

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Bestimmung der Exposition von Glasstaub und Staub von Faserverbundwerkstoffen, speziell Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK) bei Einsätzen der technischen Hilfeleistung speziell Verkehrsunfall

von Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Forschungsstelle für Brandschutztechnik

STÄNDIGE KONFERENZ DER INNENMINISTER UND -SENATOREN DER LÄNDER, ARBEITSKREIS V, AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHR-ANGELEGENHEITEN, KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG

Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Forschungsbericht Nr. 211

Bestimmung der Exposition von Glasstaub und Staub von Faserverbundwerkstoffen, speziell Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK) bei Einsätzen der technischen Hilfeleistung speziell Verkehrsunfall

von

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Forschungsstelle für Brandschutztechnik

Karlsruhe

Oktober 2021

BERICHTSKENNBLATT

Nummer des Berichtes: <p style="text-align: center;">211</p>	Titel des Berichtes: Bestimmung der Exposition von Glasstaub und Staub von Faserverbundwerkstoffen, speziell Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK) bei Einsätzen der technischen Hilfeleistung speziell Verkehrsunfall		ISSN: <p style="text-align: center;">0170-0060</p>
Autor: Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann		durchführende Institution: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Hertzstr. 16, D-76187 Karlsruhe	
Nummer des Auftrages: FA. Nr. 247 (FFB-01/2020)		auftraggebende Institution: Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung	
Abschlussdatum: Oktober 2021			
Seitenzahl: 71	Bilder: 44	Tabellen: 9	Literaturverweise: 25
Kurzfassung: <p>Beim Retten und Bergen ist es oft notwendig, zum Teil schwerstverletzte Unfallopfer, unter Zuhilfenahme diverser mechanischer Rettungsgeräte, aus den nicht selten stark deformierten Kraftfahrzeugkarosserien zu befreien. Bei Einsätzen zur technischen Hilfeleistung werden jedoch nicht nur die Unfallopfer selbst, sondern auch die jeweiligen im Einsatz befindlichen Rettungskräfte mit diesen Gefahrenquellen konfrontiert.</p> <p>Eine dieser möglichen Gefahren, welcher Einsatzkräfte, ganz gleich ob Feuerwehr oder Rettungsdienst, im Rahmen der technischen Hilfeleistung bei Verkehrsunfällen ständig ausgesetzt sind, ist die Einwirkung von einatembaren Staub (E-Staub), alveolengängigen Staub (A-Staub) und Fasern, die bei der mechanischen Zerstörung der unterschiedlichen Kraftfahrzeugmaterialien und Glasscheiben mit den unterschiedlichen Werkzeugen entstehen.</p> <p>Hierzu wurden Versuche an der LFS-BW, Bruchsal an PKW Unfallfahrzeugen älteren Typs unter realen Umgebungsbedingungen im Freien durchgeführt. Messungen an Fahrzeugen aus bzw. mit Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK) konnten nicht durchgeführt werden, da diese zum Versuchszeitpunkt nicht zur Verfügung standen.</p> <p>Die Messungen des Staubes und der Fasern sowie deren Auswertung und Beurteilung erfolgten durch das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) sowie die Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Abteilung Biologische-, chemische- und physikalische Einwirkungen. Die Projektleitung hatte die KIT-Forschungsstelle für Brandschutztechnik.</p>			
Schlagwörter: Kraftfahrzeuge, technische Hilfeleistung, Glas, mechanische Zerstörung, Staub, Fasern, Wettereinfluss, Wind, Regen, Gefährdungsbeurteilung, persönliche Schutzausrüstung (PSA),			

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	I
TABELLENVERZEICHNIS	IV
1. VORWORT	1
2. TECHNISCHE REGELN FÜR GEFAHRSTOFFE	7
2.1. TRGS 400 – Technische Regeln für Gefahrstoffe - – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen	7
2.1.1. Tätigkeiten mit geringer Gefährdung	9
2.2. TRGS 402 - Technische Regeln für Gefahrstoffe – Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition	10
2.2.1. Arbeitsplätze im Freien	13
2.3. TRGS 900 – Technische Regeln für Gefahrstoffe	14
2.3.1. Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)	14
2.3.2. Allgemeiner Staubgrenzwert (ASGW)	17
3. UMGEBUNGSBEDINGUNGEN IM FREIEN – METEOROLOGISCHE ELEMENTE: WIND, REGEN	19
3.1. Wind - Einfluss auf luftgetragene Feinstäube	19
3.2. Regen, Sprühwasser - Einfluss auf luftgetragene Feinstäube	27
4. VERSUCHE ZUR TECHNISCHEN RETTUNG AN PKW	29
4.1. Messverfahren	31
4.2. Messtechnik	32
4.3. Versuchsablauf - Bilddokumentation	37
4.3.1. Versuche an Versuchsfahrzeug 1	37
4.3.2. Versuche an Versuchsfahrzeug 2	42
4.4. Messergebnisse - Auswertung und Beurteilung	46
5. ZUSAMMENFASSUNG	52
6. LITERATURVERZEICHNIS	54

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1:</i> Radialgebläse zur Winderzeugung: 3 m/s [Kunkelmann, J. /2007/]	24
<i>Abbildung 2:</i> Kaltsprühversuch mit Hochdruck-Wassernebel - Einzeldüse – 135 bar	24
<i>Abbildung 3:</i> Kaltsprühversuch mit Hochdruck-Wassernebel – Sprühkopf mit 4 Düsen – 135 bar, Ablenkung des Sprühnebels durch Wind im Freien [Kunkelmann, J. /2007/]	24
<i>Abbildung 4:</i> Versuchsfahrzeug 1 (Farbe: Silber) an der LFS-BW	30
<i>Abbildung 5:</i> Versuchsfahrzeug 2 (Farbe: Schwarz) an der LFS-BW	30
<i>Abbildung 6:</i> Staub- und Fasermesstechnik - 1 (DGUV-IFA, UK NRW)	34
<i>Abbildung 7:</i> Staub- und Fasermesstechnik - 2 (DGUV-IFA, UK NRW)	34
<i>Abbildung 8:</i> Dummy - Übungspuppe als Patient mit Staub- und Fasermesstechnik vor dem Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1 - Vorderseite	35
<i>Abbildung 9:</i> Dummy - Übungspuppe als Patient mit Staub- und Fasermesstechnik vor dem Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1 - Rückseite	35
<i>Abbildung 10:</i> Feuerwehrangehöriger (Angriffstrupp) mit Staub- und Fasermesstechnik – Vorderseite (LFS-BW)	35
<i>Abbildung 11:</i> Feuerwehrangehöriger (Angriffstrupp) mit Staub- und Fasermesstechnik, Probenahmegeräte – Rückseite (LFS-BW)	35
<i>Abbildung 12:</i> Dummy (Stativ) als Ersatz für Gruppenführer mit Staub- und Fasermesstechnik	36
<i>Abbildung 13:</i> Dummy (Stativ) als Ersatz für Gruppenführer mit Staub- und Fasermesstechnik sowie Videokamera	36
<i>Abbildung 14:</i> Fahrersitz ohne Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Versuchsfahrzeug 2 - Vorderseite	36
<i>Abbildung 15:</i> Fahrersitz ohne Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Versuchsfahrzeug 2 - Rückseite	36
<i>Abbildung 16:</i> Versuchsfahrzeug 1 an der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (LFS-BW)	37
<i>Abbildung 17:</i> Versuchsfahrzeug 1 an der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (LFS-BW)	37
<i>Abbildung 18:</i> Werkzeuge und Geräte (LFS-BW)	38

<i>Abbildung 19:</i> Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik vor dem Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1 - Vorderseite	38
<i>Abbildung 20:</i> Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik vor dem Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1 - Rückseite	38
<i>Abbildung 21:</i> Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik,	39
<i>Abbildung 22:</i> Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik	39
<i>Abbildung 23:</i> Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik	39
<i>Abbildung 24:</i> Stabilisierung des Unfallfahrzeuges - Versuchsfahrzeug 1	39
<i>Abbildung 25:</i> Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 1	40
<i>Abbildung 26:</i> Arbeiten mit der hydraulischen Rettungsschere - Versuchsfahrzeug 1	40
<i>Abbildung 27:</i> Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 1	40
<i>Abbildung 28:</i> Arbeiten mit der Säbelsäge - Versuchsfahrzeug 1	40
<i>Abbildung 29:</i> Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 1	41
<i>Abbildung 30:</i> Arbeiten mit dem Straßenbesen - Versuchsfahrzeug 1	41
<i>Abbildung 31:</i> Arbeiten mit dem Rettungszylinder - Versuchsfahrzeug 1	41
<i>Abbildung 32:</i> Arbeiten mit dem Rettungszylinder - Versuchsfahrzeug 1	41
<i>Abbildung 33:</i> Versuchsfahrzeug 2 an der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (LFS-BW) - 1	42
<i>Abbildung 34:</i> Fahrersitz ohne Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Versuchsfahrzeug 2 - Vorderseite	43
<i>Abbildung 35:</i> Fahrersitz ohne Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Versuchsfahrzeug 2 - Rückseite	43
<i>Abbildung 36:</i> Arbeiten mit dem Glas-Master - Versuchsfahrzeug 2	43
<i>Abbildung 37:</i> Arbeiten mit der Säbelsäge - Versuchsfahrzeug 2	43
<i>Abbildung 38:</i> Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 2	44
<i>Abbildung 39:</i> Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 2	44
<i>Abbildung 40:</i> Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 2	44
<i>Abbildung 41:</i> Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 2	44

<i>Abbildung 42: Arbeiten mit dem Rettungszylinder - Versuchsfahrzeug 2</i>	45
<i>Abbildung 43: Arbeiten mit dem Rettungszylinder - Versuchsfahrzeug 2</i>	45
<i>Abbildung 44: Arbeiten mit dem Rettungszylinder - Versuchsfahrzeug 2</i>	45

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Mindestprobenanzahl zur Ermittlung des Schichtmittelwertes [TRGS 402 /2016/]	12
Tabelle 3-1: Transportweiten von Partikeln durch Wind in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser am Beispiel Sand [Youlin, Y. et al. /2001/].	21
Tabelle 3-2: Beaufortskala und Windgeschwindigkeiten [Roth, G.D. /1985/]	22
Tabelle 3-3: Verschiedenen Regenarten bzgl. der unterschiedlichen Tropfendurchmesser und Fallgeschwindigkeiten [Roth, G.D. /1985/]	27
Tabelle 4-1: Versuchsbedingungen während des Versuchsablaufs an Fahrzeug 1	37
Tabelle 4-2: Versuchsbedingungen während des Versuchsablaufs an Fahrzeug 2	42
Tabelle 4-3: Pos. 1: Angriffstrupp - ein Feuerwehrangehöriger bei der Durchführung der Maßnahmen zur Technischen Rettung, personengetragen – Messwerte [DGUV-IFA, UK NRW /2021/].	47
Tabelle 4-4: Pos. 2: Dummy (Stativ) für den Gruppenführer, stationär – Messwerte [DGUV-IFA, UK NRW [2021].	48
Tabelle 4-5: Pos. 3: Dummy (Übungspuppe) als Insasse des Fahrzeuges (Patient), stationär – Messwerte [DGUV-IFA, UK NRW [2021].	49

Bemerkung zu den vorliegenden Untersuchungen

Jede Nennung kommerzieller Produkte geschieht nur zu Informationszwecken. Damit ist keine Empfehlung des genannten Produkts durch die Forschungsstelle für Brandschutztechnik am Karlsruher Institut für Technologie verbunden.

