

Carbonfasern und carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK)

Teil 1: Charakterisierung, Exposition, Bewertung und Schutzmaßnahmen

M. Mattenklott, R. Van Gelder

Zusammenfassung Ausgelöst durch den vermehrten Einsatz von Carbonfasern im Fahrzeugbau wurden die möglichen Gesundheitsgefahren durch die Einwirkung von Fasern in der Lunge für die Verwender der Carbonfasern, aber auch für Rettungskräfte, in den letzten Jahren vielfach diskutiert. Der Beitrag erläutert, in welcher Weise lungengängige Fasern aus den an sich nicht lungengängigen Carbonfasern entstehen und wie diese analytisch bei Expositionsmessungen bestimmt werden. Die aufgrund der Beschaffenheit von Carbonfasern noch bestehenden Probleme bei deren Bewertung werden erläutert. Die bisher vorliegenden Expositionsdaten bei der industriellen Anwendung von Carbonfasern und die bisher etablierten Schutzmaßnahmenkonzepte werden vorgestellt. Die Frage der Gefährdung von Rettungskräften wird durch einen Vergleich der zu erwartenden Expositionen mit solchen von Industriearbeitern diskutiert. Der zweite Teil der Veröffentlichung geht unter anderem detaillierter auf den Stand der Technik bei Schutzmaßnahmen und die in den letzten Jahren erhobenen Expositionsdaten bei der Herstellung und Bearbeitung von Karosserieteilen aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen ein.

Carbon fibres and carbon-fibre reinforced plastics (CFRPs)

Part 1: Characterization, exposure, evaluation and protective measures

Abstract Prompted by the rising use of carbon fibres in vehicle manufacture, the possible health hazards presented to users of carbon fibres and also to emergency services personnel by the effect of fibres in the lung have been widely discussed in recent years. The paper explains how respirable fibres are formed from carbon fibres, which in the first instance are not respirable, and how they can be determined analytically during exposure measurements. Further problems arising during the analysis of carbon fibres owing to their properties are discussed. The data available at the present time concerning exposure during the industrial application of carbon fibres and the concepts for protective measures that have been established to date are presented. The issue of hazards to emergency services personnel is discussed by a comparison of the anticipated exposure with that for workers in industry. The second part of the publication includes a more detailed description of the state of the art for protective measures and the exposure data obtained in recent years during the manufacture and processing of vehicle body parts produced from carbon-fibre reinforced plastics.

1 Einleitung

In den letzten Jahren wurde wiederholt die mögliche Gesundheitsgefährdung durch Carbonfasern beim Einsatz von carbonfaserverstärkten Materialien diskutiert. Dies geschah zumeist in der Presse, z. B. nach dem Brand von Flügeln von Großwindanlagen oder der Rettung von Per-

sonen aus Fahrzeugen. Auch Veröffentlichungen zur Veränderung der Faserstruktur von Carbonfasern bei Brandversuchen [1] wurden öffentlich diskutiert. Dabei entstand der Eindruck, dass Menschen unkontrolliert großen Gefahren ausgesetzt worden sind und werden. Teilweise wird eine zum Asbest vergleichbare Gefährdung durch Carbonfasern diskutiert. Zum Teil werden Carbonfasern auch mit Carbon Nanotubes verwechselt. Um diesen Diskussionen eine fachliche Basis zu geben, werden im Folgenden die aus Arbeitsschutzsicht relevanten Fakten zusammengestellt. Neben der Charakterisierung der Materialien und der Darstellung der heutigen Expositionssituation wird auch die derzeitige Bewertung von Carbonfasern durch die Unfallversicherungsträger und das empfohlene Schutzmaßnahmenkonzept dargestellt.

Diese Ausführungen beziehen sich auf den Einsatz der überwiegend eingesetzten polyacrylnitrilbasierten Carbonfasern, kurz auch PAN-CF genannt (siehe Abschnitt 2).

