

Bericht

Auswirkungen der Einschränkung der Verwendung von PFAS auf die betroffenen Bereiche in Österreich

IM AUFTRAG DER

WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH
ABTEILUNG FÜR UMWELT- UND ENERGIEPOLITIK

Dr. Andreas Windsperger
Nadja Jelica MSc
Arthur Öhler



St. Pölten, im September 2024

Inhalt

Einleitung	4
Hintergrund.....	4
Ziele der Arbeit	4
Die Stoffgruppe der PFAS	5
Definition und Eigenschaften von PFAS	5
Einordnung der PFAS-Klassen	6
Kettenlängen und chemische Struktur	8
Herstellung von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen.....	9
Elektrochemische Fluorierung (ECF)	10
Telomerisierung	10
Gesundheits- und Umweltauswirkungen von PFAS.....	11
Die Verbreitung von PFAS in Umwelt und Mensch	12
Gesundheitsauswirkungen	13
Umweltauswirkungen.....	13
Kontamination von Wasser	13
Besondere Risiken und zukünftige Maßnahmen.....	14
Maßnahmen zur Reduzierung und Suche nach Alternativen zu PFAS	14
Regulierungen von PFAS in der EU und weltweit.....	15
Das Stockholmer Übereinkommen	15
REACH-Verordnung und ihr Einfluss auf Chemikalien.....	16
Öffentliche Konsultation und ECHA-Bewertung	16
Aktuelle Entwicklungen zur Beschränkung von PFAS in der EU.....	17
Das Essential Use-Konzept	19
Interviews und online-Befragung von Betrieben.....	20
Vorgangsweise	20
Ergebnisse der Interviews	20
Elektro- und Elektronikindustrie	20
Verarbeitende Industrie (Holz-, Glas-, Karton- und Papierindustrie).....	23
Metall(technische) Industrie	25
Mechatronik und Kälte-Klima-Bereich	27
Kunststoffverarbeitung und Chemische Industrie.....	29
Textil-, Bekleidungs-, Schuh- und Lederindustrie.....	31

Auswirkung von PFAS-Beschränkungen

Öl- und Gasindustrie	32
Automotive Bereich.....	33
Bergwerke, Stahl- und Oberflächenindustrien (Galvanik).....	34
Pharmazeutische Industrie	35
Medizintechnik- und Produkte.....	36
Reinigungs- und Hygieneprodukte.....	37
Nahrungs- und Genussmittelindustrie	37
Diskussion.....	39
Gesundheitliche und umweltbezogene Risiken.....	39
Entwicklung von Alternativen	39
Internationaler Vergleich der PFAS-Regulierungen: USA und China	41
Handlungsbedarf für die Industrie	42
Wirtschaftliche und volkswirtschaftliche Folgen von PFAS-Beschränkungen.....	43
Fazit	45
Literatur	47

Einleitung

Hintergrund

Die Stoffgruppe der PFAS ist seit einigen Jahren durch ihre Persistenz und zum Teil vermuteten toxischen Eigenschaften in den Fokus für Regulierungen auf EU-Ebene gekommen. Von den fünf europäischen Staaten Niederlande, Deutschland, Norwegen, Dänemark und Schweden wurde gemeinsam ein Dossier für einen Beschränkungsantrag von per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS) im Rahmen der REACH-Verordnung eingereicht. Dabei ist wegen der Vielzahl von Verbindungen und befürchteten internen Substitutionen eine Beschränkung der gesamten Stoffgruppe, ungeachtet ihrer Heterogenität, vorgesehen.

Die österreichische Industrie ist sowohl als Verarbeiter als auch als Anwender von PFAS und PFAS-Produkten von dieser Beschränkung massiv betroffen. Dies gilt insbesondere auf Grund der Beschränkung von Fluorpolymeren, bei denen es derzeit keine adäquaten Alternativen gibt und anderen Rohstoffen und Zwischenprodukten, die unter die PFAS-Definition fallen. Viele spielen eine entscheidende Rolle in industriellen Prozessen, für die Energietechnik, die Halbleiterherstellung, die Produktion von Wirkstoffen und deren Zusatzstoffen sowie auch bei der Arbeitsschutzbekleidung. Bei einer generellen Beschränkung der Verwendung dieser Stoffgruppe werden massive Auswirkungen in vielen Bereichen mit einer Verminderung der Konkurrenzfähigkeit sowie auch Schwierigkeiten bei der Erreichung der *Green Deal* Ziele befürchtet.

Ziele der Arbeit

Die Arbeit soll einen Überblick über Konsequenzen einer Einschränkung in der Anwendung von PFAS liefern und wurde in den folgenden Schritten durchgeführt:

- Zusammenstellung der PFAS-Stoffe, die in maßgeblichem Umfang in Österreich eingesetzt werden und Abschätzung ihrer Herkunft innerhalb oder außerhalb der EU.
- Ermittlung der Einsatzbereiche dieser Stoffe und Betrachtung der wirtschaftlichen Bedeutung dieser Bereiche in Österreich.
- Gespräche mit Anwendern über die eingesetzten Mengen, die funktionale Notwendigkeit und potenzielle Alternativen. Analyse der möglichen Eintragspfade in die Umwelt (Wasser, Abfall, Luft) und der Expositionspfade für die Gefährdung von Menschen.
- Bei welchen Anwendungen und welchen PFAS-Produkten finden Freisetzungen oder Gefährdung von Menschen statt und wie kann diese vermindert werden.
- Zusammenstellung von Auswirkungen aus einem Verzicht auf diese Stoffe und von gegenläufigen Wirkungen zu den Zielsetzungen der Nachhaltigkeit und des *Green Deals*.
- Zusammenstellung der wesentlichen ökonomischen Auswirkungen eines Verzichts auf PFAS.

Die Auswertung und Dokumentation erfolgten je nach Möglichkeit qualitativ abschätzend bis hin zu semi-quantitativ in den einzelnen Sektoren.

Die Stoffgruppe der PFAS

Definition und Eigenschaften von PFAS

Alle PFAS-Stoffe enthalten Kohlenstoff-Fluor-Bindungen, welche zu den stärksten Bindungen in der organischen Chemie gehören. Dies bedeutet, dass sie äußerst stabil und da nur sehr schwer abbaubar auch extrem langlebig sind. Sie sind wasser- und ölabweisend, hitzebeständig, resistent gegen Chemikalien, Licht und Bakterien. Diese Eigenschaften haben zu ihrer weiten Verbreitung und vielfältigen Anwendungen geführt.

Die meisten PFAS sind in der Umwelt sehr mobil und können von der Quelle ihrer Freisetzung weite Entfernungen zurücklegen. Oft führen sie zu einer Verunreinigung von Grundwasser, Oberflächengewässer und Böden. Die Reinigung kontaminierter Standorte ist technisch anspruchsvoll und teuer. PFAS haben vielfältige physikalische und chemische Eigenschaften und können als Gase, Flüssigkeiten oder feste Polymere auftreten. Einige PFAS werden als lang- oder kurzkettig beschrieben. Viele PFAS sind auch Tenside und werden zum Beispiel als Wasser- und Fettabweismittel verwendet. In den letzten Jahrzehnten haben globale Hersteller begonnen, bestimmte PFAS durch andere PFAS oder fluorfreie Substanzen zu ersetzen. Das wurde dadurch angetrieben, dass die schädlichen Auswirkungen einiger PFAS auf die Gesundheit und die Umwelt erkannt wurden [1].

Laut der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) umfasst PFAS fluorierte Substanzen, die mindestens eine perfluorierte Methylgruppe ($-CF_3$) oder eine perfluorierte Methylenkette ($-CF_2$) aufweisen können. Die genaue Definition lautet *„PFAS sind definiert als fluorierte Stoffe, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatom (ohne daran gebundenes H/Cl/Br/I-Atom) enthalten, d.h. mit einigen wenigen Ausnahmen, jede Chemikalie mit mindestens einer perfluorierten Methylgruppe ($-CF_3$) oder einer perfluorierten Methylenkette ($-CF_2-$) ist ein PFAS“*. Diese PFAS-Definition basiert nur auf der chemischen Struktur [2].

Der aktuelle „universelle“ Beschränkungsvorschlag zielt darauf ab, die Probleme der unkontrollierbaren Emissionen von PFAS an der Quelle zu bekämpfen, indem Herstellung und Verwendung dieser Stoffe verboten werden, anstatt eine *End-of-Pipe*-Lösung zu verfolgen, die nicht realisierbar ist. PFAS wird im Beschränkungsvorschlag definiert als: *„Jede Substanz, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl- (CF_3 -) oder Methylenkettengruppen- ($-CF_2-$) Kohlenstoffatom enthält (ohne daran gebundene H/Cl/Br/I-Atome)“*. Diese Definition ist an die OECD-Definition angelehnt und umfasst mehr als 10.000 PFAS-Verbindungen. Alle Verwendungen von PFAS sind durch diesen Beschränkungsvorschlag abgedeckt, sofern keine spezifische Ausnahme formuliert wurde. Vom Anwendungsbereich der vorgeschlagenen EU-Beschränkung ausgenommen ist ein Stoff, der nur die folgenden Strukturelemente enthält: CF_3-X oder $X-CF_2-X'$, wobei:

X = -OR oder -NRR'

X' = Methyl (-CH₃), Methylen (-CH₂-), eine aromatische Gruppe, eine Carbonylgruppe (-C(O)-), -OR'', -SR'' oder -NR''R''''

und wo R/R'/R''/R'''' Wasserstoff (-H), Methyl (-CH₃), Methylen (-CH₂-), eine aromatische Gruppe oder eine Carbonylgruppe (-C(O)-) sein kann.

Diese Ausnahmen beziehen sich ausschließlich auf die chemische Struktur der Substanzen und sind präzise definiert, um sicherzustellen, dass nur die unbedingt erforderlichen Anwendungen zugelassen werden, während der Rest den Beschränkungen unterliegt [3].

Einordnung der PFAS-Klassen

PFAS umfassen viele anthropogene Chemikalien, jedoch variiert die Zahl in der Literatur. Zum Beispiel wurden laut der OECD/UNEP, 4.730 PFAS in der globalen Industrie identifiziert [4]. Laut der CONCAWE sind es mehr als 6.000 Stoffe [5], und laut NCBI sind es mehr als 7 Millionen individuelle PFAS-Stoffe [6]. Diese Unterschiede verdeutlichen die Komplexität und Vielfalt dieser Stoffe. Seit den 1940er Jahren werden PFAS produziert, aber erst Ende der 1990er Jahre hat eine bahnbrechende Studie von *Giesy* und *Kannan* gezeigt, dass PFOS sowohl persistent (P) als auch bioakkumulierend (B) ist [7]. Dies deutet darauf hin, dass es große Lücken in der Früherkennung von Umweltgefahren gab und es an rechtzeitigen Regulierungsmaßnahmen mangelte.

PFAS kann man mitunter grob in zwei Hauptkategorien einteilen, in polymere und in nicht-polymere PFAS [8]. Nicht-polymere PFAS werden häufig in Konsumgütern wie Textilien und Feuerlöschschäumen eingesetzt. Aufgrund ihrer Stabilität und Beständigkeit haben sie sich in verschiedenen Industriezweigen durchgesetzt. Diese Stoffe stellen jedoch ein erhebliches Risiko dar, da sie in der Umwelt bioakkumulieren und toxisch wirken können. Besonders gefährlich sind sie für die Tierwelt und den Menschen, da sie über die Nahrungskette aufgenommen werden können [10].

Polymere PFAS umfassen hingegen Fluorpolymere, seitenketten-fluorierte Polymere und Perfluoropolyether (PFPEs) [11]. Polymere bestehen aus langen Ketten aus wiederholten kleineren Einheiten, den Monomeren [12]. Je nach Struktur dieser Monomere können Polymere flexibel oder hart, durchsichtig oder undurchsichtig sowie thermoplastisch oder duroplastisch sein. Diese Eigenschaften machen sie ideal für zahlreiche Anwendungen von Verpackungen bis hin zu Baumaterialien.

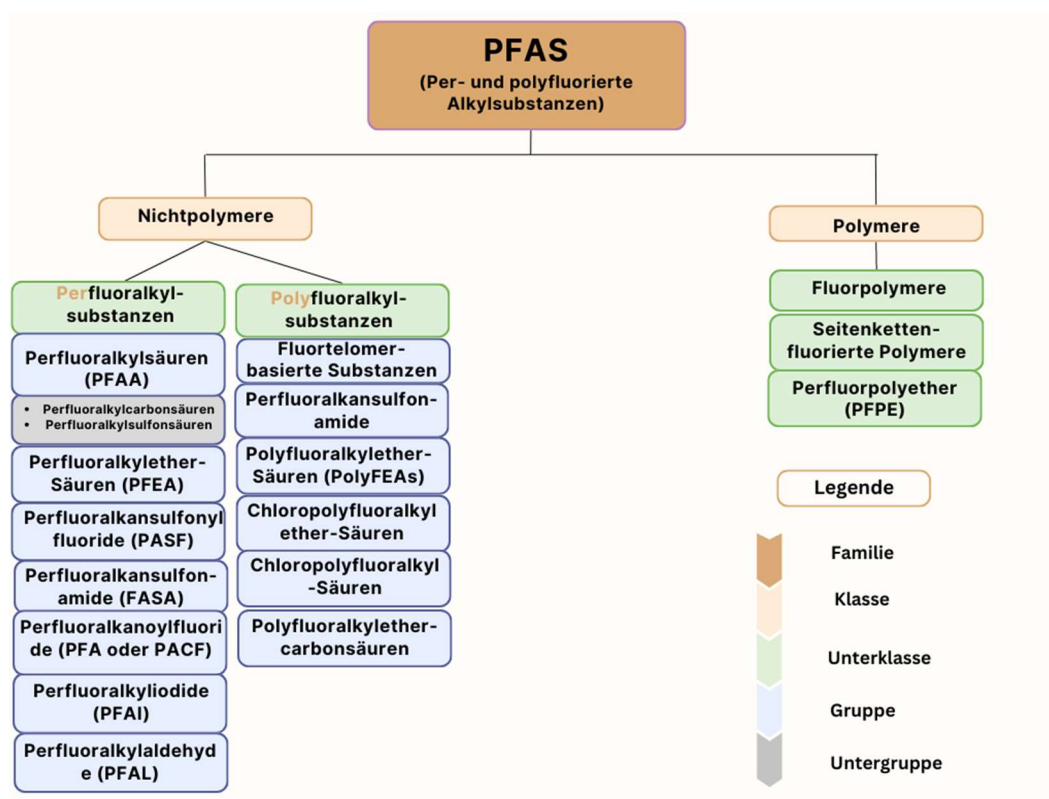


Abbildung 1: PFAS-Übersicht [9] (Adaptiert im Juni 2024)

Fluorpolymere, eine Unterklasse der Polymere, heben sich durch die spezifischen Eigenschaften, die ihnen das Fluor verleiht, deutlich aus der PFAS-Familie ab. Fluorhaltige Polymere zeichnen sich durch eine außergewöhnliche chemische Beständigkeit gegenüber fast allen Säuren, Basen und Lösungsmitteln, weshalb sie oft als Hochleistungskunststoffe bezeichnet werden, aus. Weiterhin neigen andere Materialien wie Klebstoffe oder Lebensmittel dazu, kaum an Fluorpolymeren zu haften oder lassen sich von diesen leicht entfernen. Dies macht Fluorpolymere zu bevorzugten Materialien für Beschichtungen. Darüber hinaus reduzieren sie die Reibung, was sie ideal für sogenannte Gleitreibungsbeschichtungen macht, die eine effektive, fett- und ölfreie Trockenschmierung ermöglichen [13]. Sie umfassen eine Vielzahl von vollständig oder teilweise fluorierten Kunststoffen, wie beispielsweise PTFE und PFA [14]. Die globale Nachfrage nach Fluorpolymeren beläuft sich jährlich auf etwa 100.000 Tonnen (Stand 2004). Laut der Marktanalyse von 2022 betrug die Marktgröße für Polytetrafluorethylen etwa 50,74 % des Gesamtverbrauchs aller Fluorpolymer-Teilharze. Es wird eine jährliche Wachstumsrate von 3,57 % (in Volumen) bis zum Jahr 2029 prognostiziert [15].

Obwohl einige Fluorpolymere die Kriterien für unbedenkliche Polymere erfüllen („polymers of low concern“), zeigen sie dennoch Bedenken hinsichtlich der Persistenz und Toxizität [16]. Eine Vielzahl wird bei der Bearbeitung, Anwendung, Herstellung und Entsorgung zum Teil in die Umwelt freigesetzt [17]. Wegen Ihrer rasanten Wachstumsrate und den gesundheitlichen- und umweltrelevanten Bedenken wird eine Regulierung der Stoffe entsprechend intensiv diskutiert [16].

Die Unterscheidung bzw. die Kenntnis der Eigenschaften von nicht-polymeren und polymeren PFAS ist für die Industrie von großer Bedeutung. Sie beeinflusst die Auswahl geeigneter Materialien und die Entwicklung effektiver Strategien zur Vermeidung von PFAS-Kontaminationen. Materialien, die PFAS enthalten, können während ihrer Verwendung und Entsorgung zur Umweltverschmutzung beitragen [18]. Die Industrie könnte daher die Verantwortung dafür tragen müssen, dass die verwendeten Materialien keine langfristigen Risiken für Umwelt und Gesundheit darstellen [19]. Regulierungen und Beschränkungen, wie unter REACH definiert, sollen dazu beitragen, gefährliche PFAS bei Produkten zu vermeiden und so die Industrie nachhaltiger zu gestalten [20].

Das PBT-Stoffkonzept (persistent, bioakkumulierend und toxisch) unter REACH ist für die EU-Chemikaliengesetzgebung von besonderer Bedeutung. Es basiert auf internationaler Zusammenarbeit und wissenschaftlichen Untersuchungen. Um als PBT-Stoff identifiziert zu werden, müssen Stoffe die Kriterien des REACH-Anhang XIII erfüllen [21]. Die Eigenschaften von einigen PFAS weisen auf PBT-Kriterien hin. Einige sind sehr persistent und sehr bioakkumulierbar (vPvB), dies bedeutet, dass sie sich nicht leicht abbauen und dass sie sich in lebenden Organismen ansammeln können. Andere sind nur persistent (P), während einige persistent, bioakkumulierend und toxisch sind (PBT) oder sogar sehr persistent, sehr bioakkumulierend und toxisch (vPvBT) [22]. Individuelle Vertreter von PFAS können sich über die Nahrungskette in die Biota anreichern. Für PBT/vPvB, aber auch für PMT/vPvM – Stoffe ist es möglich, diese unter REACH als SVHC (Substances of very high concern, eng., besonders besorgniserregende Stoffe, deutsch) Stoffe zu identifizieren und/oder einer Beschränkung zu unterwerfen [23]. Aufgrund der Komplexität und den potenziellen Risiken von PFAS- ist ein spezieller Prozess der Gefahrenidentifikation erforderlich. Herkömmliche Risikobewertungen reichen nicht aus, um das gesamte Spektrum der ausgehenden Gefahren zu erfassen [24]. Daher gibt es auch keine PFAS-Stoffe, die PBT/vPvB-Eigenschaften aufweisen, die als sicher gesehen werden. Sie stehen unter strengsten wissenschaftlichen und regulatorischen Beobachtungen [25].

Kettenlängen und chemische Struktur

Innerhalb der PFAS-Gruppen besteht eine wesentliche Unterscheidung zwischen langkettigen und kurzkettigen Verbindungen. Langkettige PFAS, wie Perfluorcarbonsäure (PFCA) und Perfluorsulfonsäure (PFSA) werden typischerweise als Verbindungen mit einer Kettenlängen von C8 oder länger bezeichnet. Ein bekanntes Beispiel für eine solche langkettige Verbindung sind Perfluoroktansäure (PFOA) und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS). Verbindungen mit Kettenlänge ab C6, wie z.B. Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS), werden ebenfalls als langkettig bezeichnet und haben ähnliche chemische Eigenschaften und Umweltauswirkungen wie PFAS mit längeren Kettenlängen [26]. Kurzkettige PFAS, die Kettenlängen bis C6 haben, wie Perfluorbutansäure (PFBA) und Perfluorbutansulfonsäure (PFBS), haben andere physikalisch-chemische und biologische Eigenschaften als langkettige PFAS. Das bedeutet, dass sie in der Umwelt sehr mobil sein können [27].

