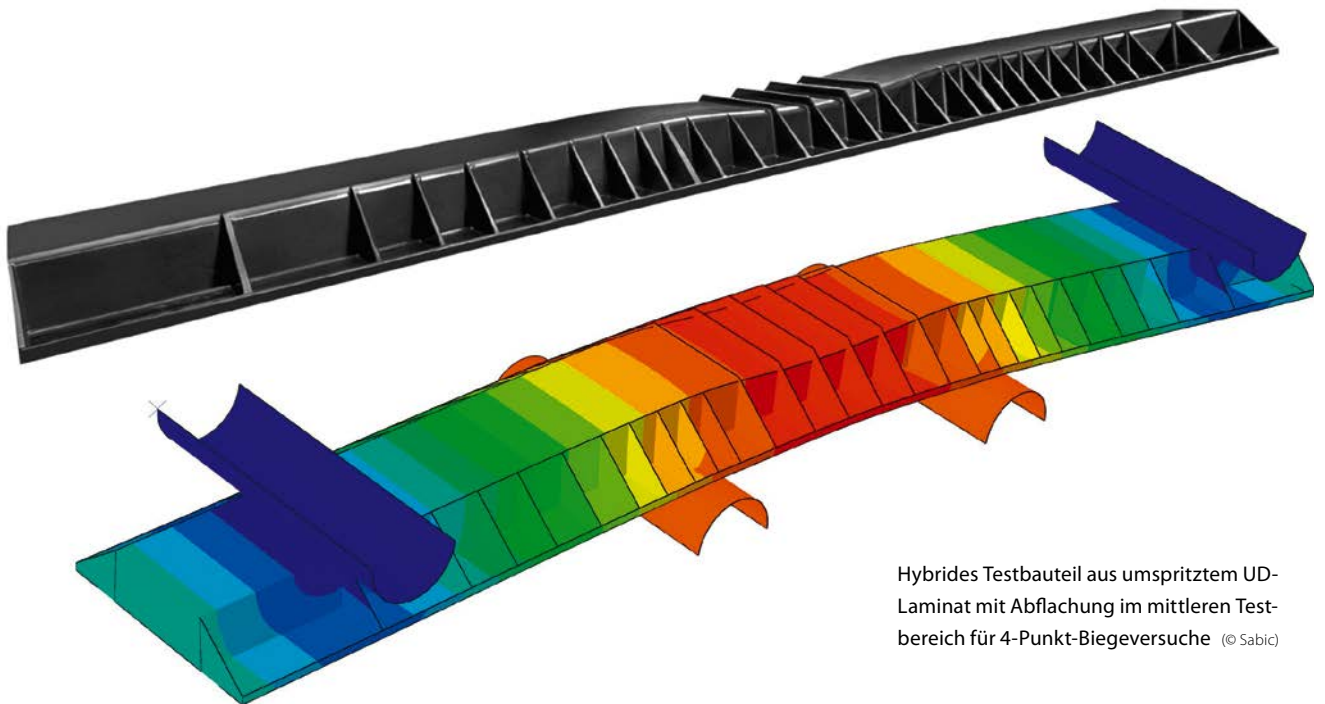


# Vertrauen in die Simulation von Composites

*Spezielles Bauteildesign für den Test unterschiedlicher Versagensmodi von Faserverbundwerkstoffen entwickelt*

Mit endlosfaserverstärkten thermoplastischen Hybridbauteilen lassen sich in Automobilanwendungen kostengünstig Gewichtseinsparungen erzielen. Zuverlässige Simulationsmethoden für diese neuen Materialien sind jedoch noch nicht der Stand der Technik. Aus diesem Grund hat Sabic ein Testbauteil entwickelt, das eine Validierung der Vorhersagen für die unterschiedlichen Versagensmodi von Composites ermöglicht. Ein integrierter Simulationsansatz berücksichtigt dabei auch die Auswirkungen der Verarbeitung auf das Materialverhalten.



