

Bearbeitung von CFK Materialien

Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen

Ausgabe 10/2014

FB HM-074

Diese DGUV Information dient der Betrachtung direkter Gefährdungen, die beim Bearbeiten von Bauteilen aus ausgehärteten Kohlenstofffaser verstärkten Kunststoffen (CFK) entstehen können. Hierzu werden Schutzmaßnahmen abhängig von der auftretenden Faserstaubkonzentration und der Staubbelastung für die Mitarbeiter beschrieben.

Da bisher keine gesicherten Erkenntnisse über krebs-erzeugende Eigenschaften von Carbonfasern bzw. Faserbruchstücke vorliegen, sind die erläuterten Schutzmaßnahmen als „Stand der Technik“ anzusehen, bis fundierte und verbindliche Dokumentationen zur biologischen Wirkung von Carbonfasern vorliegen.

1 Einleitung

Immer größer werdende Forderungen nach leichteren Bauteilen sowohl im Automobil-, Luftfahrt- und Maschinenbau-sektor, als auch in anderen Industriezweigen führen dazu, dass inzwischen verstärkt Kohlenstofffaserverbundwerkstoffe eingesetzt und mechanisch bearbeitet werden.

Bei der Bearbeitung können Gefährdungen durch Inhalation von und Hautkontakt mit Partikelstäuben, Fasern und Gefahrstoffen entstehen. Des Weiteren sind die Brand- und Explosionsgefährdung sowie die elektrische Gefährdung durch Freisetzung von Kohlenstofffasern und Partikelstäuben zu betrachten und zu bewerten.



Bild 1: Schleifen von CFK Bauteilen

2 Bearbeitungsverfahren, Gefährdungen und Beurteilung

Auch wenn bei CFK Bauteilen heute eine endkonturnahe Formgebung angestrebt wird, sind weitere Bearbeitungsschritte zur endgültigen Fertigstellung oder Instandsetz-

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Bearbeitungsverfahren, Gefährdungen und Beurteilung
- 3 Bearbeitungsspezifische Schutzmaßnahmen
- 4 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

ung meist unumgänglich. Vor allem werden nach dem Formen Werkstückkanten und Fügstellen bearbeitet sowie Aussparungen, Bohrungen und Langlöcher eingebracht. Derzeit werden hierfür vorwiegend zerspanende Verfahren, die trocken ablaufen, eingesetzt. Nur etwa ein Fünftel der spanenden CFK Bearbeitungsprozesse wird unter Minimalmengenschmierung oder Überflutung der Werkstücke durchgeführt [1].

2.1 Bearbeitungsverfahren

Die in dieser DGUV-Information berücksichtigten Bearbeitungsverfahren werden in drei Tätigkeitsgruppen eingeteilt:

a. Manuelle Tätigkeiten

Manuelle Tätigkeiten werden mit handgeführten Werkzeugen ausgeführt und es besteht eine direkte Exposition des Mitarbeiters. Betrachtet werden Bohren, Sägen, Schleifen sowie Reinigungsarbeiten.

b. Tätigkeiten in / an automatisierten Anlagen

Es wird davon ausgegangen, dass automatisierte Anlagen in der Regel gekapselt sind und nur bei Bearbeitungsstillstand vom Mitarbeiter betreten werden. Ferner wird angenommen, dass derartige Maschinen mit technischen Schutzmaßnahmen ausgerüstet sind, z. B. mit einer ausreichend dimensionierten Absaugung mit Nachlauf zur Minimierung der CFK Staubkonzentration. Aus diesen Gründen ist der Mitarbeiter nur einer geringen Exposition ausgesetzt. Berücksichtigt werden Drehen, Fräsen, Schleifen, Bohren, Wasserstrahlschneiden und Laserbearbeitung.

c. Sonstige Tätigkeiten

In diese Gruppe werden Verfahren und Tätigkeiten eingruppiert, die den beiden erstgenannten Gruppen nicht zuzuordnen sind. Hierzu gehören Crash-Versuche, zerstörende Materialprüfungen, Stanzen sowie Tätigkeiten an offenen Bearbeitungsmaschinen.



