

Herstellung von CFK Bauteilen

Orientierungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung bei der Serienfertigung

Ausgabe 08/2017

FB HM-092

Diese DGUV-Information dient der Betrachtung der Gesundheitsgefährdungen, die bei der Herstellung von Bauteilen aus ausgehärteten carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) im Serienprozess entstehen können. Die dafür nötigen Schutzmaßnahmen für die Beschäftigten, abhängig von der auftretenden Faserstaubkonzentration und den eingesetzten Gefahrstoffkomponenten, werden hier im Detail beschrieben.

Informationen zu Eigenschaften und Wirkungen von Carbonfasern oder Faserbruchstücken und generelle Maßnahmen gegen eine damit verbundene eventuelle Staubbelastung zum Schutz für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter können der DGUV-Information Nr. 074 [1] des Fachbereichs Holz und Metall entnommen werden.



Bild 1: CFK - Formgebung

Die speziellen werkstoffspezifischen Eigenschaften von CFK Bauteilen, die z. B. eine optimale Steifigkeit im Verhältnis zum spezifischen Gewicht aufweisen, erklären unter anderem das zunehmende wirtschaftliche Interesse. Das Anwendungsspektrum von Kohlefaserverbundbauteilen stieg in den vergangenen Jahren stetig. Dadurch ist es Herstellfirmen möglich, CFK Bauteile wirtschaftlich in Serie oder Großserie herzustellen. Dabei steigt die Expositionszeit für Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen. Immer mehr Beschäftigte können, bei der Herstellung Gesundheitsgefährdungen ausgesetzt sein, wie Hautkontakt mit Partikelstäuben oder deren Inhalation.

1 Prozessschritte zur Herstellung

Die im Bild 2 „grau“ hinterlegten Prozessschritte, werden in dieser DGUV-Information nicht weiter behandelt.

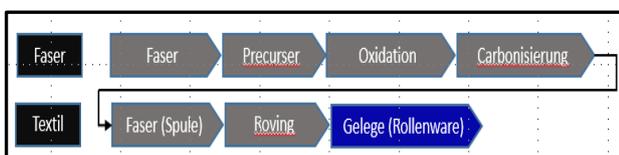


Bild 2: Prozessschritte von der Faser bis zum Stack

Inhaltsverzeichnis

- 1 Prozessschritte zur Herstellung
- 2 Gefährdungen
- 3 Schutzmaßnahmen
- 4 Arbeitsmedizinische Vorsorge
- 5 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

1.1 Produktion von Carbonfasern

Das Rohmaterial ist eine weiße Kunstfaser aus Polyacrylnitril. Diese wird auf bis zu 1.300 °C erhitzt und unterschiedlichen Druckverhältnissen ausgesetzt. Dadurch entsteht eine schwarze Carbonfaser aus nahezu reinem Kohlenstoff („Karbonisierung“). Die Einzelfasern (Filamente) werden zu Bündeln (Rovings) zusammengefasst und auf Spulen gewickelt.

1.2 Produktion der Gelege

Zur Herstellung der CFK/GFK Gelege werden die Faserbündel aus Carbon zusammen mit Glasfasern und Bindersubstanzen zu flächigen Textilien, sogenannten Gelegen, verbunden. Dabei werden Glas- und Carbonfaserlagen in unterschiedlichen Winkeln ausgelegt und mit einem Kettfaden nach definiertem Muster gewirkt. Anschließend wird Binder aufgestreut und erwärmt („gesintert“). Schließlich werden die Gelege auf Breite geschnitten und auf Hülsen gerollt.

1.3 Produktion von CFK Stacks

Die CFK Stacks entstehen infolge der vorgegebenen Reihenfolge der drei Prozessschritte Legen, Schneiden und Fügen.



Bild 3: Prozessschritte zur Herstellung von CFK Stacks

1.3.1 Prozessschritt LEGEN

Die Rollen mit dem CFK Gelege werden automatisch über zwei Manipulatoren abgerollt. Je nach Bauteil werden bis zu 15 verschiedene Lagen übereinandergestapelt. Der fertige Stapel wird als Lagenaufbau bezeichnet.

