

Verfahrensvielfalt für den Leichtbau

Die Hochdruck-Harzinjektionstechnik öffnet den Weg in die Serienfertigung

Das Hochdruck-Resin-Transfer-Molding (HD-RTM) etabliert sich mit unterschiedlichen Verfahrensvarianten in der Serienfertigung von faserverstärkten Bauteilen. Bei der Bauteilgestaltung und der Materialauswahl wird auf diese Weise ein breites Spektrum abgedeckt.

Im Zuge der aktuellen CO₂- und Leichtbaudiskussion hat die KraussMaffei Technologies GmbH, München, die Entwicklung des Hochdruck-Resin-Transfer-Molding (HD-RTM) in den vergangenen Jahren weiter forciert, mit dem Ziel faserverstärkte Bauteile in großen Stückzahlen zu produzieren. Die Hochdruckinjektion erlaubt es, schnell reagierende Harzsysteme zu verarbeiten. Dadurch verkürzen sich die Zykluszeiten im Vergleich zum konventionellen RTM-Verfahren deutlich. Je nach Anwendung liegt der Faservolumengehalt im Bauteil bei über 50 %.

Beim HD-RTM werden die reaktiven Komponenten im Mischkopf unter hohem Druck zusammengeführt. Der Mischkopf injiziert das Material in das

geschlossene Werkzeug, in dem sich ein Preform aus Carbon- oder Glasfasern befindet (**Bild 1**). Das Matrixharz benetzt die Fasern schnell und ohne Lufteinschlüsse. Typische Anwendungen für das HD-RTM-Verfahren sind Strukturbauteile mit geringem Gewicht, die hohe mechanische Anforderungen erfüllen. Dazu gehören beispielsweise Stoßfängerträger, Dachmodule, Seitenwände oder Crashboxen für den Fahrzeugbau.

In vielen Fällen kommt beim HD-RTM-Prozess Epoxidharz als Matrixmaterial zum Einsatz. In der letzten Zeit werden aber auch immer mehr Bauteile aus Polyurethan im HD-RTM-Prozess gefertigt. Eine weitere Alternative als Ausgangsmaterial ist Caprolactam, das im Werkzeug

zu thermoplastischem Polyamid ausreagiert.

Bei der Herstellung von Leichtbauelementen für die Automobilindustrie müssen Anforderungen wie hochglänzende Bauteiloberflächen, geringe Werkzeuginnendrucke oder die Verwendung von recycelten Carbonfasern erfüllt werden. Darüber hinaus sucht der Markt zunehmend nach kostenoptimierten Lösungen zur Herstellung 2- oder 2,5-dimensionaler Bauteile. Dies hat dazu geführt, dass sich neben dem ursprünglichen HD-RTM-Verfahren weitere Verfahrensvarianten etabliert haben. Die Besonderheiten und Vorteile dieser Verfahren werden im Folgenden dargestellt.

