://www.petersandpeters.com/case/criminal-complaint-filed-against-chemical-giants-for-endangering-life/>. [Zugegriffen: 7. August 2025]
- [63] European Commission – Directorate-General for Environment, „Minutes of the meeting on PFAS with industry representatives, Commissioner Sinkevičius, 4 July 2023“, Protokoll, 4. Juli 2023, [Online]. Verfügbar: <https://corporateeurope.org/sites/default/files/2024-10/01%20Ares%202023%207307523%20Minutes%20ENV%20Commissioner%20meeting%20industry%20representatives%20PFAS%204%20July%202023.pdf>. [Zugegriffen: 7 August 2025]
- [64] European Commission – Directorate-General for Environment (Veronica Manfredi), „European Commission update on its PFAS work“, Präsentation vor dem Europäischen Parlament, ENVI-Ausschuss, 24. April 2025, [Online]. Verfügbar: https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2024_2029/plmrep/COMMITTEES/ENVI/DV/2025/04-23/20250424_PFAS_EN.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [65] European Commission – Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (GROW), Reply on PFAS (Ares 2023 7307523), Antwortschreiben, 4. Juli 2024, [Online]. Verfügbar: https://corporateeurope.org/sites/default/files/2024-10/GROW%20Reply_PFAS_04.07.2024_.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [66] Hogan Lovells, „European Commission presents Chemicals Industry Action Plan: Implications for PFAS regulation“, Life Sciences Law Update, 16. Juli 2025, [Online]. Verfügbar: <https://www.hoganlovells.com/en/publications/european-commission-presents-chemicals-industry-action-plan-implications-for-pfas-regulation>. [Zugegriffen: 7. August 2025].

- [67] European Chemicals Agency (ECHA), „Highlights from June 2024 RAC and SEAC meetings“, Webseite, 13. Juni 2024, [Online]. Verfügbar: <https://echa.europa.eu/de/-/highlights-from-june-2024-rac-and-seac-meetings>. [Zugegriffen: 7. August 2025]
- [68] European Chemicals Agency (ECHA), „Highlights from March RAC and SEAC meetings“, News Release, 18. März 2025, [Online]. Verfügbar: <https://www.publicnow.com/view/32E67E55F2C6329C78EAFA40328EEDD0E7A381B0?1742381238>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [69] Health and Environment Alliance (HEAL), „HEAL’s response to the public consultation on a proposal for an EU PFAS Restriction“, Webseite, 20. November 2023, [Online]. Verfügbar: <https://www.env-health.org/heals-response-to-the-public-consultation-on-a-proposal-for-an-eu-pfas-restriction/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [70] Health and Environment Alliance (HEAL), Infographic: How can an EU-wide PFAS restriction be a game-changer for health?, Infografik, 27. März 2024, [Online]. Verfügbar: <https://www.env-health.org/infographic-how-can-an-eu-wide-pfas-restriction-be-a-game-changer-for-health/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [71] Health and Environment Alliance (HEAL), Civil society letter: “It’s time to end ‘the worst pollution crisis in human history’: Ban PFAS”, Briefing (Brief an die Präsidentin der Europäischen Kommission), 22. Januar 2025, [Online]. Verfügbar: https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2025/01/civil-society_letter-VDL_PFAS_20250122.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [72] Health and Safety Authority & Environmental Protection Agency, Session 3 – How to reach a toxic-free environment (EU Chemicals Strategy for Sustainability Conference), Präsentation, 18. Oktober 2023, [Online]. Verfügbar: https://www.hsa.ie/eng/your_industry/chemicals/legislation_enforcement/eu_chemicals_strategy_for_sustainability_conference_2023/session_3_eu_chemicals_strategy_for_sustainability_conference.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025]
- [73] ChemSec (Chemical Secretary Network), BUSTED! Five industry myths about the PFAS ban, Bericht, 18. November 2024, [Online]. Verfügbar: <https://chemsec.org/reports/busted-five-industry-myths-about-the-pfas-ban/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [74] ChemSec (International Chemical Secretariat) und European Environmental Bureau (EEB), „Blood tests show high-level EU politicians are polluted by PFAS“, Pressemitteilung, 31. Januar 2024, [Online]. Verfügbar: <https://chemsec.org/blood-tests-show-high-level-eu-politicians-are-polluted-by-pfas/>. [Zugegriffen: 7. August 2025]
- [75] Investigative Journalism for Europe (IJ4EU), The Forever Lobbying Project, Projektbeschreibung, 2024, [Online]. Verfügbar: <https://investigativejournalismforeu.net/projects/the-forever-lobbying-project/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [76] Pulitzer Center, The Forever Lobbying Project Exposes the Real Cost of PFAS Pollution on the Environment, Science, and Politics, Web Story, 14. Januar 2025, [Online]. Verfügbar: <https://pulitzercenter.org/stories/forever-lobbying-project-exposes-real-cost-pfas-pollution-environment-science-and-politics>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [77] Horel, S., „PFAS: How the chemical industry is derailing a ban on ‘forever chemicals‘“, Les Décodeurs (Le Monde), Investigative Article, 15 Januar 2025, [Online]. Verfügbar: https://www.lemonde.fr/en/les-decodeurs/article/2025/01/15/pfas-how-the-chemical-industry-is-derailing-a-ban-on-forever-chemicals_6737079_8.html. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [78] Parker, S., Caer, V., & Driffield, M., PhD, Preparing for EU PFAS Regulations and Their Global Impact, Exponent, 5. März 2025, [Online]. Verfügbar: <https://www.exponent.com/article/preparing-eu-pfas-regulations-and-their-global-impact>. [Zugegriffen: 7. August 2025].