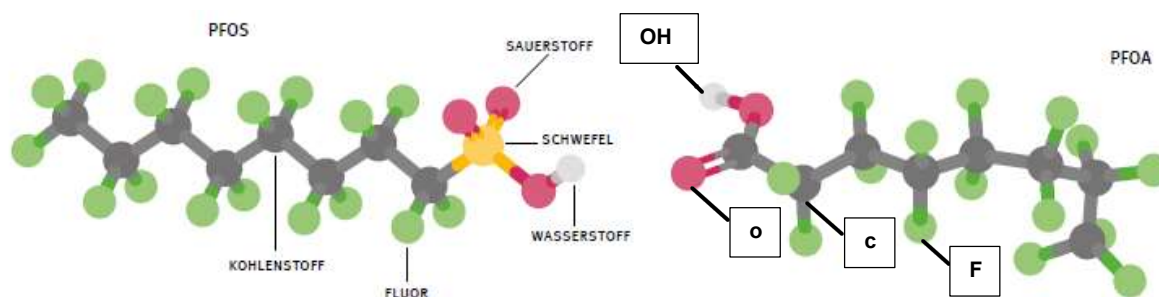


Abbildung 2: Bekannteste PFAS Gruppen PFOS und PFOA und ihre Struktur [28] (Adaptiert im April 2024)

Sowohl langkettige als auch kurzkettige PFAS werden in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt. Obwohl PFOA und PFOS aufgrund ihrer Umwelt- und Gesundheitsrisiken inzwischen weitgehend verboten sind, wurden sie früher in Beschichtungen, Dichtungsmassen und Imprägnierungen verwendet. Dadurch wurde die Langlebigkeit und Widerstandsfähigkeit erhöht. Als Alternative werden derzeit zunehmend kurzkettige PFAS wie PFBS und PFBA eingesetzt.

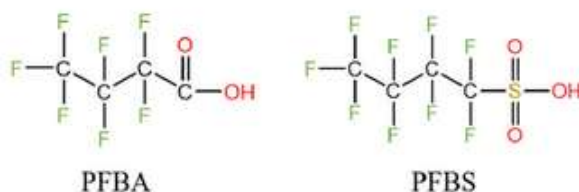


Abbildung 3 Chemische Struktur von PFBA und PFBS [30] (Adaptiert im Juni 2024)

PFBS wird unter anderem in feuerhemmenden Schäumen und Textilbeschichtungen verwendet, während PFBA in Industriereinigern und als Netzmittel in Beschichtungen verwendet wird. PFBS und PFBA sind weniger bioakkumulativ und gelten als weniger toxisch als ihre Vorgänger. Sie sind jedoch ebenso persistent und mobil, was mögliche Umwelt- und Gesundheitsrisiken darstellt [29].

Herstellung von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen

Im Jahr 1940 wurden die ersten kommerziellen Verfahren zur Herstellung von PFAS entwickelt. Die großangelegte Produktion verschiedener PFAS erfolgte ab dem Jahr 1950. Die Produktion von PFAS wird durch zwei Verfahren dominiert, die über Jahrzehnte hinweg wichtig für die industriellen Fertigungsprozesse sind: die elektrochemische Fluorierung (ECF) und die Telomerisierung [31]. Die Herstellungsmethoden sind wichtig für das Verständnis der Verteilung und des Verhaltens von PFAS in der Umwelt, aber auch um die Beziehungen zwischen den verschiedenen PFAS-Familien zu verstehen [26]. In den folgenden Unterkapiteln werden die Verfahren erläutert.

Elektrochemische Fluorierung (ECF)

Die elektrochemische Fluorierung (ECF) ist ein zentraler Prozess in der Chemieindustrie, bei dem organische Rohmaterialien wie Octansulfonylfluorid ($C_8H_{17}SO_2F$) einer Elektrolyse in wasserfreiem Fluorwasserstoff unterzogen werden [26]. Dieser Vorgang führt zur Substitution aller Wasserstoffatome durch Fluoratome, wobei nicht nur lineare und verzweigte perfluorierte Isomere, sondern auch andere Fluorkohlenwasserstoffe und Derivate entstehen [32]. Aus diesem Prozess resultieren etwa 70 % bis 85 % lineare Isomere, während dessen der Anteil der verzweigten Isomere zwischen 15 % und 30 % liegt [31]. Als Rohstoff dient dabei die Substanz Perfluoroctansulfonylfluorid (POSF, $C_8F_{17}SO_2F$), die zur weiteren Herstellung von PFOS sowie verschiedenen Polymeren und Tensiden genutzt wird. Dies ist die älteste Methode, die für die Produktion von PFOA und seiner Salze sowie für weitere perfluorierte Chemikalien eingesetzt wird. Die Produktionsschwerpunkte liegen in den USA, Europa und Japan [26]. Der ECF-Prozess wird in Industrien verwendet, die auf Materialien mit hoher chemischer Beständigkeit angewiesen sind, wie etwa die chemische Industrie und die Herstellung von Beschichtungen [33].

Telomerisierung

Die Telomerisierung, wurde in den 1970er Jahren eingeführt und stellt eine bedeutende Methode zur Herstellung von Perfluoralkylsubstanzen dar [31]. In dem chemischen Prozess reagiert ein Perfluoralkyliodid, wie das häufig verwendete Pentafluorethylid (C_2F_5I), mit Tetrafluorethylen (CF_2CF_2) zu länger-kettigen Perfluoralkyliodiden. Dieser Vorgang beginnt mit einem Startiodid, dem sogenannten Telogen, und dem Tetrafluorethylen, das als Taxogen dient. Die resultierenden Perfluoralkyliodide, bekannt als Telomer A, werden in einem zweiten Schritt weiterverarbeitet, wobei Ethylen eingeführt wird, um sogenannte Fluortelomeriodide, (oder Telomer B) zu erzeugen. Diese Zwischenprodukte dienen als Bausteine für eine Vielzahl von fluorotelomerbasierten Tensiden und Polymerprodukten [26].

In der kommerziellen Synthese werden die resultierenden Substanzen oft durch ihre Fluorkohlenstoffkettenlänge klassifiziert, wobei z. B. ein 8:2 Fluortelomeralkohol ($C_8F_{17}CH_2CH_2OH$), acht perfluorierte und zwei nichtfluorierte Kohlenstoffatome enthält. Heutzutage sind kürzere Kettenvarianten dieser Produkte gefragt, und große Hersteller haben sich entsprechend angepasst [26]. Die kommerziell am weitesten verbreitete Methode verwendet dabei lineare Telogene und Taxogene, was zu ausschließlich linearen Perfluoralkyliodiden führt, die bevorzugt in der Papier- und Textilindustrie sowie in Feuerlöschmitteln eingesetzt werden [26], [33]. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen verzweigte oder ungerade Kohlenstoffzahlen eingesetzt werden, was zu einer entsprechenden Vielfalt im Produktmix führt. Diese Verzweigungen, obwohl sie patentiert sind, werden oft nicht kommerziell genutzt. Trotzdem zeigen Umweltproben gelegentlich die Anwesenheit von isopropylverzweigten Isomeren, die im Vergleich zu ihren linearen Gegenstücken in geringeren Mengen auftreten [31].

Gesundheits- und Umweltauswirkungen von PFAS

Die wachsende Besorgnis über die Gesundheits- und Umweltschäden durch PFAS, basierend auf wissenschaftlichen Bewertungen und Empfehlungen der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA), steht im Mittelpunkt vieler wissenschaftlicher Studien und öffentlicher Debatten [34].

Forschungen haben gezeigt, dass bestimmte PFAS wie Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) mit einer Vielzahl von Gesundheitsproblemen in Verbindung gebracht werden könnten [1]. Diese Chemikalien werden auch häufig in Dichtungsmassen, Farben und Beschichtungen verwendet [18]. Laut der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) ist PFOA als reproduktionstoxisch der Kategorie 1B und als persistent, bioakkumulativ und toxisch (PBT) eingestuft [35]. PFOS wird ebenfalls als persistent, bioakkumulativ und toxisch (PBT) eingestuft und ist für seine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit bekannt [36]. Die gesundheitlichen Auswirkungen von PFOA und PFOS umfassen Leberschäden, Schwächung des Immunsystems und Entwicklungsstörungen. Darüber hinaus weisen beide Substanzen eine signifikante Langzeittoxizität für Wasserorganismen auf, was erhebliche ökologische Risiken mit sich bringt [28].

Ein besonderes Problem stellt die Kontamination von Grund- und Trinkwasser mit mobilen PFAS dar. Diese Chemikalien sind in der Umwelt beständig und können über lange Zeit in Boden und Wasser verbleiben, ohne sich abzubauen. Sie reichern sich in der Nahrungskette an und können selbst in abgelegenen Regionen wie den Polarzonen oder Hochgebirgsseen nachgewiesen werden [28]. Diese Verunreinigung stellt ein bedeutendes öffentliches Gesundheitsrisiko dar und erfordert, wenn dies überhaupt möglich ist, kostspielige Reinigungs- und Sanierungsmaßnahmen [1]. Um die Quellen unseres Trinkwassers zu schützen, bietet ein Bericht des deutschen Umweltbundesamtes *„Protecting the Sources of Our Drinking Water: PMT/vPvM Criteria“* wichtige Kriterien und Empfehlungen [37]. Der Bericht *„PMT/vPvM assessment of REACH registered Substances Detected in Wastewater Treatment Plant Effluent, Freshwater Resources and Drinking Water“* konzentriert sich auf die Bewertung von REACH-registrierten Substanzen, die in Abwässern und Trinkwasser nachgewiesen wurden [38]. Beide Berichte liefern wertvolle Informationen zur Identifikation, Bewertung und Priorisierung von PMT/vPvM-Substanzen sowie zu deren Auswirkungen auf die Umwelt und das Trinkwasser.

Die chemische Stabilität der PFAS-Verbindungen, die sie in verschiedenen Anwendungen und Produkten nützlich macht, bedeutet jedoch auch, dass sie weder in der Umwelt noch im menschlichen Körper kaum oder gar nicht abgebaut werden. Dies führt zu langfristigen Bedenken und Auswirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt [28].

Die Verbreitung von PFAS in Umwelt und Mensch

Es gibt viele Eintragspfade wie PFAS in unsere Umwelt und den menschlichen Körper gelangen können. Sie stammen sowohl direkt aus industriellen als auch aus alltäglichen Quellen [43]. Die Abbildung des deutschen Umweltbundesamtes (UBA-DE) zeigt detailliert, wie PFAS sich über Luft, Wasser und Boden verbreiten und auf diesem Wege in die Umwelt und den menschlichen Körper gelangen können [28].

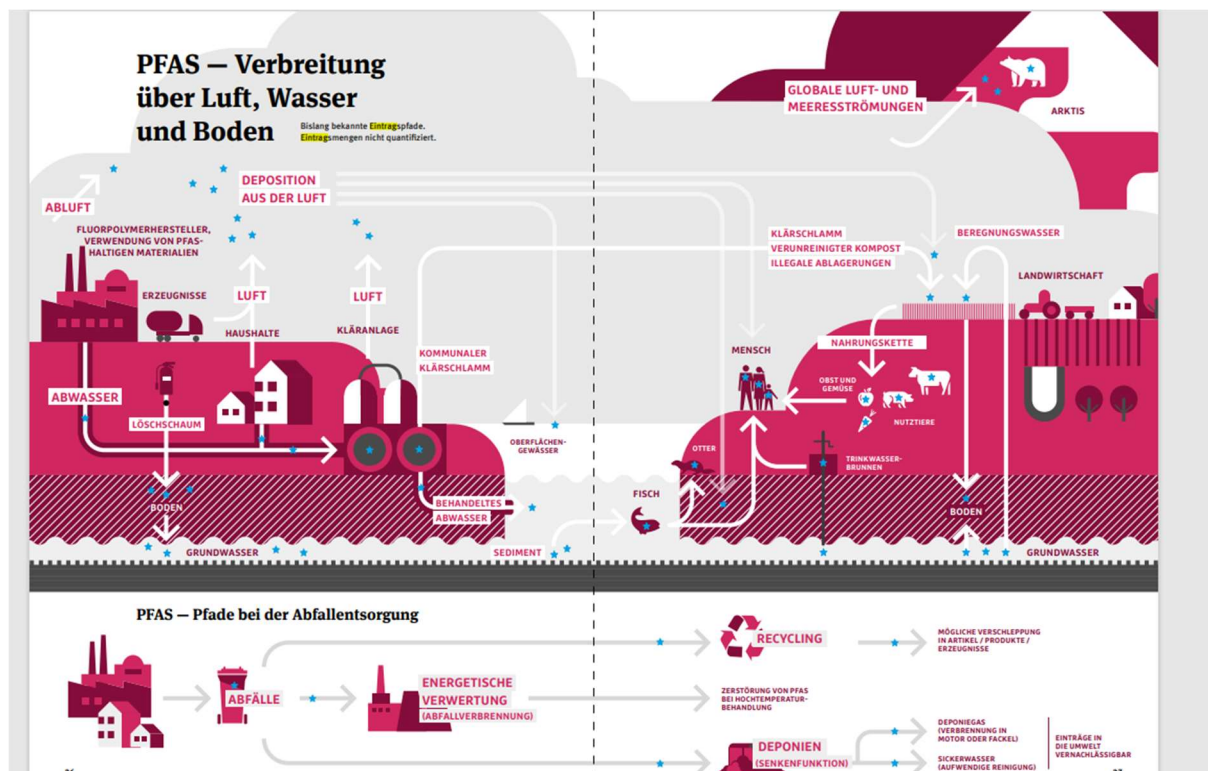


Abbildung 4 Bereits bekannte Eintragspfade von PFAS über Luft, Wasser und Boden sowie Pfade der Abfallentsorgung (UBE-DE) [28]

Haupteintragsquellen sind die Chemie-, Textil- und Papierindustrie sowie Feuerlöschmittel. Durch industrielle Verfahren wie die Herstellung und Verarbeitung von PFAS-haltigen Materialien werden diese Stoffe in Luft und Wasser freigesetzt. Insbesondere Abwässer und Abgase aus Produktionsanlagen tragen erheblich zur Umweltbelastung bei. Diese persistenten Chemikalien reichern sich in Wasserquellen und Böden an und gelangen schließlich in die Nahrungskette, was weitreichende Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit hat [28].

Gesundheitsauswirkungen

PFAS können sich im menschlichen Körper anreichern und eine Reihe von Gesundheitsproblemen verursachen. Zu den wichtigsten gehören:

Krebs: Studien haben gezeigt, dass bestimmte PFAS, wie PFOA, mit einem erhöhten Risiko für bestimmte Krebsarten in Verbindung gebracht werden können, einschließlich Nieren- und Hodenkrebs [44].

Immunsystem: PFAS können das Immunsystem beeinträchtigen und zu einer verringerten Immunantwort auf Impfstoffe und anderen Immunstörungen führen [45].

Entwicklung von Kindern: Es gibt Hinweise darauf, dass die Exposition gegenüber PFAS während der Schwangerschaft die Entwicklung des Fötus beeinträchtigen kann. Dies kann zu einem niedrigeren Geburtsgewicht, einer verzögerten Pubertät und anderen Entwicklungsproblemen führen [46].

Cholesterinspiegel: Mehrere Studien haben einen Zusammenhang zwischen PFAS-Exposition und erhöhten Cholesterinspiegeln festgestellt, was das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöhen kann [28].

Umweltauswirkungen

Mobile und sehr mobile PFAS-Verbindungen können Trink- und Grundwasser kontaminieren [47]. Dies führt zu einer Reihe von:

Wasser- und Bodenkontamination: PFAS können in Trink- und Grundwasserquellen gelangen und dort die lokale Flora und Fauna schädigen. Die Kontamination von Böden und Gewässern ist eine langanhaltende Umweltbelastung [48].

Tierwelt-Kontamination: Tiere, die in PFAS-belastenden Gebieten leben, können hohe Konzentrationen dieser Chemikalien in ihren Körpern anreichern, was zu Gesundheitsproblemen und Fortpflanzungsstörungen führen kann [28].

Kontamination von Wasser

Die Kontamination von Trink- und Grundwasser ist ein wichtiger Eintragspfad für PFAS in die Umwelt. Industrielle Abwässer transportieren PFAS in Flüsse und Seen, von wo aus sie ins Grundwasser gelangen können. Aufgrund ihrer chemischen Stabilität sind diese Stoffe nur schwer aus dem Wasserkreislauf zu entfernen, was die Trinkwasserversorgung erheblich beeinträchtigen kann [28]. PFAS gelangen jedoch nicht nur über das Wasser in die Umwelt. Sie können auch durch Emissionen aus industriellen Prozessen und der Verwendung PFAS-haltiger Produkte in die Atmosphäre gelangen, wo sie sich weiträumig verteilen und über Niederschläge in Böden und Gewässer gelangen [49]. Ein direkter Eintrag erfolgt beispielsweise durch die unsachgemäße Entsorgung von PFAS-haltigen Produkten oder Abfällen, die direkt in die Umwelt gelangen. Indirekte Einträge erfolgen durch Bewässerung in der Landwirtschaft, die Verwendung von vorbelastetem Klärschlamm als Dünger oder die Deponierung von PFAS-belastetem Material [43].

Viele Alltagsprodukte wie z.B. Kochgeschirr (beschichtete Pfannen), wasserabweisende Kleidung, Pflanzenschutzmittel und einige Kosmetika enthalten PFAS. Bei der Verwendung und Entsorgung dieser Produkte werden PFAS in die Umwelt freigesetzt. Deponien, auf denen PFAS-haltige Produkte entsorgt werden, können zu einer langfristigen Kontamination von Boden und Grundwasser beitragen [48]. Eine weitere wichtige Eintragsquelle können Klärschlämme sein, die bei der Abwasserbehandlung anfallen und PFAS-haltige Rückstände enthalten. Wird dieser Klärschlamm als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt oder unsachgemäß entsorgt, können PFAS in Boden und Grundwasser gelangen und so die Umwelt weiter belasten [50].

Besondere Risiken und zukünftige Maßnahmen

Besonders gefährdet sind Industriearbeiter, die direkt mit PFAS arbeiten, sowie Anwohner in Gebieten mit hoher PFAS-Belastung, beispielsweise in der Nähe von Chemieanlagen, Militärbasen, Flughäfen, Feuerwehrlübungsplätzen oder Orten, an denen Feuer gelöscht wurde [45]. Schwangere Frauen und Kinder sind aufgrund der möglichen Beeinträchtigungen in der Entwicklung besonders empfindlich [34].

Die Europäische Union arbeitet derzeit an der Erarbeitung von Beschränkungen für PFAS [51]. Zusätzlich existieren verschiedene EU-Verordnungen, die Trink- und Grundwasser wie auch Lebensmittel betreffen. Parallel dazu wird intensiv an der Entwicklung und Förderung alternativer Produkte gearbeitet, um Umwelt- und Gesundheitsrisiken zu minimieren. Darüber hinaus werden große Anstrengungen unternommen, um effektive Technologien zur Entfernung von PFAS aus der Umwelt zu entwickeln und die Toxizität neuer PFAS-Verbindungen zu bewerten [28]. In Österreich engagieren sich verschiedene Organisationen gemeinsam mit österreichischen Universitäten und internationalen Partnern für die Förderung ökologischen und gesunden Bauens. Dies zeigt das wachsende Bewusstsein für die Umwelt- und Gesundheitsprobleme in den verschiedensten Anwendungsbereichen.

Maßnahmen zur Reduzierung und Suche nach Alternativen zu PFAS

Angesichts dieser Risiken haben Behörden weltweit zunehmende Maßnahmen ergriffen, um die Verwendung von PFAS zu beschränken. Innerhalb der Europäischen Union gibt es sowohl nationale Beschränkungen in mehreren Mitgliedstaaten als auch umfassende Regelungen auf EU-Ebene. So haben Länder wie Deutschland, Schweden und Dänemark nationale Verbote oder Einschränkungen für PFAS in Feuerlöschschäumen, Lebensmittelverpackungen und Textilien erlassen. Auf EU-Ebene wurden unter der REACH-Verordnung und der EU-Trinkwasserrichtlinie strenge Grenzwerte und Verbote für bestimmte PFAS, wie PFOA und PFOS, festgelegt [1].