Die ausgewerteten in- und ausländischen Untersuchungen geben den Standpunkt und die Meinung der jeweiligen Autoren wieder und stellen nicht notwendigerweise den Standpunkt des Verfassers dieses Forschungsberichtes dar.

Ganz herzlich sei an dieser Stelle folgenden Institutionen gedankt, die diese Versuche mit Staub- und Fasermessungen an PKW ermöglicht haben:

- **Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (LFS-BW), Bruchsal**
- **Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) , Bereich 2.3: Stäube – Fasern, Abteilung 2: Chemische und Biologische Einwirkungen, Sankt Augustin**
- **Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Abteilung Biologische-, chemische- und physikalische Einwirkungen, Regionaldirektion Westfalen-Lippe, Münster**

1. Vorwort

Beim Retten und Bergen ist es oft notwendig, zum Teil schwerstverletzte Unfallopfer, unter Zuhilfenahme diverser mechanischer Rettungsgeräte, aus den nicht selten stark deformierten Kraftfahrzeugkarosserien zu befreien.

Trotz der Schwere der Verletzungen und dem somit meist geringen Zeitfenster, welches für eine adäquate Rettung zur Verfügung steht, ist der Schutz der Unfallopfer vor weiteren schädigenden Einflüssen, welche im Verlauf der Rettung auftreten können von großer Bedeutung.

Bei Einsätzen zur technischen Hilfeleistung werden jedoch nicht nur die Unfallopfer selbst, sondern auch die jeweiligen im Einsatz befindlichen Rettungskräfte mit diesen Gefahrenquellen konfrontiert.

Eine dieser möglichen Gefahren, welcher Einsatzkräfte, ganz gleich ob Feuerwehr oder Rettungsdienst, im Rahmen der technischen Hilfeleistung bei Verkehrsunfällen ständig ausgesetzt sind und welche in Feuerwehrfachkreisen diskutiert wird, ist die Einwirkung von Glassplittern und feinem Glasstaub sowie Staub und Fasern aus Faserverbundwerkstoffen, der bei der mechanischen Bearbeitung bzw. Zerstörung entsteht.

Nach [Heyden, T. v. d. /2014/] sind Stäube disperse Verteilungen (Aerosole) fester Stoffe in Gasen, die in der Regel durch mechanische Prozesse entstehen, z. B. durch Zerkleinern oder Aufwirbeln.

Stäube lassen sich physikalisch und biologisch-toxisch in folgende Eigenschaften unterteilen:

- irritativ
 - als Reiz wirkend, erregend [Bogensberger, S., et al.]

- sensibilisierend
 - Stoffe und Zubereitungen/Gemische sind sensibilisierend, wenn sie bei Einatmen oder Aufnahme über die Haut Überempfindlichkeitsreaktionen hervorrufen können, so dass bei künftiger Exposition gegenüber dem Stoff oder der Zubereitung/dem Gemisch charakteristische Störungen (allergische Erkrankungen wie z.B. Bindehautentzündung (Konjunktivitis), Heuschnupfen (Rhinitis allergica), Asthma bronchiale, Nesselsucht(Urtikaria), allergisches Kontaktekzem) auftreten. [TRGS 907 /2011/]
- fibrogen
 - eine Fibrose auslösend. Als Lungenfibrose bezeichnet man einen nicht mehr rückgängig zu machen-den Umbau des Lungengewebes in Narbengewebe. Eine Lungenfibrose entsteht als Folge immer wiederkehrender oder lang anhaltender (chronischer) Entzündungen des Lungengewebes [TK-HNO /2018/].
- toxisch
 - Variierende Giftigkeit einer Substanz unterschieden als
 - akut: Mortalität bei einmaliger Applikation
 - subakut: bei wiederholter Zufuhr
 - chronisch: langsamer, schleichender Verlauf
[Bogensberger, S., et al.]
- kanzerogen (karzinogen)
 - Krebserzeugend
[Bogensberger, S., et al.]

Außerdem werden Stäube in Hinblick auf ihre Biobeständigkeit / Löslichkeit und die Beschaffenheit ihrer Oberfläche unterschieden [VBG /2016/].

Der Mensch verfügt über ein Atemsystem mit einem effektiven Selbstreinigungsmechanismus (Mukoziliäre clearance). Mit „normalem Schmutz“ wird dieses Filtersystem mühelos fertig und schützt den Menschen ziemlich perfekt. Auf eine übermäßige Belastung durch Stäube ist es jedoch nicht ausreichend ausgelegt [VBG /2016/].

Eine wesentliche Funktion bei der Selbstreinigung der Atemwege spielen die mikroskopisch kleinen Flimmerhärchen, mit denen die Bronchien und deren feinere Verzweigungen, die Bronchiolen, ausgekleidet sind. Sie transportieren durch ständige, gerichtete Bewegungen die im Bronchialschleim abgelagerten Staubteilchen wieder in den oberen Atemtrakt, wo sie dann abgehustet werden können [VBG /2016/].

Durch das Einatmen großer Staubmengen beziehungsweise von toxischen Stäuben kann dieser Reinigungsmechanismus zum Erliegen kommen oder zumindest längere Zeit stark beeinträchtigt werden. Die Folge sind Reizungen oder Entzündungen der oberen Atemwege, vermehrte Schleimabsonderungen und Hustenreiz, Bronchitis und Entzündungen der Bronchien und des Lungengewebes. Umso leichter können dann toxische, krebserzeugende und allergisierende Staubteilchen ihre schädigende Wirkung in den Atemwegen und in anderen Körperorganen entfalten [VBG /2016/].

Vom gesamten in der Atemluft vorhandenen Staub wird lediglich ein Teil eingeatmet [Heyden, T. v. d. /2014/].

Er wird als einatembarer Staubanteil bezeichnet [Heyden, T. v. d. /2014/].

Maßgeblich für die Einatembarkeit sind die Einatemgeschwindigkeiten in Nase und Mund sowie die Umströmungsbedingungen des Kopfes [Heyden, T. v. d. /2014/].

Während kleinere Teilchen nahezu ausnahmslos eingeatmet werden, nimmt die Inhalierbarkeit mit größerem aerodynamischem Durchmesser ab [Heyden, T. v. d. /2014/].

Die größten Teilchen des einatembaren Staubanteils werden bereits im Bereich von Nase, Rachen und Kehlkopf abgelagert (Nasen-Rachen-Kehlkopf-Staub, extrathorakale Fraktion) [Heyden, T. v. d. /2014/].

Kleinere Teilchen treten zum Teil in den Tracheo-Bronchialraum oder darüber hinaus in den Alveolarraum ein. Soweit sie dort abgelagert werden, heißen sie Tracheo-Bronchialstaub und Alveolarstaub [Heyden, T. v. d. /2014/].

In jüngster Zeit wird ultrafeinen Partikeln mit Durchmessern $< 0,1 \mu\text{m}$ aufgrund ihres möglicherweise erhöhten Gefährdungspotenzials verstärkte Aufmerksamkeit entgegengebracht. Diese kleinsten Aerosolteilchen unterliegen nach der Inhalation anderen Abscheidungsmechanismen als größere Teilchen. Inzwischen wurden neue Messverfahren für die ultrafeinen Partikel entwickelt. [Heyden, T. v. d. /2014/] führt als ultrafeine Partikel hier den Rauch auf.

Eingeatmete Staubpartikel können teilweise wieder ausgeatmet werden [Heyden, T. v. d. /2014/].

Die Partikel setzen sich in ruhender Luft durch Sedimentation umso schneller ab, je größer sie sind. Die Einatembarkeit von Stäuben ist abhängig von ihrer Partikelgröße [Heyden, T. v. d. /2014/].

Zur Beurteilung der Gesundheitsgefahren durch Stäube ist deshalb neben der speziellen toxikologischen Wirkung, der Konzentration und der Expositionsdauer auch die Partikelgröße zu berücksichtigen [Heyden, T. v. d. /2014/].

Dies unterscheidet Stäube wesentlich von Gasen und Dämpfen [Heyden, T. v. d. /2014/].

Die Gefahrstoffkonzentrationen an Arbeitsplätzen unterliegen aufgrund wechselnder Arbeits- oder Lüftungsbedingungen häufig großen zeitlichen Schwankungen [Heyden, T. v. d. /2014/].

Die Verteilung des gesamten eingeatmeten Staubes auf die wirkungsbezogenen Teilfraktionen wird jedoch nicht allein durch die Partikelgröße oder weitere stoffspezifische Teilcheneigenschaften bestimmt, sondern auch stark von individuellen Unterschieden der Exponierten beeinflusst [Heyden, T. v. d. /2014/].

Unabhängig von bestehenden Problemen bei der messtechnischen Umsetzung einer vielstufigen Fraktionierung wird deshalb bislang bei der wirkungsbezogenen Festlegung von Grenzwerten nur zwischen einatembaren Staub (früher: Gesamtstaub) und alveolengängigen Staub (früher: Feinstaub) unterschieden [Heyden, T. v. d. /2014/].

Eine Fragestellung ist, ob und inwieweit Glasstaub bzw. Staub von Faserverbundwerkstoffen für Unfallopfer und Rettungskräfte bei der technischen Hilfeleistung bei Verkehrsunfällen eine potentielle Gefahr für die menschliche Physiologie darstellt.

In den bisher durchgeführten Arbeiten von [Max/2015/], [Max /2018/] und [Kunkelmann /2018/] wurden die Grundlagen bzgl. Staub- und Faserexposition und die Auswirkungen auf die menschliche Physiologie insbesondere auch unter Berücksichtigung bisher durchgeführter in- und ausländischer Untersuchungen dargestellt. Weiterhin wurden Maßnahmen bzgl. persönlicher Schutzmaßnahmen erläutert.

In den bisherigen Untersuchungen wurden Staubmessungen oft nur in geschlossenen Versuchsräumen unter definierten Bedingungen an zum Teil kleineren Probekörpern aus Glas bzw. Faserwerkstoffen durchgeführt.