Hybrides Testbauteil aus umspritztem UD-Laminat mit Abflachung im mittleren Testbereich für 4-Punkt-Biegeversuche (© Sabic)

**E**ndlosfaserverstärkte thermoplastische Kunststoffe genießen aktuell aufgrund ihres mechanischen Leistungsvermögens und des geringen Gewichts in der Automobilindustrie hohe Aufmerksamkeit. Für Bauteile aus solchen Materialien sind jedoch neue robuste Herstellverfahren erforderlich, die eine kurze Zykluszeit von rund einer Minute erreichen müssen, wie es die Massenproduktion in der Industrie verlangt. Zudem bedarf es neuer prädiktiver Methoden, um das nötige Vertrauen

in die Vorhersagegenauigkeit des Herstellverfahrens und der mechanischen Bauteileigenschaften zu schaffen.

Vor einigen Jahren befragte Sabic führende OEM, Zulieferer und Gerätehersteller, welche ihrer Meinung nach die Haupthindernisse beim Einsatz faserverstärkter Kunststoffverbunde sind. Es kristallisierten sich drei Hauptfaktoren heraus:

- die Vorhersagbarkeit des Designs,
- die Kosten und

- die Zykluszeit.

Weitaus weniger bedeutend waren die folgenden Faktoren:

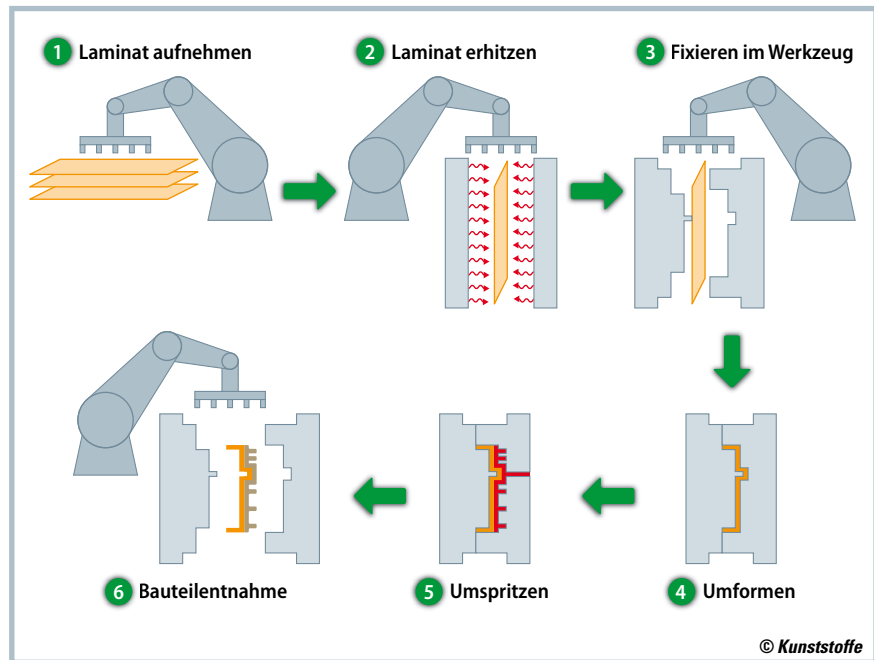
- die Charakterisierung der Materialeigenschaften,
- die Vorhersagbarkeit von Fügeprozessen,
- die Qualität und Beständigkeit der Verbundbauteile und
- das Recycling.

Wir sind der Meinung, dass sich Kosten und Zykluszeit durch ein cleveres Design

und den Einsatz eines hybriden Umspritzverfahrens gut in den Griff bekommen lassen, wie an anderer Stelle erläutert [1-3].