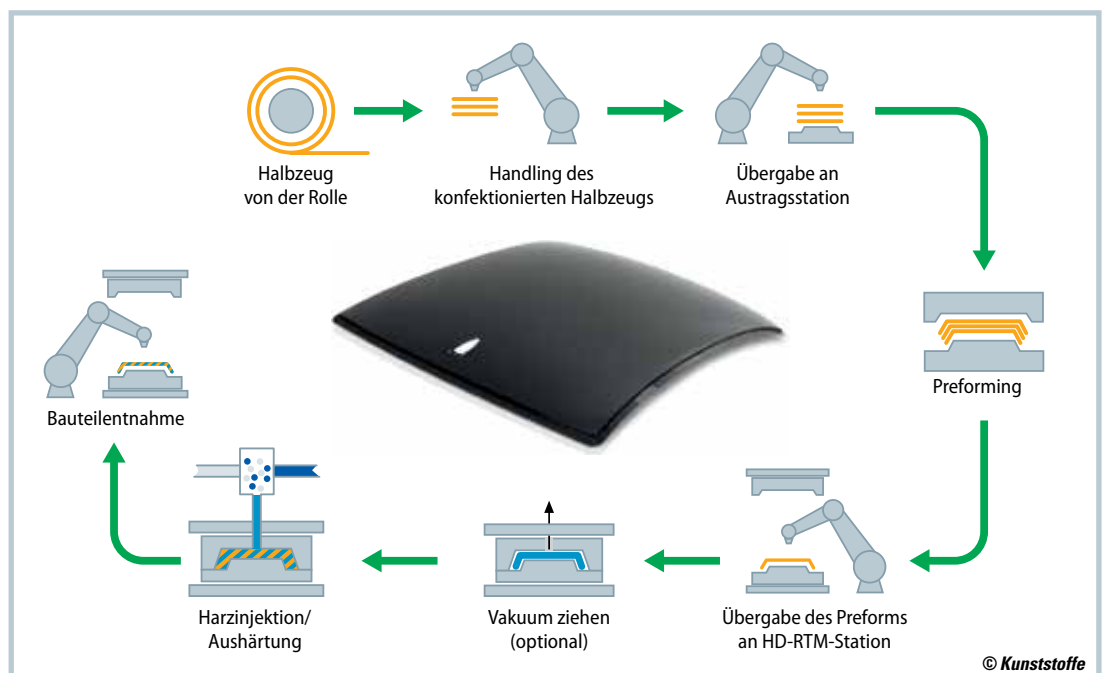


Bild 1. Strukturbauteil im Sichtbereich: Dachmodul aus Carbonfasergewebe mit EP-Harz als Matrix (Bild: KraussMaffei)

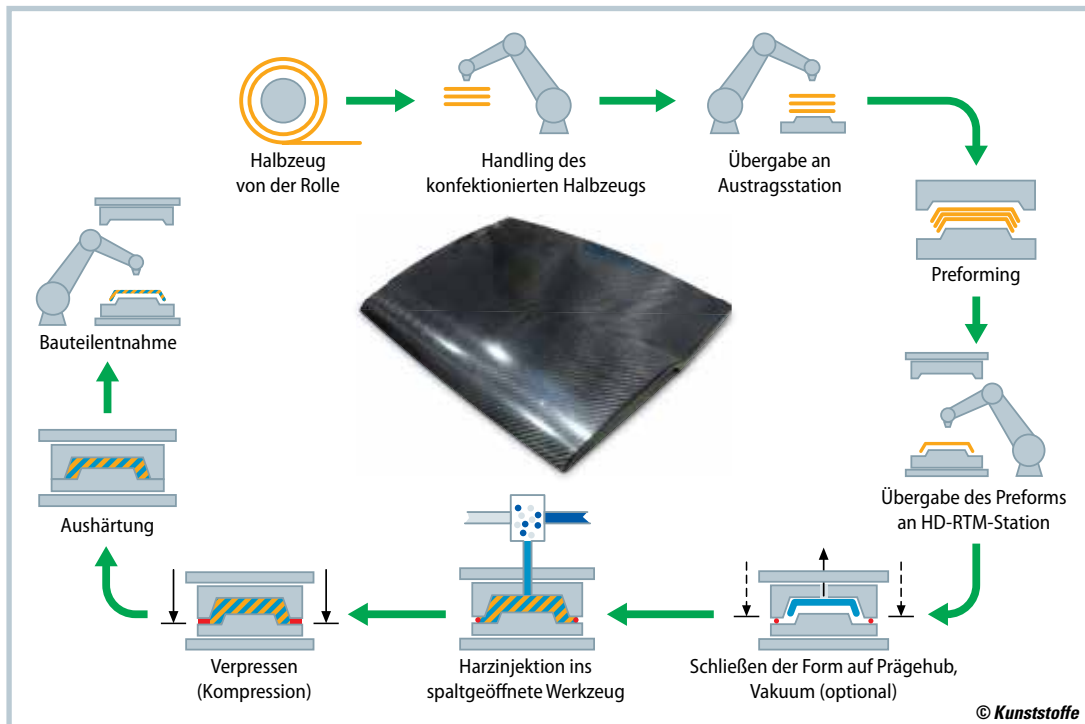


Bild 2. CFK-Serienbauteil für den Roadster R1 der Roding Automobile GmbH (Bild: KraussMaffei/Roding)

C-RTM: Geringerer Druck durch Kompressionshub

Der entscheidende Vorteil des Compression-RTM (C-RTM) besteht darin, dass während der Bauteilherstellung im Werkzeug ein geringerer Innendruck herrscht. Dies ermöglicht das Herstellen von CFK-Bauteilen unter Verwendung von geringeren Presskräften, was letztlich dazu führt, dass sich die Investition für Pressen minimiert.