Es bleibt die Fragestellung, ob sich das Gefährdungspotential bei diesen Arbeiten der technischen Hilfeleistung in realen Umgebungsbedingungen ändert.

In diesen Untersuchungen werden Staub- bzw. Fasermessungen an Personenkraftwagen unter realen Umgebungsbedingung beim Einsatz unterschiedlicher Werkzeuge und Geräte aus dem Bereich der technischen Hilfeleistung durchgeführt.

Hier ist aufgrund des Bewegungsvorganges der Einsatzkräfte beim Rettungseinsatz und den in freier Umgebung herrschenden Ventilationsbedingungen mit einer gegenüber geschlossenen Räumen geänderten Staub- und Faserexposition zu rechnen.

Als erweiterte Fragestellung ergibt sich: Müssen nur Einsatzkräfte, die am Fahrzeug direkt arbeiten und Unfallopfer beim Bearbeiten bzw. Zerstören entsprechende PSA tragen oder auch Einsatzkräfte in etwas weiterer Entfernung (z.B. Gruppenführer).

Hier soll auf einen Satz in der Gefahrstoffverordnung [GefStoffV /2021/] hingewiesen werden:

Besteht trotz Ausschöpfung aller technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen bei hautresorptiven, haut- oder augenschädigenden Gefahrstoffen eine Gefährdung durch Haut- oder Augenkontakt, hat der Arbeitgeber unverzüglich persönliche Schutzausrüstung bereitzustellen.

In der Arbeit wird zunächst auch auf wesentliche Inhalte in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe im Hinblick darauf eingegangen, um die teilweise relativ kurzzeitigen einzelnen Arbeitsschritten mit Staubbefreiung im teilweise kleinen einstelligen Minutenbereich während der technischen Rettung z.B. beim Entfernen der Windschutzscheibe eines PKW oder dem Zusammenkehren der Reste im Bereich um die verunfallten Fahrzeuge nach der Technischen Hilfeleistung bzgl. des Gefährdungspotentials unter Umgebungsbedingungen einordnen und einschätzen zu können.

2. Technische Regeln für Gefahrstoffe

Zur Ermittlung und Beurteilung von Gefahrstoffkonzentrationen in der Luft in Arbeitsbereichen sind die entsprechenden Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) heranzuziehen.

Im Folgenden werden wesentliche Regeln, die z.B. auf Stäube und Fasern anzuwenden sind, wiedergegeben..

2.1. TRGS 400 – Technische Regeln für Gefahrstoffe - – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen

Tätigkeiten mit Gefahrstoffen können zur Aufnahme von Gefahrstoffen über die Atmung (inhalative Exposition durch Gase, Dämpfe, Aerosole), durch Verschlucken (orale Aufnahme) und bei Hautkontakt (dermale Exposition) führen [TRGS 400 /2017/].

Die Gefährdungsbeurteilung ist die systematische Ermittlung und Bewertung relevanter Gefährdungen der Beschäftigten mit dem Ziel, erforderliche Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit festzulegen. Grundlage ist eine Beurteilung der mit den Tätigkeiten verbundenen inhalativen (durch Einatmen), dermalen (durch Hautkontakt), oralen (durch Verschlucken) und physikalisch-chemischen Gefährdungen (z.B. Brand- und Explosionsgefährdungen) sowie der sonstigen durch Gefahrstoffe bedingten Gefährdungen [TRGS 400 /2017/].

Die gefahrstoffspezifischen Aspekte der Gefährdungsbeurteilung werden z.B. ergänzt durch folgende technischen Regeln:

1. TRGS 401 „Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen“,
2. TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“,
3. TRBA/TRGS 406 „Sensibilisierende Stoffe für die Atemwege“,
4. TRGS 407 „Tätigkeiten mit Gasen – Gefährdungsbeurteilung“,
5. TRGS 720/721 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines“ und "Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefährdung",
6. TRGS 800 „Brandschutzmaßnahmen“.
7. TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“

Für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung ist der Arbeitgeber verantwortlich. Die Mitbestimmungsrechte sind zu berücksichtigen. Die Gefährdungsbeurteilung darf nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden [TRGS 400 /2017/].

Die Gefährdungsbeurteilung ist die systematische Ermittlung und Bewertung relevanter Gefährdungen der Beschäftigten mit dem Ziel, erforderliche Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit festzulegen. Grundlage ist eine Beurteilung der mit den Tätigkeiten verbundenen inhalativen (durch Einatmen), dermalen (durch Hautkontakt), oralen (durch Verschlucken) und physikalisch-chemischen Gefährdungen (z.B. Brand- und Explosionsgefährdungen) sowie der sonstigen durch Gefahrstoffe bedingten Gefährdungen [TRGS 400 /2017/].

Der Arbeitgeber darf eine Tätigkeit mit Gefahrstoffen erst aufnehmen lassen, nachdem eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt wurde und die erforderlichen Schutzmaßnahmen getroffen wurden. Nicht immer können technische Lösungen sofort umgesetzt werden [TRGS 400 /2017/].

Der Arbeitgeber ist verpflichtet, die Gefährdungsbeurteilung bei Änderung der Betriebs- und Verfahrensweisen sowie bei neuen Erkenntnissen zu den Stoffeigenschaften zu aktualisieren.

2.1.1. Tätigkeiten mit geringer Gefährdung

Tätigkeiten mit geringer Gefährdung sind Tätigkeiten, bei denen aufgrund der Eigenschaften des Gefahrstoffs, der Arbeitsbedingungen, einer nur geringen verwendeten Stoffmenge und einer nach Höhe und Dauer niedrigen Exposition einzelne ausgewählte Maßnahmen nach § 8 GefStoffV zum Schutz der Beschäftigten ausreichen [TRGS 400 /2017/].

- Ein eindeutiger Maßstab für „geringe Menge“ lässt sich allgemeingültig nicht angeben, da hierzu auch die gefährlichen Eigenschaften, das Freisetzungsvermögen des Gefahrstoffes und die konkreten Arbeitsbedingungen zu berücksichtigen sind.
- Bei der Beurteilung der Höhe und Dauer der Exposition sind inhalative und dermale Beiträge sowie physikalisch-chemische Eigenschaften zu berücksichtigen.

2.2. TRGS 402 - Technische Regeln für Gefahrstoffe – Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition

Die [TRGS 402 /2016/] befasst sich mit dem Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durch inhalative Exposition.

Eine inhalative Exposition liegt vor, wenn gefährliche Stoffe in der Luft im Atembereich der Beschäftigten vorhanden sind. Ihr Ausmaß wird beschrieben durch ihre Konzentration und die Dauer ihres Auftretens (zeitlicher Bezug) [TRGS 402 /2016/].

Ermittlungen und Beurteilungen zur inhalativen Exposition müssen für alle in der Arbeitsplatzluft auftretenden Gefahrstoffe vorgenommen werden. Dabei dienen für eine Reihe von Gefahrstoffen die in der TRGS 900 festgelegten Arbeitsplatzgrenzwerte als Beurteilungsmaßstab. Für Stoffe ohne einen Arbeitsplatzgrenzwert sind andere geeignete Beurteilungsmaßstäbe oder ein anderes Beurteilungsverfahren heranzuziehen [TRGS 402 /2016/].

Zu empfehlen sind Ermittlungen unter Worst Case-Bedingungen, da diese eine größere Sicherheit bieten, dass unter den üblichen Bedingungen der Arbeitsplatzgrenzwert oder ein anderer Beurteilungsmaßstab eingehalten sind [TRGS 402 /2016/].

Die Ermittlung der inhalativen Exposition gliedert sich in folgende Schritte:

1. Erfassung und Beschreibung der Tätigkeiten und Festlegung des Arbeitsbereichs, für den die Beurteilung der inhalativen Exposition gelten soll,
2. Erfassung der Gefahrstoffe und
3. Ermittlung der Exposition.

Der Arbeitgeber hat Art, Ausmaß und Dauer der inhalativen Exposition zu ermitteln.

Soweit aufgrund der Ermittlungsergebnisse nach der TRGS 400 verfahrens- und/oder stoffbedingt nur geringe oder vernachlässigbare Expositionen zu erwarten sind, sind keine weiteren Ermittlungen nach dieser TRGS erforderlich [TRGS 402 /2016/].

Dies kann unter Beachtung der toxikologischen Stoffeigenschaften der Fall sein, wenn:

1. ein niedriges Freisetzungsvermögen auf Grund der Arbeitsbedingungen und der Stoffeigenschaften (z.B. niedriger Dampfdruck, hoher Siedepunkt bei geringer Verarbeitungstemperatur, geringes Staubungsverhalten) vorliegt,
2. durch das Verfahren keine Aerosolbildung erfolgen kann,
3. nur geringe Mengen verwendet werden oder
4. nur geringe Emissionen, z.B. aufgrund kleiner Quellflächen oder kurzer Tätigkeitsdauer (< 15 min), möglich sind oder
5. eine Freisetzung von Stoffen in die Luft am Arbeitsplatz nicht möglich ist.

Unter bestimmten Randbedingungen ist die Durchführung von Arbeitsplatzmessungen nicht möglich oder liefert keine verwertbaren oder keine repräsentativen Ergebnisse [TRGS 402 /2016/].

Dazu gehören

1. zu kurze Expositionsdauern,
2. es existiert kein geeignetes Messverfahren (Querempfindlichkeit),
3. ungünstige klimatische Bedingungen (z. B. hohe Windgeschwindigkeiten oder Temperaturen, Feuchtarbeitsplätze (Einsatz von Hochdruckreinigern)),
4. bestimmte Arbeiten im Freien.

Zur Feststellung des Schichtmittelwertes besonders geeignet ist die messtechnische Mittelung über die gesamte Expositionsdauer während einer Schicht.

Ist die Mittelungsdauer des Messverfahrens kürzer, so ist die Mindestanzahl der über die Schichtlänge verteilt erforderlichen Messungen an folgender Tabelle zu orientieren. In das Messergebnis geht der arithmetische Mittelwert der Messwerte ein. Bei unterschiedlichen Mittelungsdauern ist der zeitgewichtete arithmetische Mittelwert zu bilden [TRGS 402 /2016/].

Mittelungsdauer (Probenahmedauer)	Probenanzahl
10 Sek.	≥ 30
1 Min.	≥ 20
5 Min.	≥ 12
15 Min.	≥ 4
30 Min.	≥ 3
1 Std.	≥ 2
≥ 2 Std.	≥ 1

Tabelle 2-1: Mindestprobenanzahl zur Ermittlung des Schichtmittelwertes [TRGS 402 /2016/]

Die ermittelte Exposition ist im Hinblick auf eine Gefährdung der Beschäftigten und die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zu beurteilen.