Bild 2 Wasserstrahlschneiden von CFK Bauteilen

2.2 Gefährdungen und Beurteilung

Im Folgenden werden ausschließlich die direkten Gefährdungen betrachtet, welche durch das Freisetzen von Partikelstäuben, Fasern und sonstigen Gefahrstoffen bei der (mechanischen) Bearbeitung von CFK für den Mitarbeiter entstehen.

Mechanische und thermische Gefährdungen sowie durch Arbeitsbedingungen verursachte Gefährdungen werden in diesem Informationsblatt nicht behandelt, sind aber in der Gefährdungsbeurteilung zum jeweiligen Arbeitsplatz zu betrachten.

Werden Mischkomposite aus CFK und GFK (Glasfaserverstärkte Kunststoffe) (z.B. als Decklage) bearbeitet ist beim Hersteller des GFK eine Bestätigung anzufordern, dass der Kanzerogenitätsindex KI > 40 ist (siehe TRGS 905 [2]).

• Gefährdung durch Einatmen

In Abhängigkeit des Bearbeitungsverfahrens, der Prozessparameter und der prozess- und werkstoffspezifischen Eigenschaften sowie des Durchmessers der verarbeiteten Carbonfasern können Epoxidharz- und Faserstäube entstehen.

Die Fasergeometrie und das Bruchverhalten sind maßgeblich für die Bewertung der Gesundheitsgefährdungen.

Carbonfasern brechen nach derzeitigen Erkenntnissen bei den herkömmlichen, mechanischen Bearbeitungsverfahren nicht in Längsrichtung und spleißen nicht.

Derzeit wird im Auftrag der BGHM eine Literaturstudie zur Wirkung von Kohlenstofffaserbruchstücken erstellt.

Die Beschaffenheit der bei der Bearbeitung von CFK freigesetzten Fasern und Faserbruchstücken (Fasergeometrie) ist analytisch abzusichern.

Nach den Kriterien der WHO sind insbesondere Fasern einer Länge über 5 µm, einem Durchmesser kleiner 3 µm und einem Längen-Durchmesser-Verhältnis größer als 3 : 1 auf Grund ihrer Wirkung auf das Lungengewebe als kritisch zu betrachten.

Typischerweise werden bei der CFK Herstellung Kohlenstofffasern des Durchmessers 7 µm eingesetzt. Die Entstehung von lungengängigen Carbonfaserpartikeln entsprechend der WHO Definition aus diesem Material ist wenig wahrscheinlich.

Des Weiteren sind Parameter wie die Verweildauer in der Lunge, d. h. die Biobeständigkeit /Biopersistenz und

die Dosis weitere Kriterien für eine kanzerogene Wirkung.

Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK Kommission) hat bisher keine gesicherten Erkenntnisse über krebserzeugende Eigenschaften von Carbonfasern herausgegeben [3]. Sie werden bislang analog dem Faserstaub in Kategorie 3 (GHS: Kat. 2) eingestuft [4].

Sofern kritische Fasern nach der WHO Definition entstehen, wird empfohlen, sich an dem Grenzwert der TRGS 521 [5] von 50.000 Fasern/m³ zu orientieren.

Kohlenstofffasern bestehen aus elementarem Kohlenstoff, der aus kohlenstoffhaltigen Polymerfasern durch Pyrolyse freigesetzt wird [6], Dieser ist nicht als gefährlicher Stoff eingestuft.

Bei Betrachtung des Gefährdungspotentials bei der Bearbeitung von CFK ist auch die Freisetzung gefährlicher Stoffe aus dem Materialverbund zu berücksichtigen.

Neben Stäuben und Fasern können bei Anwendung von Verfahren mit einhergehender Hitzeentwicklung am Bauteil eine Vielzahl von organischen, u. U. gefährlichen Pyrolyseprodukten freigesetzt werden, deren Zusammensetzung abhängig von dem verwendeten Harz-/ Härter-System ist.