Der geringe Druckaufbau beim C-RTM-Verfahren beruht darauf, dass das Werkzeug während des Harzeintrags

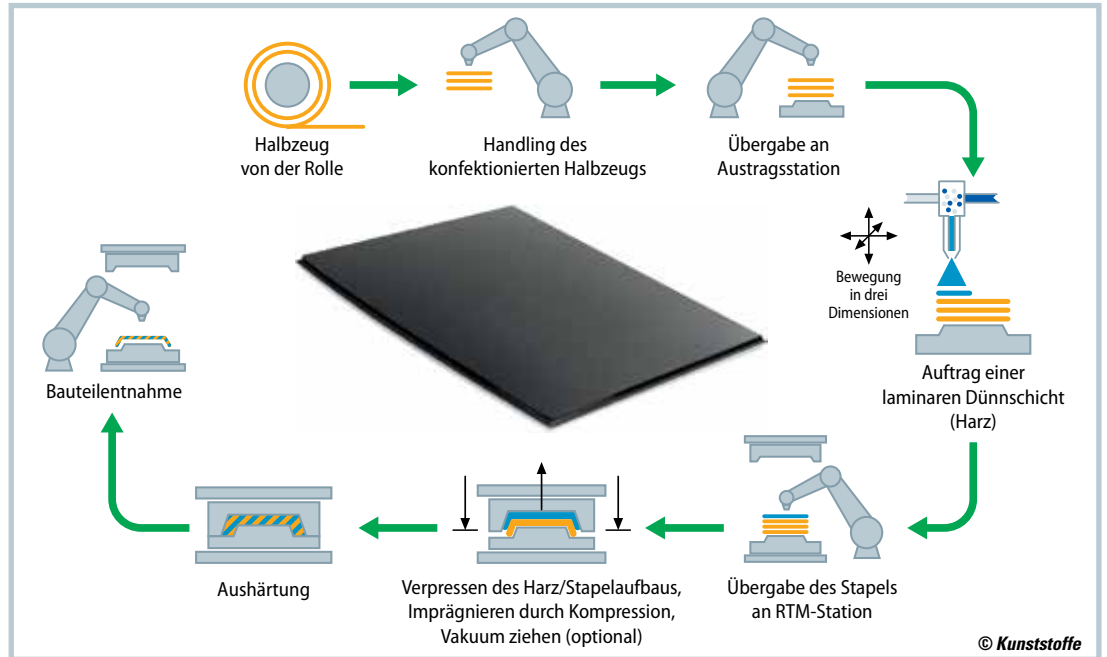
nicht vollständig, sondern nur bis auf ein definiertes Spaltmaß geschlossen ist (**Bild 2**). Das Harzgemisch wird bei einem geringeren Forminnendruck ins Werkzeug eingebracht. Dabei durchtränkt das Harz das Fasergelege bereits teilweise. Der größere Teil der Harzmenge befindet sich jedoch gewissermaßen „schwimmend“ auf dem Fasergelege. Mit einem Kompressionshub wird das Werkzeug nun vollständig bis auf Nullauflage geschlossen, sodass die Kavität der endgültigen Form des Bauteils entspricht. Der Kompressionshub bewirkt, dass das Harz in Z-Richtung durch das

Fasergelege hindurch gedrückt wird und die Fasern dabei vollständig benetzt. Nach Ablauf der Aushärtezeit kann das fertige Bauteil aus dem Werkzeug entnommen werden.

Das C-RTM kommt bereits in der Serienfertigung von Bauteilen für Kraftfahrzeuge zum Einsatz. Anwendungsbeispiele sind Sitzschalen, Dachelemente oder Motorhauben aus carbonfaserverstärktem Epoxidharz. Je nach Bauteilgeometrie wird der Kompressionshub beim C-RTM auch schon während der Harzinjektion durchgeführt.