Das Ergebnis der Beurteilung ist der Befund. Der Befund ist zu begründen und zu dokumentieren [TRGS 402 /2016/].

Der Befund kann lauten:

1. Schutzmaßnahmen ausreichend,
2. Schutzmaßnahmen nicht ausreichend.

Bei krebserzeugenden Gefahrstoffen können die Befunde lauten:

- a) Toleranz- bzw. Akzeptanzkonzentration eingehalten oder
- b) Toleranzkonzentration überschritten.

Die Ergebnisse der Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition sind zu dokumentieren.

2.2.1. Arbeitsplätze im Freien

Bei Außenarbeiten ist die messtechnische Ermittlung und Beurteilung der Exposition nach den Vorgaben dieser TRGS nur eingeschränkt möglich [TRGS 402 /2016/].

Auch wenn an diesen Arbeitsplätzen gleich bleibende Tätigkeiten durchgeführt werden und sich die Arbeitsschritte, Verfahren und Materialien kaum ändern, treten durch den Einfluss von „Wind und Wetter“ große Schwankungen der inhalativen Exposition auf. Arbeitsplatzmessungen sind unter solchen Voraussetzungen kaum repräsentativ und nur eingeschränkt aussagekräftig. Da im Freien Windrichtung und -stärke ständig wechseln, sind Arbeitsplatzmessungen nach dieser TRGS und Kontrollmessungen zur Beurteilung der Belastungssituation nur in wenigen Fällen sinnvoll [TRGS 402 /2016/].

Einen Hinweis über die Belastung im ungünstigsten Fall können Messungen in der Nähe der Emissionsquelle ergeben. Bei Tätigkeiten im Freien gelingt es den Beschäftigten in aller Regel nicht, stets „mit dem Rücken zum Wind“ zu arbeiten. Schutzmaßnahmen müssen sich deshalb aus den ungünstigsten Verhältnissen ableiten.

2.3. TRGS 900 – Technische Regeln für Gefahrstoffe

2.3.1. Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)

Der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) ist der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind [TRGS 900 /2021/].

Arbeitsplatzgrenzwerte sind Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich acht-stündiger Exposition an 5 Tagen pro Woche während der Lebensarbeitszeit [TRGS 900 /2021/].

Expositionsspitzen während einer Schicht werden mit Kurzzeitwerten beurteilt [TRGS 900 /2021/].

(1) An Arbeitsplätzen kann die Konzentration der Stoffe in der Atemluft erheblichen Schwankungen unterworfen sein. Die Abweichung vom Schichtmittelwert nach oben bedarf bei vielen Stoffen der Begrenzung, um Gesundheitsschäden zu verhüten [TRGS 900 /2021/].

(2) Kurzzeitwerte ergänzen die Arbeitsplatzgrenzwerte, indem sie die Konzentrationschwankungen um den Schichtmittelwert nach oben hin sowie in ihrer Dauer und Häufigkeit beschränken. Die maximale Höhe der kurzzeitigen Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes hat sich an den sehr unterschiedlichen Wirkungseigenschaften der einzelnen Stoffe zu orientieren. Eine pauschale Festlegung der Kurzzeitwertparameter ist daher nicht möglich. Die Kurzzeitwertkonzentration ergibt sich aus dem Produkt von Arbeitsplatzgrenzwert und Überschreitungsfaktor. Der Schichtmittelwert ist in jedem Fall einzuhalten [TRGS 900 /2021/].

(3) Der maximale Überschreitungsfaktor beträgt 8. Bei 8facher Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes 4-mal pro Schicht über 15 Minuten darf in einer Schicht keine

weitere Exposition mehr erfolgen, da sonst das Produkt aus Schichtlänge und Arbeitsplatzgrenzwert überschritten wird [TRGS 900 /2021/].

(4) Für die Intervalle zwischen den Perioden mit einer Konzentration oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes (Kurzzeitwertphase) ist ein Zeitraum von einer Stunde anzustreben. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig [TRGS 900 /2021/].

(5) Bei der Festlegung von Expositionsspitzen werden die Stoffe gemäß ihrer toxikologischen Wirkung in folgende zwei Kategorien eingeteilt [TRGS 900 /2021/].

- Kategorie I
Stoffe bei denen die lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist oder atemwegs-sensibilisierende Stoffe
- Kategorie II
Resorptiv wirksame Stoffe

Im vorliegenden Fall mit Staub bzw. Fasern wird das Augenmerk auf Schwebstoffe gelegt. Zu den Schwebstoffen gehören Staub, Rauch und Nebel. Staub ist eine disperse Verteilung fester Stoffe in Luft, entstanden durch mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelung. Rauch ist eine disperse Verteilung fester Stoffe in Luft, entstanden durch thermische und/oder durch chemische Prozesse. Nebel ist eine disperse Verteilung flüssiger Stoffe in Luft, entstanden durch Kondensation oder durch Dispersion [TRGS 900 /2021/].

Die Konzentration für Schwebstoffe wird in mg/m^3 für die am Arbeitsplatz herrschenden Betriebsbedingungen angegeben.

Zur Beurteilung der Gesundheitsgefahren durch Schwebstoffe sind nicht nur

- die spezielle gefährliche Wirkung der einzelnen Stoffe,
- die Konzentration und die
- Expositionszeit,

sondern auch die

- Partikelgestalt

zu berücksichtigen [TRGS 900 /2021/].

Von den gesamten im Atembereich eines Beschäftigten vorhandenen Schwebstoffen wird lediglich ein Teil eingeatmet. Er wird als einatembarer Anteil bezeichnet und messtechnisch als einatembare Fraktion erfasst [TRGS 900 /2021/]:

- Arbeitsplatzgrenzwerte, die sich auf diese Fraktion beziehen, sind in der Grenzwerteliste mit einem nachgestellten "E" gekennzeichnet.
- Der alveolengängige Anteil des einatembaren Anteils wird messtechnisch als alveolengängige Fraktion erfasst.

Arbeitsplatzgrenzwerte, die sich auf diese Fraktion beziehen, sind in der Grenzwerteliste mit einem nachgestellten "A" gekennzeichnet.

Bei Stäuben und Rauchen ist in Abhängigkeit vom Arbeitsplatzgrenzwert die einatembare bzw. alveolengängige Fraktion heranzuziehen. Bei Nebeln ist die einatembare Fraktion zu messen.

2.3.2. Allgemeiner Staubgrenzwert (ASGW)

Grenzwerte für verschiedene Stäube werden entweder für die (A-) alveolengängige oder für die (E-) einatembare Staubfraktion festgelegt. Eine Liste mit stoffspezifischen Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) können Sie der TRGS 900 "Arbeitsplatzgrenzwerte" entnehmen [DGUV Grenzwerte /2021/].

Der Allgemeine Staubgrenzwert ist anzuwenden bei Vorliegen von schwer- oder unlöslichen Stäuben, die nicht anderweitig reguliert sind. Er ist auch als Beurteilungsgrundlage heranzuziehen, wenn am Arbeitsplatz Faserstäube vorliegen, die nicht als krebserzeugend eingestuft sind [Mattenkloft, M., Pflaumbaum, W. /2020/].

Mit einer Gesundheitsgefährdung ist bei Einhaltung des Allgemeinen Staubgrenzwertes nur dann nicht zu rechnen, wenn nach einschlägiger Überprüfung sichergestellt ist, dass keimzellmutagene (erbgutverändernde), krebserzeugende (karzinogene), sensibilisierende, fibrogene oder sonstige toxische Wirkungen der Stäube nicht zu erwarten sind [Mattenkloft, M., Pflaumbaum, W. /2020/].

Unabhängig davon wurden für Stäube ohne spezielle toxische Wirkung allgemeine Obergrenzen für die A- und E-Fraktion in der TRGS 900 veröffentlicht [DGUV Grenzwerte /2021/].

Der Allgemeine Staubgrenzwert (ASGW) soll die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge einer allgemeinen Staubwirkung verhindern.

Er ist als AGW anzuwenden für schwerlösliche bzw. unlösliche Stäube, die nicht anderweitig reguliert sind [TRGS 900 /2021/].

Für den

- A-Staub gilt ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) von
1,25 mg/m³,

Für den

- E-Staub gilt ein AGW von
10 mg/m³.

Die Gesamtheit der Werte für A- und E-Staub wird als Allgemeiner Staubgrenzwert (ASGW) bezeichnet [DGUV Grenzwerte /2021/].

Zur Beurteilung von Tätigkeiten, bei denen ultrafeine Stäube tätigkeitsbedingt entstehen, kann der Allgemeine Staubgrenzwert für die A-Fraktion von 1,25 mg/m³ angewendet werden [Mattenklott, M., Pflaumbaum, W. /2020/].

Der ASGW gilt nicht als gesundheitsbasierter Grenzwert für Stäube mit spezifischer Toxizität, z. B. Stäube mit erbgutverändernden, krebserzeugenden (Kategorie 1A, 1B), fibrogenen oder sensibilisierenden Wirkungen.

Für diese Stäube ist der ASGW als allgemeine Obergrenze zur Festlegung von Schutzmaßnahmen gemäß GefStoffV anzuwenden. Zusätzlich sind die stoffspezifischen AGW dieser TRGS bzw. risikobezogene Beurteilungsmaßstäbe nach der TRGS 910 einzuhalten [TRGS 900 /2021/] [TRGS 910 /2021/].

Bei Stäuben mit mehreren Inhaltsstoffen, wie sie z. B. auf Baustellen vorliegen, kann im Hinblick auf ein vereinfachtes Messverfahren nach TRGS 402 Nummer 5.1 Absatz 6 auch eine Leitkomponente (z. B. die A-Staub-Fraktion oder Quarz-A-Staub) ausgewählt werden, wenn die in der TRGS 402 genannten Randbedingungen berücksichtigt werden [Mattenklott, M., Pflaumbaum, W. /2020/].

3. Umgebungsbedingungen im Freien – Meteorologische Elemente: Wind, Regen

3.1. Wind - Einfluss auf luftgetragene Feinstäube

In diesem Abschnitt wird auf die Luftströmung in Form von Wind und der hieraus bedingte windinduzierte Partikeltransport eingegangen, der eine Haupteinflussgröße auf die Bestimmung der Konzentration von Staub und Fasern hat.

Die Partikel setzen sich in ruhender Luft durch Sedimentation umso schneller ab, je größer sie sind [Heyden, T. v. d. /2014/].

[Kalender-Wevers, C. /2014/] befasst sich in einer Dissertation mit windinduziertem Partikeltransport – Synergistische Kombination von physikalischer (Untersuchungen in einem Grenzschichtwindkanal) und numerischen Simulation mit Computational Fluid Dynamics (CFD).