Regierungen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen arbeiten weltweit zusammen an Initiativen, um umweltfreundlichere und gesundheitlich unbedenkliche Alternativen zu PFAS zu entwickeln und umzusetzen. Beispiele hierfür sind das EU-Projekt „ZeroF“, bei dem das Fraunhofer-Institut zusammen mit industriellen Partnern PFAS-freie Materialien entwickelt [39]. In den USA arbeitet das North Carolina Collaboratory mit staatlichen Behörden und privaten Unternehmen zusammen, um PFAS zu erforschen und Alternativen zu entwickeln, Institut für Industrielle Ökologie

die direkt in politische Entscheidungen einfließen [40]. Investitionen erfolgen in verschiedenen Bereichen wie der Entwicklung neuer Wasseraufbereitungstechnologien, der Erforschung alternativer Materialien in der Materialwissenschaft, der Implementierung von Methoden zur Reduktion der PFAS-Belastung in der Landwirtschaft, der Untersuchung gesundheitlicher Auswirkungen im Gesundheitswesen sowie dem Aufbau strengerer Vorschriften und Überwachungsprogramme [41]. Eine wichtige Ressource ist die ZeroPM-Datenbank, die Alternativen zu persistenten, mobilen und toxischen Stoffen sowie zu PFAS enthält. Diese Datenbank wird ständig erweitert und bietet einen aktuellen Überblick über Alternativen zu PFAS. Weitere Informationen und Zugang zur Datenbank finden Sie hier: Datenbank der Alternativen zu persistenten, mobilen und toxischen Stoffen (PMT) und zu PFAS [42].

Regulierungen von PFAS in der EU und weltweit

Die Regulierung von PFAS findet durch unterschiedliche Gesetze und Verordnungen statt. In der Europäischen Union werden PFAS insbesondere durch die REACH-Verordnung umfasst. REACH steht für Registrierung, Evaluierung, Autorisierung und Verbot von Chemikalien (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). Hier werden alle Chemikalien, die hergestellt oder in die EU importiert werden, registriert. Bei Vorliegen bestimmter Eigenschaften und/oder Risiken sind auch strengere Regelungsmaßnahmen, wie eine Beschränkung oder Zulassungspflicht möglich [20]. Ein weiteres Ziel von REACH ist es, die Forschung an alternativen Testmethoden für die Beurteilung von gefährlichen Stoffen zu fördern. So sollen Tierversuche minimiert werden [52]. Einige PFAS zählen zu den besonders besorgniserregenden Stoffen (SVHC) und unterliegen daher aufgrund ihrer Risiken für Umwelt und Gesundheit strengen Regulierungen [1]. Bereits vor 2009 gab es Regelungen für Perfluorooctansäure (PFOA) [53]. Im Jahr 2009 hat die Europäische Union ihre Gesetze zu Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) verschärft und so einen bedeutenden Schritt in der Umweltpolitik gesetzt [54].

Unter der REACH-Verordnung und dem Stockholmer Übereinkommen sind eine Vielzahl von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen reguliert. Dies umfasst nicht nur die weithin bekannten Stoffe PFOA und PFOS, sondern auch zahlreiche andere Verbindungen [55]. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die EU im Rahmen des Stockholmer Übereinkommens nur einer von vielen Akteuren auf internationaler Ebene ist [56].

Das Stockholmer Übereinkommen

Das Stockholmer Übereinkommen wurde im Mai 2001 verabschiedet und trat drei Jahre später in Kraft. Es spielt eine zentrale Rolle im globalen Kampf gegen Umweltverschmutzung und Gesundheitsgefährdungen durch persistente organische Schadstoffe (POPs), zu denen auch einige PFAS zählen [57].

Der Hauptzweck des Übereinkommens besteht darin, die Herstellung und den Einsatz von POPs erheblich zu reduzieren. Ein wesentlicher Punkt des Abkommens ist die internationale Zusammenarbeit in Forschung, Überwachung und die Entwicklung von Alternativen zu

schädlichen Chemikalien. Besonders Entwicklungsländer profitieren von technischer Unterstützung und Kapazitätsaufbau, was ihnen hilft, ihre Verpflichtungen zu erfüllen[58].

In der Europäischen Union wird das Stockholmer Übereinkommen durch die EU-POP-Verordnung umgesetzt. Diese regelt direkt, welche Stoffe in der EU verboten oder eingeschränkt sind. Dazu gehören unter anderem Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA), deren Verwendung aufgrund ihrer Risiken für Umwelt und Gesundheit stark reguliert ist. Diese Verordnung gewährleistet, dass die Regelungen des Stockholmer Übereinkommens EU-weit rechtsverbindlich sind und kontinuierlich an neue wissenschaftliche Erkenntnisse angepasst werden[59]. Die POP-Verordnung gilt jedoch nur für PFAS-Verbindungen, die als POPs klassifiziert sind, und deckt daher nicht alle PFAS-Verbindungen ab. Für die Regulierung einer breiteren Palette von PFAS wird hauptsächlich die REACH-Verordnung eingesetzt, die es ermöglicht, auch neue oder weniger gut erforschte PFAS zu regulieren, sobald neue Erkenntnisse über ihre Gefahren vorliegen

Die Mitgliedsstaaten müssen regelmäßig ihre Fortschritte bei der Reduzierung der POP-Belastung berichten. Diese Berichte sind entscheidend, um die Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen zu bewerten und gegebenenfalls anzupassen [60].

REACH-Verordnung und ihr Einfluss auf Chemikalien

Die REACH-Verordnung, die seit 2007 in der EU gilt, regelt die Verwendung von Chemikalien, einschließlich der schwer abbaubaren und umweltschädlichen PFAS-Verbindungen. Sie wurde entwickelt, um ein hohes Maß an Schutz für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu gewährleisten, indem die von Chemikalien ausgehenden Risiken kontrolliert werden [20].

Unter REACH müssen alle Chemikalien registriert werden, die in Mengen von mehr als einer Tonne pro Jahr in der EU hergestellt oder in die EU importiert werden [20]. Dies gilt auch für PFAS. Es gibt jedoch einige Ausnahmen und Sonderregelungen für besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC), zu denen viele PFAS gehören können. Diese Ausnahmen können auch gelten, wenn die produzierte oder importierte Menge unter einer Tonne pro Jahr liegt [24]. Unternehmen müssen umfangreiche Informationen über die chemischen Eigenschaften, Verwendung und potenziellen Risiken dieser Stoffe bereitstellen. Diese Daten sind entscheidend, um die Umwelt- und Gesundheitsrisiken dieser Stoffe zu bewerten und nötigenfalls zu regulieren [20].

Öffentliche Konsultation und ECHA-Bewertung

Nachdem das Beschränkungsossier eingereicht wurde, begann die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) mit der wissenschaftlichen Prüfung des Dossiers. Diese Bewertung wird durch zwei Gremien durchgeführt: den Ausschuss für Risikobeurteilung (RAC) und den Ausschuss für sozioökonomische Analyse (SEAC) [61].

Die öffentliche Konsultationsphase lief von März bis September 2023. Während dieser Zeit wurden interessierte Parteien wie Unternehmen, Verbände und Produzenten von Alternativprodukten dazu eingeladen, ihre Meinungen einzubringen und zusätzliche Daten

bereitzustellen. Es wurden mehr als 5600 Kommentare von etwa 4400 unterschiedlichen Organisationen, Firmen und Einzelpersonen eingereicht [51].

Die wissenschaftlichen Ausschüsse der ECHA werden all diese vorgelegte Informationen bei der Formulierung Ihrer Stellungnahme zum Dossier berücksichtigen. Nach dieser Bewertungsphase wird die Europäische Kommission in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten entscheiden, ob bzw. wie genau Beschränkungen für PFAS in Anhang XVII der REACH-Verordnung aufgenommen werden [51]. Es wird erwartet, dass diese Entscheidung nicht vor dem Jahr 2026/27 fallen wird. Die folgende Tabelle, basierend auf den von der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) festgelegten Kriterien und Übergangsfristen, verdeutlicht den zeitlichen Rahmen und die Voraussetzungen für die vorgeschlagene Beschränkung von PFAS [51].

Tabelle 1: Übergangsfristen und Kriterien für die vorgeschlagene Beschränkung von PFAS (Übernommen von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Deutschland) [51]

Übergangsfristen	Kriterien
18 Monate	Anwendungen, die nicht ausdrücklich von der Beschränkung ausgenommen sind. Alternativen sind bereits verfügbar
6,5 Jahre	Alternativen sind bereits in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium, stehen aber voraussichtlich nicht innerhalb der Übergangsfrist von eineinhalb Jahren zur Verfügung, oder Wenn nicht damit zu rechnen ist, dass die bekannten Alternativen vor Ablauf der eineinhalbjährigen Übergangsfrist in ausreichender Menge zur Verfügung stehen oder einsatzfähig werden.
13,5 Jahre	Für die in absehbarer Zeit keine Alternativen zur Verfügung stehen oder bei ausreichenden Informationen, dass eine Zertifizierung von Alternativen innerhalb eines Zeitraums von sechseinhalb Jahren nicht möglich sein wird.
Potenzielle Ausnahmen	Potenziell wäre eine Ausnahme gerechtfertigt für bestimmte Stoffe, jedoch für eine Begründung reichen die vorliegenden Informationen aus der Literatur nicht aus.

Aktuelle Entwicklungen zur Beschränkung von PFAS in der EU

Mit der Verordnung (EU) 2024/573, die am 11. März 2024 in Kraft getreten ist, hat die Europäische Union neue Standards für die Regulierung fluorierter Treibhausgase gesetzt, die erhebliche Auswirkungen auf verschiedene Industriezweige haben. Die Verordnung fordert die Entwicklung und den Einsatz von Ersatzstoffen und legt klare Verantwortlichkeiten für das Recycling und die Rückgewinnung fest. Weiterhin müssen Unternehmen, die mit diesen Chemikalien arbeiten, detaillierte Maßnahmen zur Vermeidung von Emissionen dokumentieren und belegen können, dass diese entweder zerstört oder fachgerecht zurückgewonnen wurden. Die Verordnung betont stark die Bedeutung von Transparenz und

der Anwendung der besten verfügbaren Techniken, um die Freisetzung dieser Schadstoffe in die Umwelt zu minimieren [62].

Die aktuellen Entwicklungen zur Beschränkung von PFAS sind vor allem durch den europäischen "*Green Deal*" und die darauffolgenden legislativen Maßnahmen geprägt. [63].

Einige der wichtigsten Initiativen und Regelungen sind:

EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit: Im Zuge des Europäischen *Green Deals* wurde eine umfassende Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit vorgestellt. Diese Strategie beinhaltet konkrete Pläne zur Reduktion und Regulierung von PFAS. Die Strategie setzt sich zum Ziel, PFAS nur in unverzichtbaren Bereichen zuzulassen und langfristig sicherere Alternativen zu fördern [64].

Nationale Aktionspläne und spezifische Beschränkungen: Die Ansätze zur Regulierung von PFAS variieren stark zwischen den Ländern. Dänemark hat bereits 2020 ein Verbot von PFAS in Lebensmittelverpackungen erlassen und verfolgt generell einen strikteren Kurs, der über die EU-Vorgaben hinausgeht [65]. Auch Schweden setzt auf strenge Beschränkungen, insbesondere im Bereich Feuerlöschschäume, und fördert intensiv die Forschung zu den Umweltauswirkungen von PFAS [66]. Frankreich hat vergleichbare Maßnahmen im Bereich Feuerlöschschäume umgesetzt und arbeitet gleichzeitig an der Entwicklung von Alternativen für andere Anwendungsbereiche [67]. Deutschland konzentriert sich stärker auf die Zusammenarbeit auf EU-Ebene und unterstützt die Entwicklung umfassender EU-weiter Regelungen, ohne bislang strikte nationale Verbote erlassen zu haben [68]. Die Niederlande legen ihren Schwerpunkt auf den Schutz von Wasserressourcen und ergänzen ihre nationalen Maßnahmen durch eine starke Unterstützung für EU-weite Beschränkungen von PFAS [69].

Österreich hat einen nationalen Aktionsplan entwickelt, der Strategien und Maßnahmen zur Reduktion der Exposition gegenüber PFAS festlegt. Der Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Risiken durch PFAS basiert auf der Einhaltung strenger EU-Vorgaben. Insbesondere in den Bereichen Trinkwasser und Lebensmittel wird auf die Überwachung und Einhaltung der EU-weiten Grenzwerte geachtet, die national umgesetzt werden. Zudem setzt Österreich auf die Förderung von Forschung zur Entwicklung umweltfreundlicher Alternativen für PFAS-haltige Produkte. Der österreichische Aktionsplan orientiert sich stark an den EU-weiten Vorgaben, wird jedoch durch nationale Maßnahmen ergänzt, um spezifische Risiken gezielt anzugehen.

Damit folgt Österreich einem Ansatz, der ähnlich wie in Deutschland auf eine enge Zusammenarbeit auf EU-Ebene setzt, jedoch auch nationale Anstrengungen verstärkt, um den Umgang mit PFAS zu reglementieren und langfristig zu reduzieren [70].

Öffentliche Konsultationen und Forschungsprojekte: Durch öffentliche Konsultationen und die Unterstützung von Forschungsprojekten strebt die Europäische Kommission danach, ein tieferes Verständnis für die Präsenz, Risiken und die effektivsten Behandlungsmethoden von PFAS-Verunreinigungen zu erlangen. Diese Bemühungen sind essenziell für fundierte Entscheidungen über die Regulierung dieser Chemikalien [1].

Überwachung und Berichterstattung: Die Europäische Union hat die Mechanismen zur Überwachung und Berichterstattung über die Nutzung von PFAS im Rahmen der REACH-Verordnung verstärkt. Diese Verordnung dient der Kontrolle von Chemikalien und zielt darauf ab, die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben durch die Mitgliedstaaten und die Industrie zu gewährleisten. Zudem soll der Fortschritt bei der Reduktion dieser Substanzen überwacht werden. Teil der Überwachungsmaßnahmen sind umfassende Datenerhebungen und regelmäßige Berichte über die Herstellung, Verwendung und Freisetzung von PFAS. Diese Informationen werden genutzt, um die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Minimierung der PFAS-Belastung zu bewerten. Darüber hinaus stellt die REACH-Verordnung sicher, dass durch die Berichterstattung Risiken kontinuierlich bewertet und die Regulierung bei Bedarf angepasst werden kann. So wird eine nachhaltige Reduktion der PFAS-Belastung angestrebt, um langfristig negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit zu minimieren [3].

Die Regulierung von PFAS bleibt eine herausfordernde Aufgabe, um den Schutz von Menschen und Natur mit den technischen Erfordernissen für die zukünftigen Aufgaben zur Erreichung des *Green-Deals* und der Sicherung der Wirtschaftsstandorte in Europa zu verbinden.

Das Essential Use-Konzept

Das Konzept der „wesentlichen Verwendung“ „*Essential Use Concept (EUC)*“ wurde als Mitteilung C/2024/2894 der Europäischen Kommission am 26. April 2024 veröffentlicht [71]. Als Mitteilung ist das EUC nicht rechtsverbindlich und muss erst in geeigneter Weise in einzelne Gesetzgebungen eingebunden werden. Die Mitteilung als solche ist ein Satz an Leitkriterien und Grundsätzen, der einen Einblick erlaubt, was die Europäische Kommission unter „wesentlich“ versteht. Die Mitteilung definiert jedoch nicht, wie genau eine solche Bewertung und Gewichtung erfolgen bzw. wie und von wem Interessenkonflikte bei konkurrierenden Zielen aufgelöst werden könnten.

Die Grundidee des EUC besteht darin, eine Entscheidungsstruktur zu schaffen, die festlegt, welche Verwendungen von s.g. MHC („Most Hazardous Chemicals“ bzw. dt. „schädlichste Stoffe“) als wesentlich gelten und daher von Beschränkungen ausgenommen werden können. Als wesentlich gelten Anwendungen, die entscheidend für Gesundheit, Sicherheit oder das gesellschaftliche Wohl sind bzw. für die keine technisch und wirtschaftlich geeigneten Alternativen verfügbar sind.

Das EUC könnte in Zukunft auch für PFAS angewendet werden, wenn dieses z.B. in die REACH-VO eingebettet werden würde. Typische Beispiele für wesentliche Verwendungen von PFAS sind bestimmte medizinische Geräte und spezielle Sicherheitsausrüstungen, die ohne PFAS nicht dieselbe Effektivität oder Sicherheit erreichen würden. Jede Verwendung von PFAS müsste so sorgfältig geprüft werden, um zu entscheiden, ob sie als wesentlich gelten könnte. Die Rechts(un-)sicherheit und der Arbeitsaufwand, die damit verbunden sind, können aus heutiger Sicht aufgrund fehlender konkreter Regelungen nicht abgeschätzt werden, weshalb das EUC noch einige Zeit kontroversiell diskutiert werden wird.

Interviews und online-Befragung von Betrieben

Vorgangsweise

Um die PFAS-Beschränkung zu verstehen, welche Auswirkungen zu erwarten sind, oder auch wie die Industrie derzeit das Thema wahrnimmt, wurden Expertinnen-Interviews herangezogen. Es wurden 16 Unternehmen befragt, die aus den Sparten Industrie und Gewerbe kommen.

Im April 2024 startete die WKÖ eine Online-Umfrage zum Thema ‚Relevanz von PFAS für österreichische Unternehmen mit einer Aussendung an etwa 1000 Unternehmen. Sie brachte eine große Zahl an Rückmeldungen von 120 Unternehmen aus verschiedenen Bereichen bzw. Anwendungen.

Ergebnisse der Interviews

Dieses Projekt, initiiert von der Wirtschaftskammer Österreich (WKÖ), untersucht die Auswirkungen einer möglichen PFAS-Beschränkung auf die österreichische Industrie. Die Ergebnisse sind nach verschiedenen Anwendungsbereichen der PFAS, in Anlehnung an die Branchen der WKO-Systematik, gegliedert.

Elektro- und Elektronikindustrie

In der Elektro- und Elektronikindustrie werden PFAS in vielfältiger Weise eingesetzt, wie aus den Rückmeldungen von 20 verschiedenen Unternehmen dieser Branche (Fragebögen und Interviews) hervorgeht. Hauptaussagen sind, dass keine PFAS absichtlich eingesetzt werden und sich PFAS nur in den zugelieferten Komponenten befinden, darunter verschiedene Fluorpolymere wie PTFE (Polytetrafluorethylen), ETFE (Ethylen-Tetrafluorethylen), FEP (Fluorethylenpropylen), PVDF (Polyvinylidenfluorid) und PFA (Perfluoralkoxy-Polymere). Diese PFAS sind in Rohmaterialien und Zulieferteilen vorzufinden, vor allem in den Dichtungen und Leitungsmaterialien, aber auch in Hilfs- und Betriebsstoffen. Obwohl keine Verwendung von PFAS als beabsichtigte Zusatzstoffe in ihren Produkten bekannt ist, sind PFAS in einigen Prozesschemikalien, Maschinen und Produktionsanlagen enthalten und gelangen so indirekt in den Produktionsprozess.

Hauptanwendungen von PFAS in dieser Industrie wurden von 15 der Befragten beantwortet. PFAS werden aufgrund ihrer thermischen und chemischen Beständigkeit, Flammschutz und wegen ihrer Durchschlagfestigkeit in folgenden Bereichen angewendet:

1. Isolationsmaterialien und Elektronikbauteile, in Komponenten wie Kabeln, Drähten, Schrumpfschläuchen und Dichtungen
2. Gleitlager und Dichtungen, da PFAS in elektrischen Geräten die Gleiteigenschaften verbessern. PFAS verhindern hier auch die Leckagen durch ihren Einsatz in Verteil- und Übertragungstransformatoren.
3. Prozesschemikalien und Klebstoffe: PFAS werden als Reinigungs- und Trennmittel verwendet.