1.3.2 Prozessschritt SCHNEIDEN

Die Lagenaufbauten werden über Bänder zur Schneideanlage gefördert. Hochpräzise Anlagen schneiden computergesteuert aus den Lagenaufbauten (Stapeln) die Grundformen für spätere Bauteile.

1.3.3 Prozessschritt FÜGEN von Einzellagen zu Stacks

Für das Fügen von Stacks stehen zwei verschiedene Prozesse zur Verfügung. Zum einen können die Stacks punktuell durch Ultraschallschweißen verbunden werden. Zum anderen können sie auf einer Kaschieranlage durch das Aufbringen von Druck und Temperatur vollflächig fixiert werden. In beiden Verfahren sorgt das auf die Gelege aufgebrauchte Bindematerial für eine feste Verbindung der Lagen.

1.4 Produktion der CFK Bauteile

Für die Produktion der CFK Bauteile haben sich, je nach Verfahren, unterschiedliche Prozessschritte bewährt.

1.4.1 Preforming

Im Preformprozess werden die Stacks mit einem Heizfeld zu dreidimensionalen Bauteilen („Preforms“) umgeformt. In der Konfektionierung werden dann mehrere Preforms zu Bauteilen verbunden.

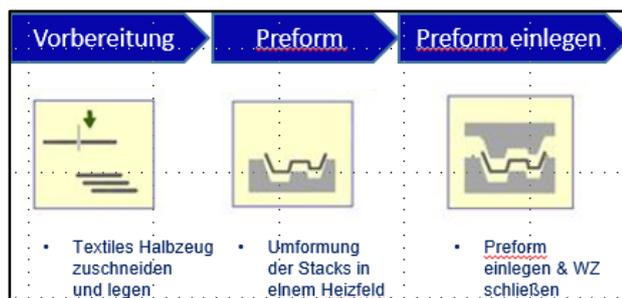


Bild 4: Spezielle Prozessschritte Preforming (siehe Seite 6)

1.4.2 Prepreg Pressverfahren

Beim Prepreg Pressverfahren wird ein mit Epoxidharz vorimprägniertes Faserhalbzeug (Prepreg) in beheizten Metallformen in Form gepresst und ausgehärtet. Dies eignet sich besonders für Bauteile mit gleichmäßiger Wanddicke (eben- oder schalenförmig)



Bild 5: Spezielle Prozessschritte Prepreg Verfahren

1.4.3 Nasspressen

Beim Nasspressen erfolgt im Vergleich zum Prepreg Pressverfahren der Harzauftrag nach dem Zuschnitt und Zurechtlegen der textilen Halbzeuge in einem speziellen

Schritt. In einem offenen Verfahren wird ein Harz System auf das Bauteil aufgetragen (z. B. durch Sprühen, Walzen). Dabei wird dem Harz in einer Ruhephase Zeit eingeräumt, sich entsprechend mit dem Textil zu vernetzen. Danach wird das Bauteil durch Einwirkung von Druck und Wärme in Form gehärtet.



Bild 6: Spezielle Prozessschritte beim Nasspressen (siehe Seite 6)

1.4.4 Autoklavtechnik

Bei der Autoklavtechnik werden mit Matrixwerkstoff (Epoxidharz) vorimprägnierte Fasermatten, sogenannte Prepregs aufgelegt, gemäß dem gewünschten Laminataufbau auf eine Werkzeugform. Das fertige Lagenpaket wird an der Außenseite mit Trennfolie, Saugvlies und Luftverteilergewebe versehen und samt Werkzeug in einem Vakuumsack verpackt. Die anschließende Härtung im Autoklaven erfolgt unter Vakuum (innerhalb des Vakuumsacks) und einem statischen Außendruck von etwa fünf bis zehn bar, bei einer Temperatur von 100 - 200 °C [1].

