

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien in E-Motoren

Studie im Auftrag des Verbandes der Automobilindustrie e. V. (VDA)

Philipp Welke, Dr. Andreas Schild, Tobias Voigt, April 2026



Bezugsrahmen

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag des VDAs von der IAV GmbH bearbeitet und beinhaltet die Betrachtung PFAS-haltiger Komponenten in elektrischen Traktionsantrieben. Kein Bestandteil dieser Untersuchung sind dabei die folgenden Punkte:

- Weitere Bestandteile einer E-Achse wie z.B.
 - Inverter, Leistungselektronik und sonstige elektronischer Ansteuerungen
 - Batteriesysteme
 - Thermomanagementsysteme
 - Kupplungssysteme
- Weitere Bestandteile eines Hybridsystems und
- Schmierstoffe, Kühlmittel usw.

Diese Bestandteile sind entweder Teil der vorherigen Untersuchung mit dem Hauptaugenmerk auf dem Verbrennungsmotor oder können in separaten Studien weiter betrachtet werden.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

Gliederung

- (1) Einleitung
- (2) Erläuterung des Vorgehens
- (3) Übersicht der herangezogenen Verordnungen und Richtlinien
- (4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige
- (5) Zusammenfassung der Rechercheergebnisse bzgl. Verordnungen und Vorschriften
- (6) Funktionsanforderungen, die aktuell PFAS-haltige Materialien erfordern
- (7) Zusammenhänge von gesetzlichen Anforderungen, Normen und Vorschriften und den betroffenen Komponenten- und Bauteilgruppen im Antriebsmotor und deren Funktionsanforderungen, die aktuell PFAS-haltige Materialien erfordern
- (8) Baugruppen bzw. Komponenten im Antrieb, die nach dem heutigen Stand der Technik PFAS-haltige Materialien erfordern
- (9) Werkstoffe im elektrischen Antrieb mit PFAS-Bezug
- (10) PFAS-Alternativwerkstoffe inklusive technischer Konsequenzen und Einschränkungen
- (11) Zusammenfassung
- (12) Quellenverzeichnis

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(1) Einleitung

Begriffsdefinition:

PFAS ist eine Abkürzung für per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen. Sie kommen nicht natürlich vor und werden seit den 1940er Jahren hergestellt und eingesetzt. Ihre Verbindungen bestehen aus Kohlenstoffketten verschiedener Längen, bei denen die Wasserstoffatome vollständig oder teilweise durch Fluoratome ersetzt werden. PFAS werden auch „Ewigkeitschemikalien“ genannt.

Diese Stoffgruppe umfasst mehr als 10.000 verschiedene Stoffe. PFAS sind wasser-, fett- und schmutzabweisend sowie chemisch und thermisch sehr stabil. Von einem kleinen Teil der Substanzen weiß man, dass sie schädlich sind. Für den Rest dagegen ist das bislang noch nicht nachgewiesen.

Problemstellung:

In den letzten Jahren wurden bei bestimmten PFAS umwelt- und gesundheitsschädliche Wirkungen nachgewiesen. Sie sind in Böden, Trinkwasser, Futtermitteln, Bedarfsgegenständen und vor allem in tierischen Lebensmitteln nachweisbar und können über diese vom Menschen aufgenommen werden.

Das BUND fordert die Beschränkung und die zügige Umsetzung des Beschränkungs-vorschlages, den einige Länder der EU im Januar 2023 bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) eingereicht haben. So gilt dieses Vorhaben als erster Schritt für das Verbot der Herstellung und Verwendung von PFAS in der EU. [1]

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(1) Einleitung

Geschichte

Entgegen der weitläufigen Meinung ist PTFE kein Nebenprodukt der Raumfahrt, die erst 1957 begann. Es wurde bereits 1938 von dem Chemiker Roy Plunkett durch Zufall entdeckt, als er auf der Suche nach Kältemitteln für Kühlschränke mit Tetrafluorethylen (TFE) experimentierte und eines Morgens statt Gas nur noch weiße Krümel in der Flasche fand. Das Gas hatte sich in PTFE umgewandelt. Nach seinem Entdecker heißt das noch heute gebräuchliche Herstellungsverfahren Plunkett-Verfahren. Dabei wird die Polymerisation bei hohem Druck mit Peroxiden eingeleitet. 1941 erhielt DuPont das Patent auf PTFE.

Über fünf Jahre schien eine technische Nutzung der Entdeckung unmöglich, da die Herstellkosten zu hoch waren und keine Anwendung für das so inerte Material gesehen wurde. Im Jahre 1943 standen jedoch die Macher des Manhattan-Projektes vor einem unlösbaren Problem. Sie mussten mit dem extrem korrosiven Uranhexafluorid umgehen und fanden kein geeignetes Behältermaterial. Da entsann man sich des PTFE, und es fand erstmals technische Verwendung als Korrosionsschutz beim Kernwaffenbau. Später beschichtete der französische Chemiker Marc Grégoire seine Angelschnur mit PTFE, um sie leichter entwirren zu können. Seine Ehefrau Colette kam dann 1954 auf die Idee, Töpfe und Pfannen damit zu beschichten. [2]

Die Polytetrafluorethylen-Herstellung

Polytetrafluorethylen wird aus chloriertem Kohlenwasserstoff (Chloroform) durch partielle Fluoridierung (= teilweise Zugabe von Fluoriden) hergestellt, wobei zunächst die Gase Chlordifluormethan und Tetrafluorethylen erzeugt werden.

Tetrafluorethylen wird anschließend unter hohem Druck in wässriger Phase polymerisiert. Als Initiatoren dienen Peroxide. Da die Reaktion stark exotherm ist und sich die Monomereinheiten bei hohen Temperaturen leicht explosiv zersetzen, erfolgt die Polymerisation als Suspension oder Emulsion.

Das Polymer fällt nach dem Filtrieren, Waschen und Trocknen als verhältnismäßig grobes Pulver mit einem mittleren Teilchendurchmesser von 600 µm an. Es kann bereits in dieser Form weiterverarbeitet werden, lässt sich aber auch problemlos zu einer Korngröße von 35 µm vermahlen. PTFE-Teilchen des Suspensions-Polymerisats sind schwammig, porös.

Es werden auch Polytetrafluorethylen-Compounds hergestellt, welche mit Füllstoffen, zu Beispiel Glas, Kohle, Graphit, Bronze oder organischen Füllstoffen, versehen sind. [3]

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(1) Einleitung

Was ist FKM?

Unter FKM versteht man nach ISO eine Gruppe von Fluorelastomeren (Fluorkautschuken), die überwiegend auf Copolymeren von Vinylidenfluorid (VDF) mit weiteren fluorierten Monomeren wie Hexafluorpropylen (HFP) und Tetrafluorethen (TFE) basieren.