Der integrierte Herstellprozess kombiniert einen Umform- und einen Spritzgießschritt miteinander (**Bild 1**). Zunächst entnimmt ein Roboter ein auf Maß geschnittenes UD-Laminat aus einem Magazin und übergibt es in einen Infrarotofen. Dort wird das Halbzeug auf eine Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur des Kunststoffes erhitzt. Anschließend positioniert der Roboter das erwärmte Laminat im Spritzgießwerkzeug und fixiert es dort mithilfe von Klemmstiften. Beim Schließen des Werkzeugs wird das Laminat in Form gebracht und sodann mit einem faserverstärkten Kunststoff überspritzt. Nach dem Abkühlen entnimmt der Roboter das fertige Hybridbauteil.

Sinnvollerweise werden die endlosfaserverstärkten thermoplastischen Lamine nur an stark belasteten Stellen im Bauteil angebracht, während im Spritzgießprozess mit kurz- oder langfaserverstärkten Materialien die Strukturdetails (Rippen, funktionale Elemente) hergestellt werden. So lassen sich die Hürden in puncto Kosten und Zykluszeit überwinden – was noch fehlt, ist das Vertrauen in die Vorhersagbarkeit. Aus diesem Grund hat Sabic ein balkenförmiges Testbauteil entwickelt, das Vorhersagen der tatsächlichen Leistungsfähigkeit des Werkstoffverbunds unter dem Einfluss von Prozessschwankungen validieren soll.



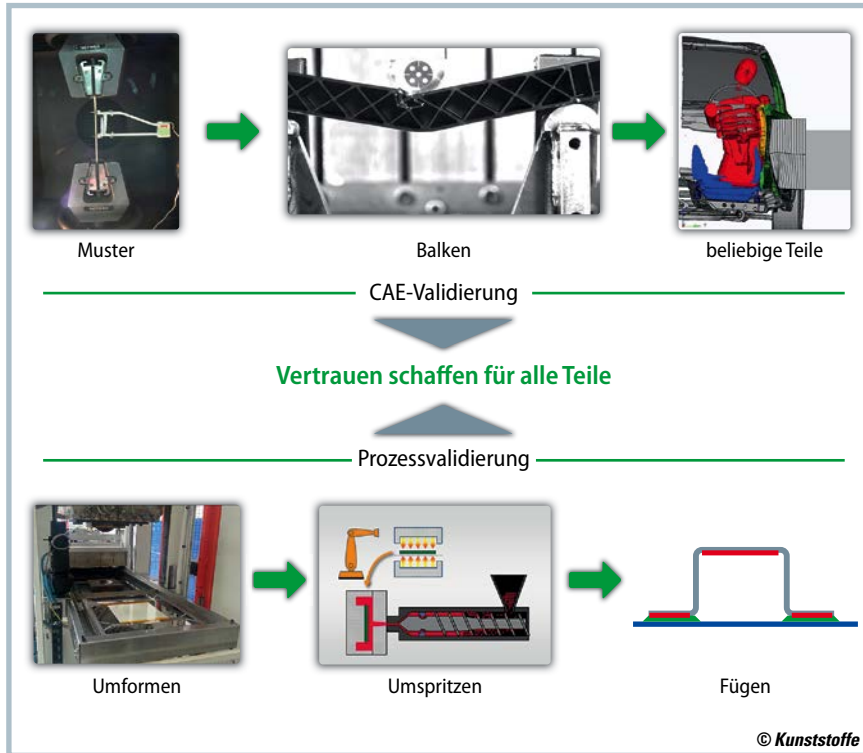
**Bild 1.** Hybrid-Umspritzverfahren für endlosfaserverstärkte thermoplastische Bauteile (Quelle: Sabic)