2 Charakterisierung von Carbonfasern

Eingeatmete Fasern sind potenziell gesundheitsschädlich, wenn sie eine ausreichende Biobeständigkeit haben und die sogenannten WHO-Abmessungen¹⁾ zeigen. Damit werden Fasern beschrieben, die einen Durchmesser $< 5 \mu\text{m}$, eine Länge von $> 5 \mu\text{m}$ und ein Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von $> 3 : 1$ aufweisen. WHO-Fasern können die tieferen Bereiche der Lunge (Lungenbläschen und Alveolarbereich) erreichen und bestimmte Faserarten können dort zu Gesundheitsschäden, z. B. Lungenkrebs, führen.

Carbonfasern als Material sind nicht eingestuft, da sie einen Durchmesser aufweisen, der typischerweise deutlich $> 5 \mu\text{m}$ ist. Übliche technisch verwendete Carbonfasern liegen zumeist mit einheitlichem Durchmesser vor, der je nach Produkt zwischen 5 und 9 μm beträgt. Jedoch können bei der mechanischen Bearbeitung von Fasern zur Herstellung oder Bearbeitung von CFK-haltigen Verbundwerkstoffen Splitter der Carbonfasern mit WHO-Abmessungen erzeugt werden. Diese splitterförmigen Fasern sind bei der Gefährdungsbeurteilung an Arbeitsplätzen zu beachten. Eine weitere Möglichkeit der Generierung von WHO-Fasern aus Carbonfasern besteht durch thermische Prozesse, z. B. beim Brand von Verbundwerkstoffen. Laboruntersuchungen und Praxistests konnten zeigen, dass unter bestimmten Bedingungen beim Abbrand von CFK unter Reduzierung des Faserdurchmessers lungengängige Fasern entstehen [2].

Bei der Freisetzung lungengängiger Fasern aus Carbonfasern durch mechanische Bearbeitung ist zu beachten, dass es zwei grundlegend verschiedene Arten von Carbonfasern gibt: polyacrylnitrilbasierte und pechbasierte. Der dominierend eingesetzte Typ sind die PAN-CF. Diese sind in den meisten bekannten Anwendungen vertreten, z. B.

Dr. rer. nat. Markus Mattenklott,
Dipl.-Chem. Rainer Van Gelder,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

¹⁾ WHO: Weltgesundheitsorganisation

Tabelle 1. Tätigkeitsbezogene Expositionsdaten zu faserförmigen Splittern mit kritischen Abmessungen, zusammenfassend für Tätigkeiten an Carbonfasern und Carbonfaser-Verbundwerkstoffen (CFK) sowie Textilglasfasern und Glasfaser-Verbundwerkstoffen (GFK) aus dem Zeitraum von 1994 bis 2011. Die Daten für den Zeitraum von 2002 bis 2011 sind zusätzlich branchenübergreifend nach Tätigkeiten (Arbeitsbereichsgruppen) differenziert. Quelle: IFA-Expositionsdatenbank MEGA; von den Unfallversicherungsträgern ermittelte Daten. F: Fasern