FKM oder Viton

Der Begriff Viton ist der von dem US-amerikanischen Unternehmen DuPont eingeführte Markennamen für Fluorelastomere. Auf internationaler Ebene hat sich der der Begriff FKM als Abkürzung für Fluorkautschuke durchgesetzt. Die ISO kürzt alle Fluorelastomere unter der Kurzbezeichnung FKM ab, in Deutschland wird laut DIN die Kurzbezeichnung FPM eingesetzt. [4]

Typgenehmigung

Typgenehmigung "das Verfahren, nach dem eine Genehmigungsbehörde bescheinigt, dass ein Typ eines Fahrzeugs, eines Systems, eines Bauteils oder einer selbstständigen technischen Einheit den einschlägigen Verwaltungsvorschriften und technischen Anforderungen entspricht" [5]

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

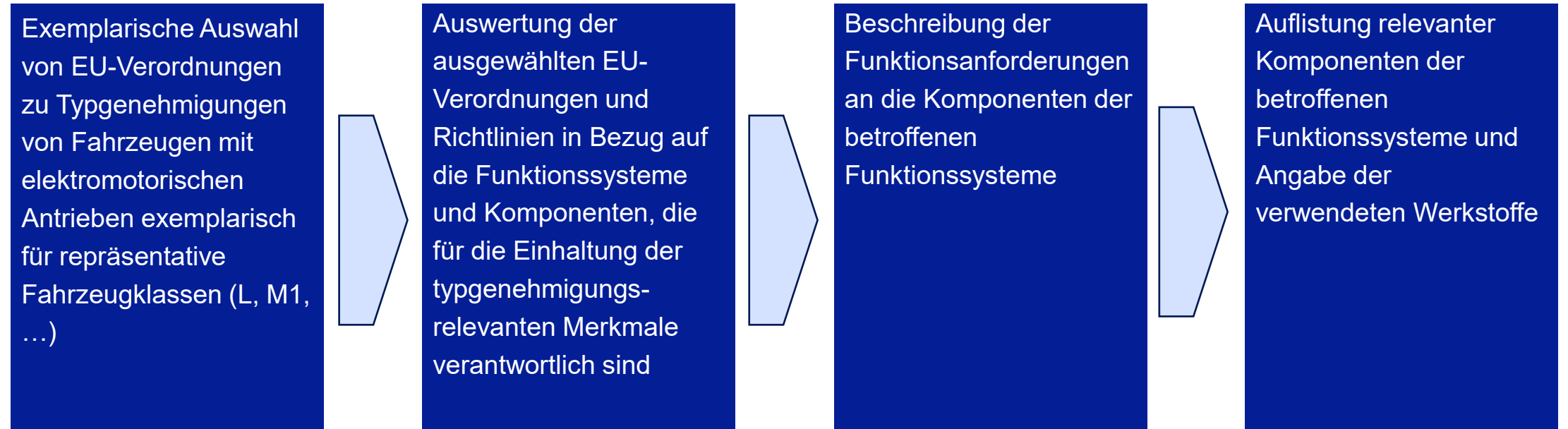
(1) Einleitung

EG-Fahrzeugklassen	Beschreibung
L	leichte Kraftfahrzeuge mit 2, 3 oder vier Rädern, z. B. Moped, Motorrad, Quad
M	Kfz zum Zweck der Personenbeförderung, z. B.: Pkw, Wohnmobil, Bus (mindestens 4 Räder)
N	Kfz zur Güterbeförderung, z. B.: Lkw, Lieferwagen
O	(Sattel-)Anhänger
R	Anhänger für die Nutzung in der Land- und Forstwirtschaft
S	Gezogene Maschinen für die Land- und Forstwirtschaft
T	Zugmaschinen für die Land- und Forstwirtschaft, z. B. Traktor
C	Zugmaschinen der Land- und Forstwirtschaft auf Gleisketten, z. B. Bagger

In der vorliegenden Studie wird hauptsächlich auf Fahrzeugklassen L und M (M1) Bezug genommen.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(2) Erläuterung des Vorgehens



Die vorliegende Studie stützt sich im Wesentlichen auf die Normen-Selektion zum Thema PFAS in Verbrennungsmotoren. Diese Normen werden in Bezug auf die Relevanz bzgl. E-Motoren bewertet und ggfs. ausgeschlossen.

Punktuell wird ergänzend nach EM-spezifischen Richtlinien und Normen gesucht. Dabei spielen die Kühlvarianten (Wasser, Öl, ...) eine entscheidende Rolle, da z.B. ein Ölsumpf für das (Kurbel)-Gehäuse notwendig wird, sobald Ölsprühkühlungen Anwendung finden.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(3) Übersicht der herangezogenen Verordnungen und Richtlinien

Vorschrift	Titel	relevant Analogien*** nicht relevant	ICE** EM**
Verordnung (EG) 715/2007* [5]	Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6)		
Richtlinie 2000/53/EG* [6]	Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge		
Richtlinie 2005/64/EG* [7]	Richtlinie 2005/64/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Oktober 2005 über die Typgenehmigung für Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates („3R-Typgenehmigungsrichtlinie“)		
Verordnung (EU) 2014/134 [8]	Delegierte Verordnung (EU) Nr. 134/2014 der Kommission vom 16. Dezember 2013 zur Ergänzung der Verordnung (EU) Nr. 168/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Anforderungen an die Umweltverträglichkeit und die Leistung der Antriebseinheit sowie zur Änderung ihres Anhangs V		
Verordnung (EU) 2017/1151 [9]	Ergänzung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen, zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG, der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 sowie der Verordnung (EU) Nr. 1230/2012 und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008. Weltweit harmonisiertes Testverfahren für leichte Nutzfahrzeuge (Light-duty vehicles Test Procedure – WLTP) und Emissionen im realen Fahrbetrieb (Real Driving Emissions – RDE); siehe auch UNECE-Regelung Nr. 83		
Verordnung (EU) 2018/858 [10]	Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 715/2007 und (EG) Nr. 595/2009 und zur Aufhebung der Richtlinie 2007/46/EG		
Verordnung (EU) 2019/1020 [11]	Verordnung (EU) 2019/1020 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über Marktüberwachung und die Konformität von Produkten sowie zur Änderung der Richtlinie 2004/42/EG und der Verordnungen (EG) Nr. 765/2008 und (EU) Nr. 305/2011		
Verordnung (EU) 2019/2144 [12]	Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2019 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern ...		
Verordnung (EU) 2024/1257 [13]	Verordnung (EU) 2024/1257 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Emissionen und der Dauerhaltbarkeit von Batterien (Euro 7) ...		
Bundesrat Drucksache 493/23 09.10.23 [14]	Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Anforderungen an die kreislauforientierte Konstruktion von Fahrzeugen und über die Entsorgung von Altfahrzeugen, zur Änderung der Verordnungen (EU) 2018/858 und (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinien 2000/53/EG und 2005/64/EG		