Diesbezüglich ist die Einhaltung der relevanten Arbeitsplatzgrenzwerte durch Arbeitsplatzmessungen nachzuweisen.

Ein aktueller Freilandbrandversuch vom Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe der Bundeswehr in Erding [7] weist bei Temperaturen von mehr als 650°C ein vermehrtes Entstehen von WHO-Fasern durch Zersetzungs- und Abbauprozesse nach. In wie weit diese Ergebnisse für die in diesem Informationsblatt beschriebenen Bearbeitungsverfahren übertragbar sind und dadurch Schutzmaßnahmen angepasst werden müssen, wird momentan geprüft.



Bild 3: Mikroskopaufnahme von CFK Splittern

• Gefährdungen durch Hautkontakt

Durch eine dermale Exposition mit Stäuben bzw. Fasern können allergische Kontaktekzeme sowie mechanisch irritative Effekte (Hautreizungen / Juckreize) auftreten.

• Brand- und Explosionsgefährdung

Durch die Bearbeitung von CFK Bauteilen entsteht Partikelstaub, der in die Staubexplosionsklasse 1 eingestuft ist [8]

Es ist eine Gefährdungsbeurteilung zur Explosionsgefährdung und gegebenenfalls ein Explosionsschutzdokument zu erstellen. Die festgelegten Maßnahmen zum Explosionsschutz sind umzusetzen.

• Elektrische Gefährdung

CFK Bauteile sind in der Regel nicht elektrisch leitfähig, somit kann es zu einer elektrostatischen Aufladung kommen, z.B. durch Abwischen oder direktes Absaugen am Bauteil.

Die bei der Bearbeitung entstehenden Stäube können jedoch elektrisch leitfähig sein.

Dies ist u.a. problematisch, wenn zur Abluftreinigung nach Absaugung ein elektrostatischer Abscheider verwendet wird. Hierbei besteht die permanente Gefahr eines Kurzschlusses. Aus diesem Grund sind diese Abscheider für die CFK Bearbeitung ungeeignet.

3 Bearbeitungsspezifische Schutzmaßnahmen

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung hat der Arbeitgeber durch Arbeitsplatzmessungen die Einhaltung der allgemeinen Staubgrenzwerte nach TRGS 900 [9] nachzuweisen oder durch Schutzmaßnahmen die auftretenden Gefährdungen durch CFK Staub zu minimieren. In der Praxis hat sich das Konzept der dreistufigen Expositionskategorien bewährt, das abgestufte Schutzmaßnahmen beinhaltet.

Den in Kapitel 2 beschriebenen Tätigkeiten beim Umgang mit CFK Staub werden in Abhängigkeit von den zu erwartenden Faserstaubkonzentrationen sowie der Dauer der Tätigkeiten drei Expositionskategorien zugewiesen. Tabelle 1 (siehe letzte Seite) zeigt den Gesamtüberblick.

Die Ermittlung der Faserstaubkonzentration ist nicht erforderlich, wenn:

1. die in Tabelle 1 aufgeführten Tätigkeiten vom Arbeitgeber durchgeführt werden und die Wirksamkeit der entsprechend zugeordneten Maßnahmen überprüft wird oder
2. vom Arbeitgeber alle Maßnahmen der Expositionskategorie 1, 2 und 3 angewandt werden (z.B. für Tätigkeiten, die nicht in Tabelle 1 genannt sind oder von der Möglichkeit des Verzichts auf Maßnahmen der Kategorie 1 bzw. 2 kein Gebrauch gemacht werden soll).

Sofern Einzeltätigkeiten, die nicht in der Tabelle 1 aufgeführt sind, durch Analogieschluss den dort aufgeführten Tätigkeiten gleichzustellen sind, können die Tätigkeiten einer Expositionskategorie zugeordnet werden. Hier ist dann eine Begründung in der Gefährdungsbeurteilung erforderlich. Das gleiche gilt bei Kombination verschiedener Tätigkeiten.

3.1 Expositionskategorien und Schutzmaßnahmen für die Bearbeitung von CFK

Der Zusammenhang zwischen Expositionskategorie und Grenzwerten/Faserstaubkonzentrationen wird in Tabelle 2 dargestellt.

