



Das karbonfaserverstärkte Dach des Leichtbau-Sportwagens Roding Roadster R1 als Publikumsmagnet auf der K2013. Es kommt mit Polyurethanmatrix (PUR) in hoher Brillanz, absolut glatt und somit direkt lackierfähig aus der Maschine  
(Bilder: KraussMaffei)

## Bereit zum Lackieren

**Surface-RTM-Verfahren.** Mit dem neu entwickelten Surface-RTM-Verfahren lassen sich faserverstärkte Sichtbauteile für den Fahrzeugbau lackierfähig und kostengünstig in der Großserie herstellen. Durch Überfluten der Surface-RTM-Bauteiloberfläche mit einer PUR-Schicht direkt in der Kavität, entstehen lackierfähige Bauteile, ohne dass weitere Zwischenschritte erforderlich sind.

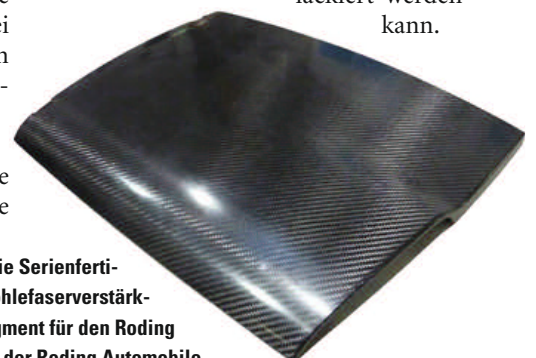
**JOSEF RENKL  
SEBASTIAN SCHMIDHUBER  
ERICH FRIES**

Eine Produktionszelle zur automatisierten Herstellung von carbonfaserverstärkten Bauteilen aus PUR, die KraussMaffei im Live-Betrieb auf der K2013 in Düsseldorf präsentiert hat, avancierte zu einem der Publikumsmagneten. Die Besonderheit des Exponats: Direkt aus dem Werkzeug lassen sich Bauteile mit bereits lackierfähiger Oberfläche entnehmen.

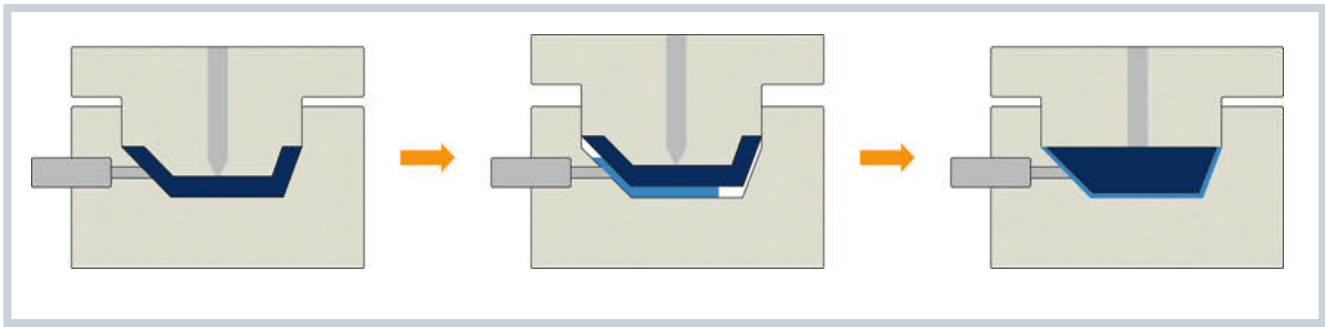
**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU111621

An einem schnittigen Leichtbausportwagen, dem Roding Roadster R1 demonstrierte das Münchner Traditionsunternehmen das Potenzial der erstmals vorgestellten Verfahrensvariante Surface Resin Transfer Molding (**Titelbild**). Dabei infiltriert das Reaktionsharz zunächst den Faser-Preform im Werkzeug im sogenannten Compression-RTM-Verfahren. Nach der Aushärtung der Matrix wird im zweiten Schritt das Werkzeug auf eine festgelegte Spaltweite geöffnet, sodass die Bauteiloberfläche direkt in der Kavität mit einer zusätzlichen PUR-Schicht überflutet werden kann. Diese PUR-Schicht gleicht

etwaige Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche des faserverstärkten Bauteils aus, damit das Bauteil ohne weitere Zwischenschritte oder Nachbehandlung lackiert werden kann.