*) aufgehoben und/oder durch andere Verordnungen / Richtlinien ersetzt, erweitert

**) Relevanz im Sinne der Aufgabenstellung hinsichtl. EM oder hinsichtl. ICE (Vorprojekt)

***) EM übernimmt die Funktion des Antriebsmotors, weswegen Analogien z.B. bzgl. Kurbelgehäuseemissionen gezogen werden können. Jedoch gibt es keine reine Emissionsverordnungen für die EM.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

VERORDNUNG (EU) 2018/858, Stand 30. Mai 2018 (Auszug) [10] relevant

VERORDNUNG (EU) 2018/858 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 über die **Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern** sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 715/2007 [5] und (EG) Nr. 595/2009 [15] und zur Aufhebung der Richtlinie 2007/46/EG

Artikel 5 Absatz (1)

Fahrzeuge, Systeme, Bauteile und selbstständige technische Einheiten müssen die Anforderungen der in Anhang II aufgeführten Rechtsakte erfüllen.

ANHANG II

ANFORDERUNGEN FÜR DIE EU-TYPGENEHMIGUNG FÜR FAHRZEUGE, SYSTEME, BAUTEILE ODER SELBSTSTÄNDIGE TECHNISCHE EINHEITEN

TEIL I

Rechtsakte für die EU-Typgenehmigung von in unbegrenzter Serie hergestellten Fahrzeugen (Auszug)

G7 Verdunstungsemissionen	Verordnung (EG) Nr. 715/2007*
G11 Zusätzliche Emissionsstrategien	Verordnung (EG) Nr. 715/2007 Verordnung (EG) Nr. 595/2009
A19 Elektrische Betriebssicherheit (IF)	Verordnung (EU) 2019/2144
G13 Recyclingfähigkeit	Richtlinie 2005/64/ EG

*Grenzwert für Verdunstungsemissionen ist in Verordnung (EG) Nr. 715/2007 enthalten

Funktionsanforderungen bezüglich Dichtigkeit, Medien- und Temperaturbeständigkeit sowie Abweisung von Schmutz und Schmierstoffen erfordern entsprechende Werkstoffeigenschaften der an der Funktionserfüllung beteiligten Komponenten (s. auch Auszug Anlage 2 ff)

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

VERORDNUNG (EU) 2024/1257, Stand 24. April 2024 (Auszug) [13] relevant

VERORDNUNG (EU) 2024/1257 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 24. April 2024

über die **Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Emissionen** und der Dauerhaltbarkeit von Batterien (Euro 7), zur **Änderung der Verordnung (EU) 2018/858 [10]** des Europäischen Parlaments und des Rates und zur **Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 715/2007 [5] und (EG) Nr. 595/2009** des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EU) Nr. 582/2011 der Kommission, der Verordnung (EU) 2017/1151 der Kommission, der Verordnung (EU) 2017/2400 der Kommission und der Durchführungsverordnung (EU) 2022/1362 der Kommission

in Erwägung nachstehender Gründe:

- 1) In dem Beschluss (EU) 2022/591 des Europäischen Parlaments und des Rates über ein allgemeines Umweltaktionsprogramm der Union für die Zeit bis 2030 ist das **Anstreben von Null-Verschmutzung** als eines von sechs thematischen Zielen der Union für den Zeitraum bis zum 31. Dezember 2030 festgelegt, **auch im Zusammenhang mit schädlichen Chemikalien**, um eine schadstofffreie Umwelt zu erreichen, einschließlich in Bezug auf Luft, Wasser und Boden sowie auf Licht- und Lärmverschmutzung, und mit Blick auf den Schutz der Gesundheit und des Wohlergehens der Menschen, Tiere und Ökosysteme vor umweltbedingten Risiken und negativen Auswirkungen

Null-Verschmutzung in Bezug auf Chemikalien: Keine explizite Nennung von PFAS jedoch Null-Verschmutzung als Ziel der Union und damit Gewässer- und Bodenschutz verpflichtend, was die Dichtigkeit von technischen Geräten im weitesten Sinne bzgl. Öl, Kraftstoff und sonstigen Betriebsstoffen betrifft → Anforderungen an Werkstoffe für Dichtungen bzgl. Medienbeständigkeit und Lebensdauer

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

VERORDNUNG (EU) 2024/1257, Stand 24. April 2024 (Auszug) [13] relevant

ANHANG IV: ANFORDERUNGEN AN DIE LEBENSDAUER

Tabelle 1: Lebensdauer von Fahrzeugen, Motoren und Emissionsminderungssystemen

Lebensdauer von Fahrzeugen, Motoren und emissionsmindernden Einrichtungen für den Austausch	M ₁ , N ₁ und M ₂	N ₂ , N ₃ ≤16 t, M ₃ ≤7,5 t	N ₃ >16 t, M ₃ >7,5 t
Hauptlebensdauer	Bis 160 000 km oder 8 Jahre, je nachdem, was zuerst eintritt	300 000 km oder 8 Jahre, je nachdem, was zuerst eintritt	700 000 km oder 12 Jahre, je nachdem, was zuerst eintritt
Zusätzliche Lebensdauer	Nach der Hauptlebensdauer bis 200 000 km oder 10 Jahre, je nachdem, was zuerst eintritt	Nach der Hauptlebensdauer bis 375 000 km oder 10 Jahre, je nachdem, was zuerst eintritt	Nach der Hauptlebensdauer bis 875 000 km oder 15 Jahre, je nachdem, was zuerst eintritt
Lebensdauer von Fahrzeugen, Motoren und emissionsmindernden Einrichtungen für den Austausch	M ₁ , N ₁ und M ₂	N ₂ , N ₃ ≤16 t, M ₃ ≤7,5 t	N ₃ >16 t, M ₃ >7,5 t

Tabelle 2: Anzuwendende Dauerhaltbarkeitsmultiplikatoren zur Anpassung der Grenzwerte für Abgasemissionen gemäß Anhang 1 bei der Prüfung von Fahrzeugen, Motoren und emissionsmindernden Einrichtungen für den Austausch während der zusätzlichen Lebensdauer

Dauerhaltbarkeitsmultiplikatoren	M ₁ , N ₁ und M ₂	N ₂ , N ₃ ≤16 t, M ₃ ≤7,5 t	N ₃ >16 t, M ₃ >7,5 t
Dauerhaltbarkeitsmultiplikator für die zusätzliche Lebensdauer	1,2 für gasförmige Schadstoffe		