Datenzeitraum	Arbeitsbereichsgruppe	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte	Anzahl <-Werte*	Anteil <-Werte* in %	Höchste Nachweisgrenze* in F/m ³	Kleinster Wert in F/m ³	50-%-Wert in F/m ³	60-%-Wert in F/m ³	70-%-Wert in F/m ³	75-%-Wert in F/m ³	80-%-Wert in F/m ³	90-%-Wert in F/m ³	95-%-Wert in F/m ³	Größter Wert in F/m ³		
1994 bis 2001	alle	86	381	141	37,0	90 000	850	25 200	30 000 ⁺	47 100 ⁺	54 425 ⁺	70 000 ⁺	110 000	140 000	710 000		
2002 bis 2011	alle	106	416	235	57,0	211 900	2 900	NWG	10 000 ⁺	16 580 ⁺	21 200 ⁺	34 890 ⁺	70 650 ⁺	150 140 ⁺	1 800 000		
2002 bis 2011	Bohren	9	11	8	72,7	40 600	5 900	NWG			8 950 ⁺	9 280 ⁺	12 145 ⁺	15 983 ⁺	< 40 600		
	CNC-Bearbeitung	6	10	4	40,0	17 500	11 300	11 300 ⁺	11 600 ⁺	11 700 ⁺	12 700 ⁺	13 700 ⁺	65 700	78 550	91 400		
	Form-/GFK-Teile Herstellung	15	26	15	57,7	20 000	2 900	NWG			8 750 ⁺	9 000 ⁺	9 900 ⁺	10 880 ⁺	31 540	44 970	50 000
	Fräsen	19	41	18	43,9	26 400	3 900	8 600 ⁺	9 760 ⁺	14 470 ⁺	18 625 ⁺	33 760	76 900	146 140	232 700		
	Montage	7	12	6	50,0	17 700	< 11 800	NWG			14 180 ⁺	25 740	30 000	48 000	60 000	64 000	70 000
	Sägen	18	36	14	38,9	92 100	5 100	17 550 ⁺	32 870 ⁺	40 700 ⁺	46 050 ⁺	49 140 ⁺	97 780	152 300	199 400		
	Schleifen	22	71	35	49,3	211 900	5 700	16 500 ⁺	32 900 ⁺	51 190 ⁺	69 625 ⁺	70 640 ⁺	104 655 ⁺	174 350 ⁺	385 600		
	Spinnerei/Weberei	12	95	79	83,2	17 700	4 700	NWG						8 850 ⁺	11 800 ⁺	32 000	
	Stanzen/Schneiden	25	56	27	48,2	117 800	2 900	11 700 ⁺	14 340 ⁺	21 040 ⁺	21 200 ⁺	32 060 ⁺	209 600	209 600	429 040	714 100	
Sonstige	26	58	29	50,0	69 400	2 900	NWG			16 800 ⁺	20 960 ⁺	27 950 ⁺	50 840 ⁺	102 920	363 940	1 800 000	

* Liegen Analyseergebnisse unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenze (NWG), dann geht der Wert der halben NWG in die Statistik ein.

+ Der Verteilungswert liegt unterhalb der größten NWG im Datenkollektiv.

NWG Die Anzahl der Messwerte unterhalb der NWG ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden.

Faserverbundwerkstoffen für Auto- und Flugzeugkarosserien, Windanlagenflügeln, Rädern und Sportgeräten. Die weitaus teureren pechbasierten Carbonfasern zeigen im Vergleich dazu eine höhere Steifigkeit, haben allerdings auch eine bessere Zugfestigkeit. Ihr Einsatz beschränkt sich zurzeit auf wenige Spezialanwendungen.

Das Faserfreisetzungspotenzial aus pechbasierten Carbonfasern ist im Vergleich zu den PAN-basierten Fasern deutlich größer, da sie bereits eine Internstruktur aufweisen, die bei mechanischer Bearbeitung bevorzugt zu einer Absplitterung langer und dünner Fasern mit lungengängigen Abmessungen führt. Eine Darstellung der Faserfreisetzung und erste orientierende Expositionsmessungen finden sich in [5].

PAN-basierte Carbonfasern weisen dagegen eine nicht orientierte homogene amorphe Struktur auf. Bei mechanischer Belastung werden beliebig geformte Splitter dieser Fasern abgetrennt, von denen ein kleiner Teil zufällig die Abmessungen von WHO-Fasern besitzt. Diese Fasern werden als faserförmige Splitter bezeichnet, da sie nicht bereits ursprünglich im Produkt enthalten waren, sondern erst durch eine Bearbeitung entstanden sind.

3 Analyse von Carbonfasern

Die Bestimmung der Konzentration von WHO-Fasern aus Carbonfasern in der Luft an Arbeitsplätzen geschieht mit dem Verfahren nach der DGUV Information 213-546 [4]. Das rasterelektronenmikroskopische Verfahren erlaubt neben der Bestimmung der Gesamtfaserkonzentration durch eine semiquantitative Elementanalyse mittels EDX²⁾ auch eine Unterscheidung verschiedener anorganischer Faserarten, standardmäßig Chrysotil, Amphibolasbest und