Bild 3. Strukturbau-
teil im Sichtbereich:
Bauteil in 2,5 D,
Carbonfasergewebe
mit EP-Harz als
Matrix (Bild: KraussMaffei)



Wetmolding: Zweites Leben für Recyclingfasern

Das Wetmolding-Verfahren eröffnet weitere Möglichkeiten zur automatisierten Serienproduktion von faserverstärkten Leichtbauteilen. Ein entscheidender Vorteil des Wetmoldings ist die Verwendung von Recyclingfasern zur Bauteilverstärkung. Vor allem

bei Carbonfasern ist es betriebswirtschaftlich sinnvoll, Faserverschnitt oder Fasern, die aus fehlerhaften Bauteilen zurückgewonnen werden, in die Produktion zurückzuführen. In den Matten, die aus diesen Recyclingfasern hergestellt werden, sind die Fasern jedoch nicht wie in einem Fasergewebe gleichmäßig orientiert, sondern als Wirrfasern in einem Faservlies statistisch verteilt. Diese unregelmäßige Faseranordnung erhöht den Fließwiderstand, den die Matten dem eindringenden Harz entgegensetzen, deutlich. Das hat zur Folge, dass diese Wirrfasermatten in einer geschlossenen Kavität nicht durchtränkt werden können. Das Wetmolding bietet daher die einzige Möglichkeit zur Imprägnierung solcher ungerichteter Fasermatten.

Im Gegensatz zu den anderen HD-RTM-Varianten ist der Mischkopf beim Wetmolding nicht am Werkzeug, sondern an einer Verfahrenseinheit montiert (Bild 3). Die Recyclingfasermatte wird ohne Vorformung in flachem Zustand fixiert. Der Mischkopf ist mit einer Austragsvorrichtung ausgestattet, die eine dünne Harzschicht laminar auf den Faserstapel aufbringt. Währenddessen bewegt sich die Austragsvorrichtung bahnförmig über den Faserstapel. Sobald die Fasern mit Harz bedeckt sind, wird der Faserstapel mit der Harzschicht in ein Werkzeug transportiert und dort verpresst.

Auch bei diesem Verfahren ist der Werkzeuginnendruck niedriger im Vergleich zum HD-RTM, sodass sich die Kosten für den Werkzeugbau und die Presstechnik

entsprechend reduzieren. Die Harzmenge und die Breite der aufgetragenen Harzschicht sowie die Anzahl der Bahnen können an die Prozessanforderungen, beispielsweise an die Reaktionszeit des Harzes, angepasst werden. Die Formgebung der Fasern findet beim Wetmolding erst durch die Schließbewegung des Werkzeugs statt. Daher können komplexe Geometrien, beispielsweise Hinterschnitte, mit dem Wetmolding nicht realisiert werden.

Das Wetmolding wird bereits in der Serienproduktion eingesetzt, um Metallbauteile durch faserverstärkte Bauteile aus Epoxidharz zu ersetzen. Zu den nächsten Schritten in der Weiterentwicklung des Verfahrens gehört die Verwendung von PUR als Matrixwerkstoff.

T-RTM: Thermoplastische Bauteile aus Caprolactam

Mit dem T-RTM-Verfahren können endlosfaserverstärkte Bauteile mit thermoplastischer Matrix hergestellt werden. Grundlage des Verfahrens ist die Polymerisation von Caprolactam zu hochmolekularem PA6. Diese Reaktion findet im Werkzeug bei Temperaturen zwischen 140 und 160°C statt. Im Vergleich zu Bauteilen mit einer duroplastischen Matrix haben die T-RTM-Bauteile mehrere Vorteile. So können sie im Anschluss an die eigentliche Formgebung umgeformt oder verschweißt werden. Darüber hinaus kann am Ende des Produktlebenszyklus ein werkstoffliches Recycling

Die Autoren

Dipl.-Ing. Josef Renkl ist Leiter Forschung und Entwicklung im Segment Reaktionstechnik von KraussMaffei; Josef.Renkl@kraussmaffei.com