Der windbasierte Partikeltransport in bebauter Umgebung ist ein komplexer physikalischer Vorgang, der des Verständnisses vom Zusammenspiel unterschiedlichster Phänomene und Vorgänge bedarf.

Durch die Reibung der Luft an der Erdoberfläche wird der Wind abgebremst und die Strömungsgeschwindigkeit nimmt ausgehend vom Gradientenwind zur Erdoberfläche hin ab, die Turbulenzintensität hingegen nimmt zu.

Durch Hindernisse, wie Bebauungsstrukturen und Vegetation, wird die bodennahe Strömung gestört und verwirbelt. Dieser Einfluss nimmt mit steigender Höhe ab. Außerdem führen Scherkräfte innerhalb der sich bewegenden Luft zu turbulenten Wirbeln und Strukturen, die erheblich zum Stoff- und Impulsaustausch beitragen

Die Bewegungsform selbst ist in erster Linie abhängig von der Partikelgröße und von dem damit verbundenen Gewicht und wird in drei Formen unterteilt: Kriechen, Saltation und Suspension.

Große Partikel wie Sand brauchen eine hohe Schubspannungsgeschwindigkeit um in Bewegung zu kommen bzw. zu bleiben und kriechen über den Boden.

Mittlere Korndurchmesser führen zu Saltation der Partikel, einem Springen in Flugbahnen über Oberflächen. Dabei geben wiederauftreffende Partikel Beträge ihres Impulses an noch ruhende Partikel ab.

Feine bis sehr feine Partikel gehen in Suspension über und wird über lange Strecken durch Wind transportiert.

In der folgenden Tabelle werden für die verschiedenen Bewegungsformen horizontale und vertikale Transportweiten für Sande gezeigt.

Tabelle 3-1: Transportweiten von Partikeln durch Wind in Abhängigkeit vom Partikel-durchmesser am Beispiel Sand [Youlin, Y. et al. /2001/].

Partikelart	Partikelgröße mm (μm)	vertikale Höhe	horizontale Distanz	Bewegungs- form
Grobsand	0,5 – 1,0 (500 - 1000 μm)	einige cm	wenige m	Kriechen
Mittelsand	0,25 – 0,5 (250 - 500 μm)	einige 10 cm	einige m	Saltation
Feinsand	~ 0,1 (~ 100 μm)	einige m	einige km	Kurzzeit Sus- pension
Staub	~ 0,01 (~ 10 μm)	einige km	einige 100 km	Suspension
Feinstaub	~ 0,001 (~ 1 μm)	einige 10 km	einige 100 km	Langzeit Sus- pension

Die folgende Tabelle zeigt die Beaufortskala und Windgeschwindigkeiten [Roth, G.D. /1985/].

Tabelle 3-2: Beaufortskala und Windgeschwindigkeiten [Roth, G.D. /1985/]

Beaufort-grad	Bezeichnung	Auswirkung im Binnenland	Geschwindigkeit m/s	Geschwindigkeit km/h
0	still	Windstille, Rauch steigt gerade empor	0 – 0,2	0 - 1
1	leiser Zug	Windrichtung nur angezeigt durch Zug des Rauches, aber nicht durch Windfahne.	0,3 – 1,5	1 - 5
2	leichte Brise	Wind am Gesicht fühlbar, Blätter säuseln, Windfahne bewegt sich.	1,6 – 3,3	6 - 11
3	schwache Brise	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wind streckt einen Wimpel.	3,4 – 5,4	12 - 19
4	mäßige Brise	Hebt Staub und loses Papier, bewegt Zeige und dünnere Äste.	5,5 – 7,9	20 - 28
5	frische Brise	Kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumköpfe bilden sich auf Seen.	8,0 – 10,7	29 - 38
6	starker Wind	Starke Äste in Bewegung, Pfeifen in Telegraphenleitungen, Regenschirme schwierig zu benutzen.	10,8 – 13,8	39 - 49
7	steifer Wind	Ganze Bäume in Bewegung, fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind.	13,9 – 17,1	50 - 61
8	stürmischer Wind	Bricht Zweige von den Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien.	17,2 – 20,7	62 - 74
9	Sturm	Kleinere Schäden an Häusern (Rauchhauben und Dachziegel werden abgeworfen)	20,8 – 24,4	75 - 88
10	schwerer Sturm	Entwurzelt Bäume, bedeutende Schäden an Häusern	24,5 – 28,4	89 - 102
11	orkanartiger Sturm	Verbreitete Sturmschäden (sehr selten im Binnenland)	28,5 – 32,6	103 - 117
12	Orkan	Schwerste Verwüstungen	32,7 u. mehr	118 u. mehr

Die Angaben in der Tabelle über die Geschwindigkeit und Stärke des Windes beziehen sich auf die international festgelegte

Messhöhe von 10 m

über Grund im freien Gelände [Roth, G.D. /1985/].

Bei gleichen Beaufortgraden kann man entsprechend der durchschnittlichen Änderung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe zum Beispiel in

4 m über Grund mit einer um etwa 20% kleineren,

in

30 m Höhe über Grund mit einer um etwa 20% größeren Geschwindigkeit

als den in 10 m gemessenen Werten rechnen [Roth, G.D. /1985/].

Um ein Gefühl für die Ablenkung von Strömungen durch Windeinfluss zu bekommen, sei hier beispielhaft auf die Ablenkung eines Hochdruck-Wassernebels durch einen Radialventilator sowie durch realem Windeinfluss gezeigt [Kunkelmann, J. /2007/].

Der Sauter-Durchmesser D_{32} (Verhältnis: Summe aller Tropfenvolumina / Summe aller Tropfenoberflächen) wird vorzugsweise zur Beschreibung von Beschreibung von Wärme- und Stoffaustauschprozessen herangezogen wird, liegt bei den eingesetzten Düsen bei einem Druck von 50 bar zwischen ca. 30 μm und 100 μm . Der volumetrisch mittlere Tropfendurchmesser D_{30} liegt bei den Düsen bei einem Druck von 50 bar zwischen ca. 25 μm und 95 μm [Kunkelmann, J. /2007/].

Man erkennt, dass bereits bei einer Winderzeugung mit einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s (schwache Brise) der Sprühnebel trotz des hohen Austrittsimpulses in relativ geringem Abstand von der Düse um einen Winkel von ca. 25 Grad abgelenkt wird.



Abbildung 1: Radialgebläse zur Winderzeugung: 3 m/s [Kunkelmann, J. /2007/]



Abbildung 2: Kaltsprühversuch mit Hochdruck-Wassernebel - Einzeldüse – 135 bar
Ablenkung durch Wind (3 m/s) [Kunkelmann, J. /2007/]



Abbildung 3: Kaltsprühversuch mit Hochdruck-Wassernebel – Sprühkopf mit 4 Düsen – 135 bar, Ablenkung des Sprühnebels durch Wind im Freien [Kunkelmann, J. /2007/]

Zum Vergleich mit Glasstaub sollen an dieser Stelle nochmals die Untersuchungsergebnisse von [Teipel, U. et al. /2015/] herangezogen werden, die bereits bei [Kunkelmann, J. /2018/] dargestellt wurden.

Bei den Untersuchungen von [Teipel, U. et al. /2015/] wurden Frontscheiben von PKWs aus Verbundglas verwendet. Als Werkzeuge wurden folgende den Feuerwehren zur Verfügung stehende Trennwerkzeuge eingesetzt:

- Glasmastersäge (GMS),
- Säbelsäge (SäS),
- Trennschleifer (TS),
- Doppelblattsäge (DBS, TwinSaw®),
- Rettungskettensäge (RKS).

Die Schneidexperimente wurden in einer geschlossenen Kabine mit einem Raumvolumen von 10 m³ durchgeführt.

Nach den Experimenten wurden die auf den Frontscheiben abgelagerten und die auf den Folien in der Kabine befindlichen Partikel durch Absaugen über ein Mikrofaserfilter mit 1,6 µm Maschenweite und Abwischen der Folie gesammelt und analysiert.

Nach [Teipel, U. et al. /2015/] ist für die toxikologische und vor allem humanpathologische Relevanz u. a. die Lungengängigkeit der Partikel von besonderem Interesse, wobei hier der PM₁₀ - Größenwert eine entscheidende Kenngröße ist.

Die Werkzeuge Trennschleifer und Glasmastersäge erzeugten einen Mengenanteil an Partikeln $x \leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) von rund 3,5% und 2% aller Partikeln sind $x \leq 5 \mu\text{m}$. Der Anteil lungengängiger Partikel war beim Einsatz der Säbelsäge und der Rettungskettensäge am geringsten. Dennoch konnten bei den Partikelkollektiven Sekundärpartikel mit einer Größe von deutlich $x \leq 1 \mu\text{m}$ detektiert werden [Teipel, U. et al. /2015/].

Vergleicht man die Dichte von Wasser

1000 kg / m³

mit der von Glas

2500 kg / m³

erkennt man bei Gegenüberstellung der Größe der entstandenen

- lungengängigen Feststoffpartikel $x \leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) aus Glas mit den
- Wassertropfen (Sauter-Durchmesser D_{32} zwischen ca. 30 μm und 100 μm) des Hochdruck-Wassernebels,

dass bereits die weitaus größeren Wassertropfen durch einen Wind mit einer Geschwindigkeit 3 m/s stark abgelenkt werden.

Daher ist anzunehmen, dass die wesentlich kleineren lungengängigen Feststoffpartikel mit großer Wahrscheinlichkeit noch weitaus leichter abgelenkt werden und dementsprechend messtechnisch relativ schwer im Rahmen der technischen Rettung unter realen Umgebungsbedingungen bei z.B. insbesondere wechselnden Windverhältnissen zu erfassen sind.

Dieses deckt sich mit der Aussage zu Arbeitsplätzen im Freien in der [TRGS 402 /2016/]:

Auch wenn an diesen Arbeitsplätzen gleich bleibende Tätigkeiten durchgeführt werden und sich die Arbeitsschritte, Verfahren und Materialien kaum ändern, treten durch den Einfluss von „Wind und Wetter“ große Schwankungen der inhalativen Exposition auf.

Arbeitsplatzmessungen sind unter solchen Voraussetzungen kaum repräsentativ und nur eingeschränkt aussagekräftig. Da im Freien Windrichtung und -stärke ständig wechseln, sind Arbeitsplatzmessungen nach dieser TRGS und Kontrollmessungen zur Beurteilung der Belastungssituation nur in wenigen Fällen sinnvoll.