Es wird angenommen, dass die Schutzmaßnahmen für Expositionskategorie 1 für die Tätigkeiten gelten, die unter Berücksichtigung der beschriebenen Schutzmaßnahmen erfahrungsgemäß zu keiner oder nur sehr geringer Faserexposition führen, d.h. bei denen die Faserstaubkonzentration unter 50.000 Fasern/m³ liegt und 1/10 des allgemeinen Staubgrenzwerts nach TRGS 900 für die alveolengängige Fraktion bzw. für die einatembare Fraktion unterschritten wird.

Schutzmaßnahmen für Expositionskategorie 2 gelten dagegen für Tätigkeiten, die unter Berücksichtigung der

beschriebenen Schutzmaßnahmen und Art der Tätigkeit eine geringe bis mittlere Faserexposition hervorrufen, d.h. bei denen die Faserstaubkonzentration zwischen 50.000 Fasern/m³ und 250.000 Fasern/m³ liegt und / oder 1/10 des Staubgrenzwertes der alveolengängigen bzw. der einatembaren Fraktion gemäß TRGS 900 überschritten wird.

Grenzwert Faserstaubkonzentration ...der alveolengängigen bzw. der einatembaren Fraktion gemäß TRGS 900 unter- (1) bzw. überschritten (2, 3) wird.	Expositionskategorien		
	1	2	3
< 50.000 Fasern/m ³ und 1/10 des Staubgrenzwertes...	X		
50.000 bis 250.000 Fasern/m ³ und / oder 1/10 des Staubgrenzwertes...		X	
> 250.000 Fasern/m ³ oder Staubgrenzwert ...			X

Tabelle 2: Zusammenhang von Grenzwerten und Expositionskategorien (1/2/3)

Die umfangreichsten Schutzmaßnahmen sind für die Expositionskategorie 3 umzusetzen. Sie gelten für Tätigkeiten, die eine höhere Faserstaubexposition als 250.000 Fasern/m³ hervorrufen oder den allgemeinen Staubgrenzwert nach TRGS 900 für die alveolengängige Fraktion bzw. für die einatembare Fraktion überschreiten.

3.2 Erforderliche Maßnahmen gemäß Expositionskategorie

Jeder Expositionskategorie sind Maßnahmen zugeordnet, die aufeinander aufbauen. So müssen zu den Maßnahmen der Expositionskategorie 2 zusätzlich die Maßnahmen der Expositionskategorie 1 umgesetzt werden. Analog müssen bei der Expositionskategorie 3 auch die Maßnahmen der Expositionskategorien 1 und 2 mit berücksichtigt werden.

Zur Expositionskategorie 1, Tätigkeiten mit geringer Exposition, gehören die Maßnahmen:

- Gefährdungsbeurteilung für die Tätigkeiten mit CFK Staubexposition durchführen.
- Staubarme Bearbeitung und Reinigung, d. h.
 - CFK Staub nicht mit Druckluft abblasen oder trocken kehren
 - CFK Staub mit Industriestaubsauger absaugen (Empfehlung Klasse B1 IP65 bzw. Typ 22 Klasse IIIC nach DIN IEC 62784 [11] Filterklasse mindestens Kategorie M) oder feucht wischen
 - Arbeitsplatz sauber halten und regelmäßig reinigen
 - Aufwirbeln von CFK Staub vermeiden.
- Für gute Lüftung am Arbeitsplatz sorgen
- Langärmelige Arbeitskleidung tragen
- Essen und Trinken am Arbeitsplatz verboten
- Rauch-/ Schnupfverbot am Arbeitsplatz
- Kontakt mit CFK Staub auf der Haut vermeiden und sonst mit Wasser abspülen
- Verwendung von Hautschutzcreme vor und Hautpflegemittel nach der Arbeit
- Hygienische Mindeststandards nach TRGS 500 für den Umgang mit Gefahrstoffen umsetzen
- Erstellung einer Betriebsanweisung
- Unterweisung der Beschäftigten

