

BLAC-Bericht Fluorpolymere Faktencheck

IMPRESSUM

Herausgeber

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC) – www.blac.de

Berichterstattung

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC)
unter dem Vorsitz des Landes Niedersachsen

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz

Stand: 04/2025

Inhalt

Zusammenfassung	1
Einleitung	2
Was sind PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances; per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen)?	2
Was sind polymere PFAS?	3
Wo werden Fluorpolymere verwendet?	4
Was sind 'polymers of low concern'?	5
Gibt es 'polymers of low concern'?	5
Wie wird in der EU überprüft, ob Fluorpolymere unbedenklich sind?	6
Wie sollen Fluorpolymere und andere PFAS auf europäischer Ebene reguliert werden?	7
Wie sind Fluorpolymere bisher reguliert?	7
Sind Fluorpolymere in der Verwendungsphase für Mensch und Umwelt unbedenklich?	8
Ist es möglich, dass die Polymerisationsprozesse von Fluorpolymeren ohne relevante Umwelteinträge ablaufen?	9
Können Fluorpolymere in Abfallverbrennungsanlagen sicher zerstört werden?	10
Gibt es Alternativen zu Fluorpolymeren?	11
Gibt es bereits etablierte Alternativen zu polymeren PFAS in Verbraucherprodukten?	12
Wo kommen Fluorpolymere in Medizinprodukten und im medizinischen Sektor zum Einsatz? ..	13
Sind Fluorpolymere Voraussetzung für das Gelingen der grünen Transformation?	13
Inwiefern kommen Fluorpolymere bei der Herstellung von Computerchips zum Einsatz?	14

Zusammenfassung

Fluorpolymere sind eine Teilgruppe der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS). Sie bestehen aus einer polymeren Kohlenstoffkette, bei denen die Kette selbst mit Fluoratomen besetzt ist. Fluorpolymere werden aufgrund ihrer Eigenschaften in verschiedenen Bereichen innerhalb der Industrie, in technischen Prozessen sowie in Alltagsprodukten – von der Rohrleitungsdichtung, über die Computerchip-Herstellung bis hin zur Zahnseide – eingesetzt.

Unbedenklich sind Fluorpolymere nicht. Der in Bezug auf Fluorpolymere teils eingesetzte Begriff der *'polymers of low concern'* (Polymere geringer Besorgnis) ist kein von der OECD oder der Wissenschaft definierter Begriff und es kann daher nicht behauptet werden, Fluorpolymere seien nach OECD-Maßgabe oder wissenschaftlichen Kriterien *'polymers of low concern'*.

In der EU werden Stoffbeschränkungen vorrangig im Rahmen der REACH-Verordnung vorgenommen. Für PFAS liegt ein Vorschlag für eine solche Beschränkung vor, wobei Fluorpolymere Teil des Beschränkungsvorschlags sind. Er beschreibt ein unannehmbares Risiko durch die unbeschränkte Verwendung von PFAS und sieht unterschiedlich lange Übergangszeiten basierend auf dem Grad der Verfügbarkeit von Alternativen vor, die im aktuell laufenden Verfahren weiter überarbeitet werden, um noch differenziertere Regelungen zu entwickeln.

Fluorpolymere sind insbesondere deshalb Teil des Beschränkungsvorschlags, weil es bei Ihrer Herstellung und Entsorgung zu PFAS-Emissionen kommt. Bisher ist in der Praxis noch nicht nachgewiesen worden, dass Polymerisationsprozesse von Fluorpolymeren ohne relevante Umwelteinträge ablaufen können. Im Gegenteil haben die bisherigen Erfahrungen gezeigt, dass es gerade bei Polymerisationsprozessen von Fluorpolymeren zu relevanten PFAS-Einträgen in die Umwelt kommt. Wo bei der Entsorgung von Fluorpolymeren PFAS-Emissionen in die Umwelt entstehen, ist Teil aktueller Forschungsprojekte.

Auch die Verwendung von Fluorpolymeren kann nicht pauschal als unbedenklich bezeichnet werden. Begleitstoffe, emissionsintensive Verwendungen und – insbesondere bei nicht beruflichen Verwendungen – auch der vorhersehbare Fehlgebrauch bergen in der Verwendungsphase Risiken.

Bereits heute können Fluorpolymere in bestimmten Verwendungen beispielsweise durch Polyamide, Polyetheretherketon (PEEK) oder Ultra-hochmolekulares Polyethylen (*Ultra-high molecular weight polyethylene*; UHMW-PE) ersetzt werden. Bei der Suche nach Alternativen zu Fluorpolymeren ist es wichtig, die spezielle Anwendung zu betrachten und auch mögliche andere Herangehensweisen oder Technologien in den Blick zu nehmen. Beispielsweise können für die Antihaftbeschichtung von Kochgeschirr statt Fluorpolymeren sowohl alternative Beschichtungen als auch gänzlich andere Materialien wie Gusseisen oder Edelstahl verwendet werden. Gerade für Fluorpolymere in Verbraucherprodukten, gibt es schon heute zahlreiche am Markt etablierte Alternativen. Aber auch in anderen Verwendungsbereichen – etwa bei Medizinprodukten und Technologien der grünen Transformation – sind fluorfreie Innovationen teils bereits verfügbar. Auch gibt es Erkenntnisse zur Umstellung einzelner Verfahrensschritte der Halbleiterherstellung, die bisher auf der Verwendung von PFAS beruhten, auf fluorfreie Alternativen.

Einleitung

In ihrer 55. Sitzung im September 2024 hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC) Vertreterinnen und Vertreter von sechs Ländern gebeten, den vorliegenden Bericht zu Fluorpolymeren mit fachlicher Unterstützung von Bundeswehr und Umweltbundesamt für die Umweltministerkonferenz zu erarbeiten. Anlass war die Diskussion um den PFAS-Beschränkungsantrag, der sich zunehmend auf die Gruppe der Fluorpolymere fokussiert. Auftrag der Arbeitsgruppe war es, sich sachlich und an gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen orientiert mit den wichtigsten Fragestellungen und den am häufigsten vorgebrachten Argumenten zu Fluorpolymeren auseinanderzusetzen.

Was sind PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances; per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen)?