Dipl.-Ing. Sebastian Schmidhuber ist Gruppenleiter Entwicklung im Segment Reaktionstechnik von KraussMaffei; Sebastian.Schmidhuber@kraussmaffei.com

Erich Fries ist Leiter Business Unit Composites/Surfaces im Segment Reaktionstechnik von KraussMaffei; Erich.Fries@kraussmaffei.com

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1045690

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

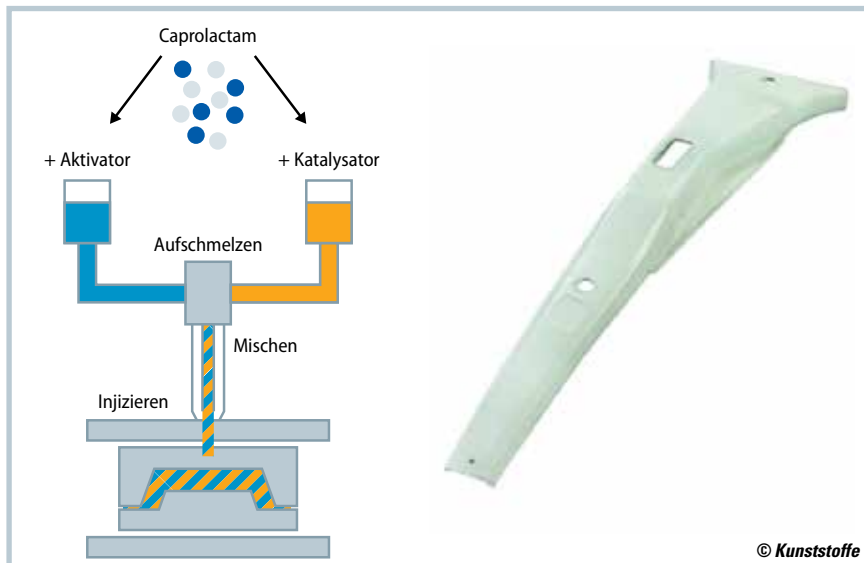


Bild 4. B-Säulenverstärkung: thermoplastisches FVK-Bauteil GF-PA 6 (Bild: Volkswagen)

des faserverstärkten Polyamids durchgeführt werden. Aus verfahrenstechnischer Sicht ist vor allem die sehr niedrige Viskosität des Ausgangsmaterials Caprolactam vorteilhaft. Sie gewährleistet eine hervorragende porenfreie Tränkung der Faserhalbzeuge – auch bei sehr hohen Fasergehalten und komplexen Geometrien.

Im Rahmen eines gemeinschaftlichen Projekts von Volkswagen und KraussMaffei wurde eine B-Säulenverstärkung mit dem T-RTM-Verfahren hergestellt (**Bild 4**). Das dickwandige Strukturbauteil dient der Energieaufnahme im sogenannten Pfahl-Crash-Test. Sowohl für die Geometrie als auch für die große Wanddicke des Bauteils stellte sich die Verwendung des Reaktiv-Polyamid-Systems als sehr vorteilhaft heraus. Im Vergleich zu der bisher in der Serienproduktion eingesetzten B-Säulenverstärkung aus hochfestem Stahl konnte das Gewicht dieses Bauteils um 36% reduziert werden. Der Faservolumengehalt liegt zwischen 54 und 58%.

Die Anlagentechnik des T-RTM-Verfahrens ist exakt auf die reaktive Verarbeitung von Caprolactam zugeschnitten.

Die Komponenten werden in durchgehend beheizten Leitungen vom Tagesbehälter bis zum Mischkopf transportiert.

Surface-RTM: Lackierfähige Oberflächen ohne Nachbearbeitung

Das Surface-RTM-Verfahren eignet sich für die Produktion faserverstärkter Sichtbauteile. Bereits im Werkzeug wird die Bauteiloberfläche mit einer lackierfähigen PUR-Schicht überflutet. Diese PUR-Schicht gleicht Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche des faserverstärkten Bauteils aus. Das Bauteil kann daher nach der Entnahme aus dem Werkzeug ohne weitere manuelle Zwischenschritte lackiert werden. Dies führt zu deutlichen Kostenvorteilen im Vergleich zu faserverstärkten Bauteilen, die keine faserfreie Deckschicht aufweisen. Die Oberflächen solcher Bauteile müssen von Hand vorbehandelt werden, bevor das Lacksystem aufgetragen werden kann.

