

Der Bentley Continental GT ist seit 2016 mit einem faserverstärkten Bremspedal aus Kunststoff auf den Straßen unterwegs. Das sicherheitsrelevante Bauteil war in den letzten Jahren vielfach Prototyp für Prozessentwicklungen (© Bentley Motors)



## Nicht zu bremsen

### *Vollkunststoff-Bremspedal mit multiaxialer Faserverstärkung im Serieneinsatz*

Endlosfaserverstärkte thermoplastische Composites können mittlerweile auch im strukturellen Leichtbau von Sicherheitskomponenten eine Alternative zu Metallen sein. Das beweist ein Bremspedal, das ausgehend von einem multiaxial verstärkten Verbundhalbzeug in Serie gefertigt wird.

**B**remspedale gehören eigentlich nicht zu den optischen Highlights im Automobil. Außer man fährt einen Porsche Panamera G2 oder Bentley Continental GT (**Titelbild**). Deren Vollkunststoff-Pedale von der Boge Rubber & Plastics Group, Damme, bieten jedoch nicht nur etwas für das Auge, sondern zeigen auch eine sehr gute Balance aus geringem Gewicht und hoher Zug-, Biege-, und Torsionsfestigkeit (**Bild 1**). Dafür wurden sie mit dem ersten Platz beim SPE Automotive Award 2016 in der Kategorie „Body Interior“ ausgezeichnet.

Den Ausschlag für die Prämierung gab vor allem das Gewicht des Bauteils. Es wiegt etwa nur halb so viel wie eine vergleichbare Stahlkonstruktion. Anerkennung fand außerdem der wirtschaftliche, für die Großserie geeignete Herstellprozess. Zudem wurde der fortschrittliche, multiaxiale Faserlagenaufbau im Einleger aus Tepex dynalite von Lanxess und die Bauteiloberfläche mit sehr regelmäßig angeordneten Endlosglasfasern honoriert. Das gibt dem Pedal ein attraktives und hochwertiges Aussehen, mit Assoziationen zum Motorsport.

Die Fertigung geht von einem multiaxial mit Endlosfaserlagen verstärkten Composite-Einleger der Marke Tepex dynalite von der Lanxess-Tochtergesellschaft Bond-Laminates aus. Der Einleger aus Polyamid 6 (PA6) wird in kurzen, für die Großserie geeigneten Zykluszeiten per Hybrid Molding in einem Kombinationsprozess umgeformt und mit Durethan DP BKV60 H2.0EF hinterspritzt, einem PA6 mit 60Gew.-% Kurzglasfasern. Der Spritzgießprozess dient dazu, Funktionen wie Führungen und Aufnahmen für den Pedallagerbock kostensenkend zu integrieren und hochbelastete Bauteilbereiche gezielt mit Rippen zu verstärken. Das Bremspedal ist in einer Variante für links- und rechtsgelenkte Fahrzeuge konstruiert. Die Lastpfade sind entsprechend der unterschiedlichen Torsionsrichtungen optimiert.