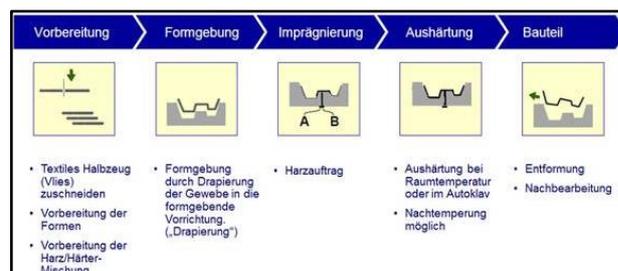


Bild 7: Spezielle Prozessschritte bei der Autoklavtechnik (siehe Seite 6)

1.4.5 Resin Transfer Moulding Verfahren

Beim Resin Transfer Moulding Verfahren (RTM) wird zunächst trockenes Verstärkungsmaterial in einer Form über einen Binder in eine sogenannte Preform überführt. Dabei kann die Faserorientierung durch Näh- und Stickverfahren der Preforms durch gezieltes Ablegen den Lastfällen angepasst werden. Dieser textile Vorformling wird dann in die RTM-Form gelegt und nach dem Schließen der Form mit Matrixharz in ein geschlossenes System injiziert (infiltriert). Danach erfolgt die Aushärtung unter Temperatur und Druck [1].

Neben den klassischen Harzsystemen können auch alternative Bindungssysteme zum Einsatz kommen.



Bild 8: Spezielle Prozessschritte beim Resin Transfer Moulding (RTM) (siehe Seite 6)

1.5 Mechanische Nachbearbeitung

Letzter Schritt in der Prozesskette ist die Nachbearbeitung, bei der das Bauteil seine endgültigen Konturen und gegebenenfalls Montagebohrungen und Ausschnitte für Einbauten erhält. Zum Einsatz kommen hier Fräs-, Wasser- und Laserstrahltechniken.

2 Gefährdungen

Die beiden wichtigsten Gefährdungen durch Staub und die vorwiegend eingesetzten Chemikalien, die bei der Herstellung von CFK-Bauteilen in Betracht kommen, werden hier behandelt.

Die Tabelle 2 auf Seite 6 bietet exemplarisch eine Übersicht, über die, mit den beschriebenen Prozessschritten verbundenen, möglichen Gefährdungen. Die dargestellte Übersicht gibt den bei der Serienfertigung von CFK-Teilen im Fahrzeugbau aktuell angewandten Stand der Technik wieder.

Für die Anwendung der Tabelle im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist jeweils eine betriebs- oder verfahrensspezifische Betrachtung erforderlich, um Abweichungen festzustellen und Gefährdungen zu spezifizieren oder zu ergänzen.

Gefährdung	Ausprägung
Gefährdung durch Einatmen	<ul style="list-style-type: none"> Schädigung der oberen Atemwege und der Bronchien (E-Staub) Schädigung der Alveolen (A-Staub) Verdacht der kanzerogenen Wirkung bei Entstehung von WHO-Faserbruchstücken (Einstufung Kategorie 3 oder GHS Kategorie 2)
Brand- und Explosionsgefährdung	<ul style="list-style-type: none"> Vermehrte Entstehung von WHO-Faserbruchstücken ab Temperaturen von 650 °C, z. B. bei Brand (Verdacht der kanzerogenen Wirkung des Staubs beim Einatmen) Explosionsgefahr (Explosionsklasse 1)
Gefährdung durch Hautkontakt	<ul style="list-style-type: none"> Allergische Kontaktekzeme Mechanisch irritative Effekte (Hautreizungen/Juckreiz)
Elektrische Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> Gefahr der Körperdurchströmung durch Kurzschlüsse Verbrennungsgefahr durch Lichtbögen

Tabelle 1: Gefährdungen durch CFK Staub nach DGUV-Information Nr. 074

2.1 Gefährdungen durch Staub

Bei der Herstellung von CFK Bauteilen lassen sich zwei verschiedene Arten von Staub unterscheiden:

A: Faserförmiger Staub (C-Staub)

Der überwiegend aus Kohlenstofffasern bestehende Staub entsteht z. B. beim Zuschneiden der Gelege. Es können noch geringe Mengen Glas- oder Polyesterfasern enthalten sein, je nach Aufbau des Geleges.

B: Partikulärer Staub (CFK Staub)

Bei der mechanischen Bearbeitung von CFK-Bauteilen entsteht CFK Staub. Der setzt sich aus C-Staub und ausgehärteter Kunststoffmatrix zusammen.