Calciumsulfatfasern. Alle sonstigen anorganischen Fasern werden zusammengefasst. Anhand eines Referenzmaterials aus dem untersuchten Arbeitsbereich können auch weitere Faserarten differenziert werden, z. B. Hochtemperaturwolle und spezielle Dämmwolle. Die Identifizierung von WHO-Splittern von Carbonfasern ist jedoch nicht eindeutig möglich, da anhand der Elementanalyse nur Kohlenstoff festgestellt wird. Andere Fasern, deren EDX-Analyse ebenfalls nur Kohlenstoff ausweist, z. B. Splitter oder Fetzen der Verbundmaterial-Matrix, können nicht unterschieden werden, wenn nicht eindeutige morphologische Kriterien vorliegen – z. B. ein gebogener Verlauf der Faser. Aufgrund dieser Querempfindlichkeit können die ermittelten Faserkonzentrationen falsch positiv beeinflusst sein. Da an einer nicht unerheblichen Zahl der Splitter jedoch morphologische Kriterien zu erkennen sind, die typisch für Carbonfasern sind, ist auszuschließen, dass die Faserkonzentrationen, die bei der Herstellung oder Bearbeitung von CFK gemessen wurden, lediglich auf die Matrix oder andere Stoffe zurückzuführen sind.

4 Expositionssituation

Tätigkeiten mit Carbonfasern werden von den Unfallversicherungsträgern bereits seit vielen Jahren im Rahmen der Präventionsarbeit messtechnisch begleitet. In diesem Zusammenhang wurde im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) 2004 ein Messprogramm zur Erfassung der Konzentration splitterförmiger Fasern bei Herstellung und Bearbeitung von carbonfaser- und textilglasfaserverstärkten Verbundwerkstoffen aufgelegt. In **Tabelle 1** sind die verfügbaren Expositionsdaten zusammengestellt. Da die Entstehung und Freisetzung von Carbonfaser-Splittern in gleicher Weise erfolgt wie die faserförmiger Splitter aus Textilglasfasern und auch die Anwendungsgebiete und Bearbeitungsverfahren vergleich-

²⁾ EDX: energiedispersive Röntgenmikroanalyse

bar sind, wurden die Daten für beide Faserarten bis 2011 zusammenfassend betrachtet. Für die Auswertung wurden alle auf CFK- und GFK-Anwendungen zurückführbare Expositionsdaten aus der Zeit von 1994 bis 2001 zusammengefasst und den Daten von 2002 bis 2011 gegenübergestellt.

Generell ist darauf hinzuweisen, dass die Fasermessungen jeweils nur mit begrenzter Probenahmedauer stattfanden, da eine Überladung der Probenahmefilter zu deren Nichtauswertbarkeit führen würde³⁾. Deshalb handelt es sich bei den Expositionsdaten im Wesentlichen um tätigkeitsbezogene Expositionswerte und nicht um Schichtmittelwerte.

Die Daten für den Zeitraum von 2002 bis 2011 konnten im Hinblick auf Tätigkeiten (Arbeitsbereichsgruppen) weiter differenziert werden. Dabei ist jedoch zu bemerken, dass die Daten für einen Arbeitsbereich/eine Arbeitsbereichsgruppe aus unterschiedlichsten Branchen und Anwendungen zusammengesetzt sind und die Zahl der Werte in diesen Selektionen zum Teil recht klein war. Darin liegt auch eine Ursache für die teilweise sehr große Spanne der Exposition für eine Tätigkeit. Vor allem im Bereich der 95%-Werte und der größten Werte ist dies zu erkennen.

Eine Reihe von Arbeitsbereichen fällt jedoch dadurch auf, dass zum einen die Spanne der Exposition vergleichsweise klein ist und auch die maximalen bis dahin gemessenen Expositionen unter 50 000 Fasern/m⁵ (F/m⁵) liegen. Es handelt sich dabei um das Bohren, die Form-/GFK-Teile-Herstellung und die Spinnerei/Weberei.

Für alle betrachteten Tätigkeiten lässt sich festhalten, dass der Median der Exposition (50%-Wert) zwischen rund 10 000 und 20 000 F/m⁵ liegt. Der 90%-Wert liegt für viele Tätigkeiten unter 100 000 F/m⁵. Erwartungsgemäß sind höhere Werte beim Schleifen festzustellen, aber auch beim Sägen, Stanzen und Schneiden. Erkennbar ist jedoch auch, dass unter bestimmten Umständen und Bearbeitungssituationen sehr hohe Expositionen von deutlich mehr als 250 000 F/m⁵ auftreten. Abhängig davon, welchen Anteil diese Tätigkeiten an einer Schicht haben, wird daher das Tragen von Atemschutz in bestimmten Bereichen geboten sein (siehe Abschnitt 6).