4. Halbleiterproduktion und Maschinen für die Leiterplattenfertigung: PFAS werden bei der nasschemischen Vorbehandlung von Silizium-Scheiben (Grundlage für die Herstellung von Mikrochips) verwendet und sind in Fotolacken enthalten. Ein Großteil der Maschinen in der Leiterplattenfertigung besteht aus PFAS, da sie chemiebeständig und reinraumgeeignet sind.
5. Schmierstoffe auf PTFE-Basis, da sie bei Extremtemperaturen die Gleiteigenschaften in beweglichen Teilen unterstützen.
6. Beschichtungen (Lacke): Um den Schutz von Leistungsschalter-, Schaltanlagen-, Umrichter- und Transformatorkomponenten zu gewährleisten, werden PFAS-basierte Feststoffe eingesetzt, die auch unter rauen Umweltbedingungen ihre Funktion erhalten können.
7. Spezielle Kabel, die den Steuerungssystemen und die Datenkommunikation in Hochspannungsgeräten ermöglichen (speziell entwickelte Glasfaserkabel die PFAS enthalten).

Die Elektro- und Elektronikindustrie steht, wie viele andere Branchen auch, vor einer großen Herausforderung, wenn es darum geht, PFAS zu beschränken oder ganz auf PFAS-haltige bestimmte Materialien zu verzichten. Die Auswirkungen eines Verzichts auf diese Materialien haben 13 von den 20 befragten Unternehmen der Branche mit großen Nachteilen deutlich gemacht. Hier wurden die Produktions- und Lieferengpässe im Sinne der reduzierten Verfügbarkeit bestimmter Komponenten genannt. Dies hätte direkte Auswirkungen auf die Produktion von Geräten und Anlagen bzw. es würde zu Produktionsausfällen führen. Die Unternehmen befürchten den Verlust der Wettbewerbsfähigkeit, was wiederum bis zu Lieferunfähigkeiten führen könnte und in einigen Fällen auch existenzgefährdend sein könnte (Verlust von Arbeitsplätzen).

Die Suche nach geeigneten Substituenten für PFAS gestaltet sich auch in dieser Branche als eine komplexe Herausforderung, wie die Interviews mit den Unternehmen der Branche zeigten. Der Mangel an Alternativen, die die physikalischen Anforderungen erfüllen, würde den Produktionsbetrieb beeinträchtigen. Der PFAS-Verzicht könnte zu einer eingeschränkten Funktionalität und Sicherheit der Produkte und des Betriebes führen. Ein hoher Aufwand für die Neugestaltung bzw. den Wechsel zu neuen Materialien würde einen erheblichen Zeit- und Ressourcenaufwand erfordern, da die Produkte neugestaltet werden müssen und im Nachhinein getestet und zertifiziert werden müssen. Laut den Aussagen würde dies laufende Nachhaltigkeitsaktivitäten behindern. Weiterhin befürchten die Unternehmen bei einem Ausstieg aus PFAS ohne Gewähr eines zeitnahen Substituenten mögliche Folgen wie die Stilllegung installierter Produkte oder Anlagen, insbesondere im europäischen Stromnetz. Wichtig zu erwähnen ist die Verfügbarkeit einer bestehenden PFAS-freien Alternative für einige Komponenten, wie zum Beispiel für Kabel und Leitungen, die mit höheren Kosten verbunden sind und sich deswegen noch nicht durchgesetzt haben. Alle befragten Unternehmen sind abhängig von ihrer Lieferkette, wenn es um die Verfügbarkeit von Ersatzstoffen geht, da sie selbst keine Hersteller sind, sondern, wie erwähnt, nur die zugekauften Teile weiterverarbeiten.

Eine Freisetzung von PFAS in die Umwelt findet laut den 20 befragten Unternehmen unter den normalen Betriebsanwendungen/Betriebsbedingungen wie auch bei der Gerätefertigung nicht statt. Hier spielen die Branchenstandards für Sauberkeit und die fachgerechte Entsorgung eine zentrale Rolle. Die Gerätefertigungen werden strengstens kontrolliert, um eine Freisetzung von PFAS zu vermeiden. Jedoch sind einige von den Befragten der Meinung, dass es während des Montageprozesses, insbesondere bei Kabeln, die direkt im Erdreich montiert werden, zu einer Freisetzung von PFAS in den Boden kommen könnte. Das wird als eventuelles, nicht systematisches Risiko angesehen. Bei unsachgemäßer Durchführung des End-of-Life-Verfahrens könnte es ebenfalls zu einer Freisetzung kommen. Hier wird die Bedeutung von korrekten Verwertungsverfahren und der fachgerechten Entsorgung unterstrichen.

Die Unternehmen berichteten, dass sie bereits jetzt spürbare Konsequenzen feststellen konnten. Die Meinungen und Erfahrungen der Unternehmen variieren allerdings stark. Einige berichten von einer Zunahme an Kundenanfragen bezüglich PFAS-haltigen Produkten, was wiederum zu erheblichen administrativen Aufwendungen führt, und andere, dass ihnen bisher keine direkten Auswirkungen bekannt sind oder dass sie keine wichtigen Auswirkungen feststellen konnten. In beiden Fällen prägt die Unsicherheit die Branche, da die unklare Lage und das Fehlen einer einheitlichen globalen Strategie einen hohen Aufwand an Aufklärungsarbeiten, sowohl auf Kundenseite als auch bei den Lieferanten, verursacht.

Auf die Frage, was aus Sicht der Unternehmen eine sinnvolle rechtliche Lösung wäre, wird in 9 von den 20 Vorschlägen die Notwendigkeit einer durchdachten und differenzierten Regelung gesehen, die sowohl dem Umweltschutz als auch den industriellen Erfordernissen Rechnung trägt.

Die vorgeschlagenen rechtlichen Lösungen umfassen:

1. Aufnahme in REACH ANNEX XVII: Eine klare Meinung ist, dass PFAS unter die bestehenden Beschränkungen der REACH-Verordnung fallen sollte, wobei spezielle Anwendungen zeitlich begrenzt zugelassen werden sollten. Dies soll regelmäßig evaluiert werden, vor allem, wenn passende Substituenten verfügbar wären. Wo noch keine Alternativen vorhanden sind, sollten ausreichende Übergangsfristen eingeräumt werden, um der Industrie Zeit zu geben, geeignete Ersatzstoffe zu entwickeln und umzusetzen.
2. Verbot in spezifischen Anwendungen: Die Verwendung von PFAS sollte in sensitiven Bereichen mit Freisetzungspotenzial vollständig verboten werden, wie zum Beispiel in Feuerlöschschäumen, Lebensmittelverpackungen, Trinkwasseraufbereitungsanlagen oder auch in Kleidung.
3. Realistische Übergangsfristen: Die Befragten hatten einen Vorschlag von 10 bis 12 Jahren als Übergangsfrist, was der Industrie genug Zeit geben sollte für die Umstellung auf PFAS-freie Materialien. Das betrifft hauptsächlich die Ersatzteile bei bestehenden Anlagen, um die Sicherheit und Funktionalität zu gewährleisten.
4. Differenzierte Betrachtung spezifischer Sektoren: Bestimmte Industriezweige sollten je nach Umfang der PFAS-Verwendung und den Umweltauswirkungen

unterschiedlich reguliert werden. Vor allem Branchen mit hohem Freisetzungspotenzial von PFAS bei Herstellung oder Anwendung müssen im Rahmen des EU *Green Deals* besonders beachtet werden. In diesen Bereichen sind strengere Maßnahmen zur Reduzierung oder zum Verbot von PFAS notwendig.

5. Risikobasierter Ansatz: Der Ansatz soll gezielt auf das Kontaminationsrisiko von PFAS hinweisen. Dies bedeutet, dass die Regulierung auf den absehbaren Risiken basiert, die durch die Freisetzung bestimmter PFAS in die Umwelt entstehen. Dabei ist eine genaue Definition der betroffenen Stoffe wichtig, um klar zu bestimmen, welche Substanzen besonders problematisch sind. Durch die Nennung der spezifischen PFAS-Verbindungen mit ihren CAS-Nummern soll sichergestellt werden, dass die Verbote gezielt nur die Stoffe betreffen, die ein besonders hohes Risiko für Mensch und Umwelt darstellen. So wird verhindert, dass pauschale Verbote alle PFAS betreffen und trotzdem ein effektiver Schutz vor den Gefahren gewährleistet wird.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Verwendung von PFAS-haltigen Materialien in der Elektro- und Elektronikindustrie derzeit nicht wegzudenken ist, jedoch aktiv an der Minimierung der Freisetzung gearbeitet wird. Obwohl die Unternehmen vor erheblichen technischen und regulatorischen Herausforderungen stehen, stehen sie der Entwicklung von Ersatzstoffen positiv gegenüber.

Verarbeitende Industrie (Holz-, Glas-, Karton- und Papierindustrie)

In der Online-Befragung erläuterten neun Vertreter dieser Industrie verschiedene Aspekte der PFAS. Einige Branchenverbände der Holzindustrie gaben an, dass in ihren Produkten keine PFAS enthalten sind. Andere Unternehmen der Papierindustrie gaben jedoch an, dass fluorierte Verbindungen in zugekauften Lackzubereitungen oder Waschlösungen enthalten sein könnten. Fluor und Teflon wurden ebenfalls speziell erwähnt, und in einem Fall wurden auch Copolymere genannt, da sie aufgrund ihrer chemischen Formel PFAS-Verbindungen enthalten.

Hinsichtlich der Verwendung von PFAS ergibt sich aus den Antworten ein gemischtes Bild, das von einer vollständigen Vermeidung bis hin zu spezifisch notwendigen Anwendungen reicht. Einige berichten, wie bereits oben erwähnt, dass in ihren Produkten keine PFAS enthalten sind. Andere geben an, dass PFAS nur in zugekauften Produkten enthalten sind, wobei diese nicht immer im Detail bekannt sind, da sie möglicherweise unterhalb einer Mengenschwelle liegen und daher nicht genau in den Sicherheitsdatenblättern angegeben werden müssen. Ein Unternehmen berichtet von PFAS-haltigen Produkten in Dichtungen und Silikonölen als Hydrophobierungsmittel in Fußbodenprodukten, wobei teilweise Ersatzstoffe verwendet werden.

Die Unternehmen geben an, dass unter normalen Betriebsbedingungen keine oder nur minimale Mengen an PFAS aus ihren Produkten oder Produktionsprozessen freigesetzt werden. Aussagen wie „keine Freisetzung“ oder „unter normalen Umständen keine PFAS-Freisetzung“ wurden mehrfach gemacht. Allerdings sehen die Unternehmen ein Risiko bei der unsachgemäßen Entsorgung von Produkten oder Abfällen, die PFAS enthalten. Um

dieses Risiko zu verringern, setzen sie Maßnahmen um, wie zum Beispiel bessere Entsorgungspraktiken und strengere Kontrollen, um sicherzustellen, dass PFAS nicht ungewollt in die Umwelt gelangen.

Die Unternehmen geben an, derzeit keine Ersatzstoffe zu verwenden oder dass diese einfach nicht verfügbar sind. Es wird betont, dass die vorhandenen Substituenten im Moment nur eingeschränkt verfügbar sind, dass es aber bei erhöhter Nachfrage langfristig zu Kostensteigerungen bei der Materialbeschaffung führen wird. Es wird auch in diesen Branchen aktiv nach Alternativen, insbesondere im Bereich der Fluorverbindungen, gesucht. Die Papierindustrie zieht wachshaltige Produkte als Alternative in Betracht, ohne jedoch auf konkrete Veränderungen oder die Wirksamkeit dieser Alternativen einzugehen. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Alternativen noch nicht die gewünschten Ergebnisse liefern oder dass es Bedenken hinsichtlich ihrer Funktionalität und Anwendbarkeit gibt, was möglicherweise zu Abstrichen in der Leistung führen könnte.

Die Konsequenzen einer Beschränkung von PFAS, die von den neun Unternehmen angegeben wurden, sind eine Verschlechterung der Produktqualität, die hauptsächlich Leistungsverluste mit sich bringt, aber auch Verkaufseinschränkungen, bürokratische Aufwände, Mangel an Alternativen und die komplizierte Kontrolle der Lieferanten und der Rohstoffe.

Bei der Frage, ob es bereits spürende Konsequenzen gegeben hat, haben 6 von neun Unternehmen mit „keine“ oder mit „noch nicht“ geantwortet, jedoch gab es auch einige Unternehmen, die bereits spürbare Veränderungen und Herausforderungen im Betrieb identifiziert haben. Hier wird über aufwendigen Ressourcenbedarf einschließlich mehr Personal und höheren Kosten (Rechtsberatung) und über eine erhöhte Anzahl an Kundenanfragen berichtet. Es werden auch notwendige spezifische Anpassungen in den Geschäftsprozessen erwähnt, wie die Substitution im Bereich der Kantenhydrophobierung bei Fußbodenprodukten und die Adaptierung der Lieferkettenbefragungen als proaktive Maßnahme zur Anpassung an eine erwartete Beschränkung.

Die Meinungen der befragten Unternehmen zu den sinnvollen rechtlichen Lösungen einer PFAS-Beschränkung decken ein breites Spektrum an Vorschlägen ab. Diese zielen sowohl auf den Schutz der Umwelt als auch der Industrie ab. Ein Vorschlag, der hervorgehoben wurde, ist ein allgemeines Verbot von kurz- und mittelkettigen Fluorverbindungen. Dies würde eine klare und direkte Vorgehensweise darstellen, um die Verwendung bestimmter schädlicher Chemikalien einzuschränken. Hier wurde auch eine Einschleifregelung vorgeschlagen, um vorhandene Strukturen und Prozesse schrittweise umzustellen. Eine weitere Idee wurde erläutert, und zwar mit einer globalen PFAS-Regelung die Schaffung eines „One-Stop-Shops“ um globale Material-Compliance-Auskünfte zu unterstützen. Dies würde eine Erleichterung für Unternehmen in Bezug auf Austausch von Informationen im Sinne der Anforderungen und Vorschriften sein. Zusätzlich wurde die Bedeutung einer genauen Definition der Regulierung und einer baldigen Kommunikation dieser an die Hersteller betont. Es würde den Unternehmen helfen, rechtzeitig auf Änderungen zu reagieren und dementsprechende Anpassungen vorzunehmen.

Insgesamt erhoffen die Unternehmen der Branche einen ausgewogenen Ansatz, der sowohl dem Umweltschutz als auch die ökonomischen und praktischen Realitäten der Branche berücksichtigt.

Metall(technische) Industrie

Nach Angaben von 13 der 17 befragten Unternehmen der metalltechnischen Industrie werden PFAS-Verbindungen in großem Umfang eingesetzt. Die übrigen Betriebe antworteten mit „keine“ und mit „*kann nicht genau sagen*“. Die spezifischen PFAS in Ihren Produkten sind PFOS (Tridecafluorooctansulfonsäure), PFPE (Perfluorpolyether), PTFE (Polytetrafluorethylen) und FEP (Perfluorethylenpropylen).

Bei der Frage nach den Anwendungsbereichen betonten die Unternehmen, wie wichtig PFAS für ihre industriellen Prozesse und Produkte sind. Unter anderem werden PFAS als Netzmittel zur Schaumbildung bei der Hartverchromung, in Dichtungen von Hydraulikzylindern, in Transportkälteanlagen und zur Schmierung von Maschinen eingesetzt. Da hochwertige Dichtungsprodukte, die in der chemischen Industrie zum Einsatz kommen, von der chemischen Beständigkeit und Langlebigkeit der PFAS profitieren, sind sie trotz der Bedenken hinsichtlich der Umwelt- und Gesundheitsrisiken in metallverarbeitenden Prozessen nicht wegzudenken. Der PFAS-Einsatz umfasst vor allem Schmierstoffe, Dichtbänder, O-Ringe, Kunststoffpolymere, Lacke und Farben sowie spezielle Maschinenteile wie Teflon-beschichtete Bauteile. Weiterhin werden PTFE-Partikel als Verdicker in Schmierölen und PFPE als Grundöl erwähnt. Einige verwenden PFAS auch in Papier, in geringen Mengen als Verarbeitungshilfen in bestimmten Kunststoffen wie LDPE (Low-Density-Polyethylen) und in fluorkautschukbasierten Produkten. Es wurde auch noch das Teflon-Spray für Maschinen und chemikalienbeständige Materialien genannt. Ein Unternehmen gab an, eine Vielzahl an unterschiedlichen PFAS in kritischen Produktbereichen zu verwenden, jedoch ohne spezifische Auflistung der Verbindungen.

Die Suche nach geeigneten Alternativen zeigt sich auch in dieser Branche als eine große Herausforderung. Viele betonten, dass potenzielle Alternativen entweder von ihren Chemielieferanten noch getestet werden müssen oder dass momentan keine äquivalenten Substitute vorhanden sind. Einige Unternehmen berichten, dass in manchen Bereichen bereits Ersatzstoffe identifiziert wurden, und zwar für bestimmte Anwendungen wie für Kältemittel. Hier werden natürliche Alternativen wie Propan (R290), Propylen (R1270), CO₂, Ammoniak und Wasser genannt. Diese Stoffe werden bereits als Ersatz in traditionellen PFAS-haltigen Kältemitteln eingesetzt. Bei anderen Produkten dieser Branche läuft die Suche nach Ersatzstoffen. Einige der Befragten gaben an, dass sie mit Forschungseinrichtungen wie z. B. Klüber Lubrication GmbH & Co. KG oder Eurofins GmbH arbeiten, um Alternativen zu entwickeln. In Fällen, wo Substitute schon zur Verfügung stehen, können umfangreiche Verfahrensumstellungen erforderlich sein, was wiederum einen signifikanten Aufwand der Herstellerseite nach sich zieht.

Das Thema der PFAS-Freisetzung in die Umwelt wurde von 10 der 17 Unternehmen verneint. In den restlichen sieben Unternehmen wurde zum Beispiel die Nutzung von Sprays, die PFAS enthalten, als ein möglicher Freisetzungspfad erwähnt sowie auch die fertigen

Verpackungen, die PFAS enthalten. Jedoch wird bei vielen Produktionsprozessen darauf geachtet, Freisetzungen zu minimieren. Zum Beispiel werden PFPE-Schmierstoffe aufgrund ihrer niedrigen Abdampftraten in Reinraumanwendungen eingesetzt und durch entsprechende Filteranlagen aufgenommen. Die Produktionshallen sind häufig mit Absaugungen und Filtern ausgestattet, die ebenfalls dazu beitragen, die Freisetzung von PFAS zu verhindern. Die Entsorgung von PFAS-haltigen Abfällen wird korrekt durchgeführt, um Umweltbelastungen zu vermeiden, berichten die Befragten. In einigen Fällen, vor allem bei der Verarbeitung von kurzkettigen Monomeren, kann es während des Sinterprozesses von PTFE bei hohen Temperaturen zu Freisetzungen über Abgase kommen, die wiederum durch technische Nachverbrennung (TNV) behandelt werden. Hier bleiben die Monomere unter der Nachweisgrenze.

Es wurden zahlreiche Bedenken hinsichtlich eines möglichen Verzichts auf PFAS geäußert. Einer der Nachteile eines Verzichts wäre der Verlust spezifischer technischer Funktionen, die derzeit nur mit PFAS möglich sind. Beispielsweise bei der Hartverchromung, was das Ende der Schaumbildung bedeutet, was zu einer erhöhten Freisetzung von Chrom (VI) in die Atmosphäre führen könnte. Es wird auch auf die Verkürzung der Nachschmier- und Wartungsintervalle für Dichtungen hingewiesen, was die Verfügbarkeit der Anlagen reduziert und den Materialverbrauch bei der Instandhaltung erhöht. Die Branche befürchtet, dass die vorgesehenen Ausnahmeregelungen einen zu kurzen Zeitraum für die Forschung und das Erproben von Alternativen bieten werden, was zu hohen Kosten führen könnte, die letztlich auf die Produktpreise umgelegt werden müssen.