Zur Expositions-kategorie 2, Tätigkeiten mit mittlerer Exposition gehören die Maßnahmen:

- Maßnahmen der Expositions-kategorie 1 und
- CFK Staub an der Entstehungsstelle absaugen, z. B. durch werkzeugintegrierte Absaugung (Empfehlung Klasse B1 IP 65 bzw. Typ 22 Klasse IIC nach DIN IEC 62784, Filterklasse mindestens Kategorie M) oder
- nachgeführten Industriestaubsauger (Klasse B1 IP65, Filterklasse mindestens Kategorie M) oder
- Nassbearbeitung
Es ist den Beschäftigten geeignete persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen:
- Atmungsaktiver Schutzanzug Typ 5
- Dichtschließende Schutzbrille
- Atemschutz:
 - Halb-/Viertelmaske mit P2-Filter oder
 - partikelfiltrierende Halbmaske FFP2 oder
 - Filtergerät mit Gebläse TH 1P
- Schutzhandschuhe gemäß Bearbeitungsverfahren (nicht zu verwenden bei rotierenden Werkzeugen)
- Begrenzung der Anzahl der Beschäftigten
- Waschmöglichkeit vorsehen

Zur Expositions-kategorie 3, Tätigkeiten mit hoher Exposition, gehören die Maßnahmen:

- Maßnahmen der Expositions-kategorie 1 und 2 und
- Bearbeitung bevorzugt in gesonderten Einrichtungen, z. B. Schleifkabinen bzw. geschlossenen Anlagen
- Arbeitsbereiche abgrenzen und kennzeichnen
- Beschäftigungsbeschränkung für Jugendliche und Schwangere
- Persönliche Schutzausrüstung (siehe Expositions-kategorie 2) muss getragen werden
- Reinigung oder Entsorgung der Schutzkleidung
- Getrennte Aufbewahrungsmöglichkeiten für Straßen- und Arbeitskleidung
- Waschraum mit Duschen

Abschließend werden nun die beschriebenen Tätigkeiten, in Abhängigkeit der Expositions-dauer pro Arbeitsschicht, den jeweiligen Expositions-kategorien zugeordnet (siehe Tabelle 1)

4 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese DGUV-Information (ehemals Fachbereichs-Informationenblatt) beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation und -gestaltung zusammengeführten Erfahrungswissen sowie Erkenntnissen aus dem Unfallgeschehen auf dem Gebiet der CFK Bearbeitung und ist in Zusammenarbeit mit Vertretern aus der Automobil- und Luftfahrt-industrie sowie dem Maschinenbau erarbeitet worden.

Es soll insbesondere die Hersteller von CFK Bauteilen unterstützen und helfen, die Anforderungen an den Gesundheits- und Arbeitsschutz bei der mechanischen Bearbeitung von CFK Bauteilen und den speziell damit verbundenen Bedingungen umzusetzen, bis gesicherte Erkenntnisse zur Biobeständigkeit und Biopersistenz der CFK Fasern vorliegen.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese DGUV-Information unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt. Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, die in Frage kommenden Vorschriftentexte einzusehen.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich u. a. zusammen aus Vertretern der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, Herstellern und Betreibern.

Diese DGUV-Information ersetzt die gleichnamige Fassung, herausgegeben als Entwurf 05/2014. Weitere DGUV-Informationen bzw. Informationsblätter vom Fachbereich Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [11].

Zu den Zielen der DGUV-Information siehe DGUV-Information FB HM-001 „Ziele der DGUV-Information herausgegeben vom Fachbereich Holz und Metall“.