- [79] Europäische Kommission, Commission Regulation (EU) 2021/1297 of 4 August 2021 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 as regards perfluorocarboxylic acids containing 9 to 14 carbon atoms in the chain (C9-C14 PFCAs), their salts and C9-C14 PFCA-related substances, Verordnung, 4. August 2021, [Online]. Verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32021R1297>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [80] Europäische Kommission, Commission Regulation (EU) 2024/2462 of 19 September 2024 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council as regards undecafluorohexanoic acid (PFHxA), its salts and PFHxA-related substances, Verordnung, 19. September 2024, [Online]. Verfügbar: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202402462. [Zugegriffen: 7. August 2025]
- [81] Europäische Kommission, Europäisches Parlament und Rat, Verordnung (EU) 2025/40 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Dezember 2024 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG (Text von Bedeutung für den EWR), Verordnung, 19. Dezember 2024; im Amtsblatt veröffentlicht am 22. Januar 2025, [Online]. Verfügbar: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202500040. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [82] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), neu gefasst durch die Mantelverordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl I S. 2598) – in Kraft seit 1. August 2023, [Online]. Verfügbar: https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv_2023/BJNR271600021.html. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [83] Bundesrepublik Deutschland, Düngemittelverordnung (DüMV) – Anlage 2: Schwermetalle und andere Schadstoffe, Rechtsverordnung, in Kraft seit 5. Dezember 2012, [Online]. Verfügbar: https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/anlage_2.html. [Zugegriffen: 7. August 2025]
- [84] A. Bieber, A. Biegel-Engler und M. Gierig, Leitfaden zur PFAS-Bewertung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), Berlin, 2022, [Online]. Verfügbar: <https://www.bmuv.de/download/leitfaden-zur-pfas-bewertung>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [85] V. Zainzinger, „France adopts ban on PFAS in consumer products“, Chemical & Engineering News (C&EN), 24. Februar 2025, [Online]. Verfügbar: <https://cen.acs.org/articles/103/web/2025/02/France-adopts-ban-PFAS-consumer.html>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [86] Cefic (European Chemical Industry Council), Economic analysis of the impacts of a REACH restriction on the manufacture, placing on the market and use of PFAS, Studie, Oktober 2024; im Auftrag von Cefic durchgeführt, [Online]. Verfügbar: https://corporateeurope.org/sites/default/files/2024-10/economic-analysis-of-the-impacts-of-a-reach-restriction-on-the-manufacture-placing-on-the-market-and-use-of-pfas_finalv2.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [87] EPPA SA/NV, Socio-economic analysis of the potential restriction of the per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) used in the production, packaging and delivery of human medicinal products, Studie im Auftrag der European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations (EFPIA), 17. August 2023, [Online]. Verfügbar: https://www.efpia.eu/media/52ipvgfi/annex-1-efpia_sea_pfas_final.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [88] EPPA SA/NV (im Auftrag der European Tyre & Rubber Manufacturers Association – ETRMA), Assessment of the impacts of a potential restriction of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) on the tyre & rubber industry, Studie, 22. September 2023, [Online]. Verfügbar: https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2024/01/ETRMA_PFAS_REACH_Public-Consultation.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].