Da in den letzten Jahren der Fokus auf dem Einsatz von Carbonfasern im Karosseriebau liegt, wurde der Schwerpunkt des MGU-Messprogramms seit 2014 auf die Herstellung und Bearbeitung von CFK gelegt. Die überwiegend im Karosseriebau ermittelten Expositionsdaten werden im zweiten Teil dieser Veröffentlichung aufgeführt.

Für Rettungskräfte liegen bis heute nur sehr wenige Daten zur Exposition gegenüber Carbonfasern der kritischen Abmessungen vor (z. B. [5]). Hier planen die Unfallversicherungsträger zurzeit erste Messungen bei Übungen zur Rettung aus Fahrzeugen (Beginn im Herbst 2019).

5 Bewertung von Carbonfasern

Da Carbonfasern als Material mit Faserdurchmessern von > 5 µm in Verkehr gebracht werden, besteht für diese keine Einstufung. Erst durch mechanische Bearbeitung entstehen lungengängige faserförmige Splitter mit WHO-Abmessungen. Eine Bewertung der an Arbeitsplätzen entstehenden

Fasern mit kritischen Abmessungen erfolgt daher anhand der Regelungen der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 905 [6]. Im Abschnitt 2.3 der TRGS sind Carbonfasern jedoch nicht explizit genannt. Somit erfolgt eine Einstufung in Kategorie 2 der krebserzeugenden Stoffe nach Abschnitt 2.3 Absatz 7 („anorganische Faserstäube, soweit nicht erwähnt ...“). Es handelt sich dabei um eine Verdachtseinstufung aller anorganischen Fasern, die nicht explizit mit einer anderen Einstufung genannt sind.

Ein Grenzwert für lungengängige Carbonfasern existiert nicht. In Ermangelung spezifischer Regelungen müssen daher Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Carbonfasern bis auf Weiteres in Analogie zu Schutzmaßnahmenkonzepten für andere Faserarten abgeleitet werden. Die Unfallversicherungsträger nehmen für Carbonfasern zur sicheren Seite die Regelungen der TRGS 521 [7] für Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten an alten Dämmwollen in Bezug (gilt für Fasern mit Einstufung nach Kategorie 1B).

Der Fachbereich Holz und Metall der DGUV erarbeitete für die Anwendung in Betrieben in den letzten Jahren zwei DGUV Informationen:

- Bearbeitung von CFK Materialien – Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen [8],
 - Herstellung von CFK Bauteilen – Orientierungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung bei der Serienfertigung [9].
- Diese Informationsschriften beschreiben die Herstellung und Bearbeitung von Carbonfasern/CFK-Verbundwerkstoffen, Gefährdungen, Beurteilungen und Schutzmaßnahmen (Bild).

Neben der Brand- und Expositionsgefährdung (Staubexplosionsklasse 1) und der elektrischen Gefährdung (Carbonfaserpartikel sind leitfähig; Entstehung von Kurzschlüssen) sind als direkte Auswirkungen der Exposition gegenüber Carbonfasern zu nennen:

- Gefährdung durch Hautkontakt (es können allergische Kontaktekzeme sowie mechanisch irritative Effekte, unter anderem Hautreizungen, Juckreize, entstehen),
- Gefährdungen durch Einatmen (Exposition gegenüber einatembarem (E) und alveolengängigem (A) Staub sowie Fasern der kritischen Abmessungen – WHO-Fasern – mit Einstufung in Kategorie 2 der krebserzeugenden Stoffe).