In der DGUV-Information Nr. 074 des FBHM wurden die Gefährdungen von CFK Staub bereits beschrieben, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Es wird gegenwärtig empfohlen, die notwendigen Schutzmaßnahmen des CFK Staubs weitgehend auch für den C-Staub anzuwenden.

Anzumerken ist, dass CFK Staub eine untere Explosionsgrenze von 125 g/m³ hat (nach Gestis Stoffdatenbank [2]). Bei reinem C-Staub liegt sie noch darüber.. Mindestzündtemperatur und –energie sind relativ hoch, so dass eine Explosion nur unter extremen Bedingungen zu erwarten ist, z. B. im Bereich der Filter von Absauganlagen.

2.2 Gefährdungen durch eingesetzte Chemikalien

Gefährdungen durch die bei der Herstellung von CFK Bauteilen eingesetzten Chemikalien, wie z. B. Epoxidharz-/Härterssysteme, müssen anhand der entsprechenden Sicherheitsdatenblätter ermittelt werden.

3 Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen zur Reduktion der inhalativen und dermalen Belastung durch Fasern, partikuläre Stäube und weitere Gefahrstoffe müssen gemäß der Rangfolge nach der Gefahrstoffverordnung und den vorliegenden Gefährdungen ausgewählt werden (STOP-Strategie):

- S: Substitution
- T: technische Schutzmaßnahmen
 - Erfassung an der Entstehungsstelle
 - Raumlüftung
- O: organisatorische Maßnahmen
- P: persönliche Schutzausrüstung

Die Tabelle 3 bietet eine Dokumentationshilfe für mögliche Schutzmaßnahmen.

Sie als Arbeitgeber oder als Arbeitgeberin weisen mit einer Arbeitsplatzmessungen die Einhaltung der geltenden Staub- und Gefahrstoffgrenzwerte und die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen nach.

In der Gefährdungsbeurteilung müssen zusätzlich zu den beschriebenen Prozessschritten das Teilehandling, der Transport, die Wartungs-, Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten beurteilt werden.



Bild 9: CFK-Bauteilpresse

4 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Mögliche Auslösekriterien zur Durchführung arbeitsmedizinischer Vorsorge nach ArbMedVV [3] und TRGS 900 [4] ergeben sich aus der Gefährdungsbeurteilung und den Ergebnissen der Arbeitsplatzmessungen.

Empfehlenswert ist darüber hinaus das Angebot einer arbeitsmedizinischen Beratung und gegebenenfalls einer Untersuchung.

5 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese DGUV-Information beruht auf dem Erfahrungswissen, zusammengetragen durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Fahrzeugbau,-antriebssysteme und Instandhaltung (SG FAI) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV. Dazu gehören auch die Erkenntnisse aus dem Unfallgeschehen auf dem Gebiet der CFK-Bauteil-Herstellung, die in Zusammenarbeit mit Vertreterinnen und Vertretern der Automobilindustrie und des Maschinenbaus zusammengetragen und erarbeitet worden sind.

Die Schrift will besonders die Herstellfirmen von CFK-Bauteilen darin unterstützen, die Anforderungen an den Gesundheits- und Arbeitsschutz bei der Herstellung von CFK-Bauteilen und den speziell damit verbundenen Bedingungen umzusetzen.

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 infrage kommenden Vorschriftentexte einzusehen.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich unter anderem zusammen aus Vertretern und Vertreterinnen von Unfallversicherungsträgern, staatlichen Stellen, Sozialpartner sowie der herstellenden und betreibenden Firmen.

Diese DGUV-Information ersetzt die gleichnamige Fassung, herausgegeben als Entwurf 05/2017. Weitere DGUV-Informationen oder Informationsblätter des Fachbereichs Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [5].