EM übernimmt die Funktion des Antriebsmotors, weswegen Analogien bzgl. Kurbelgehäuseemissionen und Kühlvarianten, wie z.B. der Ölprüh-kühlung, gezogen werden können. Jedoch gibt es keine reine Emissionsverordnungen für die EM aber verschiedene Umweltverordnungen für den Gewässer- und Bodenschutz.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

VERORDNUNG (EU) 2019/2144, Stand 27. November 2019 (Auszug) [12] nicht relevant

Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2019 über die **Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten** für diese Fahrzeuge **im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen** und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern, zur **Änderung der Verordnung (EU) 2018/858** des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 78/2009, (EG) Nr. 79/2009 und (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Verordnungen (EG) Nr. 631/2009, (EU) Nr. 406/2010, (EU) Nr. 672/2010, (EU) Nr. 1003/2010, (EU) Nr. 1005/2010, (EU) Nr. 1008/2010, (EU) Nr. 1009/2010, (EU) Nr. 19/2011, (EU) Nr. 109/2011, (EU) Nr. 458/2011, (EU) Nr. 65/2012, (EU) Nr. 130/2012, (EU) Nr. 347/2012, (EU) Nr. 351/2012, (EU) Nr. 1230/2012 und (EU) 2015/166 der Kommission (Text von Bedeutung für den EWR) in Erwägung nachstehender Gründe:

- 1) Die Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates (3) legt Verwaltungsbestimmungen und technische Anforderungen für die Typgenehmigung aller neuen Fahrzeuge, Systeme, Bauteile und selbstständigen technischen Einheiten **mit dem Ziel** fest, das ordnungsgemäße Funktionieren des Binnenmarktes zu gewährleisten und um Sicherheit und **Umweltfreundlichkeit auf hohem Niveau zu bieten**.
- 2) **Diese Verordnung ist ein Rechtsakt für die Zwecke des durch die Verordnung (EU) 2018/858 festgelegten EU- Typgenehmigungsverfahrens. Daher sollte Anhang II der Verordnung (EU) 2018/858 entsprechend geändert werden. Die Verwaltungsbestimmungen der Verordnung (EU) 2018/858, einschließlich der Bestimmungen zu Abhilfemaßnahmen und Sanktionen, gelten in vollem Umfang für die vorliegende Verordnung.**

Verordnung behandelt Typgenehmigung im Hinblick auf Sicherheit, keine Relevanz für PFAS-Einsatz beim Einsatz von elektrischen Antriebsmaschinen; gilt auch für Bezug auf Anhang II der Verordnung (EU) 2018/858

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

Verordnungen und Richtlinien über Typgenehmigungen für Kraftfahrzeuge hinsichtlich Wiederverwendbarkeit, Recycling, Verwertbarkeit nicht relevant

Bundesrat Drucksache 493/23 09. Oktober 2023 [14]

Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Anforderungen an die kreislauforientierte Konstruktion von Fahrzeugen und über die Entsorgung von Altfahrzeugen, zur **Änderung der Verordnungen (EU) 2018/858 und (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinien 2000/53/EG und 2005/64/EG** COM(2023) 451 final

„Altautoverordnung“

- Richtlinie **2000/53/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über **Altfahrzeuge** [11]
- Richtlinie **2005/64/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Oktober 2005 über die **Typgenehmigung für Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit** und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates („3R Typgenehmigungsrichtlinie“) [12]

Sonstige o. g. EU-Verordnungen:

- Verordnung **(EU) 2019/1020** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über Marktüberwachung und die Konformität von Produkten sowie zur Änderung der Richtlinie 2004/42/EG und der Verordnungen (EG) Nr. 765/2008 und (EU) Nr. 305/2011 [13]

Verordnungen behandeln Typgenehmigung im Hinblick auf Mindestprozentsätze von Recycling bzw. Wiederverwendbarkeit und Verwertung von Fahrzeugen bzw. bestimmten Werkstoffgruppen, keine gesonderten Bestimmungen explizit für PFAS-Einsatz enthalten.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

VERORDNUNG (EU) 2017/1151, Stand 23. Februar 2024 (Auszug) [9] **Analogien*****

Weltweit harmonisiertes Testverfahren für leichte Nutzfahrzeuge (Light-duty vehicles Test Procedure – WLTP) und Emissionen im realen Fahrbetrieb (Real Driving Emissions – RDE)

Verordnung (EU) 2017/1151 — **zur Ergänzung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007** über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der **Emissionen** von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und Wartungsinformationen

Anforderungen an die EU-Typgenehmigung

Für den Erhalt einer EU-Typgenehmigung im Hinblick auf Emissionen hat der Hersteller zu zeigen, dass das Fahrzeug die Anforderungen erfüllt, die in dieser Verordnung festgelegt sind, wenn es im Rahmen der **spezifizierten Verfahren** geprüft wird.

Anhang V

Prüfspezifikation hinsichtlich Gasemissionen aus dem Kurbelgehäuse

Die Verordnung (EU) 2017/1151 „Weltweit harmonisiertes Testverfahren für leichte Nutzfahrzeuge (WLTP)“ ergänzt die Verordnung (EG) Nr. 715/2007, enthält jedoch keine weiterführenden Regularien in Bezug auf Verdunstungs – bzw. Kurbelgehäuseemissionen

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

Ergänzende Verordnungen zu Typgenehmigung und Emissionsvorgaben für Motoren in Bezug Kurbelgehäuse Analogien***

Rechtsakt / Verordnung	Geltungsbereich	Relevanz bzgl. Dichtheit von Fahrzeugmotoren	Inhalt
Delegierte Verordnung (EU) 2014/134 (Typ III Test) [8]	Fahrzeugklasse L	Relevant bzgl. Überdruck und Undichtigkeiten im Kurbelgehäuse-System	Definiert testbasierte Anforderungen zur Überprüfung der Dichtheit durch Messung des Drucks im Kurbelgehäuse: Bei Motorleerlauf und Teillast darf der Druck nicht über dem Umgebungsdruck liegen. Andernfalls sind zusätzliche Prüfverfahren wie ein Überdrucktest oder Sichtprüfung erforderlich
Verordnungen (EU) 715/2007 [5] / 595/2009 [15]	Pkw / Nutzfahrzeuge	Relevant bzgl. Typgenehmigung inkl. Kurbelgehäuseemissionen	Festlegungen über die Konstruktion von Motoren, dass Emissionen aus dem Kurbelgehäuse und damit des gesamten Kurbelgehäuse-entlüftungssystem vermieden werden
Durchführungsverordnungen (EU) 2021/535 [16] bzw. 2020/683 [17]	Pkw / Nutzfahrzeuge	Nur indirekt relevant	Bestimmungen für einheitliche Verfahren und technische Spezifikationen für die EU-Typgenehmigung von Fahrzeugen der Klassen M, N und O sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten sowie deren Dokumentation