Beim Surface-RTM injiziert der Mischkopf zunächst das PUR-Gemisch für das Trägerbauteil, dabei werden die Fasern vollständig

benetzt (**Bild 5**). Der erste Schritt entspricht dem normalen HD-RTM bzw. C-RTM-Prozess. Sobald die PUR-Matrix ausgehärtet ist, öffnet sich das Werkzeug bis auf ein definiertes Spaltmaß. Zwischen der Oberfläche des Bauteils und der Werkzeugoberfläche entsteht dadurch ein Spalt, der nun mit dem zweiten PUR-System gefüllt wird. Dieses Material bildet die lackierfähige Oberfläche des faserverstärkten Bauteils. Die Schichtdicke des Oberflächenmaterials hängt von der Bauteilgeometrie und vom Aufbau der Faserlagen ab. Sie kann beispielsweise im Bereich zwischen 0,15 und 0,2mm liegen.

Das Surface-RTM-Verfahren wurde auf der K2013 am Beispiel des Dachsegements für den Sportwagen Roding Roadster R1 präsentiert. Die Fläche dieses Bauteils liegt bei etwa 0,45m², der Faservolumenanteil beträgt 50%. Inzwischen wird die Serienanwendung des Verfahrens an Bauteilen mit größeren Abmessungen, beispielsweise an Dachelementen für Mittelklasse-Pkw, in Industrieprojekten erprobt.

Fazit

Die vorgestellten Varianten des HD-RTM-Verfahrens decken unterschiedliche Bauteil- und Prozessanforderungen ab. Beim C-RTM reduziert der relativ niedrige Werkzeuginnendruck die Investitionskosten für die Presse. Das Wetmolding ermöglicht es, Rezyklatfasern zu verarbeiten und führt damit zu einer effizienteren Materialnutzung. Im T-RTM-Verfahren hergestellte Bauteile bestehen aus einer thermoplastischen Matrix, daher sind sie zum Beispiel recycelfähig und gegebenenfalls verschweißbar. Das Surface-RTM-Verfahren erzeugt lackierfähige Oberflächen und eignet sich vor allem für faserverstärkte Sichtbauteile. Die Varianten werden in den unterschiedlichsten Industrien und Anwendungen eingesetzt. Heute befinden sich weltweit mehr als 50 HD-RTM-Maschinen von KraussMaffei im Einsatz. ■

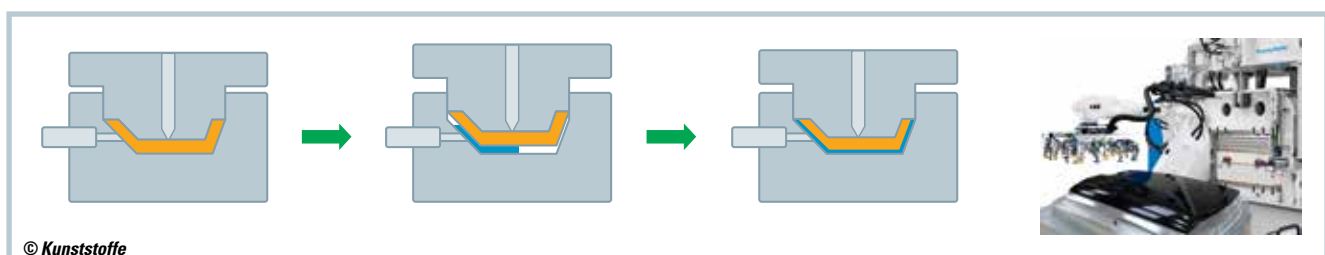


Bild 5. Das carbonfaserverstärkte Bauteil auf Basis einer Polyurethanmatrix ist sofort lackierfähig, da sich die Faserstruktur nicht auf der Oberfläche abzeichnet (Bild: KraussMaffei)