Eine toxikologische Bewertung von lungengängigen Fasern, die aus Carbonfaser-Verbundwerkstoffen freigesetzt werden, ist auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Informationen nur schwer möglich. Ein Grund dafür ist, dass faserförmige Splitter von Carbonfasern mit kritischen Abmessungen nicht selektiv verfügbar sind. Da solche Partikel nur einen kleinen Teil der bei mechanischen Bearbeitungsprozessen freigesetzten Partikel ausmachen (typischerweise <0,1 Masse-%) und diese nicht angereichert werden können, stehen PAN-basierte Carbonfasern mit kritischen Abmessungen nicht ausreichend selektiv für die klassischen toxikologischen Tests zur Verfügung, die wesentlicher Bestandteil einer Einstufung sind.

Inzwischen werden jedoch alternative Ansätze geprüft und Tests durchgeführt, um eine konkretere Bewertung von Carbonfasern zu ermöglichen. Erste Untersuchungen am Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IPA) mit Stäuben von PAN-basierten Carbonfasern und Carbonfaser-Verbundstoffen zeigen eine schwache bis keine entzündliche Wirkung

³⁾ Die Fasern mit kritischen Abmessungen stellen jeweils nur einen sehr geringen Anteil der freigesetzten Stäube aus Carbonfasern/Textilglasfasern, in der Regel < 0,1 Masse-%.

Tabelle 3. Vergleich des Umfangs der Exposition gegenüber Carbonfasern von Beschäftigten in der Karosserieherstellung und von Feuerwehrkräften; PSA = Persönliche Schutzausrüstung.

Art der Tätigkeit	Bearbeitung von CFK im Bereich Karosserieherstellung	Einsatz von Feuerwehr bei Rettung aus Fahrzeugen mit CFK-Karosserie
Parameter		
Häufigkeit der Tätigkeit	Arbeitstäglicher Umgang	Ca. 0- bis 2-mal im Jahr
Dauer pro Schicht/Einsatz	4 bis 8 h	Ca. einige Minuten bis eine halbe Stunde
→ Dauer pro Jahr	→ ca. 800 bis 1 600 h/Jahr	→ ca. 0 bis 1 h/Jahr
Ort	Stationäre Anlagen in Hallen	Im Freien
Expositionsdaten	Liegen vor	?
Schutzmaßnahmen	Faserspezifische Schutzmaßnahmen bei > 50 000 F/m ³ *	Unterschiedlich geregelt
Einsatz von PSA	PSA bei > 250 000 F/m ³ (> 50 000 F/m ³ : PSA zur Verfügung stellen)*	Häufiges Tragen von PSA

* Schichtmittelwert

menkonzepte mit den Aufsichtsbehörden und den Aufsichtspersonen der Unfallversicherungsträger abgestimmt. Für Einsätze von Rettungsdiensten, teilweise auch aus dem Bereich der Bundeswehr, wird in den letzten Jahren vermehrt der Kontakt mit Carbonfasermaterialien – auch mit Verweis auf hohe und unkontrollierbare Risiken für die Gesundheit – in der Presse diskutiert. Dabei ist vielfach zu beobachten, dass durch Unkenntnis und unsachliche Argumentationen Ängste geschürt werden, die einer realistischen Risikoabschätzung im Wege stehen. Für eine Gefährdungsbeurteilung ist jedoch in jedem Falle auch der Umfang einer möglichen Exposition zu berücksichtigen; dazu gehören auch die Häufigkeit, Dauer und Höhe einer Exposition. Zur Beurteilung der Gefährdung und der Einleitung von Schutzmaßnahmen stehen Konzepte zur Verfügung (siehe Abschnitte 5 und 6), die auch für die Exposition von Feuerwehrkräften und anderen Personen von Rettungsdiensten herangezogen werden sollten.

In **Tabelle 3** sind zwei typische Expositionsszenarien von Industriearbeitern und Rettungskräften gegenübergestellt. Bedenkt man den Verbreitungsgrad von CFK-Karosserien an Fahrzeugen, der immer noch deutlich unter 1 % aller Fahrzeuge auf deutschen Straßen liegen wird, wird deutlich, dass Rettungseinsätze an solchen Fahrzeugen nur sehr sporadisch auftreten werden. Die Dauer der Tätigkeiten mit Werkzeugen an Karosserieteilen zur Rettung von Personen dürfte im Schnitt im Bereich von Minuten liegen. Im Unterschied zu industriellen Arbeitsplätzen finden diese Arbeiten fast immer im Freien statt, was im Vergleich zu Tätigkeiten in Werkhallen zumeist ein deutlich schnelleres Abklingen der Exposition bedeutet. Bei oder nach einem Brand schützen sich Feuerwehrkräfte nicht selten auch mit Atemschutz. Auch in solchen Situationen ist die Expositionsdauer zumeist zeitlich sehr begrenzt.