### Testbauteil zur Validierung

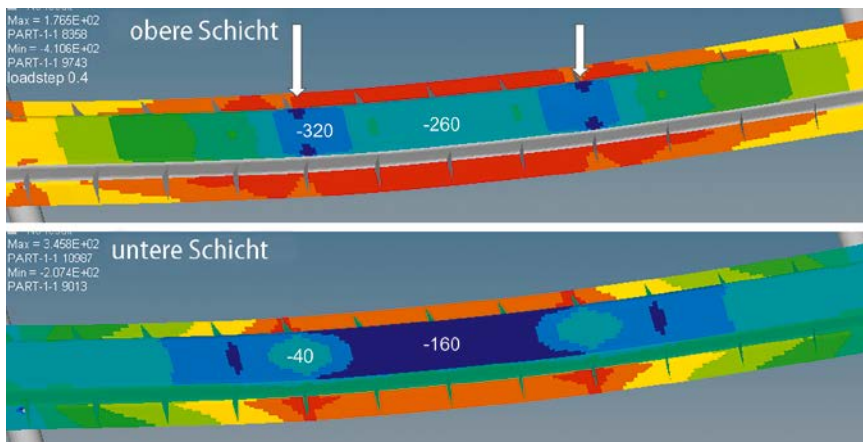
Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Vorhersagen für Composites lässt sich auf verschiedenen Ebenen schaffen. Üblicherweise werden dazu zunächst die Materialeigenschaften des Laminats und zuletzt das daraus gefertigte Bauteil unter realistischen Anwendungsbedingungen bis zum Versagen getestet, beispielsweise die Seitentür eines Autos in einem Crashtest. Die Eigenschaften der UD-Lamine

(mit konstanter Dicke) werden in der Regel im Lieferzustand getestet. Um die erforderlichen Materialeigenschaften und Abweichungen davon zu erfassen, werden die Versagensparameter unter Zug-, Schub- und Druckbelastung in verschiedenen Richtungen ermittelt.

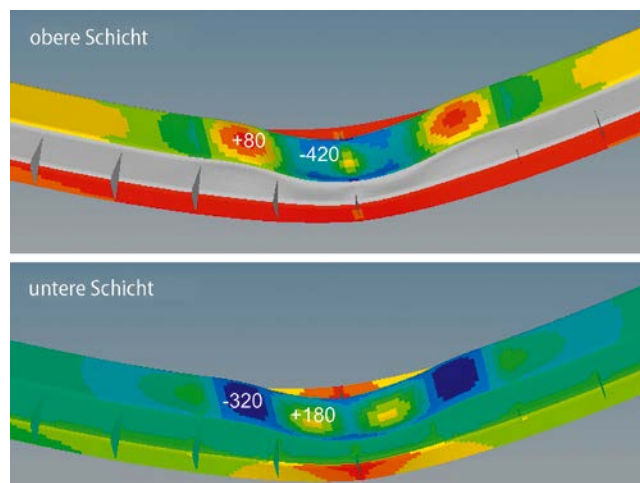
Daneben ist zu beachten, dass das Laminat einem kombinierten Thermoform- und Spritzgießprozess unterzogen wird, der sich auf die Materialeigenschaften auswirken kann. Hier sollte der Effekt »



**Bild 2.** Schritte zur Validierung des Leistungsvermögens von Composites bei der Bauteilentwicklung sind auf Prozess- und CAE-Ebene nötig (Quelle: Sabic)



**Bild 3.** Hochgradig uneinheitliche Spannungsverteilung im Balken an den Druckpunkten im 4-Punkt-Biegeversuch. Belastungen werden in UD-/Längsrichtung gezeigt (© Sabic)



**Bild 4.** Ausbeulen bei unzureichender Abstützung außerhalb der Ebene. Belastungen werden in UD-/Längsrichtung gezeigt (© Sabic)

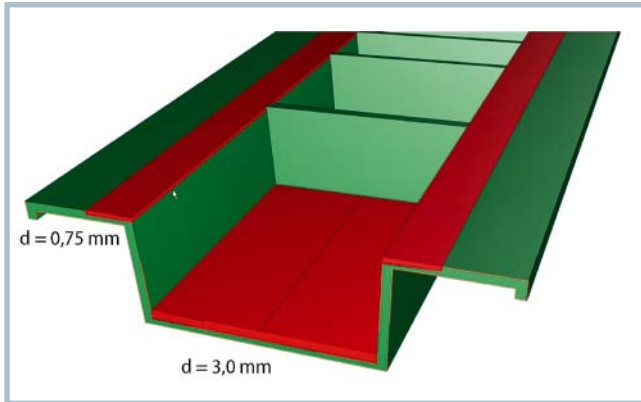
einer Variation wichtiger Prozessparameter innerhalb eines bestimmten Bereichs ebenfalls experimentell bestimmt werden (**Bild 2**).