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind organische Verbindungen mit einem Kohlenstoffgerüst, das ganz (per-) oder teilweise (poly-) fluoriert ist. Eine allgemeine Definition von PFAS wurde 2021 von der OECD eingeführt:

*"PFAS sind definiert als fluorierte Stoffe, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatom (ohne ein daran gebundenes H/Cl/Br/I-Atom) enthalten, d. h. mit einigen wenigen Ausnahmen, jede Chemikalie mit mindestens einer perfluorierten Methylgruppe (-CF₃) oder einer perfluorierten Methylengruppe (-CF₂-) ist eine PFAS."*¹

Die Stoffgruppe der PFAS umfasst mehr als 10.000 verschiedene Stoffe, die sich im Aufbau des Kohlenstoffgerüsts, dem Grad der Fluorierung und dem Vorhandensein anderer chemischer Molekülstrukturen unterscheiden. PFAS kommen nicht natürlich vor und werden seit etwa 1940 hergestellt und verwendet. Am bekanntesten sind die perfluorierten Carbon- und Sulfonsäuren Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) sowie der Kunststoff *Teflon*®.

Die Kohlenstoff-Fluor-Bindung ist extrem stabil und daher langlebig. PFAS besitzen eine große Stabilität bei hohen Temperaturen oder hohem Druck sowie gegenüber anderen Chemikalien. Auch tragen biotische Prozesse nicht zum vollständigen Abbau von PFAS bei. Aufgrund ihrer hohen Oberflächenaktivität haben einige PFAS wasser-, öl- und schmutzabweisende Eigenschaften. Zusätzlich sind PFAS sehr gute thermische Isolatoren. All diese Eigenschaften machen PFAS zu gefragten Werkstoffen in den unterschiedlichsten Einsatzbereichen.

Die Stabilität der Kohlenstoff-Fluor-Bindung trägt auch dazu bei, dass PFAS oder deren Abbauprodukte sich nach ihrer Freisetzung unweigerlich in der Umwelt und auch in den Nahrungsketten anreichern. Viele dieser Stoffe sind sehr mobil, werden also über das Wasser und durch Anhaftung an Partikel in der Luft schnell und weit verbreitet. Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und andere niedermolekulare PFAS werden aufgrund ihrer gefährlichen Eigenschaften (reproduktionstoxisch, persistent, bioakkumulierbar) auf der Liste der besonders besorgniserregenden Stoffe der Europäischen Chemikalienagentur ECHA geführt.

¹ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2021) *Series on Risk Management No. 61: Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance*, <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/terminology-per-and-polyfluoroalkyl-substances.pdf>.

Auch andere Vertreter der PFAS-Gruppe stehen im dringenden Verdacht, erhebliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und auf die Umwelt zu haben.^{2, 3}

Die Gruppe der PFAS lässt sich in eine polymere und eine nichtpolymere Kategorie unterteilen.

Was sind polymere PFAS?

Polymere zeichnen sich strukturell durch eine lange lineare oder verzweigte Kette immer wiederkehrender Einzelverbindungen (Monomere) aus. Polymere PFAS lassen sich in drei Untergruppen einteilen. Oftmals wird in der Öffentlichkeit nicht klar zwischen den Begrifflichkeiten differenziert und alle ‚polymeren PFAS‘ als ‚Fluorpolymere‘ bezeichnet.

Fluorpolymere

Fluorpolymere bestehen aus einer Kohlenstoffkette, bei denen die Kette selbst mit Fluor-Atomen besetzt ist.

Beispiel: Polytetrafluorethylen PTFE

Prominentester Vertreter der Fluorpolymere ist Polytetrafluorethylen (PTFE, bekanntester Handelsname *Teflon*[®]), das aus Perfluorethylenmonomeren hergestellt wird. PTFE lässt sich nicht thermoplastisch (durch Schmelzen und Abkühlen), sondern nur durch Sintern und Pressen verarbeiten. Andere Fluorpolymere enthalten Verzweigungen und bekommen dadurch thermoplastische Eigenschaften, lassen sich also durch Schmelzen und Abkühlen verformen.

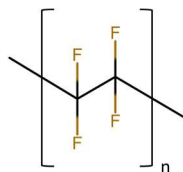


Abbildung 1: Polytetrafluorethylen (PTFE, Handelsname *Teflon*[®])

Perfluoropolyether (PFPE)

Perfluoropolyether (PFPE) bestehen ebenfalls aus einer mit Fluor-Atomen besetzten Kohlenstoffkette, diese ist allerdings durch Sauerstoffatome unterbrochen.

Der Aufbau der Polymere kann sich durch die Häufigkeit der Sauerstoffatome in der Kette und mögliche kleiner Verzweigungen unterscheiden. PFPE sind überwiegend flüssig bis pastös und werden als Schmierstoffe oder Wärmeträger beim Dampfphasenlöten verwendet.

² Brunn et al. Environmental Sciences Europe (2023) 35:20, *PFAS: forever chemicals - persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites*, <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00721-8>.

³ IARC (2025), *IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans Volume 135, Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic Acid (PFOS)*, <https://publications.iarc.who.int/publications/media/download/7426/9068391c6e0c8163abff5806a1682a0bb87ce84e.pdf>.

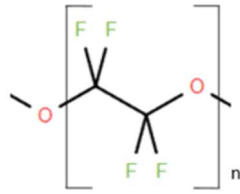


Abbildung 2: Perfluoropolyether (PFPE)

Seitenkettenfluorierte Polymere

Seitenkettenfluorierte Polymere (*side-chain fluorinated polymers*, SCFP) bestehen aus einer nicht fluorierten Kette, die in regelmäßigen Abständen mit fluorierten Seitenketten verbunden ist. Je nach Art der Bindung in der Hauptkette unterscheidet man Acrylate, Urethane, Oxethane, Silikone oder Ethoxylate.

SCFP werden häufig zur Oberflächenbehandlung von Textilien oder Papieren eingesetzt, um diese vor der Einwirkung von Wasser, Öl oder Chemikalien zu schützen.

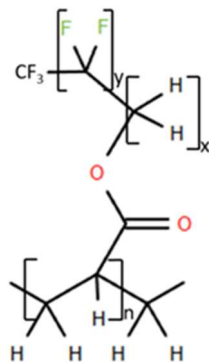


Abbildung 3: Beispiel für side-chain fluorinated polymers (SCFP)

Wo werden Fluorpolymere verwendet?

Fluorpolymere werden aufgrund ihrer Eigenschaften in verschiedenen Bereichen innerhalb der Industrie, in technischen Prozessen sowie in Alltagsprodukten eingesetzt.