**Bild 1. Für die Serienfertigung: ein kohlefaserverstärktes Dachsegment für den Roding Roadster R1 der Roding Automobile**



**Bild 2. Schema des Surface-RTM-Verfahrens: links: Herstellung des faserverstärkten Bauteils, Mitte: Öffnen des Werkzeugs und Injektion der PUR-Oberflächenschicht, rechts: faserverstärktes Bauteil mit lackierfähiger Oberfläche**

Die Dosieranlagen und die Mischköpfe arbeiten beim Surface-RTM-Verfahren im Hochdruckbereich. Auf diese Weise können schnell reagierende Matrixharze eingesetzt werden. Dies verkürzt die Zykluszeiten auf 5 bis 7 min, sodass mit dem Surface-RTM-Verfahren große Stückzahlen produziert werden können. Der hohe Faseranteil von 50 Vol.-% im Trägerbauteil gewährleistet exzellente mechanische Eigenschaften bei geringem Bauteilgewicht.

### Ausnahmefahrzeug als Beispiel

Anschaulich wurde das neue Verfahren am Roding Roadster R1. Das Ausnahmefahrzeug demonstriert mit einem Gewicht von 950 kg, einer Leistung von 320 PS und einem Kohlenfaseranteil von 120 kg eindrucksvoll das Potenzial des modernen Leichtbaus. Hersteller ist die Roding Automobile GmbH aus dem niederbayerischen Roding. Die Auto-Manufaktur ist auf die Entwicklung und Fertigung von Leichtbaustrukturen aus kohlenfaserverstärktem Kunststoff speziali-

siert. Das Dachsegment besteht aus einem CFK-Endlosfasergelege in quasi-isotroper Anordnung, das in eine PUR-Matrix eingebettet ist (Bild 1). Die Fläche liegt bei etwa 0,45 m<sup>2</sup> und der Faservolumenanteil bei 50 %. Als Matrixwerkstoff kommt in der KraussMaffei-Anlage ein PUR-System der Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf, zum Einsatz. Die spezielle Oberflächenbeschichtung bildet ein aliphatisches, UV-beständiges PUR-System der Rühl Puomer GmbH, Friedrichsdorf.

Der Produktionszyklus beginnt mit der Preformherstellung, die die Firma Dieffenbacher GmbH Maschinen- und Anlagenbau, Eppingen, durchführt (siehe Kasten „Preforming“, S. 88). Sobald der Preform in das Werkzeug eingelegt ist, wird der Formenträger geschlossen und die Kavität evakuiert. Während das PUR-Gemisch für das Trägerbauteil injiziert wird, ist das Werkzeug auf ein definiertes Spaltmaß geöffnet. Dadurch lässt sich das Harzgemisch mit relativ geringem Druck in das Werkzeug eintragen. Teilweise durchtränkt das Harz das Fasergelege dabei bereits, der größte Teil der Harzmen-

ge befindet sich jedoch gewissermaßen „schwimmend“ über den Fasern. Nach dem Materialaustrag wird das Werkzeug geschlossen, sodass das Harz durch das Fasergelege hindurch gepresst wird und die Fasern dabei vollständig benetzt.

Nach einer kurzen Reaktionszeit ist die PUR-Matrix ausgehärtet und die Werkzeughälften werden erneut bis auf ein de-

**i Kontakt**

**KraussMaffei Technologies GmbH**  
**D-80997 München**  
**TEL + 49 89 88 99 0**  
**→ [www.kraussmaffei.com](http://www.kraussmaffei.com)**

finiertes Spaltmaß auseinander gefahren. Zwischen der Oberfläche des Bauteils und der Werkzeugoberfläche entsteht dadurch ein kleiner Spalt, der nun mit dem zweiten PUR-System gefüllt wird (Bild 2). Auf diese Weise bildet sich eine lackierfähige PUR-Schicht über das faserverstärkte Bauteil. Die Schichtdicke des Oberflächenmaterials hängt von der Bauteilgeometrie und vom Aufbau der Faserlagen ab. Sie kann beispielsweise im Bereich zwischen 0,15 und 0,2 mm liegen.

Das auf der K2013 eingesetzte Werkzeug wurde vom Projektpartner Alpex Technologies GmbH, Mils bei Hall/Österreich, hergestellt und verfügt über eine spezielle Dichtungstechnik, damit auch bei leicht geöffnetem Werkzeug und dem gezeigten zweistufigen Prozess ein Vakuum angelegt werden kann. Mit einer gezielten Entlüftungssteuerung wird die Beschichtung im Werkzeug vollflächig ohne Lufteinschlüsse ausgeführt. Eine ausgefeilte integrierte Sensorik überwacht und regelt die optimale Formfüllung und gibt online Auskunft über die Teilequalität. Das Werkzeug ist mit einem Auswerfersystem ausgestattet, das die Entformung mit einem Roboter und Greifersystem unter-

**! Nachbearbeitung von faserverstärkten Bauteilen**

Damit faserverstärkte Bauteile an den Kanten hohen mechanischen Belastungen standhalten, muss der Faseranteil auch in diesen Randbereichen gleichbleibend hoch sein. Verfahrenstechnisch ist es daher entscheidend, den Faserüberstand an den Bauteilkanten im Anschluss an die Bauteilherstellung abzutrennen.