Aus dieser Gegenüberstellung kann im Vergleich zu Tätigkeiten mit Carbonfasern im industriellen Bereich zunächst keine besondere Gefährdungssituation für Rettungskräfte abgeleitet werden. Festhalten kann man, dass Rettungskräfte deutlich seltener und dann in wesentlich kürzeren Zeiträumen gegenüber Carbonfasern exponiert sind.

Eine zielführende Beurteilung der Expositionen von Rettungskräften kann jedoch erst dann erfolgen, wenn genügend Messdaten vorliegen. Es sind bereits verschiedene Übungen von Rettungskräften und Prüfstellen an Fahrzeugen

mit CFK-Bauteilen in Berichten und der Presse dokumentiert, bei denen jedoch keine begleitenden Expositionsmessungen durchgeführt wurden. Bei kommenden Messungen sollte auch der Frage nachgegangen werden, welche Carbonfasereexpositionen bei Brandfällen durch die thermische Reduzierung des Durchmessers von Carbonfasern entstehen – im Unterschied zur Splitterfreisetzung durch mechanische Bearbeitung.

Literatur

- [1] Eibl, S.; Reiner, D.; Lehnert, M.: Gefährdung durch lungengängige Faserfragmente nach dem Abbrand Kohlenstofffaser verstärkter Kunststoffe. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 74 (2014) Nr. 7/8, S. 285-286.
- [2] Eibl, S.; Scholz, N.: Besondere Gefährdung beim Abbrand von Carbon-Kunststoffen. Brandschutz. Deutsche Feuerwehrzeitung (2014) Nr. 6, S. 423-427.
- [3] Bäger, D.; Simonow, B.; Kehren, D.; Dziurawitz, N.; Wenzlaff, D.; Thim, C.: Pechbasierte Carbonfasern als Quelle alveolengängiger Fasern bei mechanischer Bearbeitung von carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 79 (2019) Nr. 1/2, S. 13-16.
- [4] DGUV Informationen: Verfahren zur getrennten Bestimmung der Konzentrationen von lungengängigen anorganischen Fasern. Von den Unfallversicherungsträgern anerkannte Analysenverfahren zur Festlegung der Konzentrationen krebserzeugender Arbeitsstoffe in der Luft in Arbeitsbereichen. Verfahren 03 (Fasern – 03 – REM/EDXA) (213-546, bisher BGI/GUV I 505-46). Ausg. 2/2014. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2014.
- [5] Eibl, S.: Gesundheitsgefährdung durch lungengängige Kohlenstofffasern beim Abbrand von Carbonkunststoffen. Vortrag zum Workshop „Lunge – Umwelt – Arbeitsmedizin“ am 3. bis 4. März 2017 in Linz, Österreich. <https://ch.universimed.com/fachthemen/8122>
- [6] Technische Regel für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe (TRGS 905). Ausg. 3/2016. GMBL. (2016) Nr. 19, S. 378-390; zul. geänd. GMBL. (2018) Nr. 15, S. 259.
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe: Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle (TRGS 521). Ausg. 2/2008. GMBL. (2008) Nr. 14, S. 279-286.

- [8] DGUV Informationen: Bearbeitung von CFK Materialien. Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen (FB HM-074). Ausg. 10/2014. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2014.
- [9] DGUV Informationen: Herstellung von CFK Bauteilen. Orientierungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung bei der Serienfertigung (FB HM-092). Ausg. 8/2017. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2017.
- [10] *Westphal, G.; Monsé, C.; Walter, D.; Brüning, T.; Bünger, J.*: Gefährdungsanalyse für Carbonfaser-verstärkte Kunststoffe – P/CMA-Test weist auf sehr geringe Entzündungswirkungen hin. IPA-Journal (2019) Nr. 1, S. 10-13.