Literatur

- [1] Gebhardt A., Schneider M., Handte J. „CFK Zerspanung - Absaugproblematik drängt zum Handeln“, S. 12-14; MM Compositesworld, Juli 2013.
- [2] TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“. Ausgabe Juli 2005, zuletzt geändert und ergänzt: Mai 2008.
- [3] MAK- und BAT-Werte-Liste 2013: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte, Juli 2013, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- [4] BG/BGIA-Report "Arbeitsschutzlösungen für ausgewählte Stoffe und Verfahren", Kapitel 3.24.2 "Einstufung von Faserstäuben". Oktober 2006.
- [5] TRGS 521 "Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle", Ausgabe: Februar 2008, Kap. 3.2 "Konzept der Expositions-kategorien".
- [6] Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Fibers, 15. Carbon Fibers, Wiley-VCH Verlag 2011
- [7] Deutsche Feuerwehr-Zeitung BRANDSCHUTZ Ausgabe 6/2014, Artikel „Besondere Gefährdungen beim Abbrand von Carbon-Kunststoffen“, Autoren Prof. Dr. Sebastian Eibl, Norbert Scholz, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart
- [8] Gestis-Staub-Ex, „Datenbank Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben“, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), <http://staubex.ifa.dguv.de/> oder www.dguv.de Webcode: >d6253<.
- [9] TRGS 900 "Arbeitsplatzgrenzwerte", Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2014 S. 271-274 v.om 2.04.2014 [Nr. 12].
- [10] DIN IEC 62784 "Besondere Anforderungen für Staubsauger und Entstauber mit dem Geräteschutzniveau Dc für die Aufnahme von Stäuben, die eine Explosions-gefahr darstellen (IEC 61J536/CD:2012)", Norm-Entwurf Ausgabe 2013-03, Beuth-Verlag, Berlin.
- [11] Internet: www.dguv.de/fb-holzundmetall Publikationen oder www.bghm.de Webcode: <626>

Bildnachweis:

Die in dieser DGUV-Information des FB HM gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

- Bild 1, 2: Audi AG, Felix-Wankel-Straße, 74172 Neckarsulm,
Bild 3: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung Holzgartenstraße 17, 70174 Stuttgart,

Herausgeber:

Fachbereich Holz und Metall der DGUV
Sachgebiet Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation und -gestaltung
c/o Berufsgenossenschaft Holz und Metall
Postfach 3780
55027 Mainz

Tabelle 1: Zuordnung von Tätigkeiten zu Expositions-kategorien, in Abhängigkeit der Expositions-dauer pro Arbeitsschicht

	Tätigkeiten	Expositionskategorie E	
		Dauer kleiner 15 Minuten	Dauer größer 15 Minuten
1.	Manuelle Tätigkeiten („Handgeführte Werkzeuge“)		
1.1	Bohren Bohren z.B. von Durchgangslöchern in der Verbindungstechnik	1	2
1.2	Sägen / Trennen Sägen von CFK Bauteilen, z. B. Reparatur oder Entsorgung	2	3
1.3	Schleifen Anschleifen der CFK Bauteiloberfläche z.B. zum Anrauen von Klebeflächen	1	1
	Schleifen der CFK Struktur z.B. Entgraten mit Schleifwerkzeug	2	3
1.4	Reinigungsarbeiten Aufsaugen von CFK Staub mit Industriestaubsauger	1	1
	Feucht wischen	1	1
2.	Tätigkeiten in/ an automatisierten Anlagen (z.B. Werkzeugmaschinen) (Geschlossen und abgesaugt)		
2.1	Drehen Bestücken, Rüsten und Einstellen der Maschine	1	2
2.2	Fräsen Bestücken, Rüsten und Einstellen der Maschine	1	2
2.3	Schleifen Bestücken, Rüsten und Einstellen der Maschine	1	2
2.4	Bohren Bestücken, Rüsten und Einstellen der Maschine	1	1
2.5	Wasserstrahlschneiden Bestücken, Rüsten und Einstellen der Maschine	1	1
2.6	Laserbearbeitung Bestücken, Rüsten und Einstellen der Maschine	1	2
3	Sonstige		
3.1	Crash -Versuche Bestücken, Rüsten und Einstellen der Anlage	1	1
3.2	Stanzen Abscheren von CFK Material	1	1
3.3	Tätigkeiten an offenen Bearbeitungsmaschinen Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen	3	3
3.4	Zerstörende Materialprüfung z.B. Zug - Bruch - Biege - Berstversuch	1	2