

Im neu entwickelten Verfahren werden die gebündelten Endlosfasern mithilfe eines Roboters abgelegt und klebfixiert (Fotos: KVB)

# Klebfixieren von Rovings erhöht die Belastbarkeit

**Faserverbundwerkstoffe** sind im Leichtbau weiter auf dem Vormarsch. Wichtiges Kriterium bei der Konstruktion des Bauteils ist die Anordnung der Fasern in Belastungsrichtung. Einzelne Faserrovings in Krafrichtung abzulegen, wird bisher jedoch kaum angewendet. Ein neues Verfahren erleichtert dies, indem ein Roboter die Kraftlinien abfährt und die Fäden mit einem Kaltklebesystem fixiert.

**ECKART KÜHNE U. A.**

**F**aserverbundkunststoffe, insbesondere kohlefaserverstärkte Kunststoffe, sind bewährte Werkstoffe für den extremen Leichtbau [1, 2]. Die Fertigung faserverstärkter Bauteile gliedert sich in der Preformtechnik grundsätzlich in die Prozesse Faserablage und Harztränkung sowie Verpressen einschließlich Aushärtung. Je nach gewähltem Verfahren sind die Prozesse des Ablegens und Tränkens in unterschiedlicher zeitlicher Reihenfolge angeordnet:

- direkte Faserablage mit gleichzeitiger Harztränkung im Werkzeug (z. B. im Wickel- und Handlaminierverfahren),
- Herstellung eines trockenen Preforms, Einlegen in ein Werkzeug und anschließende Harzinfiltation oder

- dem Schichtaufbau- und Ablageprozess vorgeschaltete Harzinfiltation der Fasern (Prepregverfahren); im letzten Schritt wird das Bauteil jeweils verpresst und ausgehärtet.

## Einfluss auf die Bauteileigenschaften

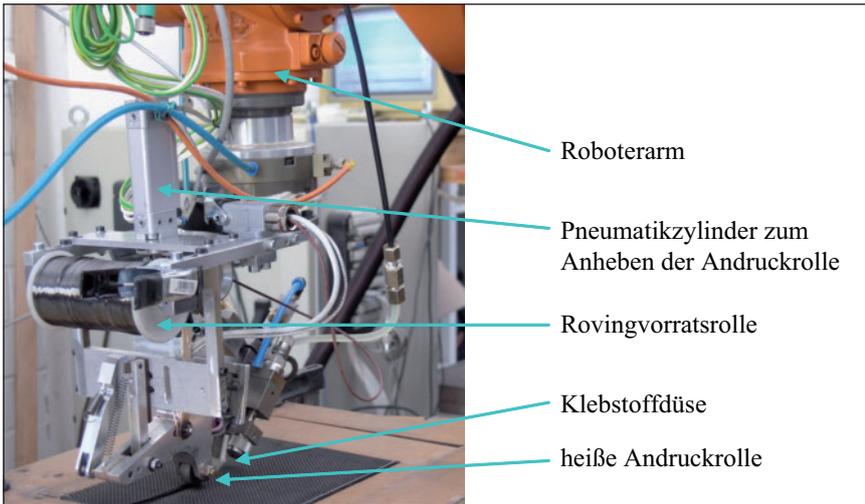
Die Herstellung flächiger ebener Bauteile, die Biege-, Zug- und Druckbelastungen standhalten müssen, stellt den Standardfall dar und genügt vielen Anforderungen. Die Ablage der Fasern und deren Tränkung mit Harz kann nach den genannten Verfahren abwechselnd, gleichzeitig oder nacheinander erfolgen [3, 4]. Das abschließende Verpressen auf Nennstärke gewährleistet exakte Geometrien und einen hohen Faservolumenanteil. Dreidimensional geformte (3D) Bauteile können in gewissen Grenzen ebenfalls mit flächigen Geweben und Gelegen her-

<b>i</b>	<b>Institut</b>
<p><b>Institut für Konstruktion und Verbundbauweisen KVB e. V.</b>  <b>Annaberger Str. 240</b>  <b>D-09125 Chemnitz</b>  <b>Tel. +49 371 5347-520</b>  <b>Fax +49 371 5347-523</b>  <b>info@kvb-chemnitz.de</b>  <b>www.kvb-chemnitz.de</b></p>	

gestellt werden, jedoch sind Faltenbildung und Abweichungen der Faserorientierung von der Belastungsrichtung oftmals unvermeidbar. Abhilfe schaffen 3D-Preforms, die als Halbzeug vorgefertigt und anschließend mit Harz infiltiert werden [5–7].