Schließlich muss die Genauigkeit der Simulationsmethoden selbst verifiziert werden, vorzugsweise mit einem Bauteil, das bei verschiedenen Temperaturen und Geschwindigkeiten getestet werden kann. Dabei sollte dieses Bauteil in einem Prozess hergestellt werden, der repräsentativ für zukünftige Serienanwendungen ist. Um auf alle möglichen Teile vorbereitet zu sein, die in Zukunft entwickelt werden könnten, sollte jeder einzelne Versagensmodus an diesem Musterbauteil getestet werden können, weil sich vorab nicht feststellen lässt, ob bei einer bestimmten Bauteilgeometrie z. B. die Zug- oder Druckbelastung kritisch sein könnte.

Anhand all dieser Randbedingungen wurde ein Balkendemonstrator mit hutförmigem Profil für 4-Punkt-Biegeversuche entwickelt (**Titelbild**). Der Balken weist im mittleren Testbereich eine geringere Höhe auf. Dadurch entsteht ein kontrollierter Testbereich. Zudem wird sichergestellt, dass die höchsten Belastungen nicht direkt unter den Belastungspunkten auftreten (**Bild 3**). Diese Abflachung im Balken kann jedoch bei hohen Bruchspannungen leicht zum Ausbeulen führen, wie dies gemeinhin bei unidirektionalen Materialien zu beobachten ist (**Bild 4**). Deshalb weist das endgültige Bauteildesign eine große Zahl von Rippen auf.

Die nächste Herausforderung bestand darin, sowohl die Druck- als auch die Zugfestigkeit reiner unidirektionaler Composites mit diesem Balken testen zu können. Ein typisches glasfaserverstärktes thermoplastisches Material weist eine Zugfestigkeit von rund 1000 MPa und eine Druckfestigkeit von nur 500 MPa auf. Dadurch versagen Balken im Biegeversuch normalerweise immer bei Druckbelastung, sodass sich die Zugfestigkeit für eine reale Komponente nicht bestimmen lässt.

Zur Lösung dieses Problems wurde ein stark asymmetrisches Layout mit Lamineinlegern gewählt (**Bild 5**). Auf diese Weise wird die neutrale Achse bei der Biegung zum dicken Einleger hin verschoben – damit sind die Belastungen im dünnen Einleger immer mehr als doppelt so hoch wie im dicken. Diese Konstellation stellt sicher, dass der dünne UD-Laminatstreifen bei Beanspruchung sowohl



**Bild 5.** 3D-Querschnitt eines asymmetrischen Layouts mit unidirektionalen Einlegern. Die Lage der drei Laminatstreifen ist rot gekennzeichnet

(© Sabc)

unter Druck als auch unter Zug getestet werden kann.

Der Balken ist an sich schlank konstruiert. Er ist 1000 mm lang und nur 40 mm hoch. Der Grund hierfür ist, dass dadurch die Scherspannungen im Umspritzmaterial auf niedrigem Niveau bleiben und nur rund 20 MPa betragen können, abhängig vom verwendeten Kunststoff. Die Länge des Balkens macht es zum Beispiel möglich, bei 1000 MPa im Composite ein Zugversagen zu detektieren, ohne dass dabei die verstärkenden oder funktionalen Strukturen aus dem überspritzten Material versagen.

Wenn die Schubfestigkeit getestet werden soll, lässt sich der Abstand zwischen Belastungs- und Auflagepunkt einfach verringern; dann entstehen relativ hohe Schubspannungen. Abgesehen von UD-Laminatstreifen können auch multidirektionale Lamine oder gefügte Komponenten zu Validierungszwecken getestet werden (**Bild 6**).