Während einige Unternehmen, genau genommen sieben Unternehmen von befragten 17, keine direkten Konsequenzen festgestellt haben, berichten die restlichen zehn von großen Auswirkungen auf ihre Geschäftstätigkeit und Produktpassungen. Einige bemerkten, dass ihre Kunden bereits proaktiv die Verwendung von PFAS-freien Produkten fordern, auch wenn entsprechende gesetzliche Verordnungen noch nicht veröffentlicht oder in Kraft getreten sind. Beispielsweise wurden die Lacke und Farben bereits jetzt größtenteils auf PTFE-freie Alternativen umgestellt. Auch bei der Entwicklung von Papier und LDPE-Folien wird aktiv an der Entwicklung von PFAS-freien Alternativen gearbeitet. Auch in dieser Branche wird von enormem Informations- und Koordinationsaufwand gesprochen, der mit der Reaktion auf die Beschränkung und Vorschriften bezüglich PFAS verbunden ist. Viele aus der Branche befürworten eine Mengenregulierung statt eines vollständigen Verbots und betonen die Notwendigkeit, Ausnahmen für bestimmte Anwendungen, insbesondere in der Medizin und der Industrie, zu berücksichtigen, wo derzeit keine Ersatzstoffe verfügbar sind. Einige der Vorschläge sind spezifischer: Sie umfassen die Regulierung der Herstellung und Freisetzung von PFAS sowie eine ordnungsgemäße Entsorgung. Hier wird auf die Ausnahme von Fluorpolymeren von einer generellen PFAS-Beschränkung hingewiesen. Das basiert auf der Erkenntnis, dass diese Stoffe in einigen Sektoren unersetzlich sind und in relativ kleinen Mengen verwendet werden. Des Weiteren wird empfohlen, die Regulierung auf Basis toxikologischer Daten, wie im Rahmen von REACH, vorzunehmen, anstatt auf der molekularen Struktur der Stoffe zu bestehen. Von einigen Betrieben wurde die Hoffnung ausgedrückt, dass das Prinzip von *Essential Use* hier angewendet werden könnte, ergänzt

durch Förderungen für das Finden von Substituten mit einer realistischen Übergangsperiode, die es den Unternehmen erlaubt, in wirtschaftlich zumutbaren Zeiträumen umzustellen.

Mechatronik und Kälte-Klima-Bereich

In der Onlinebefragung von 13 verschiedenen Unternehmen der Mechatronik und Kälte-Klima-Lösungen wurden zahlreiche Einsatzbereiche und Typen von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) genannt. Sie werden in verschiedenen Produkten und Prozessen verwendet. PFAS finden sich in vielen Formen, einschließlich spezifischer Kältemittel wie R134a, R404a, R410a und R407c, die häufig in Klima- und Kältetechniksystemen eingesetzt werden. Darüber hinaus werden allgemeine Kategorien wie Kältemittel der Fluidgruppe 2 und nicht brennbare Kältemittel wie HFOs und ihre Mischungen wie auch HFKWs erwähnt, die in der Klima- und Wärmepumpentechnik zum Einsatz kommen. PFAS werden in Form von Dichtungen, Oberflächenbeschichtungen und anderen fluorhaltigen Materialien verwendet. Die FKM, PTFE, PVDF und FFKM werden in dieser Branche in verschiedenen technischen Komponenten eingesetzt. Die Arbeitskleidung besteht aus PFAS-haltigen Materialien, da sie eine hohe Anforderung an Schutz, Langlebigkeit und Leistung der Kleidung bieten können. PFAS haben ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten, wie die Befragung gezeigt hat. Sie werden vor allem in der Herstellung und Wartung von Kälte- und Klimaanlageanlagen sowie bei Wärmepumpen verwendet. Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen sind auch in Kältemitteln enthalten, die gemäß der F-Gase-Verordnung reguliert werden und spielen eine wesentliche Rolle in der Funktionsfähigkeit und in der Effizienz dieser Systeme. In den Bereichen des Anlagebaus sowie bei Serviceleistungen, Reparaturen und Neumontagen werden PFAS in verschiedenen Komponenten wie Dichtungen, Oberflächenbeschichtungen, O-Ringen, Verschlusschrauben und Kugelhähnen eingesetzt. PFAS werden in Material-Schlauchverbindungen und Dichtungselementen verwendet, da sie die Integrität und Zuverlässigkeit der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik gewährleisten können. Die Unternehmen berichten, dass sie direkt keine PFAS verwenden, sondern dass ihre zugekauften Teile und Materialien PFAS enthalten, die weiter in ihren eigenen Produkten verbaut werden. Diese Vielfalt an Einsatzbereichen verdeutlicht die technische Bedeutung dieser Stoffe.

Ein vollständiger Verzicht auf PFAS könnte laut den Unternehmen dazu führen, dass bestehende Anlagen unbrauchbar werden und entsorgt werden müssen, was wiederum zu erheblichen wirtschaftlichen und ökologischen Kosten führen würde.

Die Freisetzung von PFAS in die Umwelt findet bei Leckagen in Kältekühlkreisläufen oder wenn Kältemaschinen undicht werden, durch Sprayprodukte (durch die Zerstäubung bei Anwendung) oder durch den Entsorgungsweg statt. Insgesamt zeigt sich aber, dass eventuelle Freisetzungen von PFAS aus diesen Branchen in der Regel gut kontrolliert werden und mit strengen Maßnahmen zur Vermeidung von Leckagen und mit speziellen Einrichtungen zur sicheren Handhabung und Entsorgung gut beherrscht werden. Dennoch bleibt ein Risiko, insbesondere in Verbindung mit Unfällen oder unsachgemäßer Entsorgung.

Während einige Unternehmen angegeben haben, dass ihnen keine Alternativen bekannt sind oder dass bei ihnen die Frage nach Ersatzstoffen noch ungeklärt sei, bestätigten andere

die bestehenden Alternativen jedoch mit gewissen Einschränkungen. Diese Einschränkungen beinhalten höhere Kosten für die Unternehmen und dementsprechend auch für die Endverbraucher sowie größere Gefahrenpotenziale bzw. größere Sicherheitsvorkehrungen und Genehmigungsverfahren. Ein kritischer Punkt ist auch das Fehlen qualifizierter Techniker, die mit diesen Alternativen umgehen könnten sowie allgemeiner Mangel an fundiertem Verständnis für die damit verbundene Gefahrenanalyse. Auch wenn Ersatzstoffe verfügbar sind, ist die Implementierung jedoch komplex und es erfordert eine sorgfältige Abwägung von Kosten, Sicherheit und technischer Machbarkeit. Ein weiteres Problem für diese Unternehmen ist die mangelhafte Verfügbarkeit von Informationen über die Verwendung von PFAS in verschiedenen Materialien und Produkten. Ihre Empfehlungen sind Aufklärungskampagnen und eine verpflichtende Kennzeichnung von PFAS-haltigen Materialien, ähnlich wie sie bereits bei Bestimmen anderer Chemikalien praktiziert werden. Hier wird hervorgehoben, dass ein abrupter Übergang zu alternativen Kältemitteln, die brennbar oder toxisch sind, eine Notwendigkeit von kostspieligen Umrüstungen der Anlagen mit sich bringen würde. Das würde die zur Verfügung stehenden Anlagen erheblich einschränken und damit auch die Vielfalt und Funktionalität der angebotenen Systeme.

Als Konsequenz einer PFAS-Beschränkung fürchten auch diese Unternehmen eine große wirtschaftliche und technische Herausforderung. Einige der Unternehmen prognostizieren dramatische Verschlechterungen für die europäische Industrie, die zu globalen Wettbewerbsnachteilen führen werden. Hier besteht auch die Sorge, dass durch die strengeren Regulierungen ein Schwarzmarkt für bestimmte Kältemittel entstehen könnte, ähnlich wie bei den aktuellen Entwicklungen bei den Fluorkohlenwasserstoffen (HFKWs). Einige dieser Konsequenzen seien bereits jetzt schon spürbar. Es zeigt sich, dass Mitbewerber dieser Branchen, die sich nicht an die neuen Vorgaben halten, ihre Produkte zu wesentlich günstigeren Preisen anbieten. Das stellt wirtschaftliche Probleme dar, da es den fairen Wettbewerb beeinträchtigt. Es wird auch von Verunsicherung im Markt und bei den Kunden berichtet, die die Geschäftsbeziehungen und die Marktstabilität beeinflussen kann. In Bezug auf technische und regulative Aspekte erwähnten einige Unternehmen, dass die Reduzierung von HFKWs aufgrund der F-Gase-Verordnung zu einem Engpass geführt hat. Hier kommen häufig PFAS in Betracht, deren Nutzung aber vermieden werden sollte. Dies führt zu Schwierigkeiten in der Beratung und Implementierung neuer Lösungen.

Ein häufiger Vorschlag von Lösungsansätzen ist die Verbesserung der Kommunikation zwischen den relevanten EU-Gremien und der Industrie, um gemeinsam tragfähige und sinnvolle Lösungen entwickeln zu können. Mit dem sollte sichergestellt sein, dass die Regulierungen praxisnah und leichter durchführbar sind, während gleichzeitig die ökologischen und gesundheitlichen Bedenken adressiert werden. Die Forderung nach einer vollständigen Neubewertung der PFAS-Stoffe wird ebenfalls erhoben. Statt eines generellen Verbots wird eine Einzelbetrachtung empfohlen. So sollen unverhältnismäßige Einschränkungen vermieden werden und die Risiken könnten so besser gemeistert werden. Ein spezifischer Vorschlag betrifft den Handel und die Überwachung von PFAS-haltigen Produkten. Dazu gehört die Forderung, dass der Handel mit solchen Stoffen strengeren

Gewerbeberechtigungen unterliegen sollte und durch Plattformen wie das EDM-Portal, effektiver überwacht wird.

Kunststoffverarbeitung und Chemische Industrie

Im Rahmen der Interviews und der Onlinebefragung haben sich 30 verschiedene Unternehmen aus den Branchen der Kunststoffverarbeitung und der Chemieindustrie gemeldet.

Viele von den Unternehmen gaben an, keine PFAS zu verwenden oder nur mit diesen zu handeln, ohne sie direkt zu verarbeiten. Doch diese Stoffe zeigen sich in vielen Bereichen der Industrie als unverzichtbar. Die verwendeten PFAS-Verbindungen umfassen eine breite Palette. Unter anderem werden Fluorpolymere wie PTFE (Polytetrafluorethylen), PVDF (Polyvinylidenfluorid) und FKM (Fluorkautschuk) verwendet, aber auch Fluortenside wie anionisches fluoriertes Polyetherdi(ammoniumsulfat)salz und Capstone FS31. Andere erwähnten auch hier den Einsatz von PFAS in Dichtungen, Membranen oder Pumpenbestandteilen sowie in Hilfsstoffen wie Wachsen und Polyoleofinen. Die Anwendung erfolgt oft dort, wo herkömmliche Materialien aufgrund hoher Temperaturen oder aggressiver Medien versagen. In der chemischen Industrie (Beschichtungen) werden PFAS in der Herstellung von Dichtungen und Schläuchen verwendet, die besonders beständig gegen Säuren, Laugen und hohen Temperaturen sein müssen. PFAS kommen in diesen Branchen in Reinigungsprodukten und Parkettlacken vor.

Die Freisetzung von PFAS ist in den meisten Fällen minimal, berichteten die befragten Unternehmen. Die Produkte, die PFAS enthalten, sind für die Anwendungen in Beschichtungen oder Kunststoffen konzipiert. Hier werden keine nennenswerten Freisetzungen erwartet, jedoch kann eine Freisetzung durch mechanische Instabilität der Polymere oder durch Abrieb nicht ganz ausgeschlossen werden. In der Regel arbeiten die meisten Unternehmen mit geschlossenen Systemen, in denen die Freisetzung von PFAS vermieden wird, etwa durch den Einsatz von Glove-Boxen oder mit speziellen Abluftbehandlungen. Die Umweltbelastungen werden hauptsächlich während der Herstellungsphase auftreten, besonders wenn die PFAS-haltigen Produkte unter Bedingungen eingesetzt werden, die zur Freisetzung von Gasen oder zur Bildung von Mikroplastik führen könnten. Ihre Entsorgung oder Verbrennung bei unzureichender Temperatur könnte auch eine Freisetzungsmöglichkeit darstellen.

Die Suche nach Substituenten für PFAS in der Kunststoffverarbeitung und in der chemischen Industrie liegt noch in der Endwicklungsphase. Derzeit gibt es keine direkten Austauschmöglichkeiten. Obwohl in einigen Fällen Ersatzstoffe verfügbar sind, sind diese oft nicht in der Lage, die gleiche Leistung wie PFAS-basierte Produkte zu bieten. Auch hier stehen für viele Anwendungen, insbesondere für Produkte, die unter extremen Bedingungen wie hohen Temperaturen und Säurebeständigkeit eingesetzt werden, derzeit keine adäquaten Ersatzstoffe zur Verfügung. Die Schwierigkeit, geeignete Ersatzstoffe zu finden, wird dadurch verstärkt, dass viele Anwendungen spezifische Zulassungen oder Normen beinhalten, die derzeit nur mit dem Einsatz von PFAS erfüllt werden.

Ein Verzicht oder eine Beschränkung von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen wurde auch in diesen Branchen groß diskutiert. Unternehmen heben hervor, dass die Umstellung auf Alternativen oft mit schlechteren Eigenschaften und mit hohen Kosten verbunden ist. Hier würden auch die Langlebigkeit und die Funktionalität von Produkten beeinträchtigt, was zu kürzeren Serviceintervallen und erhöhtem zeitlichem Aufwand bei der Wartung führen würde. Befürchtung um die eigene Existenz am Markt bis zu Arbeitsplatzverlusten sind einige von den drohenden Konsequenzen einer solchen Beschränkung. Dies ist direkt mit den finanziellen Investitionen und einer längeren Evaluierungsphase verbunden. Wenn die EU mit den Regelungen Druck auf die PFAS-Verwender ausübt, denken die Unternehmer an langfristige Verlagerungen der Produktion außerhalb der EU.

Bislang haben die meisten der befragten Unternehmen aus diesen Branchen keine direkten Konsequenzen durch den Vorschlag der PFAS-Beschränkung bemerkt. Hier wird in Kooperation mit Lieferanten, Partnern und Kunden intensiv an Alternativen gearbeitet, jedoch berichteten einige auch von Veränderungen bei der Kommunikation mit ihren Kunden. Ein erhöhter Bedarf an Informationen über PFAS wird oft bemerkt. Viele Kunden verlangen bereits jetzt Bestätigungen, dass die Produkte frei von PFAS sind und lehnen Neuentwicklungen wie z. B. PTFE ab, die ebenfalls eine Art von PFAS sind. Ein Unternehmen hat sogar eine Arbeitsstelle geschaffen, um die Eliminierung von PFAS voranzutreiben.

Einige zentrale Vorschläge einer sinnvolleren rechtlichen Lösung für den Umgang mit PFAS betonen die Notwendigkeit einer differenzierten und risikobasierten Herangehensweise. Viele stellen sich das mit einer Übergangszeit vor, die auf dem Gefahrenpotenzial der spezifischen PFAS basiert, um die Industrie nicht übermäßig zu belasten und gleichzeitig die Umwelt zu schützen. Gleiche Regulierung innerhalb der EU sollte zum Beispiel keine Importe von Waren mit PFAS aus Ländern wie den USA oder China ermöglichen. Risikobasierte Beschränkungen sollen PFAS in Bereichen weiter erlauben, wo sie in geschlossenen Systemen genutzt werden können und so eine Freisetzung minimal wird. Statt eines kompletten Verbots sollten spezifische Grenzwerte für die Verwendung und Freisetzung von PFAS gegeben sein, ergänzt durch strenge Kontrollen von der Herstellung bis zur Anwendung und bis hin zur Entsorgung. Listen mit geeigneten Substituten sollten entwickelt werden, um den Übergang von PFAS-haltigen Materialien zu erleichtern. Zum Schluss wurden noch Ausnahmeregelungen für bestimmte industrielle Anwendungen vorgeschlagen. Hierbei wurde mehrfach auch auf das *Essential-Use*-Konzept verwiesen, das die Verwendung von PFAS in unverzichtbaren Bereichen gestatten würde.

Textil-, Bekleidungs-, Schuh- und Lederindustrie

Im Interview mit 5 verschiedenen Unternehmen des Fachverbands der Textil-, Bekleidung, Schuh- und Lederindustrie wurden verschiedene Aspekte der Nutzung von PFAS diskutiert.

Die wesentlichen PFAS, die in diesen Unternehmen verwendet werden, umfassen hauptsächlich C6- und C8-Chemikalien sowie PTFE-Beschichtungen. Die Anwendungsgebiete dieser Stoffe betreffen hauptsächlich Produkte im Medizinbereich wie sterile OP-Abdeckungstücher, persönliche Schutzausrüstungen für Chemie- und Feuerwehrsektoren sowie Schuhobermaterialien. PFAS zeichnen sich durch die wasser- und ölabweisenden Eigenschaften sowie ihre Funktion als Barriere und Flammschutz aus. Unternehmen vertraten die Meinung, dass PFAS nicht nur Schutz vor Flüssigkeiten und Flammen bieten, sondern auch zur Wiederverwendbarkeit der Textilien beitragen, was wirtschaftliche und ökologische Vorteile mit sich bringt.

Die Freisetzung von PFAS erfolgt hauptsächlich beim Tragen und Waschen der behandelten Textilien. Je stärker PFAS an das Textil gebunden sind, desto weniger werden sie freigesetzt. Bei Textilien, die nur beschichtet sind, werden die Stoffe beim Waschen rasch abgetragen. Eine bessere Methode ist laut einem der fünf befragten Unternehmen, die tiefe Einbindung der PFAS in die Faser durch Niederdruckplasma. Problematisch ist dies eher bei Miettextilien mit Nachimprägnierung. Eine weitere Freisetzung von PFAS kann am Lebensende von Produkten erfolgen, wenn die Entsorgung, beispielsweise von Schuhen, nicht kontrolliert erfolgt.

Ersatzstoffe für PFAS existieren zwar, wie beispielsweise C6 als Ersatz für C8, Silikone, PU-Beschichtungen und Fette, jedoch erfüllen diese oft nicht die gleichen Anforderungen hinsichtlich Wasserabweisung und Atmungsaktivität. In einigen Bereichen, wie der Medizin und dem Arbeitsschutz, sind diese Ersatzstoffe daher derzeit unverzichtbar. Die Veränderungen, die durch den Einsatz von Ersatzstoffen hervorgerufen werden, beinhalten unter anderem eine potenziell geringere Wasserabweisung und damit eine Beeinträchtigung der Funktionalität und Sicherheit der Produkte. Dies könnte insbesondere bei Schutzbekleidung für Chemie und Feuerwehr zu erheblichen Sicherheitsrisiken führen.

Eine Beschränkung oder ein Verbot von PFAS hätte weitreichende negative Konsequenzen. Diese umfassen eine erhebliche Beeinträchtigung der Produktivität, einen massiven Verlust an Arbeitsplätzen und industrieller Kompetenz in Europa sowie potenzielle Sicherheitsrisiken für Arbeitnehmer, da die Schutzanforderungen nicht mehr erfüllt würden. Zudem würde die Umstellung auf Einwegprodukte im medizinischen Bereich zu erhöhtem Müllaufkommen und geringerer Nachhaltigkeit führen.

Die Aussagen der Unternehmen verdeutlichen insgesamt, dass PFAS in vielen Anwendungen derzeit unverzichtbar sind und dass eine Beschränkung ohne geeignete Ersatzstoffe erhebliche negative Auswirkungen auf Sicherheit, Funktionalität und Wirtschaftlichkeit hätte.

Öl- und Gasindustrie

Ein Unternehmen der Öl- und Gasindustrie verwendet PFAS in verschiedenen Bereichen ihrer Raffinerien, wobei besonders Löschschäume (AFFF) zum Löschen von Chemiebränden eine entscheidende Rolle spielen. PFAS werden auch in Dichtungen, Rohren, Ventilen und Schutzanzügen eingesetzt, wobei ihre Chemikalien- und Temperaturbeständigkeit von besonderem Nutzen ist. Diese Verbindungen sind oft in Maschinen enthalten, ohne dass dies separat ausgewiesen wird.

Die wichtigsten PFAS, die in diesem Unternehmen eingesetzt werden, sind F-Polymere, die für Beschichtungen, Dichtungen und Rohre verwendet werden, um Kältebeständigkeit zu gewährleisten. Diese Stoffe stammen meist von Händlern und weisen eine hohe Beständigkeit gegen Chemikalien und Temperaturen auf, was sie in vielen industriellen Anwendungen unverzichtbar macht.