Sie werden beispielsweise in der Automobilbranche, im Bauwesen, in Medizinprodukten, innerhalb der Lebensmitteltechnik, bei Windkraftanlagen und Solarzellen sowie zur Wasseraufbereitung eingesetzt.^{4;5} Fluorpolymere nutzt man dort unter anderem zur Beschichtung von Oberflächen, als Farben, als Schmierstoffe, als Membranen, als Röhrchen sowie zur Abdichtung. Fluorpolymere wie PTFE werden auch in Mikroprozessoren, Halbleitern und Transistoren verwendet, die wiederum in alltäglichen Mobilgeräten wie Smartphones, Tablets und Laptops verbaut werden.⁶

Auch in anderen Verbraucherprodukten kommen Fluorpolymere vor. *Teflon*® bzw. PTFE wird z. B. als Antihafbeschichtung bei Pfannen und Elektrokleingeräten wie Sandwich-Makern

⁴ <https://fluoropolymers.eu/essential-uses-of-fps/>.

⁵ Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/pfc-portal-verwendungen#strap-74771>.

⁶ <https://www.teflon.com/en/industries-and-solutions/industries/electronics>.

verwendet.⁷ Im Heimwerkbereich werden PTFE-haltige Produkte ebenfalls angeboten – etwa als Dichtungsband für Verschraubungen, als Möbelgleiter, in Wachs für die Autopflege, in beschichteten Farbrollern, als Schmiermittel z. B. für Fahrräder (‘Teflon®-Spray’), in Imprägnierflüssigkeiten oder auf beschichteten Terrassenplatten. PTFE wird darüber hinaus zu ePTFE (*expanded PTFE*) gereckt.⁸ Zu Membranen verarbeitet kann es in wetterfester Outdoor-Kleidung eingearbeitet werden. Kosmetika wie beispielsweise Anti-Aging-Produkte oder Make-Up können ebenfalls mit Fluorpolymeren wie PTFE als Inhaltsstoff versetzt sein.^{9, 10}

Was sind ‘polymers of low concern’?

‘Polymers of low concern’ ist kein von der OECD oder der Wissenschaft definierter Begriff. Es gibt damit auch keine auf OECD-Ebene definierten Kriterien hinsichtlich der Besorgnis von Fluorpolymeren. Es kann daher auch nicht gesagt werden, Fluorpolymere seien nach OECD-Maßgabe oder wissenschaftlichen Kriterien ‘polymers of low concern’ (‘Polymere geringer Besorgnis’). Die vorgeschlagene Beschränkung von PFAS in der EU adressiert Aspekte, die nicht Gegenstand irgendeines Konzeptes von ‘polymers of low concern’ sind.

Einige Staaten außerhalb der EU, die im Chemikalienrecht Anmeldepflichten o. Ä. für Polymere kennen, haben für bestimmte Polymere mit vermutlich geringerer Besorgnis reduzierte Anforderungen vorgesehen. Dies betrifft z. B. die USA, Australien oder Kanada. Die dafür herangezogenen Kriterien für ‘polymers of low concern’ waren auch Gegenstand von Diskussionen auf Ebene der OECD, wurden jedoch nicht als allgemein gültige Kriterien verabschiedet. In Australien wurden beispielsweise die dort definierten Kriterien inzwischen darum ergänzt, dass in den fraglichen Polymeren keine -CF₂- oder -CF₃-Gruppen enthalten sein dürfen.

Gibt es ‘polymers of low concern’?

In der EU findet ein Konzept das Polymere als ‘polymers of low concern’ einordnet, keine Anwendung. Es gibt Veröffentlichungen, in denen Vertreter von Unternehmen die von der OECD nie definierten Kriterien für ‘polymers of low concern’ auf Fluorpolymere anwenden. Dass – fälschlicherweise – behauptet wird, Fluorpolymere erfüllten „OECD-Kriterien für polymers of low concern“, hat für erhebliche Verwirrung und Unklarheit gesorgt.

Zielsetzung der nicht zum Abschluss gebrachten OECD-Beratungen war beispielsweise zu entscheiden, welche chemikalienrechtlichen Pflichten für bestimmte Polymere greifen sollten: Pflichten, die in der EU nie eingeführt wurden. Auch sind die Fragestellungen im Rahmen der

⁷ <https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/projekt-schadstoffberatung/schadstoffberatung-kuechenutensilien-lebensmittelverpackungen/pfanne-mit-antihafbeschichtung-gesundheitsschaedlich-50076>.

⁸ https://www.trekkinglife.de/gore-tex-wundermaterial-oder-chemiekeule/#2_Was_ist_Gore-Tex_Technologie_und_Funktionsweise.

⁹ OECD (2024), PFASs and alternatives in cosmetics: report on commercial availability and current uses, https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/02/per-and-polyfluoroalkyl-substances-and-alternatives-in-cosmetics-report-on-commercial-availability-and-current-uses_dcdcacbc/baa236f5-en.pdf.

¹⁰ <https://echa.europa.eu/de/-/hazardous-chemicals-found-in-cosmetic-products>;
<https://echa.europa.eu/de/-/forum-stakeholder-workshop-on-the-results-of-the-forum-pilot-project-on-restricted-substances-in-cosmetics>.

Beschränkung nach der europäischen REACH-Verordnung andere, als sie in Konzepten anderer Staaten zu *'polymers of low concern'* adressiert werden. Daher lässt sich nicht ableiten, dass von Polymeren, die eine Definition eines Konzeptes eines anderen Rechtsraumes erfüllen, keine unannehmbaren Risiken ausgehen. Dazu sind die Konzepte zu einfach und sprechen nur einen Teilkreis von möglichen Risiken an.

Wie wird in der EU überprüft, ob Fluorpolymere unbedenklich sind?

Grundsätzlich sind Beschränkungen im Rahmen der europäischen REACH-Verordnung unter den in Art. 68 REACH-Verordnung genannten Voraussetzungen möglich. Für PFAS liegt ein Vorschlag für eine solche Beschränkung, gestützt auf Art. 68 Abs. 1 REACH-Verordnung vor, wobei polymere PFAS Teil des Beschränkungsvorschlags sind.¹¹

Voraussetzung für die Einführung einer Beschränkung nach der REACH-Verordnung ist der Nachweis eines unannehmbaren Risikos. Entsprechend wird im Beschränkungsossier auch ein entsprechendes Risiko beschrieben. Der risikobasierte Ansatz erfordert dabei nicht die Ableitung eines bestimmten stoffspezifischen Risikolevels. Gemäß Nr. 6.5 des Anhangs I der REACH-Verordnung gilt:

Für diejenigen Wirkungen auf den Menschen und diejenigen Umweltkompartimente, für die kein DNEL- oder PNEC-Wert bestimmt werden konnte, wird eine qualitative Beurteilung der Wahrscheinlichkeit, dass bei Anwendung des Expositionsszenariums Auswirkungen vermieden werden, vorgenommen.