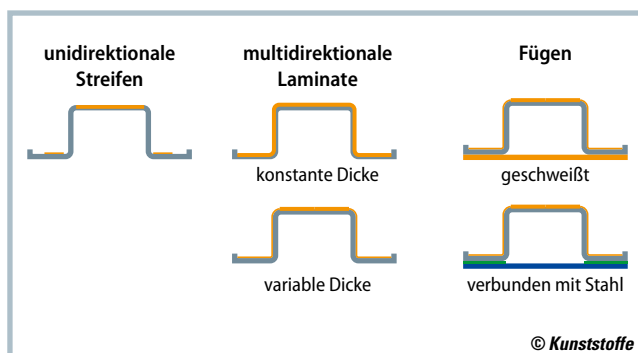
### Integrative Simulationskette

Heute sind mehrere Softwarepakete für die Simulation der Herstellverfahren unterschiedlicher Faserverbundbauteile sowie für mechanische Analysen verfügbar.

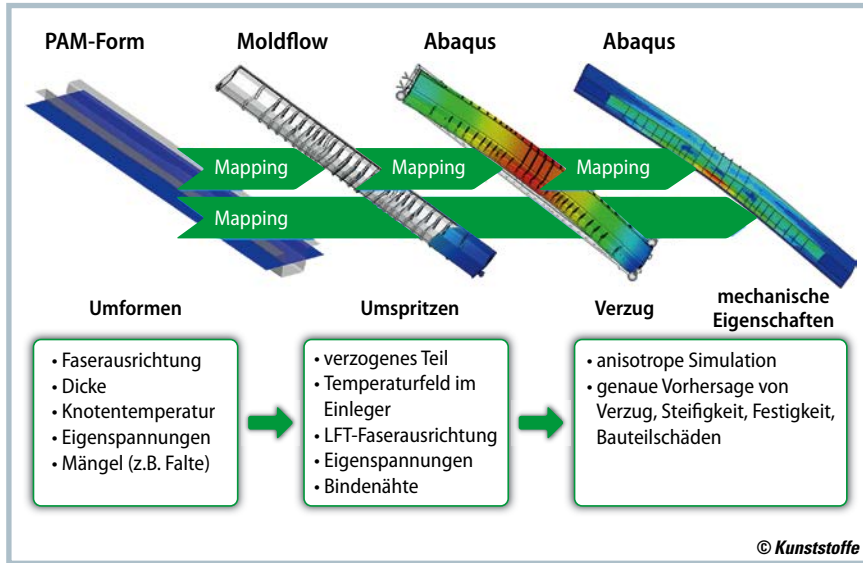
Bei hybriden Prozessen spielt vor allem die Ausrichtung sowohl von Kurz- als auch Endlosfasern für die mechanische bzw. Verzugssimulation eine wichtige Rolle. Die Ausrichtung der Endlosfasern im Laminat kann sich beim Umformprozess ändern, ein Vorgang, der mit Software wie AniForm oder PAM-Form simuliert werden kann. Hingegen lässt sich die beim Füllen der Kavität im Spritzgießprozess entstehende Kurz- oder Langfaserausrichtung z. B. mit Moldflow oder Moldex3D vorhersagen. Softwarepakete wie Digimat können die Faserausrichtung auf Abaqus übertragen, das zur Vorhersage der mechanischen Eigenschaften verwendet wird. Aktuell ist jedoch keine Software verfügbar, die einen Schritt im Herstellverfahren mit der mechanischen Simulation verknüpft.