3.2. Regen, Sprühwasser - Einfluss auf luftgetragene Feinstäube

[Klenk, U. /2012/] setzte zur Minderung von Staubemissionen aus diffusen Quellen¹ Sprühdüsen zur Verdüsung von Wasser ein. In der Untersuchung wurde ausschließlich die Minderung der Konzentration luftgetragener Partikel in der Größe von PM₁, PM_{2,5} und PM₁₀ betrachtet.

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, sind Sprühdüsen zur signifikanten Minderung von PM₁₀ und PM_{2,5}-Emissionen, wie sie in der Regel bei der mechanischen Erzeugung von Staub auftreten, geeignet [Klenk, U. /2012/].

Die folgende Tabelle zeigt die verschiedenen Regenarten bzgl. der unterschiedlichen Tropfendurchmesser und Fallgeschwindigkeiten [Roth, G.D. /1985/].

Tabelle 3-3: Verschiedenen Regenarten bzgl. der unterschiedlichen Tropfendurchmesser und Fallgeschwindigkeiten [Roth, G.D. /1985/]

Regen	Tropfendurchmesser	Fallgeschwindigkeit
Nebelnässen	0,006 – 0,06 mm	0,10 – 20 cm/s
Sprühregen	0,06 – 0,6 mm	20 – 100 cm/s
Landregen	1 – 3 mm	150 – 400 cm/s
Platzregen	4 – 6 mm	500 – 800 cm/s

Eine Einflussgröße ist hierbei die Art und Menge des Regens, z.B. Sprühregen oder Nieselregen. welcher

¹

Emissionen können diffus sein oder aus gefassten Quellen stammen. Gefasste Quellen sind mit einer künstlichen Quellfassung umbaut z.B. Schornstein stammen. Diffuse Emissionen sind solche Emissionen, die nicht aus einer gefassten Quelle zu diffusen Emissionen zählen beispielsweise Verwehungen von Haufwerken und Flächen oder Aufwirbelungen durch Fahrverkehr.

- aus kleinen Tropfen mit geringerem Impuls oder
- Dauerregen (Landregen) der aus größeren Tropfen mit größerem Impuls

besteht.

Bei Regen ist daher mit großer Wahrscheinlichkeit auch davon auszugehen, dass dieser auch eine Verminderung der Staub- und Faserfreisetzung bzw. Ausbreitung bei Arbeiten im Zusammenhang mit der technischen Rettung hat.

4. Versuche zur technischen Rettung an PKW

In diesen Untersuchungen wurden Staub- bzw. Fasermessungen bei der Personenrettung aus PKW im Rahmen der technischen Hilfeleistung unter realen Umgebungsbedingungen beim Einsatz unterschiedlicher Werkzeuge und Geräte durchgeführt.

Hierzu wurden PKW Unfallfahrzeuge älteren Typs verwendet.

Messungen an Fahrzeugen aus bzw. mit Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK) konnten nicht durchgeführt werden, da diese zum Versuchszeitpunkt nicht zur Verfügung standen.

Die Versuche wurden an der

Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg (LFS-BW), Bruchsal

durchgeführt.

Die Staub- und Fasermessungen sowie deren Auswertung und Beurteilung erfolgten durch

- das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Bereich 2.3: Stäube – Fasern, Abteilung 2: Chemische und Biologische Einwirkungen, Sankt Augustin,

und

- die Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK-NRW), Abteilung Biologische-, chemische- und physikalische Einwirkungen, Regionaldirektion Westfalen-Lippe, Münster

Die folgenden Abbildungen zeigen die Versuchsfahrzeuge an der Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg (LFS-BW).

Die Versuche wurden auf einem überdachten Versuchsplatz im Freien durchgeführt.



Abbildung 4: Versuchsfahrzeug 1
(Farbe: Silber) an der LFS-BW



Abbildung 5: Versuchsfahrzeug 2
(Farbe: Schwarz) an der LFS-BW

Folgende Werkzeuge und Geräte kamen bei den Versuchen zum Einsatz:

- Federkörner
- Hydraulische Rettungsschere
- Hydraulischer Spreizer
- Kompaktaggregat mit Elektromotor
- Säbelsäge
- Glas-Master
- Hydraulischer Rettungszyylinder
- Hölzer zu Stabilisierung des Unfallfahrzeuges
- Straßenbesen

4.1. Messverfahren

Es wurden an drei Personen bzw. Standorten jeweils A-, E-Staub- und Fasermessungen durchgeführt:

1. Angriffstrupp - ein Feuerwehrangehöriger bei der Durchführung der Maßnahmen zur Technischen Rettung, personengetragen
 - Messproben 1, 2, 3
2. Dummy (Stativ) für den Gruppenführer, stationär
 - Messproben 4, 5, 6
3. Dummy (Übungspuppe) als Insasse des Fahrzeuges (Patient), stationär
 - Messproben 7, 8, 9

Eine technische Hilfeleistung Verkehrsunfall wird nach Angaben der LFS-BW mit
20 min
veranschlagt.

Die Staub- und Faserprobenahme an der LFS-BW erfolgte
über 3 Std.

Dabei wurden 9 Hilfeleistungen an den beiden Fahrzeugen durchgeführt.

4.2. Messtechnik

Als Messtechnik wurden folgende Geräte eingesetzt [IFA PGP /2021/].

- E-Staub: Probenahmegeräte GSP-10 für die personengetragene Gefahrstoffmessung [IFA PGP /2021/]
 - In Verbindung mit einer Probenahmepumpe (PAS-Pumpe) ist das System GSP für den personengetragenen Einsatz zur Messung der einatembaren Staubfraktion geeignet.
 - Volumenstrom: 9,7 bis 9,85 l/min
 - Die Filterkassette ist mit einem Membranfilter MF 11301 einer Porenweite von 8 µm und einem äußeren Durchmesser von 37 mm ausgerüstet.
 - Analytisches Bestimmungsverfahren: Wägung

- A-Staub: Probenahmeköpfe FSP-10 für personengetragene Gefahrstoffmessung [IFA PGP /2021/]
 - In Verbindung mit einer Probenahmepumpe (PAS-Pumpe) ist das System FSP für den personengetragenen Einsatz zur Messung der alveolengängigen Staubfraktion mit medianen Massendurchmessern zwischen 1 und 20 µm geeignet.
 - Volumenstrom: 9,8 bis 9,9 l/min
 - Es ist mit einem Zyklonvorabscheider ausgestattet.
 - Beim FSP erfolgt die Anströmung des Filters von unten durch die Universalaufnahme. Entsprechend ist die zu beaufschlagende Filterseite nach unten in die Filterkassette einzulegen.
 - Die Filterkassette ist mit einem Membranfilter MF 11301 mit Porendurchmesser von 8 µm und einem Außendurchmesser von 37 mm ausgerüstet.
 - Analytisches Bestimmungsverfahren: Wägung

- Faser-Probenahmesystem FAP für lungengängige Fasern: Calciumsulfatfasern (WHO-Fasern²) sowie sonstige anorganische Fasern (WHO-Fasern) [IFA PGP /2021/]
 - Probenahmesystem FAP in Verbindung mit einer Probenahmepumpe (PAS-Pumpe)
 - Volumenstrom: 2,5 l/min
 - Die Probenahme erfolgt mit nach unten weisender, zur Ansaugseite hin offener Filterhalterung ohne Verengung oder Vorabscheider vor dem Filter.
 - Die Filterkassette wird mit einem Kernporenfilter mit Porendurchmesser von 8 µm und einem Außendurchmesser von 37 mm ausgerüstet.
 - Analytisches Bestimmungsverfahren: Rasterelektronenmikroskop/ energie-dispersiver Röntgenmikroanalyse (REM/EDXA)

² WHO-Fasern: lungengängige künstliche Mineralfasern, die länger als 5 µm sind und einen Durchmesser unter 3 µm haben (Verhältnis von Länge zu Breite ist größer als 3:1)



Abbildung 6: Staub- und Fasermess-technik - 1 (DGUV-IFA, UK NRW)

- Bilderreihe links: Probenahmegeräte GSP SG10 für die personengetragene Gefahrstoffmessung (E-Staub)
- Bilderreihe oben: Probenahmeköpfe FSP-10 für A-Staub-Probenahme
- Bilderreihe darunter: Faser-Probenahmesystem FAP für lungengängige Fasern
- Bild unten: Filterkassetten



Abbildung 7: Staub- und Fasermess-technik - 2 (DGUV-IFA, UK NRW)

- Bild links: Thermischer Massendurchflussmesser für Luft
- Bilder rechts: Partikelzähler für Nano- bzw. ultrafeine Partikel



Abbildung 8: Dummy - Übungspuppe als Patient mit Staub- und Fasermesstechnik vor dem Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1 - Vorderseite



Abbildung 9: Dummy - Übungspuppe als Patient mit Staub- und Fasermesstechnik vor dem Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1 - Rückseite



Abbildung 10: Feuerwehrangehöriger (Angriffstrupp) mit Staub- und Fasermesstechnik – Vorderseite (LFS-BW)



Abbildung 11: Feuerwehrangehöriger (Angriffstrupp) mit Staub- und Fasermesstechnik, Probenahmegeräte – Rückseite (LFS-BW)



Abbildung 12: Dummy (Stativ) als Ersatz für Gruppenführer mit Staub- und Fasermesstechnik



Abbildung 13: Dummy (Stativ) als Ersatz für Gruppenführer mit Staub- und Fasermesstechnik sowie Videokamera



Abbildung 14: Fahrersitz ohne Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Versuchsfahrzeug 2 - Vorderseite



Abbildung 15: Fahrersitz ohne Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Versuchsfahrzeug 2 - Rückseite

4.3. Versuchsablauf - Bilddokumentation

4.3.1. Versuche an Versuchsfahrzeug 1

Tabelle 4-1: Versuchsbedingungen während des Versuchsablaufs an Fahrzeug 1

Versuchsbedingungen während des Versuchsablaufs an Fahrzeug 1 (LFS-BW)
Umgebungstemperatur: 16 °C bis 19°C
Luftgeschwindigkeit: 2,7 bis 3,8 m/s, im Mittel: 3,25 m/s
Luftfeuchtigkeit (rel.): 67 % bis 77 %, im Mittel: 72 %



Abbildung 16: Versuchsfahrzeug 1 an der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (LFS-BW)



Abbildung 17: Versuchsfahrzeug 1 an der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (LFS-BW)



*Abbildung 18: Werkzeuge und Geräte
(LFS-BW)*

- Hydraulische Rettungsschere
- Hydraulischer Spreizer
- Kompaktaggregat mit Elektromotor
- Säbelsäge
- Glas-Master
- Rettungszylinder



Abbildung 19: Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik vor dem Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1 - Vorderseite



Abbildung 20: Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik vor dem Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1 - Rückseite