### *Faserlagen sind Bauteilanforderungen angepasst*

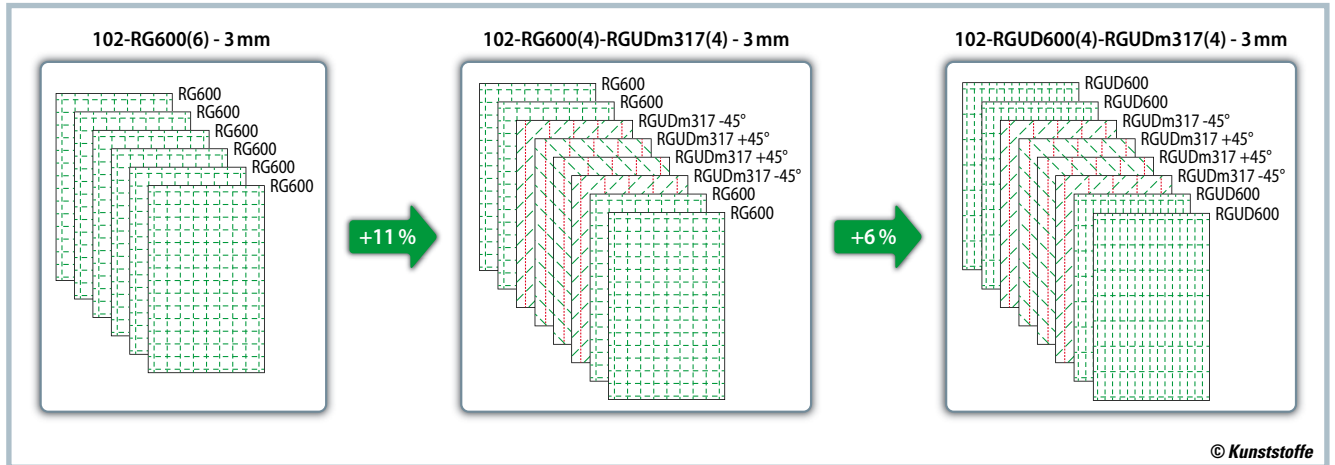
Voraussetzung für die wirtschaftliche Serienfertigung des Bremspedals durch Umformen und Hinterspritzen war eine Verfahrensänderung in der Herstellung von endlosfaserverstärkten Thermoplast-Halbzeugen. Bisher war es nur möglich, die Endlosfasern in den einzelnen Faserlagen der Halbzeuge in Produktionsrichtung und senkrecht dazu (0° und 90°) auszurichten. Bond-Laminates entwickelte einen Prozess, um Halbzeuge basierend auf schussverstärkten, verzogenen Geweben (Skewed Fabrics) wirtschaftlich für die Großserie herzustellen.

Die Glasfaserlagen können dabei in nahezu frei wählbaren Winkeln angeordnet werden. Dadurch lassen sich Lamine aufbauen, deren Faserlagen den Lastpfaden folgen und exakt an die jeweiligen lastspezifischen Bauteilanforderungen angepasst sind. Dies ist ein Vorteil gegenüber der bisherigen manuell unterstützten und daher kostenintensiveren Technik. Das Bremspedal ist das erste in Serie gefertigte Leichtbauteil, das auf dem neuen Verfahren zur Herstellung multiaxialer thermoplastischer Verbundhalbzeuge fußt.

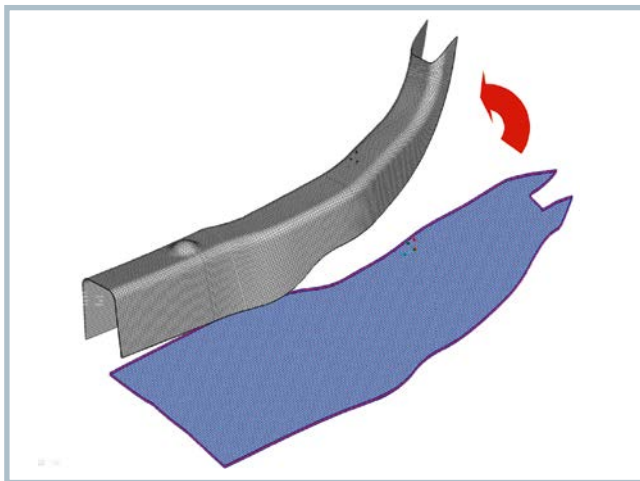
Lanxess hat den Verarbeiter unter anderem bei der Konstruktion und Auslegung des Bremspedals mit verschiedenen Elementen seines Serviceangebots HiAnt unterstützt. Beispielsweise wurde durch Topologieanpassungen ausgehend vom vor- »



**Bild 1.** Das Bremspedal wiegt rund 50 % weniger als eine vergleichbare Stahlkonstruktion und erfüllt die hohen Lastanforderungen aufgrund eines multiaxialen Faserlagenaufbaus im Einleger aus Tepex dynalite (© Lanxess)