Für das robotergestützte Fräsen von faserverstärkten Kunststoffbauteilen bietet KraussMaffei ausgereifte und serientaugliche Lösungen an. Diese werden im Kompetenzzentrum am KraussMaffei-Standort Viersen in Nordrhein-Westfalen entwickelt. Der Standort ist spezialisiert auf Stanz- und Frästechnik zur Konfektionierung von Kunststoffbauteilen. Dort hat ein Projektteam für einen Premium-OEM tausende Teile in Großversuchen bearbeitet, die inzwischen verbaut und auf den Straßen unterwegs sind. „Für uns war das Projekt ein optimaler Einstieg, um Erfahrung mit den verschiedenen Fräsertypen zu sammeln. Der beste Weg, um Standzeiten und die optimale Werkzeugauslegung zu ermitteln, ist, möglichst viele Bauteile zu bearbeiten“, konstatiert Werkleiter Udo Hafer.

Die Roboterfräszellen gewährleisten eine präzise Nachbearbeitung komplexer Bauteile bei kurzen Taktzeiten und hoher Wiederholgenauigkeit. Für die Bauteile mit Kohlenfaserverstärkung kommen speziell entwickelte Fräswerkzeuge zum Einsatz, bei denen die Standzeit deutlich erhöht ist. Die Kosten der Nachbearbeitung werden dadurch deutlich gesenkt.

stützt. Nach der Entnahme aus dem Werkzeug kommt das Bauteil zunächst auf eine Abkühllehre, die den Bauteilverzug beim Abkühlen verhindert und die Maßhaltigkeit sicherstellt. Nach diesem Schritt geht das Bauteil in eine Frässtation, in der der Faser- und Harzüberstand entfernt wird (siehe Kasten „Nachbearbeitung von faserverstärkten Bauteilen“, S. 87).

### Neu entwickelter Formenträger

Das Werkzeug befindet sich im ergänzend neu entwickelten RTM-Formenträger der KraussMaffei Technologies GmbH, München, der eine Schließkraft von 3800 kN aufbringt (Bild 3). Mit einer Aufspannfläche von 1300 × 1300 mm und einem Parallelhub von 250 mm eignet sich der Formenträger hervorragend für großflächige Bauteile für automobiler Außenanwendungen mit einer Größe von etwa 1 m<sup>2</sup>. Das gute Gleichlaufverhalten während des Schließvorgangs sichert eine hohe Bauteilqualität bei hoher Prozesssicherheit. Durch die präzise Plattenparallelität wird ein exakt reproduzierbarer Spalt gebildet, sodass die PUR-Beschichtung sich gleichmäßig auf der Bauteiloberfläche verteilt. Da das Oberteil des Werkzeugträgers schwenkbar ist, können das Bedienpersonal oder die Handlinggeräte ergonomisch günstig von drei Seiten in den Werkzeugbereich eingreifen.



**Bild 3. Der neue RTM-Formenträger in CFT-Bauweise mit einer Schließkraft von 3800 kN garantiert kurze Prozesszeiten durch schnelle Schließbewegungen**

Die Aufbereitung der PUR-Komponenten für das Matrixmaterial und für das Beschichtungssystem übernehmen bei der Anlage auf der K2013 zwei Dosiermaschinen vom Typ RimStar Nano (Bild 4). Die Anlagen punkten mit speziell vakuumunterstützten Tanksystemen und sind mit einer energieeffizienten, sehr genauen Temperaturregelung mit konstantem Arbeitspunkt bis zum Mischkopf ausgestattet. Die Pumpen der RimStar-Nano-Dosiermaschinen sind als verschleißoptimierte Eigenbau-Aggregate ausgeführt, sodass je nach Maschinenkonzept die dauerhafte Prozesssicherheit bei allen gängigen Matrixsystemen wie

PUR, Polyamid und Epoxydharz gewährleistet ist. Das Trägermaterial wurde mit einer RimStar Nano 8/8 dosiert und mit einem Mischkopf MK-5/8-2K 80 in das Werkzeug eingebracht. Für das Oberflächenmaterial kam aufgrund der relativ kleinen Durchsatzmengen eine Dosiermaschine RimStar Nano 4/4 und ein Mischkopf MK-5/8-2K 40 zum Einsatz.