Die Faserorientierungen in den Laminatlagen bestimmen die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des Verbunds. ▶

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
 Dokumenten-Nummer KU110142



**Bild 1.** In der Kaltklebeeinrichtung wird der Roving durch eine Fadendüse an den Preform herangeführt

Bei optimaler Auslegung eines Bauteils sind die Fasern gestreckt in Belastungsrichtung angeordnet, Abweichungen von mehr als 3° erweisen sich dabei häufig als eigenschaftsmindernd. Insbesondere bei mehrschichtigen Spannungszuständen stellt der Lagenaufbau im Verbund häufig einen Kompromiss dar. Die gezielte Ablage einzelner Rovings ist daher ein notwendiger Schritt zur besseren Auslastung der Hochleistungsfasern.

Belastungsgerecht ausgelegte Preforms mit gebündelten Endlosfasern werden zurzeit mit verschiedenen Nähtechniken, die jedoch keine optimalen Lösungen darstellen, gefertigt. Industriell angewendet werden Näh- und Stickverfahren, bei denen entweder flächige Halbzeuge miteinander vernäht werden oder Rovings einzeln und belastungsgerecht abgelegt sowie durch Übersticken auf der Preformlage befestigt werden. Letzteres ist als das TFP-Verfahren (tailored fiber placement) bekannt [8–12]. Demgegenüber steht das FPP-Verfahren (fiber patch preform), bei dem der abzulegende Roving in einer Vorstufe mit thermoplastischen

Klebstoff dünn beschichtet und in Stücke geschnitten wird [13]. Eine weitere Möglichkeit ist, die gebündelten Endlosfasern mithilfe von thermoplastischen Fäden zu fixieren [14].

### Zusätzliche Verstärkungslagen belastungsgerecht auslegen

In der Natur sind häufig Faserverbundstrukturen anzutreffen, deren Geometrie und Faserverstärkung optimal an die entsprechende Belastung angepasst ist. Beispiele hierfür sind Bäume, Gräser und Knochen. Daran angelehnt hat das Institut für Konstruktion und Verbundbauweisen KVB e. V., Chemnitz, ein neuartiges Verfahren zur Fertigung von 3D-Preforms mit zusätzlicher Verstärkung entwickelt. Die Untersuchungen haben zum Ziel, Rovings durch punktuellen Kleben zu fixieren und damit störstellenarme belastungsgerechte Preforms mit anspruchsvoller integraler 3D-Kontur herstellen zu können. Die bisher getrennt ablaufenden Fertigungsstufen der Preformherstellung als flächenförmige Halbzeuge

und der Herstellung fertiger Bauteile werden verfahrenstechnisch neu strukturiert. Einzelschritte, wie Drapieren, Positionieren, Imprägnieren, Pressen, Härten, Entformen und Nachbearbeiten, fließen in diese Strukturierung mit ein. In Zukunft soll so eine reproduzierbare Spitzenqualität in der Serienfertigung möglich sein.

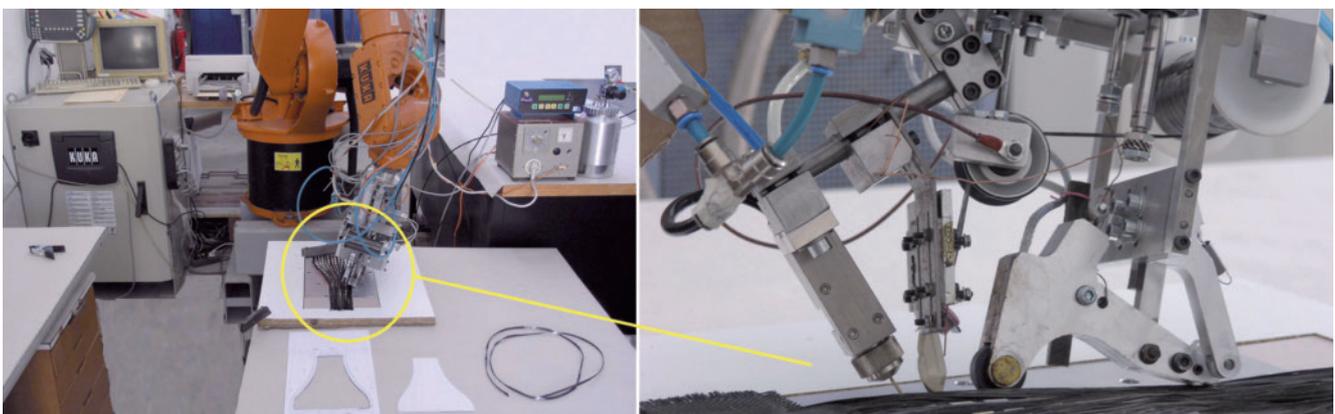
Im neu entwickelten Verfahren legt ein Roboter die gebündelten Endlosfasern in einer begrenzten Lagenanzahl ab und trägt dabei mit einem Kaltklebesystem die fixierenden Klebepunkte auf (Titelbild). Das System ist aufgebaut aus