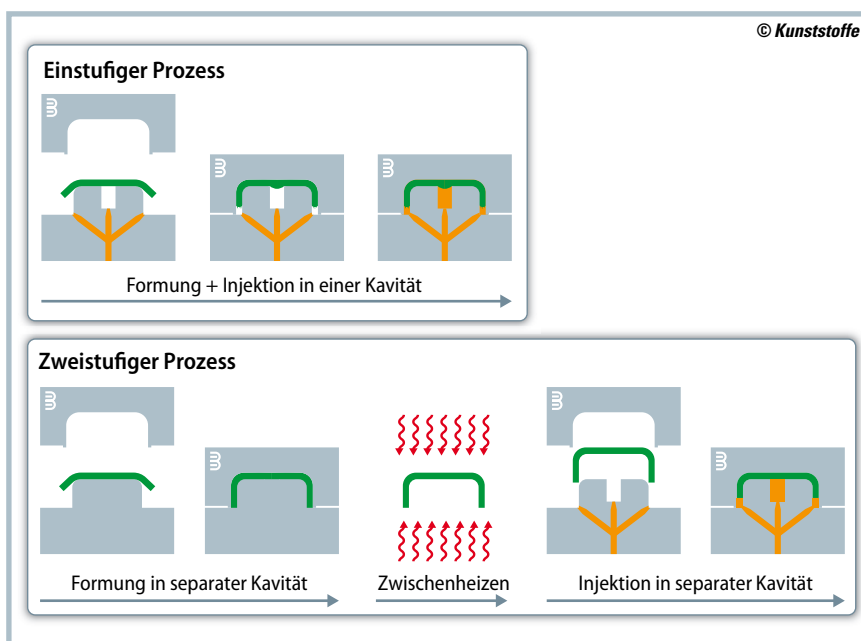


**Bild 2.** Optimierung des Laminataufbaus für das Bremspedal: Das rechte Laminat, das sich aus je zwei Decklagen mit hauptsächlich unidirektionaler Faserausrichtung und vier +45°- bzw. -45°-Innenfaserschichten aufbaut, erfüllt am besten die hohen Anforderungen an die Zug-, Biege- und Torsionsfestigkeit (Quelle: Lanxess)



**Bild 3.** Durch Schnelldrapierung erzeugte Zuschnitt- und Einlegergeometrie mit ermittelter Geometrie des Zuschnitts (© Lanxess)

gegebenen Bauraum und den Lastrichtungen ein erster Vorschlag für die Geometrie und das Verrippungsmuster des Bauteils berechnet. Boge entwickelte daraus das Gesamtdesign des Pedals. Weiterhin wurden vom Materialhersteller rechnerisch vorab mögliche Lagenaufbauten für die Endlosfasern im Halbzeug ermittelt und sukzessive optimiert, um unter anderem die Anforderungen an die maximale Bruchlast und Biegefestigkeit des Pedals erfüllen zu können. Dabei zeigte sich schnell, dass Laminare mit 0°- und 90°-Faserschichtenorientierungen bei einer Mischbelastung durch Zug, Biegung und Torsion an ihre Grenzen stoßen und auch zu große Wanddicken ergeben. Werden stattdessen „gemischte“, multiaxiale Laminataufbauten verwendet, kann die mechanische Leistung gesteigert werden. In ihnen liegen sowohl Faserlagen mit 0°- und 90°- als auch +45°- und -45°-Anordnung vor (**Bild 2**).



**Bild 4.** Herkömmliche Verarbeitung von Organoblechen: Vergleich des einstufigen mit dem zweistufigen Prozess (Quelle: Boge Rubber & Plastics)

### Simulationsprozess verkürzt

Die genaue Lage der Endlosfasern nach der Umformung des entsprechenden Einlegers wurde für die verschiedenen Laminataufbauten per Drapiersimulation ermittelt. Die Kenntnis der lokalen Faserorientierungen ist Voraussetzung, um die mechanischen Eigenschaften eines endlosfaserverstärkten Bauteils im Rahmen der Strukturanalyse genau berechnen und die Konstruktion entsprechend an den Belastungsfall anpassen zu können. Verwendet wurde erstmals ein neues, vereinfachtes Finite-Elemente-basiertes Simulationswerkzeug, das von Lanxess zu diesem Zweck entwickelt wurde und auf die Programme Abaqus und Hyperform zurückgreift. Obwohl es nicht den vollständigen Umformprozess inklusive etwa des Handlings der heißen Einleger abbildet, reicht die Simulation vollkommen aus, um zu prüfen, wie sich verschiedene

Laminare nach der Umformung mechanisch verhalten. Die vollständige und sehr aufwendige Prozesssimulation der Umformung kann dann erfolgen, wenn der optimale Verbundaufbau gefunden ist.