Im Beschränkungsossier¹¹ findet sich eine ausführliche Beschreibung der Besorgnis. Diese führt dann im Kern zu der Schlussfolgerung:

Overall, PFASs should be treated as non-threshold substances for the purpose of risk assessment in a similar manner to PBT/vPvB substances. [...] To minimise the likelihood of adverse effects in the future, all releases should be minimised.

Rohübersetzung: Insgesamt sollten PFAS für die Zwecke der Risikobewertung ähnlich wie PBT-/vPvB-Stoffe als Stoffe ohne Schwellenwert behandelt werden. [...] Um die Wahrscheinlichkeit schädlicher Auswirkungen in der Zukunft zu minimieren, sollten alle Freisetzungen minimiert werden.

Letztlich geht es darum, dass für solche langlebigen Stoffe wie PFAS bzw. ggf. deren Abbauprodukte keine sicheren Belastungslevel abgeleitet werden können.¹² Um das gemäß Art. 1 Abs. 1 REACH-Verordnung vorgesehene hohe Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und für die Umwelt sicherzustellen, sollen deshalb die Exposition des Menschen und die Freisetzung in die Umwelt minimiert werden. In welchem Maß die Exposition dann zu minimieren ist, unterliegt sozioökonomischen Erwägungen. Diese sind dann die Basis für die Ableitung, welche Belastung (und damit Risiken) noch hinnehmbar sind und welche nicht. Dabei spielen die Frage von Verfügbarkeit von Alternativen und der gesellschaftliche Nutzen von Verwendungen eine wichtige Rolle.

¹¹ <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18663449b>.

¹² Cousins et al. Environ. Sci.: Processes Impacts (2019), 21, 781: Why is high persistence alone a major cause of concern? <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/em/c8em00515j>.

Wie sollen Fluorpolymere und andere PFAS auf europäischer Ebene reguliert werden?

Als Begleitdokument zur Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit hatte die EU-Kommission ein Arbeitsdokument der Kommissionsdienststellen (SWD)¹³ zu PFAS vorgelegt. Dort wurde skizziert, in welchen EU-Regelungen die Gesundheits- und Umweltrisiken von PFAS aufgegriffen werden könnten. Es gibt inzwischen verschiedene Regelungen, welche PFAS adressieren oder in Zukunft adressieren werden. Im Rahmen der POP-Verordnung und der REACH-Verordnung gibt es für einige Vertreter der Stoffgruppe Beschränkungen.

Daneben sind zwei breite Beschränkungen im REACH-Verfahren. Der Beschränkungs-vorschlag von PFAS in Löschschäumen wird aktuell im REACH-Regelungsausschuss beraten. Ein umfassender Beschränkungs-vorschlag dänischer, deutscher, niederländischer, schwedischer und norwegischer Behörden wurde 2023 vorgelegt und wird derzeit von den zuständigen Ausschüssen der europäischen Chemikalienagentur (ECHA) bewertet.

Dieser Beschränkungs-vorschlag deckt die gesamte Stoffgruppe der PFAS ab (auch Fluorpolymere) und adressiert fast alle Verwendungsbereiche. Der Vorschlag sieht unterschiedlich lange Übergangszeiten basierend auf dem Grad der Verfügbarkeit von Alternativen vor. Die im Rahmen der Konsultation eingereichten Informationen werden aktuell genutzt, um den Vorschlag weiter zu überarbeiten und noch differenziertere Regelungen zu entwickeln.

Die Beratung der wissenschaftlichen Ausschüsse der ECHA und später der EU-Kommission unter Beteiligung der Mitgliedstaaten bleibt abzuwarten.

Die EU-Kommission hat angedeutet, dass es für industrielle Verwendungen von Fluorpolymeren, für die es keine Alternativen gibt, Ausnahmen geben wird. Dabei wird es ggf. Vorgaben geben, um die Exposition von Menschen und Umwelt zu minimieren. Die EU-Kommission betont aber auch, dass die Meinungsbildung in der EU-Kommission erst auf Basis der Stellungnahme der ECHA-Ausschüsse erfolgen wird.

Die EU-Kommission deutete ferner an, einen besonderen Schwerpunkt in der Substitution von PFAS in verbrauchernahen Verwendungen zu setzen. Das weitere Vorgehen zur Regulierung der PFAS und damit ihren zukünftigen Verwendungen sind Bestandteil des Arbeitsprogramms der Kommission.¹⁴

Auch im Koalitionsvertrag ‚Verantwortung für Deutschland‘ wird eine Substitution von PFAS befürwortet, wenn der Einsatz gleichwertiger Alternativen möglich ist.¹⁵

Wie sind Fluorpolymere bisher reguliert?

Polymere sind im Chemikalienrecht privilegiert. Sie unterliegen keiner direkten Registrierungspflicht. Es sind lediglich die zu Grunde liegenden Monomere (also die Stoffe, aus denen die Polymere synthetisiert werden) zu registrieren. Für Fluorpolymere, die als Erzeugnis in die EU

¹³ [EUR-Lex - 52020SC0249 - EN - EUR-Lex](#).

¹⁴ Communication: Commission Work program 2025 COM(2025)45, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/strategy-documents/commission-work-programme/commission-work-programme-2025_en.

¹⁵ Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, ‚Verantwortung für Deutschland‘, 21. Legislaturperiode; https://www.koalitionsvertrag2025.de/sites/www.koalitionsvertrag2025.de/files/koav_2025.pdf.

eingeführt werden, greift nicht einmal diese Pflicht. Im Rahmen der Registrierung der Monomere sind keine Daten zu den Stoffeigenschaften der Polymere vorzulegen.