Abbildung 21: Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 22: Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Abdecken mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 23: Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Abgedeckt mit Patientenschutzfolie, Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 24: Stabilisierung des Unfallfahrzeuges - Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 25: Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 26: Arbeiten mit der hydraulischen Rettungsschere - Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 27: Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 28: Arbeiten mit der Säbelsäge - Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 29: Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 30: Arbeiten mit dem Straßenbesen - Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 31: Arbeiten mit dem Rettungszylinder - Versuchsfahrzeug 1



Abbildung 32: Arbeiten mit dem Rettungszylinder - Versuchsfahrzeug 1

4.3.2. Versuche an Versuchsfahrzeug 2

Tabelle 4-2: Versuchsbedingungen während des Versuchsablaufs an Fahrzeug 2

Versuchsbedingungen während des Versuchsablaufs an Fahrzeug 2
Umgebungstemperatur: 20 °C bis 22°C
Luftgeschwindigkeit: 3 m/s
Luftfeuchtigkeit (rel.): 53 % bis 54 %, im Mittel: 72 %



Abbildung 33: Versuchsfahrzeug 2 an der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (LFS-BW) - 1



Abbildung 34: Fahrersitz ohne Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Versuchsfahrzeug 2 - Vorderseite



Abbildung 35: Fahrersitz ohne Übungspuppe mit Staub- und Fasermesstechnik, Versuchsfahrzeug 2 - Rückseite



Abbildung 36: Arbeiten mit dem Glas-Master - Versuchsfahrzeug 2



Abbildung 37: Arbeiten mit der Säbelsäge - Versuchsfahrzeug 2



Abbildung 38: Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 2



Abbildung 39: Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 2



Abbildung 40: Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 2



Abbildung 41: Arbeiten mit dem hydraulischen Spreizer - Versuchsfahrzeug 2



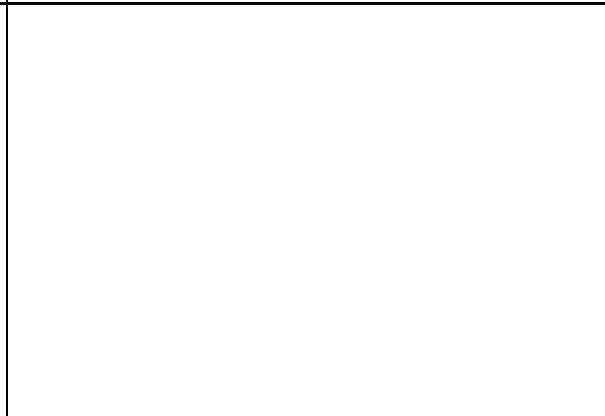
Abbildung 42: Arbeiten mit dem Rettungszyylinder - Versuchsfahrzeug 2



Abbildung 43: Arbeiten mit dem Rettungszyylinder - Versuchsfahrzeug 2



Abbildung 44: Arbeiten mit dem Rettungszyylinder - Versuchsfahrzeug 2



4.4. Messergebnisse - Auswertung und Beurteilung

Es wurden an drei Personen bzw. Standorten jeweils A-, E-Staub- und Fasermessungen durchgeführt:

- Angriffstrupp - ein Feuerwehrangehöriger bei der Durchführung der Maßnahmen zur Technischen Rettung, personengetragen
 - Messproben 1, 2, 3
- Dummy (Stativ) für den Gruppenführer, stationär
 - Messproben 4, 5, 6
- Dummy (Übungspuppe) als Insasse des Fahrzeuges (Patient), stationär
 - Messproben 7, 8, 9

Die folgenden Tabellen zeigen Messwerte dieser Untersuchungen [DGUV-IFA, UK NRW /2021/].

Tabelle 4-3: Pos. 1: Angriffstrupp - ein Feuerwehrangehöriger bei der Durchführung der Maßnahmen zur Technischen Rettung, personengetragen – Messwerte [DGUV-IFA, UK NRW /2021/].

Proben-Nr.	Bezeichnung	Probenahmedauer	Expositions-dauer	Grenzwert/ Beurteilungsmaßstab - Art	Messwert	Schichtmittelwert Messw. / 8
1	Einatembare Fraktion	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)	10 mg/m ³ AGW	0,56 mg/m ³	0,07 mg/m ³
2	Alveolengängige Fraktion	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)	1,25 mg/m ³ AGW	< 0,17 mg/m ³	< 0,02 mg/m ³
3	Calciumsulfatfasern (WHO-Fasern)	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)		< 3.100 Fasern/m ³	< 390 Fasern/m ³
3	Fasern, anorganische, sonstige (WHO-Fasern)	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)		31.000 Fasern/m ³	3.900 Fasern/m ³

Tabelle 4-4: Pos. 2: Dummy (Stativ) für den Gruppenführer, stationär – Messwerte [DGUV-IFA, UK NRW [2021].

Proben-Nr.	Bezeichnung	Probenahmedauer	Expositions-dauer	Grenzwert/ Beurteilungsmaßstab - Art	Messwert	Schichtmittelwert Messw. / 8
4	Einatembare Fraktion	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)	10 mg/m ³ AGW	< 0,17 mg/m ³	< 0,02 mg/m ³
5	Alveolengängige Fraktion	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)	1,25 mg/m ³ AGW	< 0,17 mg/m ³	< 0,02 mg/m ³
6	Calciumsulfatfasern (WHO-Fasern)	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)		< 3.100 Fasern/m ³	< 390 Fasern/m ³
6	Fasern, anorganische, sonstige (WHO-Fasern)	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)		3.100 Fasern/m ³	390 Fasern/m ³

Tabelle 4-5: Pos. 3: Dummy (Übungspuppe) als Insasse des Fahrzeuges (Patient), stationär – Messwerte [DGUV-IFA, UK NRW [2021].

Proben-Nr.	Bezeichnung	Probenahme-dauer	Expositions-dauer	Grenzwert/ Beurteilungsmaßstab - Art	Messwert	Schichtmittelwert Messw. / 8
7	Einatembare Fraktion	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)	10 mg/m ³ AGW	1,12 mg/m ³	0,14 mg/m ³
8	Alveolengängige Fraktion	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)	1,25 mg/m ³ AGW	< 0,19 mg/m ³	< 0,02 mg/m ³
9	Calciumsulfatfasern (WHO-Fasern)	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)		< 3.100 Fasern/m ³	< 390 Fasern/m ³
9	Fasern, anorganische, sonstige (WHO-Fasern)	180 min	0,33 h/ Schicht (20 min)		130.000 Fasern/m ³	16.000 Fasern/m ³

Wie die Messwerte in den Tabellen zeigen, liegen die Messwerte für die Konzentration an einatembaren Staub (E-Staub, früher: Gesamtstaub) und alveolengängigen Staub (A-Staub, früher: Feinstaub) für die verschiedenen Personen bzw. Standorte unter den Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW).

Bei der Analyse der Luftproben wurden keine technisch hergestellten (z.B. KMF oder Aluminiumsilikatfasern) oder natürlichen mineralischen Fasern gefunden. Es konnten aber faserförmige Splitter mit amorphen Strukturen, die die WHO-Faserkriterien erfüllen, gezählt werden.

Die faserförmigen Splitter wurden als „Fasern anorganisch sonstige“ in den Tabellen ausgewiesen. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung können fast alle dem Autoglas/Verbundglas zugeordnet werden.

Zu den Messungen werden weiter folgende Erläuterungen und Beurteilungen der [DGUV-IFA, UK NRW [2021] gegeben:

- Valide Ergebnisse mit dem „<“-Vorzeichen geben den kleinsten quantitativ bestimmbaren Messwert an (Bestimmungsgrenze), der jedoch in diesem Falle unterschritten wurde. Ein Ergebnis mit „<“-Vorzeichen sagt nicht aus, dass der Stoff unterhalb der ausgewiesenen Bestimmungsgrenze qualitativ nachweisbar war oder nicht.
- Typischerweise wird der Patient während der Arbeit am Fahrzeugglas mit einer Decke, einem Tuch oder einer Plane geschützt und ihm wird ggf. eine FFP2 Maske angelegt.
- In dem vorliegenden Vorgang wurde die Plane des Patienten am A-Staubmesskopf eingesaugt und wurde nach kurzer Zeit entfernt. Die resultierenden Ergebnisse sind somit eine für den Patienten untypisch hohe Exposition.
- Der Feuerwehrmann trägt bei der Bearbeitung von Glas typischerweise eine FFP2-Maske.
- Es ist zu beachten, dass die ermittelten Konzentrationen an A- und E-Staub, sowie anorganischen Fasern tätigkeitsbezogen sind.
- Die Messungen erstreckten sich auf 9 Wiederholungen der Tätigkeiten, die jeweils auf einem Filter zusammenfassend gemessen wurden. Die Messwerte stellen damit den Mittelwert der Exposition für diese Tätigkeiten dar.
- Die Tätigkeit der technischen Hilfeleistung aus einem Fahrzeug wird von einem Feuerwehrangehörigen jedoch typischerweise maximal einmal am Tag durchgeführt und dies üblicherweise auch nur an wenigen Tagen im Jahr.
- Um die ermittelten Expositionswerte in vergleichbare Messergebnisse mit Schichtbezug zu transferieren, müssen bestimmte Umrechnungen erfolgen.
- Vorliegende Grenzwerte für A-, E-Staub und Fasern beziehen sich immer auf ein 8-Stunden-Mittel. Daher muss von den Tätigkeiten, die nur einige bis maximal 20 Minuten je Vorgang dauern, auf eine 8-Stunden-Schicht umgerechnet werden.

- Bei Fasermessungen ist eine Umrechnung unter Berücksichtigung der sog. verkürzten Exposition mit dem Faktor von maximal 8 zulässig. Das bedeutet Expositionen, die kürzer als 1 Stunde andauern werden für den Schichtbezug durch 8 dividiert.
- Unter der Voraussetzung, dass die Feuerwehrleute an den Tagen, an denen die technischen Hilfeleistung erfolgt, keinen anderen Staubbelastungen ausgesetzt sind, sind auch die für die kurzzeitigen Tätigkeiten ermittelten für 9 Tätigkeitsphasen mittleren A- und E-Staub-Konzentrationen auf den Schichtbezug umzurechnen. Hier kann unter konservativen Annahmen ebenfalls mit dem Faktor 8 gerechnet werden.
- Im Hinblick auf E-Staub wäre als zusätzliches Kriterium formell noch die Einhaltung der Kurzzeitwertkriterien zu prüfen. Da die Mittelwert der tätigkeitsbezogenen Messwerte mit $0,56 \text{ mg/m}^3$, $< 0,17 \text{ mg/m}^3$ und $1,12 \text{ mg/m}^3$ maximal nur etwa 1/10 der Grenzwertes erreichen, ist dies hier nicht relevant.