EM übernimmt die Funktion des Antriebsmotors, weswegen Analogien bzgl. Kurbelgehäuseemissionen und Kühlvarianten, wie z.B. der Ölsprühkühlung, gezogen werden können. Jedoch gibt es keine reine Emissionsverordnungen für die EM aber verschiedene Umweltverordnungen für den Gewässer- und Bodenschutz.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

Sicherheits- und Umweltverordnungen relevant

Rechtsakt / Verordnung	Geltungsbereich	Relevanz bzgl. Dichtheit von Fahrzeugmotoren	Inhalt
2000/60/EG Water Framework Directive (WFD) [18]	Schutz vor chemischer Belastung von Oberflächen- und Grundwasser	Indirekt relevant für mobile Anwendungen	Sie ist das zentrale EU-Gesetzeswerk zum Schutz der Gewässer: Sie verlangt, dass Mitgliedstaaten Maßnahmen ergreifen um das Einleiten von Schadstoffen – einschließlich Chemikalien und Ölen – in Oberflächengewässer und Grundwasser zu vermeiden.
2006/118/EG Groundwater Directive [19]	Schutz vor chemischer Belastung von Oberflächen- und Grundwasser	Indirekt relevant für mobile Anwendungen	Als Ergänzung zur WFD richtet sie ihren Fokus auf den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung, z. B. durch ausgelaufene Flüssigkeiten von Fahrzeugen.
Environmental Liability Directive (2004/35/EG) [20]	Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden	Indirekt relevant für mobile Anwendungen	Diese Richtlinie etabliert eine Haftung für Umweltschäden – z. B. bei Ölverlusten – und verpflichtet Betreiber/Betreiberinnen zur Prävention und Schadensbehebung nach dem „Polluter pays“-Prinzip. Auch unbeabsichtigte Leckagen sind abgedeckt.

Null-Verschmutzung in Bezug auf Chemikalien: Keine explizite Nennung von PFAS jedoch Null-Verschmutzung als Ziel der Union und damit Gewässer- und Bodenschutz verpflichtend, was die Dichtheit von technischen Geräten im weitesten Sinne bzgl. Öl, Kraftstoff und sonstigen Betriebsstoffen betrifft → Anforderungen an Werkstoffe für Dichtungen bzgl. Medienbeständigkeit und Lebensdauer

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(4) Herangezogene Verordnungen, Vorschriften, Sonstige

Niederspannungsrichtlinie, IEC-Normen relevant

Rechtsakt / Verordnung	Geltungsbereich	Relevanz bzgl. Fahrzeugmotoren	Inhalt
Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU	AC: 50 – 1000V DC: 75 – 1500V	indirekt relevant für mobile Anwendungen	Harmonisierungsrichtlinie der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt zum Schutz der menschlichen Gesundheit und Sicherheit von Haus- und Nutztieren. Beinhaltet jedoch keinen expliziten Bezug zu PFAS
IEC 60085 Electrical insulation – Thermal evaluation and designation	Elektrische Isolationssysteme und Materialien	indirekt relevant	Unterscheidung und Klassifizierung von Wärmeklassen für die Isolationskoordination, welche direkten Einfluss auf die thermische Belastbarkeit hat. Beinhaltet jedoch keinen expliziten Bezug zu PFAS
IEC 60034-1 IEC 60034-18-32 IEC 60034-18-41/42	Drehende elektrische Maschinen	indirekt relevant	Norm und Unternormen beziehen sich auf die Bewertung elektrischer Maschinen, insbesondere Verlustfaktormessung (-1) und Teilentladungsmessung (-1 / -18-41/42) bei Typ II (-18-42) Isolationssystemen. Diese sind im höchsten Maß von den Dielektrizitätskonstanten und den $\tan \delta$ des Materials abhängig. Beinhaltet jedoch keinen expliziten Bezug zu PFAS aber Materialeigenschaften sind in der Kombination einzigartig.

...

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(5) Zusammenfassung der Rechercheergebnisse bzgl. Verordnungen und Vorschriften

Verordnungen für **Typgenehmigungen** von Fahrzeugen, die heutzutage PFAS-haltige Werkstoffe erfordern, beziehen sich auf die **Emissionen von Kurbelgehäusegasen und damit auf den Verbrennermotor.**

Die emissionsmindernden Einrichtungen im Fahrzeug müssen gemäß **Verordnung (EU) 2024/1257 (EU7)** im Fall der Fahrzeugklassen M1, N1 und M2 über mindestens 160.000 km oder 8 Jahre Hauptlebensdauer und 200.000 km oder 10 Jahre zusätzliche Lebensdauer ihre Funktion erfüllen. Im Fall von Gasen ist zusätzlich ein Dauerhaltbarkeitsfaktor von 1,2 für die zusätzliche Lebensdauer zu berücksichtigen. Für den EM werden lediglich Nicht-Abgasemissionen (Bremsen/Reifen) und Batterithematiken adressiert.

Die Dauerhaltbarkeitsanforderungen und die daraus abzuleitenden Funktionsanforderungen erfordern angepasste Werkstoffe für die emissionsmindernden Einrichtungen, **insbesondere für deren Dichtungssysteme, wodurch jedoch Analogien zu den Kühlstrategien für elektrische Antriebe getroffen werden können.**

Die bisherigen **Verordnungen 2000/53/EG** (Altautoverordnung), **2005/64/EG** (3R Typgenehmigungsrichtlinie) bzw. der Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Anforderungen an die kreislaforientierte Konstruktion von Fahrzeugen und über die Entsorgung von Altfahrzeugen und zur Änderung der beiden erstgenannten Verordnungen **enthalten keine gesonderten Anforderungen an PFAS-haltige Werkstoffe.**

Eine **konkrete europäische Vorgabe zur maximalen Dichtheit von Motoren**, z. B. in Form von maximal zulässigen Leckage-Raten, **existiert nicht.** Die Euro-Emissionsnormen (z. B. Verordnung (EG) Nr. 715/2007) beziehen sich ausschließlich auf Luftschadstoffe (CO, NO_x, CO₂ etc.) und umfassen keine Flüssigkeitsleckage bei Motoren. **Fahrzeugdichtheit gegenüber Wasserschäden wird lediglich indirekt geregelt.**

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Verordnungen und Normen, die sich mit der elektromagnetischen Funktionsweise des Antriebs beschäftigen. Eine **direkte Regelung bzgl. des Einsatzes von PFAS ist nicht zu finden**, da diese eigenschafts- und prüfbar sind und somit die Einsatzanforderungen wie z.B. teilentladungsfrei, Wärmeklasse H usw. definieren. Soll jedoch der Green Deal der EU eingehalten werden, sind effiziente und kompakte Antriebe notwendig, welche zu diesem Zeitpunkt, nur durch die Verwendung spezieller Materialien (PFAS) möglich sind.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(6) Funktionsanforderungen, die aktuell PFAS-haltige Materialien erfordern

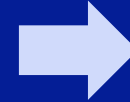
Anforderung Temperaturbeständigkeit

Bauteil - und Medientemperaturen im Motorbetrieb teilweise deutlich über 150°C



Vergleich zweier gebräuchlicher Dichtungswerkstoffe bzgl. Temperaturbeständigkeit:

- ACM (150 °C / 175 °C peak (<12h))
- FPM (200° C / 250 °C peak (<12h))



Temperaturbeständigkeit der verwendeten Materialien, insbesondere der Dichtungen, muss entsprechend der o. g. Verordnung (EU) 2024-1257 dauerhaft gegeben sein.