Lediglich für als gefährlich im Sinne der CLP-Verordnung erkannte Fluorpolymere wäre eine Notifizierung ins Einstufungs- und Kennzeichnungsverzeichnis bei der ECHA vorzunehmen. Allerdings besteht keine Pflicht zur systematischen Datenerzeugung zu den gefährlichen Eigenschaften von Polymeren – entsprechend wenige Informationen liegen vor. Zudem wird die Besorgnis, welche mit der Beschränkung adressiert werden soll, nur teilweise von der CLP-Verordnung mit Gefahrenklassen abgedeckt.

Sind Fluorpolymere in der Verwendungsphase für Mensch und Umwelt unbedenklich?

Nein, die Unbedenklichkeit kann nicht pauschal festgestellt werden.

Zwar gelten Fluorpolymere in kompakter Form, beispielsweise in Form von Kunststoffbauteilen, welche frei von Rückständen aus dem Produktionsprozess sind, als physiologisch unbedenklich. Ob daraus die Unbedenklichkeit von Fluorpolymere in der Verwendungsphase abgeleitet werden kann, hängt z. B. von Herkunft, Darreichungsform und Art der Verwendung ab.

Begleitstoffe

Rückstände fluororganischer Produktionshilfsstoffe sind speziell bei Importartikeln schwer auszuschließen, da keine Kontrolle über die Produktionsprozesse besteht. Derartige Begleitstoffe sind analytisch oftmals nicht vollständig nachweisbar. Niedermolekulare PFAS wurden in PTFE bereits nachgewiesen¹⁶; sie sind hinsichtlich ihrer gefährlichen Eigenschaften deutlich anders zu bewerten als die Fluorpolymere selbst.

Emissionsintensive Verwendungen

Fluorpolymerpulver werden als hochwirksame Schmiermittel mit breitem Anwendungsspektrum für industrielle, gewerbliche und private Zwecke vermarktet. Ohne Rückhalteeinrichtungen gelangt sowohl bei Sprühanwendungen als auch bei Verwendung in fester Form („Aufpinseln“) ein großer Teil der feinen Partikel in die Umwelt. Ohne Atemschutz werden die Stäube und die beim Versprühen entstehenden Aerosole vergleichsweise leicht eingeatmet.

Physiologische und ökologische Wirkungen feinsten Partikel sind in der Regel anders zu bewerten als die Wirkungen der Substanz in kompakter Form. Es gibt Hinweise auf zelluläre Verfügbarkeit feinsten Fluorpolymerpartikel.¹⁷ Ob es unbedenklich ist, solche Partikel einzuatmen oder in die Umwelt freizusetzen, kann nicht als abschließend geklärt betrachtet werden.

Vorhersehbarer Fehlgebrauch

Besonders bei nicht beruflichen Verwendungen muss zur Einschätzung möglicher Schädwirkungen nicht nur die bestimmungsgemäße Verwendung berücksichtigt werden, sondern

¹⁶ Joudan et al. Environmental Science & Technology Letters (2024) 11 (3), 237-242, Aqueous leaching of ultrashort-chain PFAS from (fluoro)polymers: Targeted and nontargeted analysis, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00797>.

¹⁷ Lohmann et. al. Environmental Science & Technology (2020) 54 (20), 12820-12828, Are Fluoropolymers Really of Low Concern for Human and Environmental Health and Separate from Other PFAS? https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.est.0c03244?ref=article_openPDF.

auch der vorhersehbare Fehlgebrauch. Als Beispiele wären die Überhitzung von beschichteten Pfannen oder Backformen zu nennen und die mechanische Zerstörung solcher Beschichtungen oder von Membranen in Funktionstextilien. In Bezug auf Überhitzen nennt das Bundesinstitut für Risikobewertung 360 °Celsius als kritische Grenze für Zersetzungsprozesse.¹⁸ Moderne Öfen für Privathaushalte erreichen z. B. im Brotbackmodus oder in der pyrolytischen Reinigung höhere Temperaturen. Bei Freisetzung kleiner Partikel in Folge mechanischer Zerstörung sind dieselben Überlegungen anzustellen wie bei emissionsintensiven Verwendungen.

Ist es möglich, dass die Polymerisationsprozesse von Fluorpolymeren ohne relevante Umwelteinträge ablaufen?

Es wird argumentiert, dass Fluorpolymere in geschlossenen Systemen hergestellt werden könnten, ohne dass PFAS in die Umwelt freigesetzt werden. Es sollen Verfahren entwickelt werden, bei denen in Aussicht gestellt wird, dass dies möglich sei. Hierzu liegen bisher wenige detaillierte Informationen vor. Bisher ist in der Praxis noch nicht nachgewiesen worden, dass Polymerisationsprozesse von Fluorpolymeren ohne relevante Umwelteinträge ablaufen können.¹⁹

Produktionsbetriebe für Fluorpolymere sind durch ihr Abwasser und durch Luftemissionen verantwortlich für bedeutsame Verunreinigungen der Umwelt mit PFAS. So weisen Teile der Bevölkerung im Umkreis eines Industriebetriebs in Gendorf, in dem PFOA zur Herstellung von Fluorpolymeren eingesetzt wurde, erhöhte PFOA-Gehalte im Blut auf. Als wesentliche Quelle für die interne PFOA-Belastung der Bevölkerung in diesem Bereich gilt kontaminiertes Trinkwasser. Ebenso finden sich verschiedenste PFAS in Boden und Wasser, darunter auch der ab 2008 für PFOA zur Anwendung kommende Ersatzstoff ADONA (Ammonium-Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure). Die bisherigen Erfahrungen haben somit gezeigt, dass es gerade

¹⁸ BfR Ausgewählte Fragen und Antworten zu Geschirr mit Antihaftbeschichtung aus PTFE für das Braten, Kochen und Backen - FAQ vom 18. Dezember 2018, <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/ausgewaehlte-fragen-und-antworten-zu-geschirr-mit-antihaftbeschichtung-aus-ptfe-fuer-das-braten-kochen-und-backen.pdf>.

¹⁹ Xiao Zhi Lim Nature Vol. 620 (2023), Can the world leave 'forever chemicals' behind? <https://doi.org/10.1038/d41586-023-02444-5>.

bei Polymerisationsprozessen von Fluorpolymeren zu relevanten PFAS-Einträgen in die Umwelt und PFAS-Belastungen von Menschen kommt.^{2, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27}

Können Fluorpolymere in Abfallverbrennungsanlagen sicher zerstört werden?