5. Zusammenfassung

Beim Retten und Bergen ist es oft notwendig, zum Teil schwerstverletzte Unfallopfer, unter Zuhilfenahme diverser mechanischer Rettungsgeräte, aus den nicht selten stark deformierten Kraftfahrzeugkarosserien zu befreien.

Bei Einsätzen zur technischen Hilfeleistung werden jedoch nicht nur die Unfallopfer selbst, sondern auch die jeweiligen im Einsatz befindlichen Rettungskräfte mit diesen Gefahrenquellen konfrontiert.

Eine dieser möglichen Gefahren, welcher Einsatzkräfte, ganz gleich ob Feuerwehr oder Rettungsdienst, im Rahmen der technischen Hilfeleistung bei Verkehrsunfällen ständig ausgesetzt sind, ist die Einwirkung von einatembarem Staub (E-Staub), alveolengängigen Staub (A-Staub) und Fasern, die bei der mechanischen Zerstörung der unterschiedlichen Kraftfahrzeugmaterialien und Glasscheiben mit den unterschiedlichen Werkzeugen entstehen.

Hierzu wurden Versuche zur an der LFS-BW, Bruchsal an PKW Unfallfahrzeugen älteren Typs durchgeführt.

Messungen an Fahrzeugen aus bzw. mit Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK) konnten nicht durchgeführt werden, da diese zum Versuchszeitpunkt nicht zur Verfügung standen.

Die Messung des einatembaren Staubes (E-Staub, früher: Gesamtstaub), alveolengängigen Staubes (A-Staub, früher: Feinstaub) und der Fasern sowie deren Auswertung und Beurteilung erfolgten durch das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) sowie die Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Abteilung Biologische-, chemische- und physikalische Einwirkungen.

Die Projektleitung hatte die KIT-Forschungsstelle für Brandschutztechnik.

Die Messungen ergaben, dass sowohl für den

- Angriffstrupp - ein Feuerwehrangehöriger bei der Durchführung der Maßnahmen zur Technischen Rettung, personengetragen
- Dummy (Stativ) für den Gruppenführer, stationär
- Dummy (Übungspuppe) als Insasse des Fahrzeuges (Patient), stationär

die Konzentration an E-Staub und A-Staub unterhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte lagen.

Bei der Analyse Luftproben wurden keine technisch hergestellten (z.B. KMF oder Aluminiumsilikatfasern) oder natürlichen mineralischen Fasern gefunden. Es konnten aber faserförmige Splitter mit amorphen Strukturen, die die WHO-Faserkriterien erfüllen, gezählt werden.

Die faserförmigen Splitter wurden als „Fasern anorganisch sonstige“ ausgewiesen. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung können fast alle dem Autoglas/Verbundglas zugeordnet werden.

Bei der Beurteilung der Messwerte im Hinblick auf eine Gefährdungsbeurteilung ist zu beachten, dass der Feuerwehrangehörige neben der bei diesen Tätigkeiten üblichen PSA wie z.B. Schutzhandschuhe und Helmvisier bei der Bearbeitung von Glas eine FFP2-Maske trägt.

Der Patient wird während der Arbeit am Fahrzeugglas mit einer Decke, einem Tuch oder einer Plane geschützt und ihm wird ggf. auch eine FFP2-Maske angelegt.

Es sei an dieser Stelle abschließend angemerkt, dass unter realen Bedingungen durch den Einfluss z.B. von Wind und Wetter große Schwankungen bei den Messwerten auftreten können.

6. Literaturverzeichnis

/1/	Max, D.: /2015/	Eigenschaften und Abbrandverhalten von Faserverbundwerkstoffen, speziell Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK), sowie erforderliche Maßnahmen. Teil I: Grundlagen Forschungsbericht Nr. 177 der ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2015), http://www.ffb.kit.edu/392.php
/2/	Max, D.: /2018/	Faserverbundwerkstoffe - Eigenschaften und Abbrandverhalten von Faserverbundwerkstoffen, speziell Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK) sowie erforderliche Maßnahmen. Forschungsbericht Nr. 182 der ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2018), http://www.ffb.kit.edu/392.php
/3/	Kunkelmann, J.: /2018/	Untersuchung der Gefährdungslage durch Glasstaub bei Einsätzen der technischen Hilfeleistung bei Verkehrsunfällen. Forschungsbericht Nr. 194 der ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2018), http://www.ffb.kit.edu/392.php

/4/	GefStoffV /2021/	Gefahrstoffverordnung – GefStoffV Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), "Gefahrstoffverordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 21. Juli 2021 (BGBl. I S. 3115) geändert worden ist" https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/index.html
/5/	TRGS 900 /2021/	TRGS 900 Technische Regeln für Gefahrstoffe – Arbeitsplatzgrenzwerte, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2021, S. 893-894 [Nr. 39-40] (v. 02.07.2021) https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-900.html
/6/	TRGS 910 /2021/	TRGS 910 Technische Regeln für Gefahrstoffe Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen, Zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2021 S. 895 [Nr. 39-40] v. 02.07.2021 https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-910.html
/7/	TRGS 400 /2017/	TRGS 400 Technische Regeln für Gefahrstoffe – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), GMBI 2017 S. 638 [Nr. 36] v. 08.09.2017 Dortmund, 2017 https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-400.html

/8/	TRGS 402 /2016/	TRGS 402 Technische Regeln für Gefahrstoffe – Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, 2016 https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-402.html
/9/	TRGS 907 /2011/	TRGS 907 Technische Regeln für Gefahrstoffe - Verzeichnis sensibilisierender Stoffe und von Tätigkeiten mit sensibilisierenden Stoffen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, 2011 https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-907.html
/10/	Roth, G. D.: /1985/	Wetterkunde für alle BLV Wetterführer, 3. Auflage, BLV Verlagsgesellschaft München, Wien, Zürich, 1985
/11/	Kalender-Wevers, C.: /2014/	Windinduzierter Partikeltransport – Synergetische Kombination von physikalischer und numerischer Simulation. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2014 https://hss-opus.ub.ruhr-uni-bochum.de/opus4/front-door/index/index/year/2015/docId/4403
/12/	Kunkelmann, J.: /2007/	Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer 'Brandgefahrenklasse'. Teil1: <ul style="list-style-type: none"> • Brand-und Löschversuche mit Hochdruck-Wassernebel im Holztreppenraum (ohne und mit

		<p>Windeinfluss auf einen natürlichen Rauchabzug).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vergleich mit Niederdruck-Wassernebel und Sprinkler. <p>Forschungsbericht Nr. 143 der ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2007), http://www.ffb.kit.edu/392.php</p>
/13/	Bogensberger, S., <u>et al.</u>	Lexikon Medizin, Verlag: Urban & Schwarzenberg, München, ISBN 3-625-10627-2
/14/	TK - HNO /2021/	<p>Atemwegs- und HNO-Erkrankungen Techniker Krankenkasse, Hamburg, 2021</p> <p>https://www.tk.de/techniker/gesundheit-und-medizin/behandlungen-und-medizin/atemwegs-und-hno-erkrankungen-2010738</p> <p>https://www.tk.de/techniker/gesundheit-und-medizin/behandlungen-und-medizin/atemwegs-und-hno-erkrankungen/lungenfibrose-vernarbte-lunge-2021942</p>
/15/	Klenk, U.: /2012/	<p>Verwendung von Sprühdüsen mit Wasser und Additiven zur Reduzierung diffuser Staubemissionen. Gefahrstoff, Reinhaltung der Luft, 72 (2012), Nr. 11 / 12, S. 498 - 502</p>

/16/	Youlin, Y. et al.: /2001/	Global Alarm: Dust and Sandstorms from the World's Drylands United Nations, 2001
/17/	Teipel, U. et al.: /2015/	„Entstehung von Glasstaubpartikeln durch den Einsatz von Rettungstrennwerkzeugen“ Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft - Ausgabe 3/2015 Springer-VDI-Verlag: Düsseldorf, 2015, S. 101-105.
/18/	DGUV Grenzwerte: /2021/]	Grenzwerte Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin, 2021 https://www.dguv.de/staub-info/rechtsgrundlagen/grenzwerte/index.jsp
/19/	Heyden, T. v. d.: /2014/	Grundlagen der Messung von Gefahrstoffen Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin, 02/2014 https://www.ifa-arbeitsmappdigital.de/ce/allgemeines-zur-messung-von-gefahrstoffen-in-der-luft-am-arbeitsplatz/detail.html
/20/	Mattenklott, M., Pflaumbaum, W.: /2020/	Der Allgemeine Staubgrenzwert – Festlegungen, Geltungsbereich, allgemeine Hinweise Kennzahl: 0412-1 Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin, 01/2020 https://www.ifa-arbeitsmappdigital.de/ce/der-allgemeine-staubgrenzwert-festlegungen-geltungsbereich-allgemeine-hinweise/_sid/HTHH-443824-AK89/detail.html
/21/	IFA PGP /2021/	Probenahmeköpfe für das System PGP Personengetragenes Gefahrstoff-Probenahmesystem IFA - Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung,

		<p>Berlin 2021</p> <p>https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeitsplatzgrenzwerte/probenahmegeeraete/pgp-im-ueberblick/index.jsp</p> <p>https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeitsplatzgrenzwerte/probenahmegeeraete/pgp-probenahmekoepfe/index.jsp</p>
/22/	DGUV 213-500 /2015/	<p>Allgemeiner Teil</p> <p>Von den Unfallversicherungsträgern anerkannte Analysenverfahren zur Feststellung der Konzentrationen krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen,</p> <p>DGUV Information 213-500, Berlin, 2015</p> <p>https://publikationen.dguv.de/regelwerk/publikationen-nach-fachbereich/rohstoffe-und-chemische-industrie/gefahrstoffe/142/allgemeiner-teil-von-den-unfallversicherungstraegern-anerkannte-analysenverfahren-zur-feststellung</p>

/23/	VBG /2016/	Gib dem Staub keine Chance! Zehn goldene Regeln zur Staubbekämpfung Version 1.1/2016-01 Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) Berlin, 2016 http://www.dguv.de/staub-info/zehn-goldene-regeln/index.jsp	
/24/	DGUV-IFA, UK NRW /2021/	Analysenbericht 2021 1420 vom 28.09.2021 Vorgangsnummer: BU 21/011 IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin, 2021, Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Münster, 2021	

H i n w e i s

Die bisher veröffentlichten Forschungsberichte können auf den Homepages der

**Forschungsstelle für Brandschutztechnik
am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
<http://www.ffb.kit.edu>**

und des

**Instituts der Feuerwehr Sachsen-Anhalt in Heyrothsberge
<https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/forschung-idf/>**

eingesehen werden.