Die Belastung durch PFAS tritt hauptsächlich bei deren Herstellung auf, während die Anwendung in Feststoffen kaum zu Abrieb und damit auch kaum zu Freisetzung führt. Gasförmige PFAS, insbesondere F-Gase, sind aufgrund eines Verbots ab 2030 betroffen. Dieses Verbot bezieht sich auf die schrittweise Reduktion und den Ausstieg aus gasförmigen PFAS in der Öl- und Gasindustrie, die aufgrund ihrer klimawirksamen Eigenschaften reguliert werden. Ab 2030 wird die Verwendung dieser Substanzen, ähnlich wie bei den F-Gasen, stark eingeschränkt oder verboten, um die Umweltauswirkungen und den Beitrag zum Klimawandel zu minimieren. Aufgrund ihrer Langlebigkeit ist die Entsorgung von PFAS problematisch und erfordert spezielle Verbrennungsanlagen, da sie in herkömmlichen Prozessen nicht effizient abgebaut werden können.

Es gibt nur wenige Alternativen zu PFAS, die bereits erprobt sind. Die verfügbaren Ersatzstoffe haben keine Langzeiterfahrungen und es fehlen entsprechende Normen. Eine Beschränkung von PFAS würde daher erhebliche Konsequenzen haben, speziell eine Gefährdung der Sicherheitsstandards, höhere Wartungskosten, mehr Stillstände und eine Bedrohung der H2-Strategien. Diese Einschränkungen würden die Sicherheit von Anlagen und Mitarbeitern beeinträchtigen und viele Sicherheitsstandards könnten nicht mehr eingehalten werden.

Insgesamt zeigt das Beispiel, dass PFAS in der Öl- und Gasindustrie weit verbreitet sind und essenzielle Funktionen erfüllen. Eine Beschränkung dieser Stoffe ohne geeignete und erprobte Alternativen könnte erhebliche Auswirkungen auf die Sicherheit und den Betrieb von Raffinerien haben. Dennoch gibt es bereits erste Ansätze, wie der Umstieg auf erneuerbare Rohstoffe, die zeigen, dass die Branche auf der Suche nach nachhaltigen Lösungen ist.

Automotive Bereich

In Interviews mit drei verschiedenen Unternehmen des Fachverbands der Fahrzeugindustrie ergaben sich interessante Einblicke in die Nutzung von PFAS, deren Anwendungen, Freisetzung, Ersatzstoffe und die möglichen Konsequenzen einer Beschränkung dieser Stoffe.

Die Unternehmen nutzen PFAS hauptsächlich in Bereichen wie der Messtechnik für Motoren, der Elektrifizierung und in Hochvoltspeichern. Besonders häufig kommen Fluorpolymere und fluorhaltige Kältemittel zum Einsatz. Die spezifischen PFAS, die verwendet werden, umfassen FKM (Fluorkautschuk), FFKM (Perfluorkautschuk) und PTFE (Polytetrafluorethylen). Diese Stoffe sind essenziell für Anwendungen wie Dichtungen, Isolierungen und den Schutz vor korrosiven Chemikalien. In diesen Anwendungen bieten PFAS wesentliche Vorteile, insbesondere bei hohen Temperaturen. Sie sorgen für eine zuverlässige Abdichtung und schützen vor Korrosion, was zu langen Standzeiten der Bauteile führt. Zwei der Unternehmen betonten, dass PFAS für den Korrosionsschutz und die Dichtung bei hohen Temperaturen unverzichtbar sind.

In Bezug auf die Freisetzung von PFAS in die Umwelt gaben zwei der drei Unternehmen an, dass während der Nutzungsphase keine Freisetzung von Fluorpolymeren in die Umwelt stattfindet. Dennoch bleibt der Verbleib der Geräte nach der Nutzung unklar, wenn es keinen geordneten Rücklauf der Geräte gibt. Bei der Entsorgung von Elektronikkomponenten kann es daher zu Umwelteinträgen kommen.

Die Diskussion über Ersatzstoffe zeigte, dass diese oft nicht die gleiche Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit wie PFAS bieten. Zwei Unternehmen führten an, dass alternative Kunststoffe zwar günstiger, aber in der Regel weniger leistungsfähig sind. Dies führt zu verkürzten Wartungsintervallen, was in vielen Bereichen nicht praktikabel ist. Insbesondere bei Biokraftstoffen gibt es kaum Ersatzmöglichkeiten aufgrund der hohen Temperaturen, hier entfalten PFAS-Stoffe ihr volles Potenzial.

Die möglichen Konsequenzen einer Beschränkung von PFAS wurden von allen drei Unternehmen als gravierend eingeschätzt. Die PFAS-Beschränkung könnte zu einer Verlagerung der Produktion ins Ausland führen, insbesondere nach Asien, wo die Nutzung von Verbrennungsmotoren noch Zukunft hat. Zwei der Unternehmen hoben hervor, dass lange Übergangszeiten notwendig wären, um eine Umstellung zu ermöglichen, und dass Beschränkungen zwar Innovationen stimulieren könnten, jedoch die Industrie vor erhebliche Herausforderungen stellen würden.

Zusammengefasst ergaben die Interviews, dass PFAS in der Fahrzeugindustrie eine wesentliche Rolle spielen und ihre Beschränkung weitreichende Folgen hätte. Ersatzstoffe stehen oft nicht in ausreichender Qualität und Menge zur Verfügung, und ihre Verwendung würde die Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit der Produkte beeinträchtigen. Die Unternehmen betonen die Notwendigkeit von längeren Übergangszeiten und einer sorgfältigen Abwägung der wirtschaftlichen und technischen Auswirkungen einer möglichen Beschränkung von PFAS.

Bergwerke, Stahl- und Oberflächenindustrien (Galvanik)

Im Rahmen der Online-Befragung haben Unternehmen aus der Oberflächentechnik sowie ein Unternehmen aus der Branche Bergwerke und Stahl teilgenommen.

In der Oberflächentechnik finden PFAS insbesondere als Netzmittel in der Hartverchromung Verwendung. Die Freisetzung dieser Stoffe erfolgt in äußerst geringem Ausmaß durch zu entsorgende Spülwässer. Dabei wird in der Regel eine Kreislaufführung des Abwassers vorgenommen, um die Umweltbelastung zu minimieren.

Die Suche nach Ersatzstoffen gestaltet sich laut Unternehmensangaben als schwierig, da diese aus umwelttechnischer Perspektive bedenklich sind, eine unwirtschaftliche Lösung darstellen und zudem keine hinreichende Beständigkeit aufweisen können. Unter der Voraussetzung der Verfügbarkeit beständiger Ersatzstoffe wären die zu erwartenden Veränderungen verkraftbar. Jedoch weisen die aktuell verfügbaren Ersatzstoffe in Hartchromelektrolyten keine ausreichende Beständigkeit auf.

Eine Beschränkung der PFAS-Nutzung wäre in diesem Bereich nicht umsetzbar und würde zu extremen Einschränkungen des Hartverchromens führen. Dies hätte laut dem Unternehmen erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen in Europa, die im Milliardenbereich liegen würden.

In der Galvanotechnik werden Platten und Profile aus PTFE (Polytetrafluorethylen) und PVDF (Polyvinylidenfluorid) in Galvanikanlagen eingesetzt. Es erfolgt keine Freisetzung von PFAS, und es gibt keine Ersatzstoffe, die die gleiche Funktion erfüllen könnten. Der Einsatz von Ersatzstoffen ist daher nicht möglich, da die erforderliche Funktionalität nicht gegeben ist.

Eine Beschränkung der PFAS-Nutzung in der Galvanotechnik würde zu erheblichen funktionalen Einschränkungen führen, da keine adäquaten Ersatzstoffe verfügbar sind.

In der Branche Bergwerke und Stahl werden PFAS in Lacken, Ölen und Passivierungen verwendet. Die PFAS-Stoffe sind essenziell für die genannten Anwendungen.

Eine spezifische Freisetzung von PFAS wird in dieser Branche nicht gesehen. Wie ein Unternehmen angibt, sind die Lieferanten aber auf der Suche nach Alternativen. Allerdings konnten bisher keine adäquaten Ersatzstoffe gefunden werden, welche die gleichen Eigenschaften aufweisen wie die aktuell verwendeten PFAS.

Eine Beschränkung der PFAS in diesem Sektor würde daher zu signifikanten Veränderungen in den Herstellungsprozessen führen, wobei die genaue Auswirkung auf die Industrie nicht quantifiziert werden konnte.

Pharmazeutische Industrie

Ein Unternehmen in der Pharmaindustrie, das als Lohnhersteller tätig ist, gibt umfassende Einblicke in die Verwendung von PFAS und die möglichen Konsequenzen einer Beschränkung dieser Stoffe.

PFAS werden in diesem Unternehmen vor allem in Wirkstoffen und Intermediates sowie in Dichtungen eingesetzt. Polymere werden für Analysegeräte und Reinwassergewinnung verwendet. Der Einsatz dieser Stoffe erfolgt aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften, die in der pharmazeutischen Produktion von großer Bedeutung sind.

Die eingesetzten PFAS umfassen Verbindungen, die nach der OECD-Definition klassifiziert sind. Eine gezielte Anwendung findet sich besonders bei Wirkstoffen, die die CF₃-Gruppe enthalten. Diese Gruppe verbessert die Wirkung der Medikamente erheblich und ist in fast einem Drittel der EU-Wirkstoffe zu finden. Die Rohstoffe für die Produktion werden teilweise aus China importiert und weiterverarbeitet.

Technisch gesehen sind PFAS in Medikamenten wie bestimmten antiviralen Mitteln, Herzmedikamenten, Zytostatika und Schlafmitteln unverzichtbar. Es gibt keinen adäquaten Ersatz in diesen Anwendungen. PFAS bieten entscheidende Vorteile wie die Wirksamkeit und Stabilität der Medikamente. Die Exposition gegenüber der Umwelt und dem Menschen ist bei der Herstellung minimal, da die Produktion in abgeschlossenen Systemen erfolgt und die Abluft über thermische Nachverbrennung (TNV) gereinigt wird. Die aus dem Körper nachfolgend abgegebenen Wirkstoffe führen nur zu Wasserbelastung in Spuren von PFAS, die vergleichbar mit den Emissionen aus Kälteanlagen sind.

Die Möglichkeit, PFAS durch andere Stoffe zu ersetzen, ist äußerst begrenzt. Die vorhandenen Ersatzstoffe könnten die Herstellung erheblich verändern und den Verlust von Produktion und Arbeitsplätzen bedeuten. Aus diesem Grund wird erwartet, dass Wirkstoffe von den rechtlichen Beschränkungen ausgenommen werden. Ein Schwerpunkt liegt zukünftig, aber sicher auf den Zwischenprodukten bei der Herstellung, die den größeren Teil der Belastung verursachen.

Die Konsequenzen einer Beschränkung wären gravierend: Ein wesentlicher Teil des Umsatzes und der Arbeitsplätze bei diesem Unternehmen könnte verloren gehen. Zudem könnte die Korrosion in Geräten steigen, was zu erhöhten Wasserbelastungen führen würde. Ein Verbot der Herstellung wegen der Zwischenprodukte würde lediglich dazu führen, dass die Wirkstoffe importiert und vor Ort nur noch konfektioniert werden. Damit wäre nur eine Verlagerung der Belastung die Folge.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dieses Unternehmen PFAS in verschiedenen kritischen Bereichen der pharmazeutischen Produktion einsetzt und dass die Restriktionen erhebliche wirtschaftliche und technische Auswirkungen hätten. Das Unternehmen betont die Notwendigkeit internationaler Arbeitsgruppen, um geeignete Substitute für PFAS in Pharmawirkstoffen zu finden und schlägt die Einführung und Beschränkung über den Summenparameter AOF (adsorbierbares organisches Fluor) vor.

Medizintechnik- und Produkte

Aus der Online-Befragung von drei Unternehmen aus den Bereichen Medizintechnik sowie Erzeugung und Handel von Medizinprodukten ergab sich, dass nur wenig Wissen über die Verwendung von PFAS vorliegt und bei keinem der Unternehmen wissentlich PFAS freigesetzt werden. Ein Unternehmen, das sich auf die Erzeugung und den Handel von Medizinprodukten spezialisiert hat, setzt keine PFAS ein oder frei. Ein Unternehmen äußerte die Vermutung, dass die etwa 11.000 existierenden PFC die 24 analysierten PFAS ersetzen könnten, da sie ähnliche chemische Eigenschaften wie Wasser- und Schmutzabweisung sowie Stabilität aufweisen. Daher seien keine signifikanten Anpassungen der Produktionsprozesse oder der Produktleistung zu erwarten. Dabei wird jedoch übersehen, dass auch PFCs zur Gruppe der PFAS gehören und somit auch unter die bestehenden PFAS-Beschränkungen fallen würden. Eine solche Substitution wäre daher keine nachhaltige Lösung und könnte das Risiko einer Belastungsverlagerung mit sich bringen.

Ein weiteres Unternehmen, das Medizinprodukte herstellt, verwendet Fluorpolymere und Trifluoressigsäure in Ventilationsmembranen und in spezifischen Verarbeitungshilfsmitteln. Diese Anwendungen setzen keine PFAS frei und es gibt derzeit auch keine bekannten Ersatzstoffe. Das Unternehmen hofft, dass dadurch keine Veränderungen oder Konsequenzen durch eine mögliche PFAS-Beschränkung zu erwarten sind.

Das dritte Unternehmen, das in der Medizintechnik tätig ist, nutzt Fluorpolymere in Form von FKM-Dichtungen und PTFE für verschiedene Komponenten. Der Ersatz dieser Stoffe würde zu einer erheblichen Reduktion der Qualität und der Produktlebensdauer führen. Es wird erwartet, dass es für Fluorpolymere Ausnahmen oder lange Übergangsfristen geben wird. Für zukünftig notwendige Substitutionen wird eine höhere Innovationsbereitschaft der Dichtungshersteller gewünscht, da die angekündigten Beschränkungen in der Anwendung als nicht realistisch eingeschätzt werden.

Zusammengefasst zeigt die Online-Befragung, dass innerhalb der Medizintechnikbranche derzeit unterschiedliche Ansätze und Herausforderungen im Umgang mit PFAS bestehen. Während einige Bereiche keine PFAS wissentlich einsetzen, liegen in anderen Bereichen spezifischen PFAS-Anwendungen vor, deren Ersatzstoffe zu einer massiven Reduktion der Produktqualität und -lebensdauer führen würden.

Reinigungs- und Hygieneprodukte

In der Online-Befragung hat nur ein Unternehmen aus der Branche des Handels mit Reinigungs-, Pflege- und Desinfektionsmitteln sowie Reinigungsgeräten und -maschinen und Hygieneverbrauchsartikeln teilgenommen und angegeben, dass es per- und teilfluorierte langkettige Carbonsäuresalze (Fluortenside) verwendet. Diese PFAS werden hauptsächlich als Additive in Pflegedispersionen zur Bodenbeschichtung eingesetzt.

Die Freisetzung von PFAS erfolgt bei der periodischen Entfernung der Pflegefilme (Grundreinigung), wobei die Schmutzflotte bestimmungsgemäß ins Abwasser gelangt. Aufgrund der schlechten Abbaubarkeit der enthaltenen fluorhaltigen Materialien werden diese über die Kläranlage geführt und können danach auch in Oberflächen- und Grundwasser gelangen.

Laut dem Unternehmen werden als Ersatzstoffe beispielsweise Silikontenside verwendet, die bereits in Produkten eingesetzt werden, die mit dem österreichischen Umweltzeichen zertifiziert sind. Die Verwendung dieser Ersatzstoffe kann aber zu einer eingeschränkten Verarbeitbarkeit der Dispersionen sowie einer verkürzten Haltbarkeit der damit erzeugten Pflegefilme führen.

Das Unternehmen betont, dass eine PFAS-Beschränkung einen Innovationsschub bei der Entwicklung umweltverträglicher Ersatzstoffe auslösen könnte. In der Vergangenheit haben Verbote oft zur Entwicklung neuer Lösungen geführt. Einschränkungen können Innovationen fördern, da sie Druck auf die Hersteller und Anwender ausüben, alternative und nachhaltigere Technologien zu finden. Welche konkreten Auswirkungen dies haben wird, hängt jedoch von verschiedenen Faktoren ab, wie der Verfügbarkeit neuer Technologien, den Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie den regulatorischen Rahmenbedingungen. Diese Innovationen können sowohl Vorteile wie mehr Nachhaltigkeit und Wettbewerbsvorteile bringen, stellen meist aber große Herausforderungen wie höhere Kosten, zeitliche Verzögerungen oder Probleme bei Garantiewerten dar. In jedem Fall sollten auch die absehbaren negativen Auswirkungen von Substitutionen berücksichtigt werden.

Nahrungs- und Genussmittelindustrie

Die WKO Online-Befragung, an welcher 9 Unternehmen aus der Nahrungs- und Genussmittelindustrie teilgenommen haben, beleuchtet den aktuellen Kenntnisstand und Umgang mit PFAS in dieser Branche. Die Ergebnisse zeigen eine Unsicherheit und Informationslücken.

Einem Unternehmen aus der Fleischbranche sind keine Materialien bekannt, die PFAS enthalten und dass es keine Anwendungen oder Freisetzungen von PFAS gibt. Folglich werden auch keine Ersatzstoffe verwendet, es gäbe auch keine Veränderungen durch Ersatzstoffe oder Konsequenzen einer Beschränkung.

Für den allgemeinen Lebensmittelbereich verdeutlicht ein Unternehmen, dass keine konkreten Angaben vorliegen, da die Antworten auf Fragen zu PFAS-Materialien und -

Anwendungen mit „*Nicht bekannt*“ angegeben wurden. Es gibt auch keine Informationen zu Ersatzstoffen oder deren Auswirkungen.

Im Bereich der Nahrungs- und Genussmittelindustrie insgesamt ist die Situation komplexer. Drei der befragten Unternehmen betonten die Schwierigkeit, konkrete Aussagen zu PFAS zu treffen, da immer mehr Materialien analysiert werden müssen. Ein Unternehmen beschreibt, dass sich bis jetzt Untersuchungen nur auf Fleischrohwaren beschränkt haben, bei denen keine Abweichungen festgestellt wurden. PFAS könnten maximal in Verpackungen vorkommen, aber es gibt keine bekannten Anwendungen oder Freisetzungen, so die Aussage desselben Unternehmens.

Ersatzstoffe wurden bisher nicht eingesetzt, da deren Relevanz nicht einschlägig relevant gesehen wurde. Bisher liegen keine Erfahrungen über Ersatzstoffe vor auch keine Ersatzstoffe eingesetzt und daher auch keine Veränderungen beobachtet.

Die Einhaltung von Grenzwerten bei Produkten wird als herausfordernd angesehen, da der Eintrag von PFAS über zahlreiche Rohwaren erfolgen könnte. Insgesamt steht die Branche in Bezug auf PFAS in einer frühen Phase der Untersuchung und Bewertung. Konkrete Maßnahmen zur Nutzung von Ersatzstoffen oder zu den Konsequenzen einer Beschränkung wurden noch nicht getroffen, was die Komplexität und Unsicherheit im Umgang mit PFAS in dieser Branche unterstreicht.

Diskussion

Die vorgesehenen Regulierungen der Europäischen Union zur Beschränkung der Verwendung von PFAS werden große Auswirkungen auf viele Wirtschaftsbereiche in Österreich haben. Durch ihre chemische und thermische Beständigkeit sowie ihre wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften sind sie in vielfältigen Anwendungen weit verbreitet. Ihre Beschränkung würde viele Branchen vor die große Herausforderung stellen, umwelt- und gesundheitsverträgliche Alternativen mit analogen Eigenschaften zu entwickeln und einzuführen, um einen Qualitätsverlust ihrer Produkte und Dienstleistungen zu vermeiden. Viele der derzeit verfügbaren Alternativen sind aber weniger leistungsfähig und dazu teurer als die traditionellen PFAS-haltigen Materialien. Die Umstellung auf PFAS-freie Alternativen ist daher mit erheblichen wirtschaftlichen und technologischen Herausforderungen verbunden.