In einer aktuellen Untersuchung²⁸ wird angegeben, dass nach dem Stand der Technik betriebene Abfallverbrennungsanlagen dazu geeignet sind, Fluorpolymere soweit zu zerstören, dass von diesen Anlagen keine zusätzlichen Belastungen für die menschliche Gesundheit und Umwelt zu erwarten sind. Es wurden die Auswirkungen von unterschiedlichen Bedingungen auf die Verbrennung von Fluorpolymeren in einer Modellanlage untersucht. In der Studie bleibt für 30 % des eingespeisten Fluors offen, wo es verbleibt; es ist zudem unklar, ob und wie gut die wichtigsten Verbrennungsprodukte von Fluorpolymeren analytisch erfasst wurden und inwieweit die Ergebnisse von den idealen und konstanten Bedingungen einer Modellanlage auf eine übliche Abfallverbrennungsanlage übertragen werden können (die Fluorpolymerabfälle wurden z. B. in kleine Stücke zerkleinert, was in der Praxis nicht erfolgt; das Inputmaterial war trocken).²⁹

Andere Schritte der Abfallbewirtschaftung (z. B. Sammlung oder Recycling) können auf Grundlage der oben genannten Veröffentlichung nicht bewertet werden.

²⁰ Bericht gemäß Landtagsbeschluss zu PFAS in Bayern 09/2024.

https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/pfas/doc/pfasbericht_2024.zip.

²¹ Gebbink et al. Environ Int. (2020) Environmental contamination and human exposure to PFASs near a fluorochemical production plant: review of historic and current PFOA and GenX contamination in the Netherlands. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105583>.

²² Dalmijn et al. Environ. Sci.: Processes Impacts (2024) 26, 269-287, Emission inventory of PFASs and other fluorinated organic substances for the fluoropolymer production industry in Europe, <https://doi.org/10.1039/D3EM00426K>.

²³ Dauchy et al. (2023) Evidence of large-scale deposition of airborne emissions of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) near a fluoropolymer production plant in an urban area <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139407>.

²⁴ Gebbink et al. (2020) Environmental contamination and human exposure to PFASs near a fluorochemical production plant: Review of historic and current PFOA and GenX contamination in the Netherlands. Environ Int 137:105583. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105583>.

²⁵ Hangen et al. (2010) Perfluorooctanoate (PFO) in Forest Soils near a Fluoropolymer Manufacturing Facility. Water Air Soil Pollut 212:491-499. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0365-5>.

²⁶ LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt (2010) Bestimmung persistenter bioakkumulierender Perfluoralkylverbindungen in verschiedenen Umweltmatrices; [https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL\(artdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00085,AARTxNODENR:200616,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x\)=X](https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL(artdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00085,AARTxNODENR:200616,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x)=X).

²⁷ LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt (2012) Medienübergreifende Umweltanalytik persistenter Perfluortenside und Bestimmung (semi)flüchtiger Vorläuferverbindungen https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/pfas/untersuchung_verhalten_in_der_umwelt/doc/abschlussbericht_semi.pdf.

²⁸ Gehrmann et al. Chemosphere, Vol. 365 (2024) 143403, Mineralization of fluoropolymers from combustion in a pilot plant under representative european municipal and hazardous waste combustor conditions, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143403>.

²⁹ In der Studie wird darauf hingewiesen, dass sie von einem Produzenten von Fluorpolymeren mitfinanziert worden ist und drei der Autoren bei dieser Firma beschäftigt sind.

Andere Studien^{30, 31, 32, 33} weisen demgegenüber in Abgasen von thermischen Abfallbehandlungsanlagen relevante Mengen an PFAS nach. Die Datenlage ist jedoch für valide Aussagen nicht ausreichend, so dass weiterer Forschungsbedarf zur Zerstörung von PFAS in Abfallverbrennungsanlagen besteht. Beim Umweltbundesamt laufen verschiedene Forschungsprojekte zur Thematik der Verbrennung von PFAS-haltigen Abfällen. So sollen beispielsweise im Rahmen des UBA-Forschungsprojekts „Ausschleusung von Schadstoffen mittels thermischer Verfahren“ (FKZ 372434701) an einer Abfallverbrennungsanlage im Entsorgungsmaßstab verschiedene Probe- und Analyseverfahren durch verschiedene Messinstitute zum Einsatz kommen, um die Validität der Probe- und Analyseverfahren für Fluorpolymere vergleichen zu können. In diesem Forschungsvorhaben werden umfassende systematische Untersuchungen zum thermischen Abbau bei konstanten Bedingungen an Verbrennungsanlagen im Entsorgungsmaßstab durchgeführt.³⁴

Gibt es Alternativen zu Fluorpolymeren?

Zum aktuellen Zeitpunkt kann noch keine abschließende Bewertung vorgenommen werden, inwieweit Fluorpolymere überall ersetzt werden können. Die hier genannten Beispiele zeigen jedoch, dass es bereits heute für eine große Anzahl diverser Anwendungsbereiche Alternativen gibt. So lassen sich Fluorpolymere in verschiedenen Verwendungen beispielsweise durch Polyamide, Polyetheretherketon (PEEK) oder ultra-hochmolekulares Polyethylen (*ultra-high molecular weight polyethylene*; UHMW-PE) ersetzen.³⁵

Bei der Suche nach Alternativen zu Fluorpolymeren ist es wichtig, die spezielle Anwendung zu betrachten und auch mögliche andere Herangehensweisen oder Technologien in den Blick zu nehmen. Ein Beispiel ist die Verwendung von Fluorpolymeren in der Antihafbeschichtung von Kochgeschirr. Statt PTFE können auch alternative Beschichtungen oder gänzlich andere Materialien wie Gusseisen oder Edelstahl verwendet werden.

In einigen Fällen sollte die Notwendigkeit des Einsatzes von Fluorpolymeren insgesamt kritisch geprüft werden – beispielsweise ist es fraglich, ob Badebekleidung durch fluoridierte Ausrüstungen tatsächlich einen signifikanten Vorteil in der Trocknungszeit bietet, der den Einsatz dieser Chemikalien rechtfertigt.

Eine abschließende Aufzählung der Alternativen übersteigt auf Grund der zahllosen Anwendungsbeispiele von Fluorpolymeren und der Dynamik in der Substitutionsentwicklung den

³⁰ Bakker et al. (2021) Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gases. Report of National Institute for Public Health and the Environment, <http://dx.doi.org/10.21945/RIVM-2021-0143>.