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

Literatur:

- [1] DGUV-Information Nr. 074 >Bearbeitung von CFK-Materialien - Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen<, Ausgabe 10/2014, Fachbereich Holz und Metall der DGUV; c/o Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Mainz
- [2] Gestis Stoffdatenbank, Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Fachbereich 1, Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin
- [3] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 1 der Verordnung vom 15. November 2016 (BGBl. I S. 2549) geändert worden ist. (kurz: ArbMedVV).
- [4] TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ GMBI 2015 S. 1186-1189 [Nr. 60] vom 06.11.2015
- [5] 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: BMW AG

Bild 4, 5, 6, 7, 8: BENTELER - SGL Composite Technology GmbH,
Fischerstraße 8,
A-4910 Ried im Innkreis/Österreich

Bild 9: Audi AG

Herausgeber:

Fachbereich Holz und Metall der DGUV
Sachgebiet Fahrzeugbau, -antriebssysteme und Instandhaltung
c/o Berufsgenossenschaft Holz und Metall
Zur Wetterwarte 27
01109 Dresden

Herstellung von „CFK Bauteilen“ – Orientierungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung bei der Serienfertigung
 Bilder zu den speziellen Prozessschritten in Kapitel 1.4

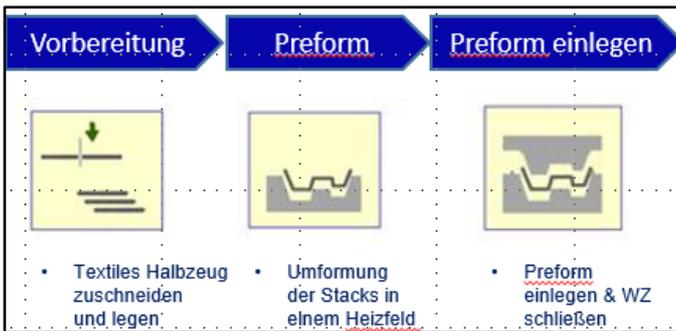


Bild 4: Spezielle Prozessschritte Preforming



Bild 6: Spezielle Prozessschritte beim Nasspressen

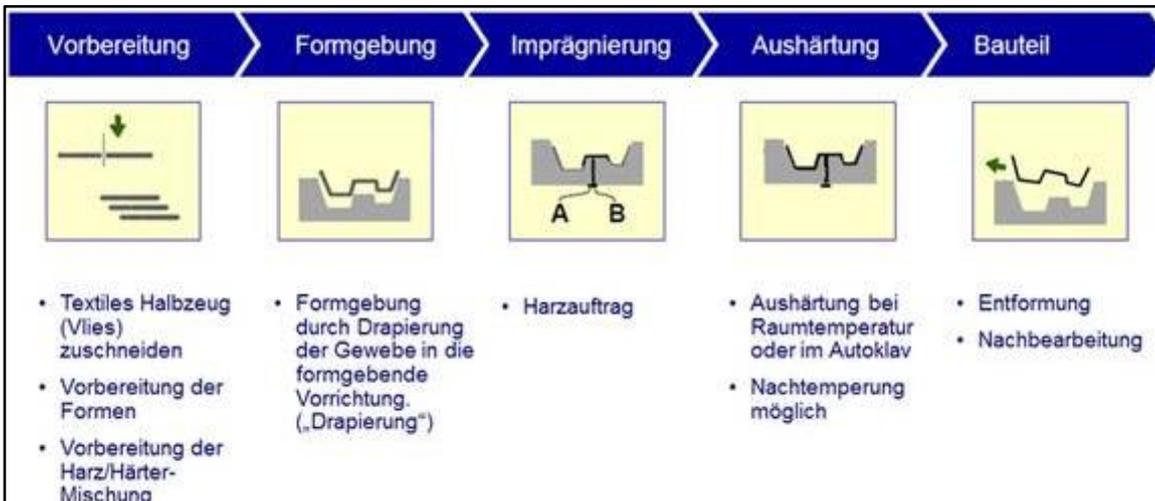


Bild 7: Spezielle Prozessschritte bei der Autoklaventechnik

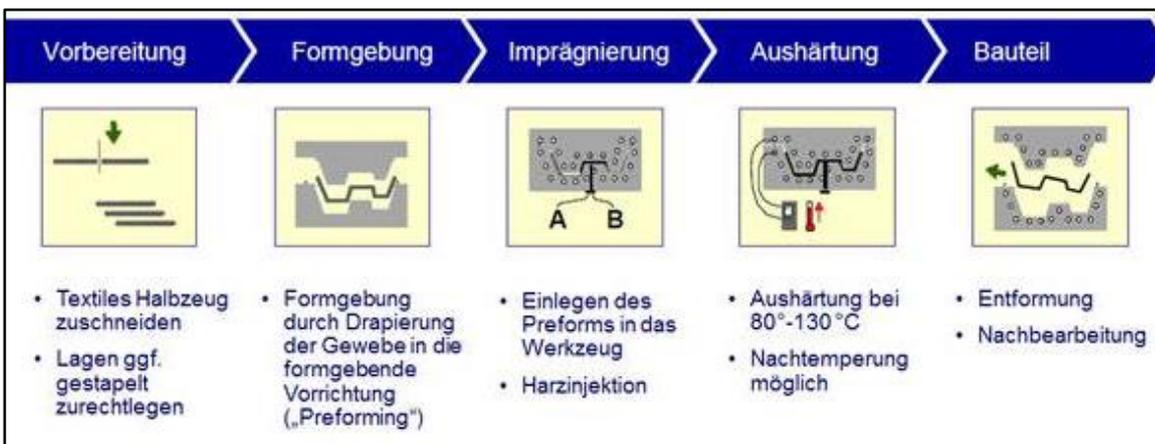


Bild 8: Spezielle Prozessschritte beim Resin Transfer Moulding (RTM)

Herstellung von „CFK Bauteilen“ – Orientierungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung

Tabelle 2, Prozessschritte beispielhaft zugeordnet zu Gefährdungen