Gesundheitliche und umweltbezogene Risiken

Wie die Erhebung zeigte, bietet die Stoffgruppe der PFAS erhebliche Vorteile in Bezug auf Haltbarkeit und Schutz von Personen und Materialien, insbesondere bei hohen Temperaturen und aggressiven Verbindungen. Sie verlängern die Lebensdauer von Produkten und verringern den Wartungsaufwand. Wenn bei Anwendungen jedoch Freisetzungen zu Mensch oder Umwelt zu erwarten sind, können diese zu langfristigen Umwelt- und Gesundheitsproblemen führen. PFAS können durch industrielle Abwässer und Abgase in die Umwelt gelangen, wo sie das Grund- und Trinkwasser kontaminieren und sich in der Nahrungskette anreichern. PFAS sind schwer abbaubar und reichern sich in der Umwelt sowie in lebenden Organismen an. Langfristige PFAS-Exposition kann zu schwerwiegenden gesundheitlichen Problemen führen. Dazu zählen ein erhöhtes Risiko für Nieren- und Hodenkrebs, eine Schwächung des Immunsystems sowie erhöhte Cholesterinwerte, was das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen steigert. Besonders gefährlich ist die Exposition während der Schwangerschaft, da sie die Entwicklung des Fötus beeinträchtigen kann. Zusätzlich sind Tiere in PFAS-kontaminierten Gebieten gefährdet, was zu Fortpflanzungsstörungen und anderen gesundheitlichen Problemen führt [34].

Besonders anfällig für PFAS-Belastungen sind Menschen, die in der Nähe von Chemieanlagen, Militärbasen oder Flughäfen leben, wo eine verstärkte Freisetzung dieser Substanzen zu erwarten ist. Schwangere und Kinder gelten, als besonders empfindlich, was die Dringlichkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung unterstreicht.

Entwicklung von Alternativen

Die neuesten technologischen Entwicklungen und Innovationen spielen eine entscheidende Rolle bei der Bewältigung der PFAS-Problematik. Für erfolgreiche Forschung sollten interdisziplinäre Teams gebildet werden, die gemeinsam an der Entwicklung von PFAS-Alternativen arbeiten. Das wird die Arbeit zwischen Chemikern, Materialwissenschaftlern, Umweltwissenschaftlern und Ingenieuren fördern, um so entsprechende funktional äquivalente Lösungen zu entwickeln. Diese Zusammenarbeit soll auch darauf abzielen,

langfristige Umwelt- und Gesundheitsstudien zu PFAS und den Alternativen zu verstehen. Die Grundlage für die regulatorischen Entscheidungen wird das Verstehen und das Dokumentieren der Langzeiteffekte von PFAS sein. Eine Empfehlung wäre das Kreieren einer sogenannten *Open-Access-Ressource*, wo sich die Experten ebenfalls über die Technologien und über Wissen austauschen könnten. Dies könnte auch zur Förderung von wissenschaftlichen Projekten führen, die im Bereich der PFAS-Alternativen gute bzw. breit zugängliche Ergebnisse liefern.

Forschungseinrichtungen und Unternehmen, wie z.B. Fraunhofer-Institut und die Ensinger GmbH, arbeiten bereits an der Entwicklung neuer Materialien, die die gleichen vorteilhaften Eigenschaften wie PFAS bieten, aber umweltfreundlicher und sicherer sind. Beispiele sind fluorfreie Beschichtungen die auf nachwachsenden Rohstoffen basieren und nachhaltige Lösungen für Anti-Haft-, Gleit- und hydrophobe Beschichtungen an. Zudem wird an Recycling- und Abbautechnologien geforscht, die eine umweltgerechte Entsorgung und Wiederverwertung von PFAS-haltigen Materialien ermöglichen [39], [72].

Andere Ansätze zielen auf die Substitution langkettiger PFAS (z. B. PFOS und PFOA) durch kurzkettige perfluorierte Alkyl- oder polyfluorierte Substanzen ab. Dazu gehören unter anderem Verbindungen, wie z. B. Fluortelomeralkohole (FTOH), Derivate auf Basis von Perfluorbutansulfonylfluorid (PBSF) und Polyfluorether (z. B. GenX, ADONA und F53B), die bei der Herstellung von Fluorpolymeren verwendet werden (Bureau Veritas). Diese Ersatzchemikalien haben tendenziell weniger Kohlenstoffatome in der Kette, aber viele ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften wie ihre PFAS-Vorgänger. Sie werden unter anderem in Lebensmittelverpackungen, Farben, Reinigungsprodukten, Antihftbeschichtungen, Outdoor-Stoffen und Feuerlöschschaum verwendet. Allerdings deuten Studien darauf hin, dass einige der PFAS-Ersatzverbindungen mit niedrigerem Molekulargewicht möglicherweise nicht weniger gefährlich sein müssen als ihre langkettigen Vorgänger. Informationen über Art und Ausmaß der Umweltverschmutzung durch Ersatz-PFAS sind jedoch begrenzt.

In einigen Bereichen der pharmazeutischen Anwendung sowie für Reinstwasserleitungen für die Leiterplattenfertigung ist die Verwendung von PFAS wegen ihrer spezifischen Eigenschaften auch in Normen vorgeschrieben. Hier gibt es auch noch keine entsprechenden Alternativen.

Im Bereich der nicht unbedingt notwendigen spezifischen Eigenschaften der PFAS, wie bei Outdoor-Bekleidung, können unbedenklichere Alternativen meist aus Polypropylen-Verbindungen oder Polyurethan-Dendrimern durchaus ausreichen. Bei Arbeitsschutzbekleidung wird aber die Kombination aus öl- wasser- und feuerabweisend mit hoher Wasserdampf-Durchlässigkeit als essenziell für Sicherheit und Tragekomfort gesehen.

Internationaler Vergleich der PFAS-Regulierungen: USA und China

Da bei dieser großen Stoffgruppe durch die Vielzahl der enthaltenen Stoffe interne Substitutionen bei Verboten von einzelnen Stoffen befürchtet werden, wurde die Beschränkung der gesamten Stoffgruppe vorgeschlagen. Allerdings ist bei vielen Anwendungen, speziell bei der Verwendung von Fluorpolymeren wie die Erhebung zeigte, kaum mit Belastungen durch Freisetzungen zu Menschen und Umwelt zu rechnen. Beschränkungen sollten daher auf jene Anwendungen mit anzunehmendem Freisetzungspotenzial begrenzt werden.

Die Art und Weise, wie PFAS in verschiedenen Teilen der Welt reguliert werden, variiert stark und hat erhebliche Auswirkungen auf die Industrie und den Umweltschutz.

In den USA gibt es umfangreiche Vorschriften, jedoch variieren diese stark zwischen den einzelnen Bundesstaaten. Staaten wie Kalifornien und Maine haben strengere Regelungen verabschiedet, die die Verwendung von PFAS in Produkten wie Lebensmittelverpackungen und Feuerlöschschäumen einschränken [73]. Auf Bundesebene hat die EPA im April 2024 für Amerika neue Grenzwerte für fünf spezifische PFAS-Chemikalien im Trinkwasser festgelegt, für PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA und HFPO-DA (GenX). Diese Vorschriften zielen darauf ab, die Belastung durch diese Chemikalien zu reduzieren und die Sanierung kontaminierter Gebiete zu beschleunigen. Dennoch bleibt das System aufgrund der föderalen Struktur in den USA fragmentiert, da viele Regelungen auf staatlicher Ebene beschlossen werden [74].

In Asien, insbesondere in China, waren die Regulierungen bisher weniger streng, was dazu führte, dass viele Unternehmen ihre Produktion von PFAS-haltigen Materialien dorthin verlagerten, um den strengeren Umweltauflagen in den USA und Europa zu entgehen.

Mit dem Aktionsplan der chinesischen Regierung von Mai 2024 könnte sich dies jedoch ändern. Der Plan zielt darauf ab, die Überwachung und Risikobewertung von Schadstoffen wie PFAS zu verbessern. Beispielsweise werden Wasserqualitätsüberwachungsstationen eingesetzt, um die chemische Zusammensetzung von Flüssen und Trinkwasserquellen zu analysieren. Diese Stationen erfassen die Konzentrationen von PFAS und liefern Echtzeitdaten zur Bewertung von Umweltrisiken. In den sensiblen Regionen, wie dem Yangtze- und Gelben Flussbecken, sammeln diese Stationen Daten zur Schadstoffbelastung, die zur Entwicklung gezielter Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen verwendet werden [75].

Die unterschiedlichen regulatorischen Ansätze in den USA, China und der EU haben erhebliche Auswirkungen auf die globale Wettbewerbsfähigkeit. Unternehmen in Regionen mit strengen Vorschriften wie der EU oder den USA müssen oft kostspielige Investitionen in die Entwicklung PFAS-freier Alternativen tätigen. Im Gegensatz dazu profitieren asiatische Unternehmen von weniger strengen Vorschriften, die niedrigere Produktionskosten ermöglichen. Die neuen Maßnahmen in China könnten diese Dynamik jedoch verändern, indem auch dort strengere Vorschriften eingeführt werden. Diese Unterschiede schaffen ungleiche Wettbewerbsbedingungen im internationalen Handel und unterstreichen die

Notwendigkeit einer koordinierten globalen Strategie, um die Umweltauswirkungen von PFAS zu minimieren und einen fairen Wettbewerb zu gewährleisten.

Handlungsbedarf für die Industrie

Für die Unternehmen entsteht aus zukünftigen Beschränkungen in der Stoffverwendung jedenfalls klarer Handlungsbedarf, auch wenn das, wie die Erhebung zeigte, noch nicht überall so gesehen wird. Die größten Herausforderungen bestehen in den Bereichen, wo die Anwendung technisch notwendig oder über Normen vorgeschrieben ist, um das Produkt am Markt positionieren zu können. Diese Unternehmen müssen proaktiv auf neue Regulierungsmaßnahmen reagieren, indem sie ihre Produktpaletten nach dem Vorliegen von Alternativen überprüfen und Prozesse sowie Anlagen gegebenenfalls anpassen.

Um das rasch zu schaffen, sind eine rechtzeitige Einbindung in den legislativen Prozess und eine Neuausrichtung der Firmenstrategie auf Nachhaltigkeit erforderlich. Wenn und sobald Ersatzstoffe entwickelt sind, sollten die Unternehmen Planungen für die schnelle Markteinführung entwickeln. In strategischen Überlegungen muss geprüft werden, ob sich auf die Vorteile neuer umweltfreundlicher Produkte am Markt erfolgreich platzieren lassen, welche höheren Erlöse zu erwarten sind und ob diese die Investitionen für Anlagenumstellungen tragen können.

Insgesamt ist hierbei mit folgenden Schritten zu rechnen:

- Was sind die wesentlichen Funktionen des zu betrachtenden Stoffes
- Welche Gefahren liegen bei diesem Stoff vor
- Welche Möglichkeiten der Gefahrenverringerung bestehen, was sind deren Kosten
- Gibt es Ersatzstoffe/Substitute, Verfügbarkeit, Umstellungsaufwand, Kosten
- Liegen bei den Substituten Gefahren vor
- Welche Veränderung bedeutet das für die Produkteigenschaften, eventuell Pilot-Tests
- Abschätzung der Marktchancen und der absehbaren Erlöse
- Investitionsentscheidung unter Prüfung der Notwendigkeit und des Returns der Aufwendungen

Bei diesen Substitutionen muss der notwendige Zeitraum für die Alternativen-Implementierung berücksichtigt werden. Nach dem derzeitigen Entwurf haben Unternehmen je nach Anwendung eineinhalb bis maximal dreizehneinhalb Jahre Zeit, Alternativen für PFAS zu finden. Diese Fristen hängen unter anderem von der derzeitigen Verfügbarkeit und Anwendbarkeit der PFAS-Alternativen ab.

Diese Substitution kann bei vorhandenen und geprüften Alternativen mit Erfahrungen über die Anwendung durchaus innerhalb von 18 Monaten möglich sein. Wenn aber eine Adaptierung des Herstellprozesses notwendig ist, ist mit bis zu 5 Jahren zu rechnen. Wenn aber die Applikation erst gemeinsam mit Herstellern der PFAS-Produkte entwickelt werden muss, kann das bis 10 Jahre und deutlich länger dauern, wobei der Erfolg dabei ungewiss bleibt und große Unsicherheiten darstellt.

Wirtschaftliche und volkswirtschaftliche Folgen von PFAS-Beschränkungen

Die Beschränkung der gesamten Stoffgruppe der PFAS über die bestehenden Regelungen hinaus betrifft eine Vielzahl von Branchen, darunter die Textil-, Metall-, chemische Industrie sowie die Energietechnik und die Fertigung elektronischer Bauteile und ihrer Anlagen. PFAS werden aufgrund ihrer chemischen und temperaturbeständigen Eigenschaften in zahlreichen Anwendungen wie Dichtungen, Polymeren, Beschichtungen, Farben und Lacken eingesetzt. Ein Verzicht auf PFAS würde die Wettbewerbsfähigkeit vieler Unternehmen gefährden, da es derzeit nur begrenzte Alternativen gibt.

Die Anwendung von PFAS in der **Elektro- und Elektronikindustrie, sowie auch in der Energietechnik, insbesondere bei Transformatoren und der Wasserstoffherstellung**, ist für Isolierungen, Dichtungen und Membranen, sowie auch Wärmeträgeröle aus derzeitiger Sicht noch weitgehend unersetzbar. PFAS kommen hier auch in Kabelisolierungen und Dichtungen zum Einsatz, sie sind unverzichtbar auch für Leitungen von Reinwassersystemen. Zahlreiche Unternehmen betonen, dass diese Stoffe notwendig sind, um die geforderten technischen Spezifikationen zu erfüllen, da es derzeit kaum Alternativen gibt. Zudem sind sie in vielen Bereichen auch für die Erreichung der *Green-Deal* Ziele und eine erfolgreiche Energietransformation in Richtung erneuerbarer Energiesysteme notwendig. In diesen Industriebereichen (Elektro, Elektronik und Kraftfahrzeuge) sind mehr als 200 Unternehmen mit knapp über 100.000 Mitarbeitern und einem Produktionswert von über 40 Mrd. Euro tätig. Die Konkurrenzfähigkeit dieser Produktionsbereiche würde bei einem geforderten Verzicht auf PFAS deutlich leiden.

Unternehmen der **Metall- und Maschinentechnischen Industrie** benötigen PFAS in Anwendungen wie Schmierstoffen und Dichtungen, für die es derzeit keine gleichwertigen Alternativen gibt. Es handelt sich dabei um über 650 Unternehmen mit 140.000 Beschäftigten, die einen Produktionswert von fast 50 Mrd. Euro erwirtschaften. Ein Verzicht auf diese Stoffe könnte die Produktionsprozesse erheblich stören, die Einhaltung von Garantiewerten erschweren und zu höheren Kosten führen.

In der **chemischen Industrie** sind PFAS für Dichtungen, Membranen oder Pumpenbestandteilen dort unverzichtbar, wo herkömmliche Materialien aufgrund hoher Temperaturen und der Beständigkeit gegen aggressive Medien versagen. Die verwendeten PFAS umfassen Fluorpolymere wie PTFE, PVDF und FKM sowie Fluortenside. Im **pharmazeutischen Bereich** können PFAS in Wirkstoffen und Intermediates die Wirkung der Medikamente erheblich verbessern, was bei vielen der EU-Wirkstoffe auch angewendet wird. Die chemische Industrie ist mit über 200 Unternehmen und über 50.000 Mitarbeitern sowie einem Produktionswert von fast 30 Mrd. Euro eine der wesentlichen Branchen in Österreich, mit großer Bedeutung für Innovationen auch im Bereich Gesundheit und Sicherheit.

Die **Papier- und Verpackungsindustrie** setzt PFAS neben der Anwendung von Polymeren in Papiermaschinen insbesondere in feuchtigkeits- und fettabweisenden Beschichtungen ein. In diesem Bereich sind an die 100 Unternehmen mit über 18.000 Mitarbeitern und einem

Produktionswert von 10 Mrd. Euro tätig. PFAS ermöglichen es, Verpackungen langlebiger und widerstandsfähiger gegenüber Flüssigkeiten und Fetten zu machen. Hier wird bereits mit Alternativen experimentiert, allerdings zeigten sich Schwierigkeiten, die gleiche Qualität und Funktionalität zu erreichen. PFAS-Beschränkungen sind speziell bei Produkten mit Lebensmittelkontakt nachvollziehbar, bei technischen Anwendungen würde es zu einer Minderung der Produktqualität kommen.

In der **Textilindustrie** werden die wasser- und ölabweisenden Eigenschaften der PFAS für Produkte im Medizinbereich wie sterile OP-Abdeckungstücher und Arbeitskleidung, persönliche Schutzausrüstungen für Chemie- und Feuerwehrsektoren sowie Schuhobermaterialien für Arbeitsschuhe verwendet. Ein Ausstieg aus der Verwendung dieser Stoffgruppe würde eine Minderung des Arbeitnehmerschutzes und des Tragekomforts für die Betroffenen bedeuten. Die schlechtere Wiederverwendbarkeit der Textilien würde auch wirtschaftliche und ökologische Nachteile mit sich bringen.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen einer umfassenden Beschränkung von PFAS wären ebenfalls erheblich. Diese Beschränkungen könnten die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit vieler österreichischer Unternehmen beeinträchtigen. Branchen wie die chemische Industrie, die Energietechnik und die pharmazeutische Industrie, die für die österreichische Wertschöpfung und Beschäftigung eine zentrale Rolle spielen, wären stark betroffen. Der Verlust der internationalen Wettbewerbsfähigkeit könnte zu Produktionsverlagerungen ins Ausland und damit zum Verlust von Arbeitsplätzen und Know-how im Inland führen. Zudem würde das Erreichen der EU-Klimaziele gefährdet werden. PFAS sind für viele Technologien unverzichtbar, die für den Ausbau erneuerbarer Energien und die Energiewende benötigt werden, wie z. B. für die Wasserstoffproduktion und für Hochleistungs-transformatoren. Ohne PFAS könnten Projekte verzögert und Nachhaltigkeitsziele gefährdet werden.

Die Unsicherheit über die Verfügbarkeit von Alternativen stellt ein bedeutendes Risiko dar. Unternehmen müssen unter Umständen erhebliche Anpassungen vornehmen, ohne dass gesichert gleichwertige Alternativen zur Verfügung stehen. Dies wird zu großen Unsicherheiten und wirtschaftlichen Belastungen führen, die sich langfristig in Verlagerungen bei den betroffenen Standorten auswirken könnten.

Für die Volkswirtschaft könnten die notwendigen Umstellungen aber längerfristig zu reduzierten Kosten durch vermiedene Umwelt- und Gesundheitsschäden führen, auch wenn sie auf betrieblicher Ebene eine maßgebliche finanzielle Belastung und die Gefahr des Verlusts an Konkurrenzfähigkeit und von Marktanteilen darstellen. Ein Ausgleich über Marktgewinne durch umweltfreundliche Produkte wäre zwar möglich, dies ist aber nur realistisch, wenn die Konsumenten ein hohes Umweltbewusstsein zeigen, was vor allem bei Spezialitäten und hochpreisigen Produkten der Fall ist.

Fazit

Die Europäische Union will mit der PFAS-Regulierung eine Vorreiterrolle im globalen Umweltschutz übernehmen und damit internationale Standards setzen. Eine effektive Regulierung bei Anwendungen mit Freisetzung sollte die Anreicherung dieser Chemikalien in Gewässern und Böden verringern, was laut Forschungsinstitutionen dringend erforderlich ist. Die meisten Industrievertreter äußerten aber Bedenken wegen der hohen Kosten für die Umstellung auf PFAS-freie Alternativen und den notwendigen Investitionen in Forschung und Entwicklung in hohem Maße. Die Auswirkungen der Beschränkungen von PFAS in der Europäischen Union auf die österreichische Wirtschaft sind vielschichtig und betreffen die Behörden, die Industrie sowie die Forschung. Dies vertieft die Notwendigkeit eines integrierten Ansatzes bei der Entwicklung von Regulierungen, der alle Beteiligten, von Regierungsbehörden über die Industrie bis hin zu akademischen Forschungseinrichtungen, einschließt, um so all die Herausforderungen im Umgang mit PFAS effektiv berücksichtigen zu können.