### Änderung der Austragsmenge durch Variodüse

Beide Mischköpfe arbeiten nach dem Umlenkprinzip, d. h., das Auslaufrohr ist in einem Winkel von 90° zur Mischkammer angeordnet. Die Komponenten werden im Hochdruckverfahren nach dem Gegenstrominjektionsprinzip vermischt, über einstellbare Düsen erfolgt die Hoch-

### ! Preforming

Beim sogenannten Preforming wird ein trockener Vorformling (Preform) aus vorkonfektionierten Halbzeugen und einem Binder hergestellt. Bisher wurde dieser Prozessschritt in vielen Fällen manuell oder nur teilweise automatisiert durchgeführt. Die vollautomatische Preform-Herstellung ist ein entscheidender Schritt bei der Großserienproduktion von CFK-Bauteilen für die Automobilindustrie. Durch die Erhöhung der Produktivität reduzieren sich die Herstellungskosten des Preforms deutlich. Die vollautomatische Produktion verkürzt die Zykluszeiten bei der Preformherstellung. Darüber hinaus können die Preforms mit hoher reproduzierbarer Qualität hergestellt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass Fasermaterial eingespart wird, da weniger Verschnitt anfällt.

Zu Beginn des Fertigungsprozesses wird das als Rollenware angelieferte trockene Halbzeug entsprechend der Bauteilform zugeschnitten. Sobald die einzelnen Lagen in der gewünschten Lage angeordnet sind, werden sie mit einem thermoplastischen Binder fixiert. Dadurch erhalten die Preforms eine ausreichende Eigensteifigkeit, um mit dem Roboter weitertransportiert zu werden. Die Fixierung der Fasern verhindert außerdem Fehler im Bauteil, wie Harzester und Verwerfungen.

Im nächsten Schritt transportiert ein Roboter mit Nadelgreifern die Preforms in das geöffnete RTM-Werkzeug. Durch die mittelbare Kopplung von Preform-Herstellung und Surface-RTM-Verfahren entfällt der logistische Aufwand für die Zwischenlagerung der Preforms.



**Bild 4. Dosiermaschine RimStar Nano in RTM-Ausführung zur Herstellung von Composites mit PUR, PA oder EP-Matrix**



**Bild 5. Flexibel punktet: Mit den patentierten Variodüsen lässt sich die Austragsmenge bei konstantem Druck und gleichbleibender Mischqualität während des Schusses verändern**

druckrezirkulation. Alle Komponenten strömen synchron mit dem Öffnungshub des Steuerkolbens in die Mischkammer ein. Mit einem Düsenbaustein am Mischkopf kann internes Trennmittel auch in sehr kleinen Mengen sowohl präzise als auch reproduzierbar zudosiert und eingemischt werden. Durch den Einsatz der patentierten Variodüsen lässt sich die Austragsmenge ohne Druckänderung oder Einbuße der Mischqualität während des Schusses verändern (Bild 5). Der Umlenkmischkopf für das Beschichtungsmaterial ist zusätzlich mit einer Ausblasvorrichtung ausgestattet, die in der Mischkammer einen Unterdruck erzeugen oder alternativ Luft in die Mischkammer einbringen kann.

## Fazit

Aufgrund der kurzen Zykluszeiten von wenigen Minuten lassen sich mit dem Surface-RTM-Verfahren faserverstärkte Sichtbauteile mit hochwertigen, lackierfähigen Oberflächen in großen Stückzahlen produzieren. Kostenvorteile liegen bei bis zu 60 % pro Bauteil, da eine aufwendige Nachbearbeitung wegfällt. Die Nachfrage nach dieser Technologie ist seit der Vorstellung auf der Messe groß. So werden bereits intensive Gespräche mit OEMs und Zulieferern geführt, die das Verfahren für die Großserie nutzbar machen wollen. ■

## DIE AUTOREN

DIPL.-ING. JOSEF RENKL, geb. 1954, ist Leiter Forschung und Entwicklung im Segment Reaktionstechnik von KraussMaffei.

DIPL.-ING. SEBASTIAN SCHMIDHUBER, geb. 1978, ist Gruppenleiter Entwicklung im Segment Reaktionstechnik von KraussMaffei.

ERICH FRIES, geb. 1973, ist Leiter Business Unit Composites/Surfaces im Segment Reaktionstechnik von KraussMaffei.

## SUMMARY

### READY FOR PAINTING

**SURFACE-RTM PROCESS.** The newly developed surface RTM process allows fiber-reinforced visible parts with paintable surfaces for automotive construction to be inexpensively produced in large series. By flood-coating the surface-RTM part with a PU layer directly in the cavity, paintable components can be produced without further intermediate steps.

*Read the complete article in our magazine*

**Kunststoffe international** and on

[www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)