Bei Sabc wird eine neu entwickelte Software namens Siman Mapper für die Verwaltung all dieser Aufgaben eingesetzt (**Bild 7**). Diese Software wurde von Inpro erstellt, einem Unternehmen, das sich auf die Entwicklung fortschrittlicher Produktionssysteme in der Automobilindustrie spezialisiert hat. Einzigartig hierbei ist, dass die verknüpften Simulationen während des gesamten Prozesses auf 2D-Netzen durchgeführt werden können. »

**Bild 6.** Verschiedene Layoutkonfigurationen für uni- oder multidirektionale Lamine oder gefügte Bauteile. Alle Varianten können getestet werden (Quelle: Sabc)

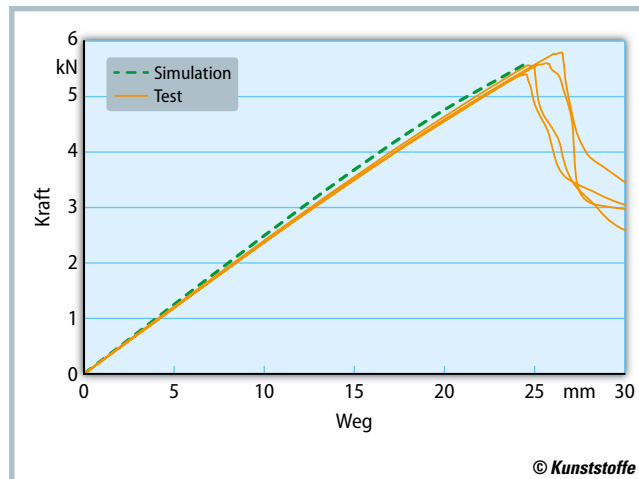


© Kunststoffe



**Bild 7.** Integrative Simulationskette unter Verwendung von Mapping-Software. Hierbei spielt die Ausrichtung der Fasern eine Schlüsselrolle (Quelle: Sabic)

**Bild 8.** Der Vergleich zwischen vorhergesagtem und gemessenem Verlauf der Kraft-Weg-Kurve zeigt eine gute Übereinstimmung (Quelle: Sabic)



Dies ist in der Entwurfsphase ein großer Vorteil, um schnell viele verschiedene strukturelle Artikeldesigns und Bauteilgeometrien zu optimieren.

### Testprogramm in Arbeit

Zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Artikels wird an der Ausarbeitung eines Testprogramms gearbeitet. Das Programm

umfasst Tests bei typischen Temperaturen, wie sie in der Automobilindustrie vorgeschrieben sind, z.B.  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $+85^{\circ}\text{C}$ , sowohl unter statischer als auch dynamischer Beanspruchung. Hier wird ein erstes Beispiel für einen Balken mit multidirektionalem Laminat dargestellt. In diesem Fall wird ein hutförmiges Laminat in voller Breite mit folgender Auslegung verwendet:  $[+45,-45,0]_s$ . Die Gesamtdicke des La-

## Die Autoren

**Warden Schijve** ist leitender Wissenschaftler bei Sabic. Er ist in der Anwendungsentwicklung für Verbundwerkstoffe tätig; warden.schijve@sabic.com

**Recep Yaldiz** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Sabic. Er ist in der Anwendungsentwicklung für Verbundwerkstoffe tätig.

## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/1734049](http://www.kunststoffe.de/1734049)

### 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)

minats beträgt 2 mm. In diesem Beispiel stehen die Flansche unter Zugspannung. Die Testergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Vorhersagen (**Bild 8**), sowohl in Bezug auf die Steifigkeit als auch auf das Versagen.

### Fazit

Es wurde ein neuer Testbalken entwickelt, um Vertrauen in die Simulation umspritzter endlosfaserverstärkter Hybridverbundbauteile zu bilden. Dank dessen spezieller Geometrie können verschiedene Versagensmodi validiert werden, die in Composites mit unidirektionalen Materialien auftreten können. Dabei zeigen sich keine Beulschäden, wie dies bei vielen anderen Testbalken der Fall ist. Das Verfahren dürfte den Einsatz dieser Materialien in zukünftigen Automobilanwendungen erheblich erleichtern. ■

**Kunststoffe**

Part of Your Life



Besuchen Sie uns: Eingang Nord, EG+0G

HANSER

[www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)