Da die Berechnungssoftware primär Informationen zur Lage und den Faserwinkeln liefert, ist das Verfahren deutlich schneller als eine vollständige Simulation des Drapierprozesses. Dadurch hilft es, die Entwicklungszeit des Bauteils zu verkürzen. Es lässt sich für alle Gewebearten und -lagen einsetzen, ist für verschiedene Bauteilgeometrien geeignet und liefert erste Hinweise auf Probleme bei der Umformung wie Faserrisse oder Falten. Außerdem ist es eine sehr schnelle Methode, um für einen Einleger die geeignete Geometrie des Zuschnitts zu ermitteln (**Bild 3**).

### **Zweistufiger Verarbeitungsprozess von Organoblechen**

Eine belastungs- und drapiergerechte Einlegergeometrie mit entsprechenden Faserlagenorientierungen entscheidet nicht allein über einen sicheren und wirtschaftlichen Fertigungsprozess. Wesentlichen Einfluss hat insbesondere auch die Detailkonstruktion der Kantengestaltung und der Umformradien – so etwa auf den lokalen Faservolumengehalt, die Entformbarkeit, das Aufnahmevermögen der Kavität, die Anbindung der Schmelze und auf mögliche Ablagerungen im Werkzeug.

Zwei Varianten sind bei der Verarbeitung von Organoblechen bekannt: ein einstufiger und ein zweistufiger Prozess (**Bild 4**). Beide beginnen mit dem Aufheizen des Organoblechs bis zur Formungstemperatur. In beiden Prozessen wird das heiße Organoblech dem Formungswerkzeug zugeführt und dann durch die Schließbewegung des Werkzeugs verformt. Im Unterschied zum zweistufigen Prozess füllt im einstufigen Prozess (**Bild 4 oben**) das Organoblech die Werkzeugkavität nicht vollständig aus. Es verbleiben Bereiche, die unmittelbar nach der Schließbewegung mit kurzfaserverstärkter Kunststoffschmelze gefüllt werden. Obwohl beim zweistufigen Prozess zwei Werkzeuge benötigt werden und die Prozesskette wesentlich länger ist, erwies er sich für das Bremspedal als vorteilhaft. Ausschlaggebend dafür waren unter anderem die geforderte Oberflächenqualität und die Randgestaltung des Bauteils.

Der Unterschied in der Oberflächenqualität beider Prozesse ist in **Bild 5** dargestellt. So zeigt die Abbildung des einstufigen Prozesses die geringe Matrixfüllung zwischen den Faserbündeln infolge des geringen Matrixdrucks bei der Re-Konsolidierung. Im einstufigen Prozess wird das heiße Organoblech durch einen Kern geformt, der bereits mit den Rippenfeldern versehen ist. Wird nun das Organoblech auf die Endwanddicke des Bauteils verpresst, ist die Kunststoffmatrix im Textil nicht vollständig eingeschlossen und folgt dem geringsten Fließwiderstand in das offene Rippenfeld. Der zur Abformung der Endoberfläche notwendige Matrixdruck wird nicht erreicht bzw. gehalten. Es resultiert ein Quellfluss in das Rippenfeld, der die Faserlagen über die gesamte Rippenbreite hinweg deformiert.