Anforderung Medienbeständigkeit

Medienbeaufschlagung des Isolationssystems mit Öl



Medienbeständigkeit der verwendeten Materialien, insbesondere der Dichtungen, muss entsprechend der o. g. Verordnung (EU) 2024-1257 dauerhaft gegeben sein.

Beispiele für maximal mögliche Motorraumtemperaturen (transient)

- Kritisches Fahrprofil für Absicherung: Volllast, Berganfahrt, Fahrt mit Anhänger

Zuleitungen und Kabel

Anschlussbaugruppe	< 180 °C
Temperaturmessung	< 200 °C
Sensorik	< 180 °C

Isolationskoordination

Wicklungsisolierung	> 180 °C
Nutpapier	< 180 °C
Vergußwerkstoffe	< 180 °C

Kühlung

Dichtungen	< 100 °C
Kühlmedien	

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(7) Zusammenhänge von gesetzlichen Anforderungen, Normen und Vorschriften und den betroffenen Komponenten- und Bauteilgruppen im Antriebsmotor und deren Funktionsanforderungen, die aktuell PFAS-haltige Materialien erfordern

Regelwerk / gesetzliche Anforderung / Vorschrift	Kategorie	Betroffene Komponente bzw. Funktionssystem	Anforderungen	Verwendete Werkstofffamilie
Verordnungen (EU) gemäß Punkt 4 „Übersicht der herangezogenen EU-Verordnungen“ und deren Relevanz im Sinne der Aufgabenstellung	Partikelemission*	Ölabscheidung	Chemische Stabilität: Wasser- und fettabweisend, Konstanter Abscheidegrad über Lebensdauer	Technische Textilien, Filtervlies
Umwelt-/Gewässerschutz Qualitätsvorschriften OEM ...	Öldichtheit Kundenanforderung bzgl. Qualität	Dichtungen in sämtlichen ölführenden Räumen und Leitungen im Motor	Chemische Stabilität Thermische Stabilität	FKM, EPDM
Zertifizierung Verbrauch z.B. nach WLTP	Reibungsminimierung **)	Beschichtungen: Gleitlacke, Laufsichten	Chemische Stabilität Thermische Stabilität Mechanische Stabilität Niedriger Reibbeiwert	PTFE, ... Alternativen: PFAS-freie Hochleistungspolymere

*) nur bei Ölsprühkühlung

***) nur bei Gleitlagerausführung

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(8) Baugruppen bzw. Komponenten, die nach dem heutigen Stand der Technik PFAS-haltige Materialien erfordern

Baugruppe / Komponente	Kategorie
Thermomanagement-/Kühlungskomponenten *	Motorentlüftungskomponenten, Ölabscheider, technische Textilien (Vliese) für Feinölabscheidung
Passive elektronische Bauelemente (Sensoren)	Abdeckungen und Kapseln
Isolationskoordination	Isolation spannungsführender Komponenten und Vermeidung von Durchschlägen und Teilentladungen
Gehäuse, Wellen, Verbindungselemente, ...	Bauteilbeschichtungen zur Erreichung bestimmter Gleit- oder Korrosionsschutzeigenschaften
Dichtungen	Siehe Vorprojekt für den PFAS-Einsatz bei Verbrennern
Zuleitungen	Spannungsversorgung der aktiven und passiven Teile der E-Maschine

*) nur bei Ölsprühkühlung

Teilweise erfolgen hier bereits Werkstoffsubstitutionen zur Ablösung von PFAS-haltigen Werkstoffen in Abhängigkeit der Funktions- und Einsatzanforderungen.

Insbesondere bei Isolationsmaterialien, Sensoren, Kabeln und Zuleitungen sind zwar PFAS-freie Alternativen in Erarbeitung / vorhanden jedoch ist die Kombination von hohen Temperaturen bei gleichzeitig hoher Durchschlagsfestigkeit, Teilentladungsfreiheit und Beständigkeit gegenüber Öl nicht oder mit hohen Material- (Bsp. PEEK) oder Entwicklungskosten zu erreichen [21][22].

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(9) Werkstoffe im elektrischen Antrieb mit PFAS-Bezug

Baugruppe / Funktionssystem	Unterkomponente (Auswahl)	Werkstoff	Substanz (soweit veröffentlicht)	CAS-Nummer	Eigenschaften
Gehäuse	Hex-Flanschschraube	PTFE	Polytetrafluorethylen	9002-84-0	Chemische Stabilität
	Ablassschrauben	FKM-Verbindung	Hexafluorpolymer mit Difluorethylen	9011-17-0	Chemische Stabilität
	O-Ringe	FKM	1-Propene, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoro-, Polymer mit 1,1-Difluoroethene und Tetrafluoroethene	25190-89-0	Chemische Beständigkeit Thermische Stabilität
Rotor	Wellendichtringe	PTFE Compound	Tetrafluorethen-Homopolymer	9002-84-0	Chemische Stabilität Thermische Stabilität Gleiteigenschaften
	Rotorlagegeber	ETFE	Ethylen-Tetrafluorethylen	68258-85-5	Chemische Stabilität Thermische Stabilität
Verbindungselemente (Beschichtungen)	Schrauben	PTFE	Polytetrafluorethylen	9002-84-0	Temperaturbeständig Korrosionsverhindernd Reibungsreduzierend
	Scheiben	PTFE	Polytetrafluorethylen	9002-84-0	
	Clipse, Klammern	PTFE	Polytetrafluorethylen	9002-84-0	
Bauteilschutz	Schrumpfschlauch	PTFE	Tetrafluorethen-Homopolymer	9002-84-0	Flammenhemmend Thermische Stabilität Elektrische Isolation
	Verguss Sensoren	FKM	1-Propen, 1,1,2,3,3,3-hexafluor-, polymer mit 1,1-difluorethen	9011-17-0	Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit
	Verguss Magnete	FKM	1-Propen, 1,1,2,3,3,3-hexafluor-, polymer mit 1,1-difluorethen	9011-17-0	Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(9) Werkstoffe im elektrischen Antrieb mit PFAS-Bezug