³¹ Björklund et al. (2023). Emission of Per- and Polyfluoroalkyl Substances from a Waste-to-Energy Plant – Occurrence in Ashes, Treated Process Water, and First Observation in Flue Gas. Environ. Sci. Techn. 57, 10089-10095. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c08960>.

³² Björklund et al. (2024) Distribution of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in a Waste-to-Energy Plant – Tracking PFASs in Internal Residual Streams. Environ. Sci. Techn. 58, 8457-8463. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c10221>.

³³ Strandberg et al. (2021) PFAS in waste residuals from Swedish incineration plants – a systematic investigation, IVL, ISBN 978-91-7883-299-6 <https://www.ivl.se/download/18.556fc7e17c75c849331b76d/1636533451380/B2422%20PFAS%20from%20Swedish%20Waste%20Incineration%20Plants.pdf>.

³⁴ Bundestag, Drucksache 20/13684 <https://dserver.bundestag.de/btd/20/136/2013684.pdf>, Drucksache 20/14088 <https://dserver.bundestag.de/btd/20/140/2014088.pdf>.

³⁵ ChemSec (2024), Beyond PFAS: The Safer Alternatives, <https://chemsec.org/app/uploads/2024/10/241022-Beyond-PFAS-webinar-Fluoropolymers.pdf>.

Rahmen dieses Berichts. Als Beispiele für PFAS-freie Alternativen sei auf die Verwendung von Keramik- und Glasbeschichtungen in der chemischen Industrie verwiesen, die eine hohe Beständigkeit gegenüber chemischen Reaktionen bieten, ohne die Umweltauswirkungen von Fluorpolymeren zu haben. Bei Elektronik und Elektrotechnik können Polyimide eine Alternative zu Fluorpolymeren sein, da sie eine hohe Temperaturbeständigkeit und gute elektrische Isoliereigenschaften haben. Biobasierte Kunststoffe wie Polymilchsäure (PLA) und Polyhydroxyalkanoate (PHA) können eine fluorfreie Alternative zu fluorhaltigen Verpackungsmaterialien sein. In der Textilindustrie können die wasser- und schmutzabweisende Wirkung von Silikon- und Wachsimprägnierungen oder Polyurethanbeschichtungen fluorfreie Alternativen bieten.¹⁹

Zum aktuellen Zeitpunkt muss davon ausgegangen werden, dass nicht für jede Anwendung von Fluorpolymeren bereits eine nicht-fluorierte Alternative marktreif ist.³⁶ Es ist davon auszugehen, dass bei der Entwicklung von Alternativen PFAS nicht 1:1 ersetzt werden können, also ein Ersatzstoff nicht etwa alle gewünschten Eigenschaften von PTFE aufweist. Vielmehr werden einzelne Eigenschaften durch spezifische Alternativen erfüllt werden können, was deren möglichst frühzeitige Suche und Entwicklung erfordert.¹⁹

Gibt es bereits etablierte Alternativen zu polymeren PFAS in Verbraucherprodukten?

Gerade für PFAS in Verbraucherprodukten gibt es schon heute zahlreiche am Markt etablierte Alternativen. Bei Pfannen oder Elektrokleingeräten weisen Beschichtungen mit Keramik beispielsweise vergleichbare Eigenschaften auf.⁷ Chemisch modifizierte Silikonharze stellen in diesem Anwendungsbereich ebenfalls eine Alternative dar.³⁷ Textilien können mit Polyurethan-(PU) oder Polyetherester-basierten (PEEST) Membranen, anstelle von Membranen aus polymeren PFAS, versehen werden und so ihre Wetterfestigkeit erhalten.^{8,38} In Kosmetika verwendete Fluorpolymere können durch einen oder eine Kombination mehrerer nicht fluorierter Ersatzstoffe substituiert werden.⁹ Auch ein Verband der kosmetischen Industrie führt aus, dass PFAS in Kosmetika nicht aufgrund ihrer Eigenschaften erforderlich sind und empfiehlt eine zeitnahe Substitution.³⁹ Dort, wo bisher oftmals Fluorpolymere in der Lebensmittelherstellung eingesetzt werden, haben innovative Unternehmen bereits heute fluorfreie Alternativen entwickelt.⁴⁰

³⁶ Chemsec The top 12 PFAS producers in the world and the staggering societal costs of PFAS pollution, <https://chemsec.org/reports/the-top-12-pfas-producers-in-the-world-and-the-staggering-societal-costs-of-pfas-pollution/>.

³⁷ <https://www.biesterfeld.com/de/de/produkt/silicon-and-hybrid-resins/>.

³⁸ Weng et al. Fluorine-Free Compound Water- and Oil-Repellent: Preparation and Its Application in Molded Pulp. Coatings (2023), 13, 1257. <https://doi.org/10.3390/coatings13071257>.

³⁹ https://www.ikw.org/fileadmin/IKW_Dateien/downloads/Schoenheitspflege/Cosmetics_Europe_Recommendation_on_PFAS.pdf.

⁴⁰ Berger PFAS-frei abdichten (2023), Umwelt Magazin Bd. 53, Nr. 11-12, S. 30f.

Wo kommen Fluorpolymere in Medizinprodukten und im medizinischen Sektor zum Einsatz?

Fluorpolymere kommen sowohl in Medizinprodukten als auch im medizinischen Sektor insgesamt zum Einsatz. PTFE wird z. B. zur Beschichtung von Arzneimittelstopfen, Einwegschläuchen oder für Implantate verwendet. Die Substitution von Fluorpolymeren im medizinischen Sektor ist aufgrund der hohen Anforderungen und Zulassungsverfahren eine besondere Herausforderung.

Anzumerken ist, dass häufig nicht alle Eigenschaften von Fluorpolymeren benötigt werden, sondern nur eine oder einige wenige.⁴¹ Ein Beispiel für eine erfolgreiche Substitutionen von PTFE in spezifischen Verwendungen können siliziumorganische Verbindungen sein, die durch spezielle plasmabasierte Verfahren eine ähnliche Gleitfähigkeit, Härte und Abriebbeständigkeit erreichen.⁴² Trotz der vielen Vorteile, die Fluorpolymere in der Verwendungsphase von Medizinprodukten haben, wird an der Entwicklung fluorfreier Alternativen geforscht. Hierbei ist schon heute klar, dass nicht jede Anwendung von Fluorpolymeren durch eine einzelne nicht-fluorierte Alternative ersetzt werden kann und die spezifischen Anforderungen neue Entwicklungen erfordern.