### **Kombination aus Qualität und Wirtschaftlichkeit**

Um das wirtschaftliche Potenzial des einstufigen Prozesses mit der Bauteilqualität des zweistufigen Prozesses zu kombinie- »



**Bild 5.** Auswirkung der Prozesswahl auf die Bauteiloberfläche (© Boge Rubber & Plastics)

ren, hat Boge einen Kombinationsprozess entwickelt. Dabei entsteht in jedem Öffnungsvorgang der Presse formfallend jeweils ein Bauteil (einstufiger Prozess) aus einem Werkzeug mit zwei Kavitäten (zweistufiger Prozess). Ausgangspunkt hierfür ist der zweistufige Prozess, dessen Verarbeitungsschritte neu angeordnet wurden. Grundvoraussetzung für diesen Kombinationsprozess ist die Kantengestaltung des umgeformten Organoblechs im Werkzeug: Wenn kein nachträglicher Randbeschnitt des geformten Organoblechs notwendig ist, kann dieses noch heiß entnommen und zur Weiterverarbeitung in die Spritzgießkavität eingelegt werden.

**Bild 6** beschreibt anhand der schematisierten Werkzeugdarstellung den Ablauf des neuen Kombinationsprozesses. Auf der linken Seite wird der plastifizierte Organoblech-Zuschnitt der Formung/Drapiertung zugeführt. Im Schließvorgang des Werkzeugs wird dieser zu einem U-Profil geformt, auf Endwanddicke verpresst und dabei der Matrixdruck durch das vollständige Abschließen der Kavität aufgebaut. Das geformte Profil kühlt auf die Werkzeugtemperatur ab und erstarrt. In einer derartigen Anordnung kommt der Temperatur des Umformwerkzeugs doppelte Bedeutung zu. Sie nimmt Einfluss auf die Umformung der Organoblechschaale und bestimmt die Temperatur des entformten

## Die Autoren

**Daniel Häffelin, Keit Wagener** und **Dr. Olaf Beutler** sind Mitarbeiter der Boge Rubber & Plastics, einer Marke der CSR New Material Technologies GmbH, Damme; Daniel.Haefelin@boge-rubber-plastics.com, Keit.Wagener@boge-rubber-plastics.com, Olaf.Beutler@boge-rubber-plastics.com  
**Frank Lutter** und **Ulrich Jecmeniza** sind Mitarbeiter der Lanxess Deutschland GmbH, Köln; frank.lutter@lanxess.com, Ulrich-Jecmeniza@bond-laminates.de

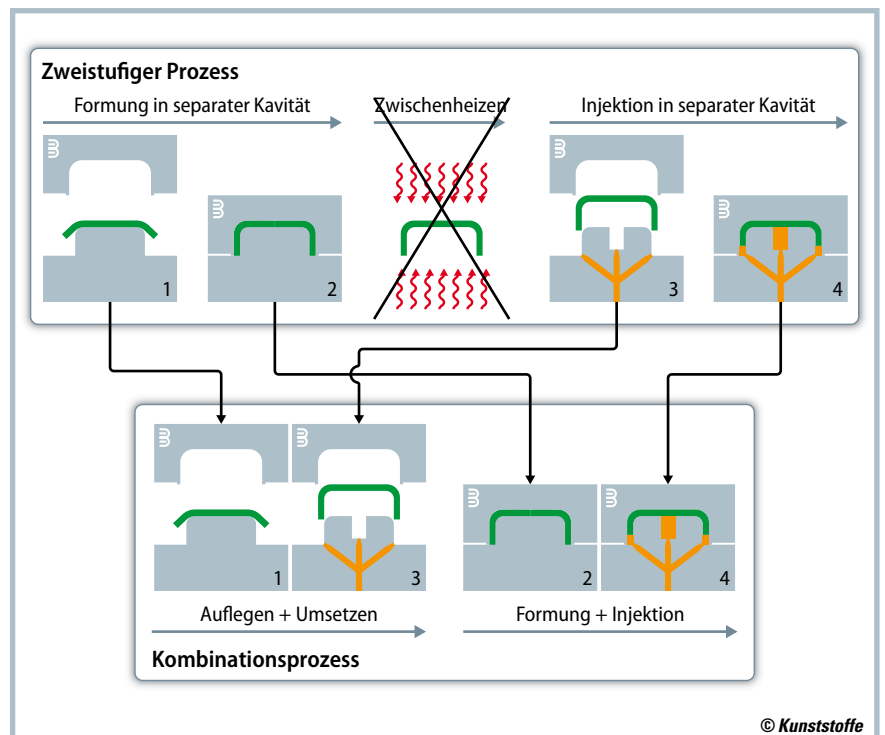
## Service

### Digitalversion

- » Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2693379](http://www.kunststoffe.de/2693379)