Baugruppe / Funktionssystem	Unterkomponente (Auswahl)	Werkstoff	Substanz (soweit veröffentlicht)	CAS-Nummer	Eigenschaften
Kühlkreislauf	Dichtungen	FKM	4-[1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-(4-Hydroxyphenyl) Propan-2-yl]Phenol 1-Propen, 1,1,2,3,3,3-hexafluor-, polymer mit 1,1-difluorethen	921213-47-0	Thermische Stabilität Chemische Stabilität Alterungsbeständigkeit
	Öleinfülldeckel Dichtung	FKM 70091-GN	z. B. 1-Propen, 1,1,2,3,3,3-hexafluor-, polymer mit 1,1-difluorethen + weitere	25190-89-0	Chemische Stabilität Thermische Stabilität
	Schläuche	PTFE	Tetrafluorethen-Homopolymer	9002-84-0	Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(9) Werkstoffe im elektrischen Antrieb mit PFAS-Bezug

Baugruppe / Funktionssystem	Unterkomponente (Auswahl)	Werkstoff	Substanz (soweit veröffentlicht)	CAS-Nummer	Eigenschaften
Motorentlüftung/ Ölabscheidung *	Feinölabscheider mittels Filtervlies	-	Perfluorverbindungen C5-18	86508-42-1	Chemische Stabilität, schmutz- und fettabweisend
	Rückschlagventile	Fluorsilikon-kautschuk (FVMQ)	Siloxanen und Silionen, Me 3,3,3-trifluorpropyl, hydroxy-terminiert	68607-77-2	Thermische Stabilität gute Kälteflexibilität gute Abriebfestigkeit
	Membrane	Fluorsilikon-kautschuk (FVMQ)	Siloxane und Silicone, Me 3,3,3-Trifluorpropyl, Hydroxy-terminiert	68607-77-2	ölbeständig; hohe thermische Stabilität; gute Kältestabilität, geringe Oberflächenspannung
		PTFE	Tetrafluorethen-Homopolymer	9002-84-0	
	Dichtungen	MFVQ	-	45-1258-01 C	Sehr gute Wärme- und Medienbeständigkeit (optimiert gegenüber FVMQ)
		FKM	4-[1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-(4-Hydroxyphenyl) Propan-2-yl]Phenol	921213-47-0	Thermische Stabilität chemische Stabilität Alterungsbeständigkeit

*) nur bei Ölsprühkühlung

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(9) Werkstoffe im elektrischen Antrieb mit PFAS-Bezug

Baugruppe / Funktionssystem	Unterkomponente (Auswahl)	Werkstoff	Substanz (soweit veröffentlicht)	CAS-Nummer	Eigenschaften
Stromversorgung / Signalleitung	Kabel	PFA	Tetrafluorethen-Homopolymer	9002-84-0	Chemische Stabilität Thermische Stabilität Thermoplastische Verarbeitbarkeit
	LV-Kabelbaum	ETFE-X PTFE	Ethylentetrafluorethylen Tetrafluorethen-Homopolymer	68258-85-5 9002-84-0	Hohe Abriebfestigkeit und Spannungsrißbeständigkeit, Chemikalien- u. Hitze- beständigkeit; ultraleicht
	Steckverbinderdichtungen	FKM	1-Propen, 1,1,2,3,3,3-hexafluor-, polymer mit 1,1-difluorethen	9011-17-0	Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit
Potentialableitring	Leitvlies	FKM	1-Propen, 1,1,2,3,3,3-hexafluor-, polymer mit 1,1-difluorethen	9011-17-0	Hohe Abriebfestigkeit Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit
Isolations- koordination	Drahtisolation	PFA	Perfluoralkoxy-Polymer	26655-00-5	Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit
	Verguss/Imprägnierung Wicklungen	PFA	Perfluoralkoxy-Polymer	26655-00-5	Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit
	Backlack / Blechisolation	PFA PTFE	Perfluoralkoxy-Polymer Tetrafluorethen-Homopolymer	26655-00-5 9002-84-0	Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit
	Nutpapier	PTFE	Tetrafluorethen-Homopolymer	9002-84-0	Thermische Stabilität Alterungsbeständigkeit

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(10) PFAS-Alternativwerkstoffe inklusive technischer Konsequenzen und Einschränkungen

Baugruppe / Funktionssystem	PFAS-Werkstoff	Alternativwerkstoff *)	Technische Konsequenz
Kabelisolierung / Kabelmantel, Füllstoffe	PFA, ETFE, PTFE, FKM, ...	Polypropylen / Polyethylen (PP/PE)	Betriebstemperatur zu niedrig; nur für niedrige bis mittlere Temperaturbereiche geeignet
		PVC	Betriebstemperatur zu niedrig; nur für niedrige bis mittlere Temperaturbereiche geeignet
		Polyethersulfon	Nicht flexibel, steif, nicht leicht zu verarbeiten; nur bis 200 °C verwendbar
		Polyimid	Nicht flexibel, steif, nicht leicht zu verarbeiten
		EPDM-Kautschuk	Betriebstemperatur zu niedrig; nur für niedrige bis mittlere Temperaturbereiche geeignet
		Nitrilkautschuk (NBR)	Betriebstemperatur zu niedrig; nur für niedrige bis mittlere Temperaturbereiche geeignet
		Hydrierter NBR	Betriebstemperatur zu niedrig; nur für niedrige bis mittlere Temperaturbereiche geeignet
		Acrylkautschuk	Betriebstemperatur zu niedrig; nur für niedrige bis mittlere Temperaturbereiche geeignet
		Ethylen-Acrylat-Kautschuk (AEM)	Betriebstemperatur zu niedrig; nur für niedrige bis mittlere Temperaturbereiche geeignet
Elektrische Isolierung von elektronischen Bauteilen	PTFE, FEP, ETFE, PVDF, PFA	PEEK	Nicht flexibel, steif, nicht leicht zu verarbeiten
		PVC	Bereits als Drahtisolierung bei niedrigen Temperaturen im Einsatz; nicht verwendbar bei hohen Betriebstemperaturen (>105 °C)
		Polypropylen (PP)	Wie PVC: nur für Anwendungen mit niedrigen Betriebstemperaturen geeignet; nicht für >105 °C
		Polyimid	Für hohe Betriebstemperaturen geeignet, aber andere mechanische und/oder elektrische Eigenschaften als fluorierte Polymere – oft in Kombination mit Füllstoffen versehen die PFAS enthalten
		Polyamidimid	Für hohe Betriebstemperaturen geeignet, aber andere mechanische und/oder elektrische Eigenschaften als fluorierte Polymere – oft in Kombination mit Füllstoffen versehen die PFAS enthalten
O-Ringe und Dichtungen	FKM / FVMQ	EPDM-Kautschuk	Unzureichende Medienbeständigkeit; für die meisten Anwendungen nicht geeignet
		Nitrilkautschuk (NBR)	Unzureichende Medienbeständigkeit; für die meisten Anwendungen nicht geeignet
		Hydrierter NBR	Unzureichende Medienbeständigkeit; für die meisten Anwendungen nicht geeignet