- [89] Semiconductor Industry Association PFAS Consortium, Impact of a Potential PFAS Restriction on the Semiconductor Sector, Studie, 13 April 2023, [Online]. Verfügbar: https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2023/04/Impact-of-a-Potential-PFAS-Restriction-on-the-Semiconductor-Sector-04_14_2023.pdf. [Zugegriffen: 7 August 2025].
- [90] C. Lang-Koetz, U. Hutschek und M. Heil, PFAS: Application, technical functions and substitution possibilities in the industry, Final Report (im Auftrag des Think-tank Industrielle Ressourcenstrategien), Februar 2024, [Online]. Verfügbar: https://www.thinktank-irs.de/wp-content/uploads/2024/02/RZ_THINK-TANK_PFAS_A4_EN_web.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025]
- [91] United States Environmental Protection Agency (EPA), "National Primary Drinking Water Regulation (NPDWR) for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): Final Rule – Costs and Benefits," Fact Sheet, Apr. 8, 2024. [Online]. Verfügbar: https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-04/pfas-npdwr_fact-sheet_cost-and-benefits_4.8.24.pdf. [Zugegriffen: Aug. 7, 2025].
- [92] Jacobs U.K. Limited, PFAS Risk Screening Project – Phase 4: Work Package 4 Economic Appraisal, Bericht (Annex C, redacted), 6. Juli 2023, im Rahmen einer FOI/EIR-Veröffentlichung (EIR 2024/13311), [Online]. Verfügbar: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/66ebe9a6c8398625c331e778/Annex_C_PFAS_WP4_Phase_4_-_Report_Rev0_REDACTED.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [93] The Forever Pollution Project, The Cost of Remediation, Webseite, 2025, [Online]. Verfügbar: <https://foreverpollution.eu/lobbying/the-cost-of-remediation/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [94] ChemSec, The top 12 PFAS producers in the world and the staggering societal costs of PFAS pollution, Bericht, 25. Mai 2023, [Online]. Verfügbar: <https://chemsec.org/reports/the-top-12-pfas-producers-in-the-world-and-the-staggering-societal-costs-of-pfas-pollution/>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [95] R. Figuière, L. T. Miaz, E. Savvidou und I. T. Cousins, „An Overview of Potential Alternatives for the Multiple Uses of Per- and Polyfluoroalkyl Substances“, Environmental Science & Technology, Bd. 59, Nr. 4, S. 2031–2042, 4. Februar 2025, [Online]. Verfügbar: doi: 10.1021/acs.est.4c09088. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [96] M. Krause, J. Stoesser, A. Reis de Carvalho, E. Hanozin, G. Jacobs, S. Voorpoels und A. Polcher, Analysis of needs for enforcement of PFAS in articles and chemical products, TemaNord 2024:510, Nordischer Ministerrat, Kopenhagen, 2024, Kapitel 4: "Experiences from enforcement of PFAS restrictions and their (future) needs", [Online]. Verfügbar: <https://pub.norden.org/temanord2024-510/4-experiences-from-enforcement-of-pfas-restrictions-and-their-future-needs.html>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [97] American Chamber of Commerce to the European Union (AmCham EU), Position on PFAS restriction proposal, Positionspapier, 16. Juni 2023, [Online]. Verfügbar: https://www.amchameu.eu/system/files/documents/amcham_eu_position_on_pfas_restriction_proposal.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [98] European Environment Agency (EEA), PFAS pollution in European waters, Briefing, 9. Dezember 2024, [Online]. Verfügbar: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/pfas-pollution-in-european-waters>. [Zugegriffen: 7. August 2025].
- [99] CIRS Group, "France Enacts PFAS Ban: Comprehensive Restrictions on 'Forever Chemicals' to Take Effect from 2026", CIRS Chemicals – Regulatory News, 20. März 2025, [Online]. Verfügbar: <https://www.cirs-group.com/en/chemicals/france-enacts-pfas-ban-comprehensive-restrictions-on-forever-chemicals-to-take-effect-from-2026>. [Zugegriffen: 7. August 2025].

- [100] European Small Business Alliance for Fluoropolymers (ESBAF), Flyer: European Small Business Alliance for Fluoropolymers (ESBAF), Flyer-PDF, 12. Juli 2023, [Online]. Verfügbar: https://www.meweo.de/wp-content/uploads/2023/07/ESABF_Flyer_20230712.pdf. [Zugegriffen: 7. August 2025].