In dieser Arbeit werden die Konsequenzen eines Ausstiegs und die Schwierigkeiten bei der Suche und bei der Implementierung von Alternativen mit möglichst gleichen Eigenschaften betrachtet. Meist weisen die möglichen Substitute nicht die gleichen technischen Eigenschaften auf und es liegen auch noch deutlich weniger Erfahrung für die Verwendung der Alternativen vor. Die für Anwendungsbeschränkungen vorgesehenen Stoffe sind in der Regel wesentlich besser hinsichtlich ihrer Gefährdungseigenschaften untersucht als die Alternativen. Oft zeigt auch die jahrelange Anwendung erst Probleme für Mensch und Umwelt auf.

Es zeigte sich bei der Erhebung, dass die Effekte einer Beschränkung des Einsatzes von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen in der Europäischen Union sehr tiefgreifend und auch sehr unterschiedlich in den einzelnen Anwendungsbereichen wären. Sie gehen von Einbußen beim Arbeitnehmerschutz, der Verringerung der Betriebssicherheit und der höheren Wartungsintensität von Anlagen, bis hin zu Problemen und nicht normgerechte Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen. In jedem Bereich ist daher eine gründliche Untersuchung der Notwendigkeit einer Beschränkung notwendig, unter Berücksichtigung der Freisetzungspfade, der Expositionen, des Nutzens, des Vorliegens und der Auswirkung des Einsatzes von Alternativen. Dabei müssen die ökologischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Aspekte, wie sie in den durchgeführten Interviews und Online-Befragungen deutlich wurden, eingehend betrachtet werden. Die langfristigen Auswirkungen dieser Beschränkungen lassen sich derzeit noch nicht mit Sicherheit abschätzen. Insbesondere ist noch nicht klar, ob und in welchem Umfang gleichwertige Alternativen verfügbar sein werden und welche Auswirkungen dies auf die Industrie haben wird.

Die Vertreter der befragten Betriebe unterstützten aber klar die Reduktion der möglichen ökologischen Belastungen und befürworteten eine strenge Kontrolle der Anwendung von PFAS in Produkten. Es wäre dafür aber notwendig, jene Bereiche klar zu definieren, wo eine Freisetzung von PFAS vorliegt, die im Sinne von Mensch und Umwelt unterbunden werden muss. Dort sollte auch die Suche nach Alternativen vorrangig sein und die Substitution am

Institut für Industrielle Ökologie

kurzfristigsten erfolgen. In den anderen Bereichen ohne bedeutendem Freisetzungspotenzial muss die Suche nach möglichst gleichwertigen Alternativen verstärkt und auch die Auswirkungen von deren Einsatz geprüft werden. Verschlechterungen der sozioökonomischen Bedingungen sollten bei Beschränkungen jedenfalls einbezogen werden. Spezielle Aufmerksamkeit wäre Bereichen zu widmen, die für die Erreichung der Ziele des *Green-Deals* notwendig scheinen, kaum Freisetzungspotenzial aufweisen und wo der PFAS-Einsatz derzeit unverzichtbar ist. Bei Verboten in diesen Bereichen wären bloß Verlagerungen der Herstellung und der Belastung in Länder ohne PFAS-Beschränkung zu befürchten, die neben einer Verschlechterung der Wertschöpfung keine wesentliche Verringerung des Gefährdungspotenzials bringen. Die wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen sind insbesondere in Sektoren wie der Automobil-, Chemie- und Elektronikindustrie von großer Relevanz, da in diesen Branchen eine hohe Abhängigkeit von der Verwendung von PFAS besteht. In diesen Bereichen sollte eine Beschränkung erst nach Vorliegen von Alternativen mit bestätigter gleichwertiger Funktion erfolgen.

Die Beschränkung der Verwendung von PFAS in der EU stellt die Industrie vor erhebliche Herausforderungen, bietet jedoch auch Chancen für Innovationen und die Entwicklung nachhaltigerer Materialien. Die Zukunft der PFAS-Reduktion wird maßgeblich davon abhängen, ob es technologisch möglich sein wird, rechtzeitig neue Lösungen einzuführen, um diese Herausforderungen zu meistern und gleichzeitig die Umweltbelastungen zu reduzieren. Für die Volkswirtschaft könnten die notwendigen Umstellungen langfristig zu vermiedenen Umwelt- und Gesundheitsschäden führen, auf betrieblicher Ebene stellen sie aber eine maßgebliche finanzielle Belastung mit der Gefahr des Verlusts an Konkurrenzfähigkeit und von Marktanteilen dar. Ein Ausgleich über Marktgewinne durch umweltfreundliche Produkte wäre zwar möglich, dies ist aber nur realistisch, wenn die Konsumenten ein hohes Umweltbewusstsein zeigen, was vor allem bei Spezialitäten und hochpreisigen Produkten der Fall ist. Um den Übergang zu PFAS-freien Alternativen zu erleichtern, sind gezielte Fördermaßnahmen, klare rechtliche Rahmenbedingungen und eine verstärkte Forschung notwendig. Bildungsinstitutionen und die Industrie sollten zusammenarbeiten, um das Bewusstsein und die Akzeptanz für umweltfreundlichere Lösungen zu erhöhen und somit eine erfolgreiche Markteinführung zu unterstützen [47].

Abschließend lässt sich sagen, dass die erfolgreiche Bewältigung der PFAS-Problematik eine gemeinsame Anstrengung aller involvierten Bereiche erfordert. Nur durch kontinuierliche Forschung, effektive Regulierung und die Bereitschaft der Industrie zur Innovation können die ökologischen und gesundheitlichen Risiken minimiert und gleichzeitig wirtschaftliche Chancen genutzt werden.

Literatur

- [1] ECHA, „Perfluoralkylchemikalien (PFAS)“, Wissenschaftliche Themen in der Diskussion. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
- [2] OECD, „Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance“, 61, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/terminology-per-and-polyfluoroalkyl-substances.pdf>
- [3] ECHA, „ANNEX XV RESTRICTION REPORT PROPOSAL FOR A RESTRICTION“, Verion Nr. 2, März 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/documents/10162/f605d4b5-7c17-7414-8823-b49b9fd43aea>
- [4] OECD, „PFASs and alternatives in cosmetics: report on commercial availability and current uses“. 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.chemleg.com/upload/files/B%C3%BCltenler/Kozmetik/OECD%20Raporu%20-%20Kozmetikte%20PFASlar%20ve%20Alternatifleri/OECD%20Report%20on%20PFASs%20and%20Alternatives.pdf>
- [5] Environmental Science for the European refining industry und S. J.W.N, „Environmental fate and effects of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS)“, Concawe, 8/16, Juni 2016. [Online]. Verfügbar unter: https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2016/06/Rpt_16-8.pdf
- [6] E. Schymanski, I. Zhang, P. A. Thiessen, T. Kondic, und E. E. Bolton, „Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in PubChem: 7 Million and Growing“, 23 Oktober 2023, doi: 10.1021/acs.est.3c04855.
- [7] J. P. Giesy und K. Kannan, „Global Distribution of Perfluorooctane Sulfonate in Wildlife“, 01.03.2001, doi: 10.1021/es001834k.
- [8] E. Panieri, K. Baralic, D. Djukic-Cosic, und A. Buha Djurdjevic, „PFAS Molecules: A Major Concern for the Human Health and the Environment“, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/toxics10020044>.
- [9] The Interstate Technology & Regulatory Council, PFAS-Team, „Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)“. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2023/12/Full-PFAS-Guidance-12.11.2023.pdf>
- [10] A. Ramirez Carnero, A. Lestido-Cardama, und P. V. Loureiro, „Presence of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food Contact Materials (FCM) and Its Migration to Food“, Juni 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/foods10071443>.
- [11] N. Malouchi, S. Chatzimichailidou, und A. K. Tolkou, „The Removal of Per- and Poly-Fluoroalkyl Substances from Water: A Review on Destructive and Non-Destructive Methods“, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/separations11040122>.
- [12] C. Ophardt, „Polymer Fundamentals“, Virtual Chembook. [Online]. Verfügbar unter: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Organic_Chemistry\)/Polymers/Polymer_Fundamentals](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Polymers/Polymer_Fundamentals)
- [13] C. Rhenotherm, „Fluorpolymere“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.rhenotherm.de/glossar/fluorpolymere/#:~:text=Fluorpolymere%20ist%20der%20Oberbegriff%20f%C3%BCr,S%C3%A4uren%2C%20Laugen%20und%20L%C3%B6sungsmittel%20aufweisen.>

- [14] Wikipedia, „Fluorpolymere“. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Fluorpolymere>
- [15] „Marktgröße und Anteilsanalyse für Polytetrafluorethylen (PTFE) – Wachstumstrends und Prognosen bis 2029“, Mordor Intelligence. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mordorintelligence.com/de/industry-reports/polytetrafluoroethylene-ptfe-market>
- [16] Chemical & Engineering News, „Fluoropolymers don't deserve “low concern” label, researchers say“, 14. Oktober 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://cen.acs.org/environment/Fluoropolymers-dont-deserve-low-concernlabel/98/i40>
- [17] R. Lohmann, I. T. Cousins, J. C. DeWitt, und J. Glüge, „Are Fluoropolymers Really of Low Concern for Human and Environmental Health and Separate from Other PFAS?“, Okt. 2020, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03244>.
- [18] S. R. Fernandez, C. Kwiatkowski, und T. Bruton, „BUILDING A BETTER WORLD Eliminating Unnecessary PFAS in Building Materials“, Mai 2021.
- [19] J. Gu, F. Guo, X. Peng, und bin Wang, „Green and Sustainable Construction Industry: A Systematic Literature Review of the Contractor's Green Construction Capability“, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/buildings13020470>.
- [20] ECHA, „REACH verstehen“, ECHA, Gesetzgebung. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/regulations/reach/understanding-reach>
- [21] *Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC (Text with EEA relevance)Text with EEA relevance*. 2006. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02006R1907-20210215#toclid274>
- [22] REACH, „PBT assessment, Annex XIII“, ECHA. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/understanding-pbt-assessment>
- [23] „Zulassung“, ECHA, Gesetzgebung/REACH/Zulassung/Identifizierung besonders besorgniserregender Stoffe. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/substances-of-very-high-concern-identification-explained>
- [24] I. T. Cousins, J. C. DeWitt, J. Glüge, G. Goldenman, und D. Herzke, „The high persistence of PFAS is sufficient for their management as a chemical class“, 29 October 2020, doi: DOI <https://doi.org/10.1039/D0EM00355G>.
- [25] G. Goldenman, M. Fernandes, M. Holland, und T. Tugran, „THE COST OF INACTION A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS“, Nordic Council of Ministers, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1295959/FULLTEXT01.pdf>
- [26] R. C. Buck und J. Franklin, „Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins“, Bd. 7, Nr. 4, Juli 2011, doi: 10.1002/ieam.258.
- [27] S. Brendel, E. Fetter, und L. Vierke, „Short-chain perfluoroalkyl acids: environmental concerns and a regulatory strategy under REACH“, Feb. 2018, doi: <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0134-4>.
- [28] Umweltbundesamt, „PFAS Gekommen, um zu bleiben.“, Januar 2020. [Online]. Verfügbar unter:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/uba_sp_pfas_web_0.pdf

- [29] EPA, „Multi-Industry Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Study – 2021 Preliminary Report“, EPA-821-R-21-004, Sep. 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/multi-industry-pfas-study_preliminary-2021-report_508_2021.09.08.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Fsystem%2Ffiles%2Fdocuments%2F2021
- [30] Z. Zhao, J. Li, X. Zhang, und L. Wang, „Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in groundwater: current understandings and challenges to overcome“, Mai 2022, doi: 10.1007/s11356-022-20755-4.
- [31] A.-M. Kaiser, „PFAS-Report 2022“. Umweltbundesamt, 2022.
- [32] T. Fuchigami und S. Inagi, „Electrochemical Fluorination for Preparation of Alkyl Fluorides“, *Department of Electrochemistry, Tokyo Institute of Technology, Midori-ku, Yokohama, Japan*, Okt. 2017, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-1855-8_7-1.
- [33] R. Dhore und G. S. Murthy, „Per/polyfluoroalkyl substances production, applications and environmental impacts“, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125808>.
- [34] EFSA, „Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food“, Sep. 2020, doi: 10.2903/j.efsa.20YY.NNNN.
- [35] „Substance Infocard: Pentadecafluorooctanoic acid“, Sep. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.005.817>
- [36] EFSA, „Substance Infocard: Heptadecafluorooctane-1-sulphonic acid“, Sep. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.echa.europa.eu/web/guest/substance-information/-/substanceinfo/100.015.618>
- [37] M. Neumann und I. Schliebner, „Protecting the sources of our drinking water: The criteria for identifying persistent, mobile and toxic (PMT) substances and very persistent and very mobile (vPvM) substances under EU Regulation REACH (EC) No 1907/2006“, Umweltbundesamt deutschland, 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-29_texte_127-2019_protecting-sources-drinking-water-pmt.pdf
- [38] H. P. H. Arp, S. Hale, und M. Neumann, „PMT/vPvM assessment of REACH registered Substances Detected in Wastewater Treatment Plant Effluent, Freshwater Resources and Drinking Water“, Umweltbundesamt Deutschland, Nov. 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/20_2023_texte_pmtvpm_assessment_of_detected_reach_substances_v23032023.pdf
- [39] Fraunhofer ISC, „EU project ZeroF aims to create substitutes for PFAS in food packaging and textiles“, Sep. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.isc.fraunhofer.de/en/press-and-media/press-releases/project-zerof-pfas-substitutes.html>
- [40] T. Holbrooks, „By the People, For the People: A Holistic Approach to PFAS Research“, 15. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://collaboratory.unc.edu/news/2024/07/15/by-the-people-for-the-people-a-holistic-approach-to-pfas-research/>
- [41] „Key EPA Actions to Address PFAS“, United States Environmental Protection Agency, Jan. 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.epa.gov/pfas/key-epa-actions-address-pfas>

- [42] R. Figuiere, L. Miaz, E. Savvidou, und I. T. Cousins, „Database of alternatives to persistent, mobile and toxic (PMT) substances, and to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)“. 2. April 2024. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10852739>.
- [43] Z. Abunada, M. Y. D. Alazaiza, und M. J. K. Bashir, „An Overview of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the Environment: Source, Fate, Risk and Regulations“, Dez. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/w12123590>.
- [44] S. M. Bartell und V. Vieira, „Critical review on PFOA, kidney cancer, and testicular cancer“, Juni 2021, [Online]. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33780327/>
- [45] Z. Habib, M. Song, und S. Ikram, „Overview of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS), Their Applications, Sources, and Potential Impacts on Human Health“, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/pollutants4010009>.
- [46] X. Xie, X. Weng, S. Liu, und J. Chen, „Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substance exposure and association with sex hormone concentrations: results from the NHANES 2015–2016“, 2021, [Online]. Verfügbar unter: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-021-00508-9>
- [47] H. Brunn, G. Arnold, und W. Körner, „PFAS: forever chemicals—persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites“, 29 April 2023, doi: <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00730-7>.
- [48] S. Nayak, G. Sahoo, und I. Iswari Das, „Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFAS): Do They Matter to Aquatic Ecosystems?“, März 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/toxics11060543>.
- [49] T. Schroeder, D. Bond, und J. Foley, „PFAS soil and groundwater contamination via industrial airborne emission and land deposition in SW Vermont and Eastern New York State, USA“, 26 December 2020, doi: 10.1039/d0em00427h.
- [50] Ecology Center und Sierra Club, „Sludge in the Garden“, Mai 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sierraclub.org/toxics/pfas/pfas-sludge>
- [51] „Beschraenkungsverfahren von Per- und polyfluorierten Stoffen (PFAS)“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/DE/REACH/Verfahren/Beschraenkungsverfahren/Deutsche_Vorschlaege/PFAS/PFAS.html
- [52] L. L. Bergeson, „ECHA Publishes Proposal to Restrict More Than 10,000 PFAS under REACH“, *The National Law Review*, Okt. 2023, [Online]. Verfügbar unter: <https://natlawreview.com/article/echa-publishes-proposal-restrict-more-10000-pfas-under-reach>
- [53] Environmental Protection Agency, „PFOA Stewardship Program“. 2006. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.regulations.gov/docket/EPA-HQ-OPPT-2006-0621>
- [54] T. Wen, „European Commission to Revise PFOS Exemptions under POPs Regulation“, 15. Dezember 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://chemical.chemlinked.com/news/chemical-news/eu-to-revise-pfos-exemptions-under-pops-regulation>
- [55] M. Uhl und T. Halldorsson, „SCOPING DOCUMENTS (1st round of prioritization) Prioritized substance group: PFAS“, Dez. 2017, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2017/04/Scoping-document-on-per-and-poly-fluoralkyl-substances.pdf>

- [56] European Environment Agency, „Cross-cutting story 3: PFAS“, März 2023, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/publications/zero-pollution/cross-cutting-stories/pfas>
- [57] „The Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants was adopted by the Conference of Plenipotentiaries on 22 May 2001 in Stockholm, Sweden. The Convention entered into force on 17 May 2004.“, UN Stockholm Convention. Zugriffen: 12. Mai 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://chm.pops.int/TheConvention/Overview/tabid/3351/Default.aspx>
- [58] UNEP/ und GEF, „Global Monitoring of Persistent Organic Pollutants“, <https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/pollution-and-health/persistent-organic-pollutants-pops-4>.
- [59] UN Stockholm Convention, „Guidance for Developing a National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants“, März 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceforDevelopingNIP/tabid/3166/Default.aspx>
- [60] UNEP, „Updating of National Implementation Plans for POPs“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/pollution-and-health/persistent-organic-pollutants-pops-9>
- [61] ECHA, „ECHA publishes PFAS restriction proposal“, Apr. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>
- [62] *VERORDNUNG (EU) 2024/573 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 7. Februar 2024 über fluorierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014.* 2024. Zugriffen: 10. Mai 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400573
- [63] ECHA, „Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit“, ECHA. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/chemicals-strategy-for-sustainability>
- [64] *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit Für eine schadstofffreie Umwelt.* 2020. Zugriffen: 12. Mai 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:f815479a-0f01-11eb-bc07-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
- [65] Danish Veterinary and Food Administration, „Ban on fluorinated substances in paper and board food contact materials (FCM)“. Juni 2020. [Online]. Verfügbar unter: [https://en.foedevarestyrelsen.dk/Media/638210239823191854/Faktaark%20FCM%20\(english\).pdf](https://en.foedevarestyrelsen.dk/Media/638210239823191854/Faktaark%20FCM%20(english).pdf)
- [66] Swedish Chemicals Agency, „Collaborations on PFAS“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.kemi.se/en/chemical-substances-and-materials/pfas#h-TheSwedishChemicalsAgencysworkwithPFAS>
- [67] *Order of 20 June 2023 on the analysis of per- and polyfluoroalkylated substances in aqueous discharges from classified facilities for environmental protection under the authorisation regime.* 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047739535>
- [68] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, „Guidelines for PFAS assessmen“. 21. Januar 2022. [Online]. Verfügbar unter:

https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/pfas_leitfaden_2022_en_bf.pdf

- [69] „Current information about PFAS“, RIVM. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.rivm.nl/en/pfas>
- [70] Umweltbundesamt, Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, und BMK, „PFAS-Aktionsplan: Maßnahmen zur Reduktion der Belastung von Mensch und Umwelt durch per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Österreich“. 2023.
- [71] *Communication from the Commission – Guiding criteria and principles for the essential use concept in EU legislation dealing with chemicals*. 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/90926c62-0365-11ef-a251-01aa75ed71a1/language-en>
- [72] Ensinger GmbH, „Empfehlungen und Alternativen zu PFAS“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ensingerplastics.com/de-de/technische-kunststoffe-auswahl/pfas-alternativen>
- [73] „U.S. PFAS Regulations by State“, *Source Intelligence*, 19. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://blog.sourceintelligence.com/us-pfas-regulations-by-state>
- [74] „Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Final PFAS National Primary Drinking Water Regulation“, United Nations Environment Protection Agency, Apr. 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>
- [75] „Persistent Organic Pollutants Control in China (2004-2024)“, Ministries and Commissions of China, Mai 2024.
- [76] BMK, „Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:cc29d636-55d9-4857-83aa-6cf5bbb7cf9f/40_13_beilage_NB.pdf&ved=2ahUKEwi0q7-ar9OGAxWPQfEDHQZyBgMQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw1xD9Ngmy-AVljvdYsl-zX2