- einem kleinen Druckbehälter, der den flüssigen Klebstoff enthält,
- einem dünnen, flexiblen und platzsparenden Schlauch, der die Bewegungsfreiheit nicht einschränkt und den Klebstoff transportiert und
- einem pneumatisch betätigten Sprühkopf.

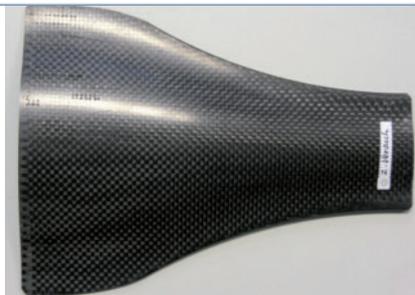
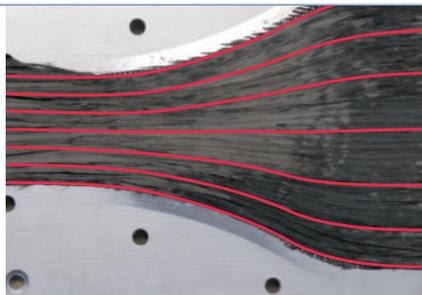
Zu Beginn wird der Roving zur Ablage auf der Unterlage von der Vorratsspule durch eine Fadendüse geleitet (Bild 1). Die Düse bewegt sich entlang der Bahn, auf der der Roving in der fertigen Preform abgelegt werden soll. An relevanten Stellen wird zwischen Roving und Bauteil ein kleiner Klebepunkt eingespritzt. Eine heiße Rolle drückt die Fasern an die Unterlage und bewirkt ein schnelles Verdunsten des Lösungsmittels (Bild 2). Wenn alle Rovings entsprechend dem Kraftlinienverlauf fixiert sind und die Preform fertig aufgebaut ist, wird das Bauteil infiltriert und verpresst (Bild 3).

### Klebstoffsysteme im Vergleich

Zum Kleben wird ein sprühfähiger harzverträglicher Klebstoff eingesetzt. Bei einigen industriell angebotenen Kaltklebstoffen ist jedoch die Klebewirkung durch den hohen Lösemittelanteil so stark herabgesetzt, dass eine lange Abdunstungszeit erforderlich ist, ehe der Roving an der



**Bild 2.** Der Roving wird in der Schwalbenschwanz-Form abgelegt und schrittweise durch Platzieren des Fadens, Klebstoffsprühen und Andrücken fixiert



**Bild 3.** Im linken Bild sind die Rovings entsprechend dem schematischen Kraftlinienverlauf positioniert, daneben das harzinfilierte Fertigteil in Vorder- und Seitenansicht

Kriterium	Klebfixieren nach F&E-Projekt	Näherfahren mittels TFP	Klebfixierung mittels FPP
Anzahl der Rovinglagen	max. fünf	Kompletteil aus abgelegten Rovings herstellbar	Kompletteil aus abgelegten Rovings herstellbar
Festigkeit der Fixierung	Rovings nur angeheftet	Roving fest fixiert	Roving fest fixiert
Exaktheit der Rovingausrichtung	Lagegenauigkeit nicht unter 1 mm, Rovings können nicht gespannt werden	ca. 0,3 mm laut Herstellerangaben, Rovings können leicht gespannt werden	ca. 0,5 mm laut Herstellerangaben, Rovingstücke werden gerade abgelegt
3D-geformte Preforms	Bauteile können räumlich gekrümmt sein	Bauteile müssen im Allgemeinen eine ebene Grundstruktur haben	Bauteile können räumlich gekrümmt sein
Preformunterlage	Laminataufbau kann direkt im Werkzeug erfolgen	Unterseite muss für den Nähprozess frei zugänglich sein	Laminataufbau kann direkt im Werkzeug erfolgen
Abmessungen der Rovingstücke	Breite je nach Lieferangebot, Länge unbegrenzt, Breite bestimmt minimalen Radius	Breite je nach Lieferangebot, Länge unbegrenzt, Breite bestimmt minimalen Radius	in der Größenordnung 20 × 60 mm, Radien durch schräge/runde Schnittkanten realisierbar

**Tabelle 1.** Das Klebfixieren der Rovings ist den Verfahren TFP (tailored fiber placement) und FPP (fiber patch preform) unter fertigungstechnischen Aspekten gegenübergestellt

Unterlage ausreichend haftet. Aus diesem Grund erwiesen sich als Pulver bzw. Granulat lieferbare harzverträglicher Heißklebstoffe, die für das beschriebene Verfahren mit Aceton verflüssigt werden, als besser geeignet für das Kaltklebverfahren.