Anhang

Anhang 1: „Stammbaum“ der PFAS-Familie aus OECD 2021

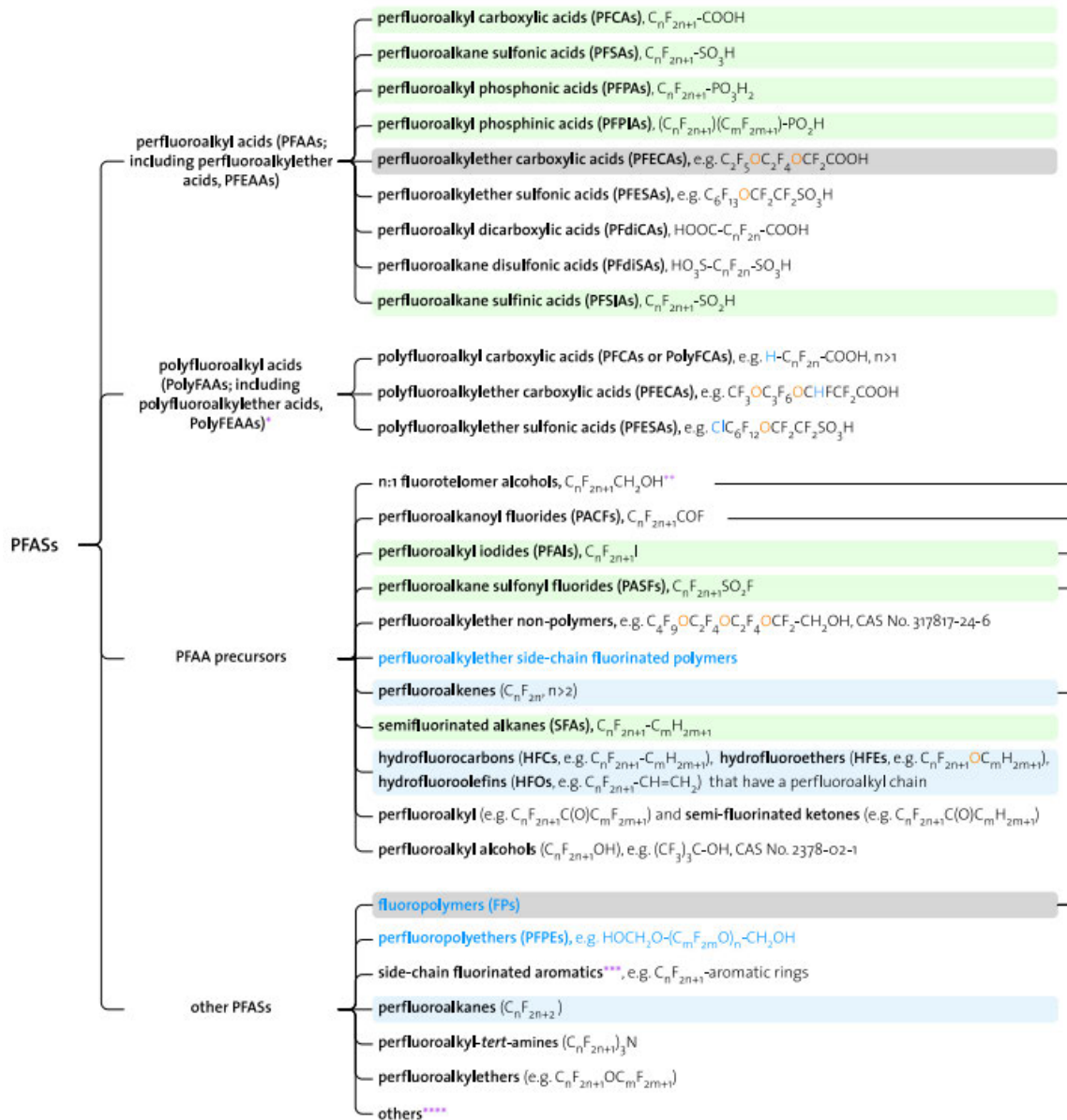


Abbildung 6: „Stammbaum“ der PFAS-Familie aus OECD 2021 [2]

Erklärung

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer oder der Verfasserin/des Verfassers selbst entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Zur sprachlichen und strukturellen Unterstützung wurde das KI-basierte Assistenzsystem „ChatGPT“ (OpenAI) verwendet. Die Anwendung umfasste Vorschläge zur Textoptimierung (Grammatik, Stil, Struktur). Die fachliche Bewertung und endgültige Ausgestaltung aller Inhalte erfolgte eigenständig. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Köln, 10.08.2025

Ort, Datum



Unterschrift