Prozess	Prozessschritt	Mögliche Gefährdungen Die aufgeführten Gefährdungen dienen zur Orientierung. Konkrete Gefährdungen und deren Ausprägung sind im Rahmen der arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogenen Gefährdungsbeurteilung festzulegen.							
		Gefährdungen durch Gefahrstoffe inklusive Stäube und Faserstäube				Brand- und Explosionsgefährdung	Elektrische Gefährdung	sonstige Gefährdungen	
		Inhalative Belastung durch A-, E- und Faser-Staub	Inhalative Belastung durch Gefahrstoffen	Hautkontakt mit Stäuben (z. B. mechanisch irritative Effekte)	Hautkontakt mit Gefahrstoffen	Brennbare Feststoffe und explosionsfähige Atmosphäre	elektrostatische Aufladung, Lichtbögen, elektrischer Schlag	scharfkantige Teile	heiße Oberflächen
Gelegeherstellung	Gelege	+	+	+	+	+	+	-	-
Stacken	Legen	+	+	+	+	+	+	-	-
	Schneiden	+	+	+	+	+	+	-	-
	Fügen (verbinden der Lagen)	+	+	+	+	-	-	-	-
Preforming	Vorbereitung	+	+	+	+	-	+	-	-
	Preformen	+	-	+	+	-	-	-	+
Prepreg Pressen	Vorbereitung	+	+	+	+	-	-	-	-
	Formgebung und Aushärtung	-	+	-	+	+	-	-	+
	Entformung	-	+	-	+	-	-	+	+
Nasspressen	Vorbereitung	+	+	+	+	-	-	-	-
	Imprägnierung	-	+	-	+	-	-	-	-
	Formgebung und Aushärtung	-	+	-	+	-	-	-	+
	Entformung	-	+	-	+	-	-	+	+
Autoklavieren	Vorbereitung	+	+	+	+	-	-	-	-
	Formgebung	-	-	-	-	-	-	-	-
	Imprägnierung	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aushärtung	-	-	-	-	-	-	-	-
	Entformung	-	-	-	-	-	-	+	+
Resin Transfer Moulding (RTM)	Vorbereitung (Werkzeugreinigung / Trennmittelauftrag)	+	+	+	+	-	-	-	-
	Formgebung	-	-	-	-	-	-	-	-
	Imprägnierung	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aushärtung	-	-	-	-	-	-	-	-
	Entformung	-	-	-	-	-	-	+	+
Mechanische Nachbearbeitung		+	+	+	+	+	+	+	-

+ trifft in der Regel zu / - trifft in der Regel nicht zu