Sind Fluorpolymere Voraussetzung für das Gelingen der grünen Transformation?

Für einige Technologien, die für die grüne Transformation der Gesellschaft – wie etwa der Energiewende – benötigt werden, kommen Fluorpolymere zum Einsatz. Dabei können Bestandteile, z. B. die Membranen in Brennstoffzellen oder Batterien, aus Fluorpolymeren bestehen, oder Fluorpolymere werden bei der Herstellung einzelner Komponenten eingesetzt. Auf Grund der negativen Auswirkungen von PFAS auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt sowie nicht zuletzt dem laufenden Beschränkungsverfahren für PFAS nach der REACH-Verordnung¹¹ sind immer mehr Hersteller bestrebt, ihre Produkte und Produktionsprozesse so umzustellen, dass sie gänzlich ohne PFAS und somit auch ohne Fluorpolymere auskommen.

Dadurch ist es zahlreichen Unternehmen schon heute gelungen, ihre Produkte oder Bauteile als PFAS-frei zu vermarkten – in vielen Fällen bieten sich aus der Umstellung neue Chancen. Beispielsweise werden die Beschichtungen der Rotorblätter von Windkraftanlagen mittlerweile nicht mehr aus Fluorpolymeren hergestellt⁴³ und haben sich bei Wärmepumpen PFAS-freie Kältemittel weitgehend durchgesetzt⁴⁴. Für andere Anwendungen, wie etwa Batterien und

⁴¹ Medizin und Technik 7. Februar 2024, Mögliches PFAS-Verbot in der EU – Medizintechnik ohne PFAS: Suche nach sinnvollem Ersatz, <https://medizin-und-technik.industrie.de/technik/entwicklung/medizintechnik-ohne-pfas-suche-nach-sinnvollem-ersatz>.

⁴² Technik und Einkauf, Ausgabe November 2023, PFAS-Verbot: Fast so gut und besser, https://www.ifam.fraunhofer.de/content/dam/ifam/de/documents/Klebtechnik_Oberflaechen/PLATO/technik-und-einkauf-PFAS-06-2023.pdf.

⁴³ WindEurope statement on PFAS restriction (2023), WindEurope asbl/vzw, <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/position-papers/20231009-WindEurope-statement-on-PFAS-restriction.pdf>.

⁴⁴ ISH 2025, <https://ish.messefrankfurt.com/frankfurt/de/profil/shk-produkte/komponenten-klima-kaelteleuftungsgeraete.html>.

Brennstoffzellen, gibt es Veröffentlichungen, wonach Membranen ohne Fluorchemie funktionieren.^{19, 45, 46}

Festzustellen ist aber auch, dass es nicht zu jedem Bauteil grüner Technologie bereits eine marktreife Alternative ohne PFAS gibt. Um ausreichend Zeit zur Entwicklung von Alternativen ohne PFAS einzuräumen, bedarf es Ausnahme- und Übergangsregelungen, wie sie in der *Restriction Option 2* des Beschränkungs-vorschlags bereits angelegt sind und erforderlichenfalls im Rahmen des Beschränkungsverfahrens weiter ausdefiniert werden können. Damit die grüne Transformation nicht verzögert wird, gilt dies insbesondere auch für Anwendungsbereiche entsprechender Technologien (vgl. etwa Tabelle Annex XVII entry PFASs, Spalte 2, Ziffer 6 lit. e. für Membranen).¹¹

Inwiefern kommen Fluorpolymere bei der Herstellung von Computerchips zum Einsatz?

Fluorpolymere kommen bei vielen Herstellungsschritten von Halbleitern zum Einsatz – insbesondere bei Ätzverfahren und bei Prozessen der Photolithographie. Zum einen sind ihre physikalischen, chemischen und elektronischen Eigenschaften gefragt, um in technologischen Prozessen der Halbleiterfertigung verwendet zu werden, zum anderen ermöglichen sie die Handhabung von aggressiven, ätzenden und hochreinen Chemikalien.

Das Herzstück bei der Produktion von Halbleitern, stellt die Herstellung von integrierten Schaltkreisen auf *Wafers* dar. Dieser Prozess ist hochkomplex. Mittels spezieller Maschinen werden in einer bestimmten Abfolge verschiedene Schichten auf den Wafer aufgetragen, Strukturen mit Hilfe der Photolithographie übertragen und dann mittels Ätz- oder Polierverfahren teilweise wieder abgetragen. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis der integrierte Schaltkreis hergestellt wurde. Die so auf einem Wafer entstehenden integrierten Schaltkreise sind nur wenige Mikro- bzw. Nanometer groß. Die Produktion in einer so winzigen Größenordnung stellt daher ganz besondere Anforderungen an die zum Einsatz kommenden Substanzen. Beim Polieren und Ätzen sowie bei der Photolithographie werden unterschiedliche Chemikalien – auch PFAS bzw. Fluorpolymere – eingesetzt.⁴⁷

Aufgrund dieser besonderen Anforderungen stellt die Substitution von Fluorpolymeren in der Halbleiterherstellung eine große Herausforderung dar. Trotzdem liegen Erkenntnisse vor, nach denen es bereits gelungen ist, einzelne Verfahrensschritte der Halbleiterherstellung, die bisher auf der Verwendung von PFAS beruhten, auf fluorfreie Alternativen umzustellen. So konnten danach etwa Prozessschritte bei der Ätzung, wo bisher fluorhaltige Tenside dafür sorgten, dass sich die Lösungen auf den zu ätzenden Oberflächen verteilen, durch fluorfreie Tenside ersetzt werden.⁴⁸

⁴⁵ Mirfarsi SH et al., High-temperature stability of hydrocarbon-based Pemion® proton exchange membranes: A thermo-mechanical stability study, International Journal of Hydrogen Energy, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.236>.

⁴⁶ <https://www.hahn-schickard.de/news-detail/vorreiter-in-der-entwicklung-pfas-freier-elektrolyseure-und-brennstoffzellen>.

⁴⁷ Jacobs et al. (2024), Assessment of Fluoropolymer Production and Use With Analysis of Alternative Replacement Materials, <https://www.osti.gov/servlets/purl/2370520>.

⁴⁸ Sharma et al. Journal of Cleaner Production, 415, 137879 (2023), Safer and effective alternatives to perfluoroalkyl-based surfactants in etching solutions for the semiconductor industry, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137879>.