*) Alternativen können PFAS-haltige Werkstoffe nur bedingt ersetzen. Eine vollständige Werkstoffsubstitution ist nicht möglich.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(11) Zusammenfassung

PFAS-haltige Materialien sind beim aktuellen Stand der Technik und den gegebenen Verordnungen der EU in elektrischen Traktionsantrieben unverzichtbar. Ausgangspunkt sind Vorgaben der EU (v. a. Euro-7-Verordnung 2024/1257), Verordnungen über den Umwelt- und Gewässerschutz sowie essenzielle Anforderungen an Lebensdauer, Sicherheit und Effizienz einer modernen Antriebsmaschine.

Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit und Medienbeständigkeit der jeweiligen Baugruppen und Funktionssysteme des Systems. Betroffen sind u. a. Isolationssysteme, Dichtungen, Thermomanagement- und Entlüftungskomponenten, Lager- und Gleitstellen, Sensoren, Kabel und Zuleitungen.

Eingesetzt werden vor allem PTFE, FKM/FVMQ, PFA und ETFE mit spezifischen chemischen, thermischen und dielektrischen Eigenschaften. Alternativen verfehlen meist die nötige Kombination dieser Eigenschaften, sodass PFAS-haltige Materialien derzeit nur begrenzt substituierbar sind.

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(12) Quellenverzeichnis

[1]: IAV GmbH, Stand 09.12.2024: „Beschichtungsverfahren – PFAS“ (2025, 23. Juli)
<https://confluence.iavgroup.local/pages/viewpage.action?pageId=789841683>

[2] LUMITOS AG, Stand 2025: „Chemie.de“, Fachportal (2025, 06. August)
<https://www.chemie.de/lexikon/Polytetrafluorethylen.html>

[3]: Hanser Verlag, 07/2025: „Kunststoffe“ (2025, 06. August)
<https://www.kunststoffe.de/a/grundlagenartikel/polytetrafluorethylen-ptfe-285527>

[4]: Sattler GmbH, 21.02.2025: „FKM (Fluorkautschuk)“ (2025, 06. August)
<https://sattler-scm.de/lexikon/fkm>

[5]: Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge (2025, 06. August)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32007R0715>

[6]: Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge (2025, 06. August)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32000L0053>

[7]: Richtlinie 2005/64/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Oktober 2005 über die Typgenehmigung für Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates (2025, 06. August)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32005L0064>

[8]: Delegierte Verordnung (EU) 2014/134, Stand 16. Dezember 2013: „... Ergänzung der Verordnung (EU) Nr. 168/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Anforderungen an die Umweltverträglichkeit und die Leistung der Antriebseinheit sowie zur Änderung ihres Anhangs V...“ (Typ III Test) (2025, 14. August)
https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2014/134/oj?locale=de

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(12) Quellenverzeichnis

[9]: Verordnung (EU) 2017/1151, Stand 23.02.24: „Weltweit harmonisiertes Testverfahren für leichte Nutzfahrzeuge (Light-duty vehicles Test Procedure – WLTP) und Emissionen im realen Fahrbetrieb (Real Driving Emissions – RDE)“ (2025, 07. August)

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/LSU/?uri=oj:JOL_2017_175_R_0001

[10]: Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 715/2007 und (EG) Nr. 595/2009 und zur Aufhebung der Richtlinie 2007/46/EG (2025, 23. Juli)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32018R0858>

[11]: Verordnung (EU) 2019/1020 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über Marktüberwachung und die Konformität von Produkten sowie zur Änderung der Richtlinie 2004/42/EG und der Verordnungen (EG) Nr. 765/2008 und (EU) Nr. 305/2011 (2025, 05. August)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32019R1020>

[12]: Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2019 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit... (2025, 23. Juli)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32019R2144>

[13]: Verordnung (EU) 2024/1257 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Emissionen und der Dauerhaltbarkeit von Batterien (Euro 7) ... (2025, 23. Juli)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32024R1257>

[14]: Europäische Kommission, Unterrichtung, Stand 09.10.23: „Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Anforderungen an die kreislauforientierte Konstruktion von Fahrzeugen und über die Entsorgung von Altfahrzeugen, zur Änderung der Verordnungen (EU) 2018/858 und (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinien 2000/53/EG und 2005/64/EG “ (2025, 05. August)

https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2023/0401-0500/493-23.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(12) Quellenverzeichnis

[15]: Verordnung (EU) 595/2009, Stand 18. Juni 2009: „...Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 und der Richtlinie 2007/46/EG sowie zur Aufhebung der Richtlinien 80/1269/EWG, 2005/55/EG und 2005/78/EG...“ (2025, 14. August)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32009R0595>

[16]: Durchführungsverordnung (EU) 2021/535, Stand 31. März 2021: „...Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einheitlicher Verfahren und technischer Spezifikationen für die Typgenehmigung von Fahrzeugen sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeinen Baumerkmale und ihre Sicherheit...“ (2025, 14. August)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32021R0535>

[17]: Durchführungsverordnung (EU) 2020/683, Stand 15. April 2020; „...Durchführung der Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der administrativen Anforderungen für die Genehmigung und Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge“ (2025, 14. August)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32020R0683>

[18]: Richtlinie 2000/60/EG, Stand 23. Oktober 2000: „...Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“ (2025, 14. August)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX%3A32000L0060>

[19]: Richtlinie 2006/118/EG, Stand 12. Dezember 2006: „...Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung“ (2025, 14. August)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex:32006L0118>

[20]: Richtlinie 2004/35/EG, Stand 21. April 2004: „...Umwelthaftung zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden“ (2025, 14. August)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex:32004L0035>

Technische Gründe für den Einsatz von PFAS-haltigen Materialien

(12) Quellenverzeichnis

[21]: ZVEI – Factsheet: PFAS in passiven elektronischen Bauelementen

[/PFAS/11-ZVEI-PFAS-Factsheet-PFAS_in_passive_electrical_components-DE.pdf](#)

[22]: ZVEI – Factsheet: PFAS in Kabeln und Leitungen

[/PFAS/16-ZVEI-PFAS-Factsheet- PFAS in cables-EN.pdf](#)

Kontakt

Philipp Welke

IAV GmbH

Auer Straße 54, 09366 Stollberg

Telefon +49 173 1827334

philipp.welke@iav.de

www.iav.com