### English Version

- » Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



**Bild 6.** Schematische Darstellung der Verarbeitungsschritte von Organoblechen im entwickelten Kombinationsprozess (Quelle: Boge Rubber & Plastics)

HANSER KUNDEN

# Entdecken Sie das

# HANSER KUNDENCENTER

www.hanser-kundencenter.de

Viele Vorteile für registrierte Nutzer

NEU

Endlosfaserprofils, auf dessen Oberfläche im folgenden Spritzgießschritt die Schmelze auftrifft.

Im Öffnungsvorgang des Werkzeugs wird das U-Profil automatisiert entnommen und in die nebenliegende Kavität versetzt. Gleichzeitig wird der nächste heiße Organoblech-Zuschnitt zugeführt. Ist das Werkzeug erneut geschlossen, trifft die kurzfaserverstärkte Thermoplastschmelze auf das U-Profil und bindet daran stoffschlüssig an. Zeitgleich wird in der Formungskavität das nächste Endlosfaserprofil geformt. Im anschließenden Öffnungsvorgang wird ein heißes Organoblech zugeführt und das geformte Endlosfaserprofil in die zweite Kavität überführt, aus der zuvor das Endbauteil entnommen wurde. Durch diese Abfolge entfällt das Zwischenheizen des verformten Einlegers, wie es für den zweistufigen Prozess nötig ist. Die Prozesskette verkürzt sich und kann durchgehend automatisiert werden.

### *Produktion optisch überwachen*

Tepex dynalite findet im Leichtbau von Automobilen immer mehr Anwendung. So werden mit dem Werkstoff unter anderem Sitzlehnen, Batteriekästen, Frontends, Infotainmentträger und Unterbodenverkleidungen wie Tunnelabdeckungen in Serie produziert. Um den hohen Ansprüchen der Automobilindustrie zu genügen, hat Bond-Laminates kürzlich an seinem Standort Brilon ein Qualitätssicherungssystem installiert, das die Produktion fertig zugeschnittener Einleger für den Automobilbau optisch überwacht. Es spürt beispielsweise Fehler wie Abweichungen bei der Geometrie und den Faserwinkeln oder zu starke Faserwelligkeiten auf. Im Rahmen der Qualitätssicherungsmaßnahmen wurden auch Grenzmusteruntersuchungen durchgeführt.

Die Einleger aus Polyamid ermöglichen zusammen mit der vollautomatisierten Prozesskette die hohe, reproduzierbare Bauteilqualität des Bremspedals. Die Materialkennwerte der Einleger sind konstant und der Fertigungsprozess wird durchgehend überwacht. Das Bauteil muss daher nicht mit zusätzlichen Sicherheitsfaktoren belegt werden.

### *Fazit und Ausblick*

Das Bremspedal ist eine Referenzanwendung im Fahrzeugbau. Es beweist, dass sicherheitsrelevante Ul-

traleichtbau-Konstruktionen in hybrider Bauweise ausgehend von endlosfaserverstärkten Verbundhalbzeugen in Großserie umsetzbar sind. Der eigens für solche Bauteile entwickelte, vollautomatisierte Kombinationsprozess verknüpft das Leichtbaupotenzial der thermoplastischen Verbundhalbzeuge mit der Designfreiheit und dem großen Potenzial zur Funktionsintegration, die das Spritzgießen eröffnet.

Boge und Lanxess arbeiten daran, den neuen Prozess auch zur Fertigung anderer tragender Leichtbauteile zu nutzen. Im Anwendungsfokus stehen u. a. Lagerböcke für Pedalwerke, Airbag-Gehäuse, Ölwannen für Motor- und Getriebeanwendungen sowie Strukturbauteile im Fahrwerks- und Antriebsstrang und im Motorraum. Großes Potenzial bietet auch der Ultraleichtbau im Hinblick auf zukunftsweisende Kunststoffbauteile für die Elektromobilität. ■