Statt der kalten Klebesysteme könnten auch Heißklebesysteme genutzt werden. Heißklebstoffe haben jedoch den Nachteil, dass sie sich nicht so fein sprühen lassen. Zudem ist nach der heißen eine weitere kalte Andruckrolle erforderlich, um ein Wiederabheben des Rovings zu verhindern, ehe der Klebstoff weit genug abgekühlt ist. Die relativ großen und kompakten Klebepunkte erhöhen den Klebstoffanteil im fertigen Bauteil, was lokale Fließhindernisse für das imprägnierende Harz bedeutet und Störstellen im Faserverbund in Form von Luftporen oder Klebstoff-Ansammlungen hinterlässt. Diese Fehlerbilder wirken sich wiederum ungünstig auf die Bauteileigenschaften aus. Ein dicker, starrer und druckfester Klebstoff-Zuführschlauch, der für das Heißkleben beheizt werden muss, schränkt die Beweglichkeit des Roboterkopfes sehr ein. Vorteilhaft beim Einsatz eines Kaltklebesystems ist neben der oben beschriebenen größeren Flexibilität und dem geringeren Klebstoffanteil die Möglichkeit, auf die nachlaufende kalte Andruckrolle zu verzichten.

Dies ermöglicht geringere Abmessungen der Ablegevorrichtung am Roboterkopf, wodurch dieser beim Arbeiten in ge-

krümmten 3D-Geometrien variabler einsetzbar wird. Gleichzeitig entfällt damit ein weiterer Nachteil der kalten nachlaufenden Rolle: Diese neigt trotz Antihafbeschichtung zum Verkleben durch nicht ausreichend erhärteten Klebstoff und hebt dadurch den bereits abgelegten Roving wieder ab.

### Fazit

In Tabelle 1 sind die Verfahren zur Preformherstellung mit belastungsgerechter Faserablage einander gegenübergestellt. Das Klebfixieren von Rovings eignet sich insbesondere zum Einbringen einer begrenzten Anzahl zusätzlicher verstärkender Rovinglagen in Belastungsrichtung im Bauteil – das Preform wird weiterhin zu einem gewissen Anteil in traditioneller Art unter Verwendung von Gelegen und Geweben hergestellt. Das Verfahren ermöglicht eine dreidimensionale Ablage, ohne dass unter dem Bauteil zusätzlich Platz für Fertigungsschritte, beispielsweise die Stichbildung eines Nähprozesses, benötigt wird.

Diese Klebetechnik eignet sich demnach besonders für hochfeste Leichtbauteile, wie sie im Maschinen-, Anlagen-, Automobil- und Flugzeugbau zu finden sind. ■

### LITERATUR

Interessenten finden das Verzeichnis unter [www.kunststoffe.de/A025](http://www.kunststoffe.de/A025)

### DIE AUTOREN

PROF. DR.-ING. HABIL. BERNHARD WIELAGE, geb. 1946, ist Direktor am Institut für Konstruktion und Verbundbauweisen KVB e.V.

DR.-ING. ECKART KÜHNE, geb. 1954, ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter am KVB tätig; [eckart.kuehne@kvb-chemitz.de](mailto:eckart.kuehne@kvb-chemitz.de)

DIPL.-ING. REINER SBOSNY, geb. 1964, ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter am KVB tätig.

DR.-ING. DIETRICH KRESSE, geb. 1948, ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter am KVB tätig.

### SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

## Adhesive Fixing of Rovings Increases Load Bearing

**FIBER COMPOSITES** are continuing their advance as lightweight engineering materials. An important factor in the part design is the orientation of the fibers in the loading direction. However, the method of laying individual fiber rovings in the direction of force is almost never used. It is facilitated by a new process in which a robot tracks the lines of force and fixes the filaments with a cold adhesive system.

NOTE: You can read the complete article in our magazine **Kunststoffe international** and by entering the document number **PE110142** on our website at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)