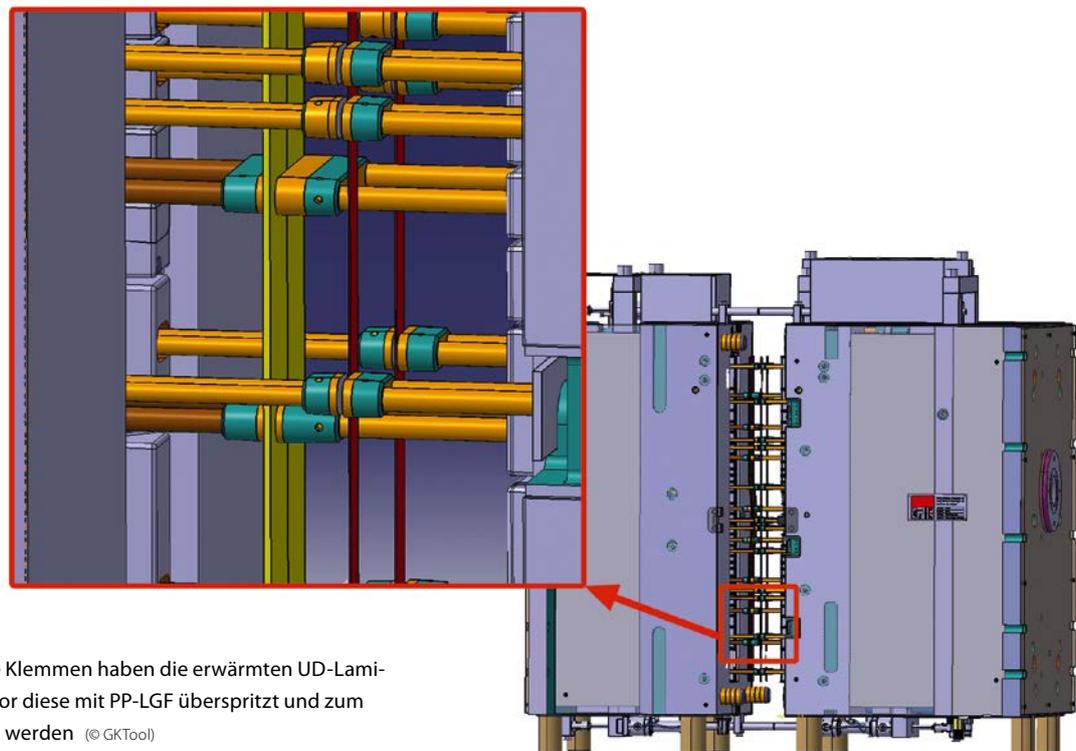


Heiße Laminate sicher im Griff

UD-Tape-Verstärkung minimiert Gewicht und maximiert lokale Belastbarkeit

Bei einer kürzlich entwickelten Variante der Verarbeitung endlosfaserverstärkter Halbzeuge im Spritzgießverfahren wird eine definierte, den jeweiligen Anforderungen entsprechende Anzahl von UD-Laminaten im Werkzeug positioniert und anschließend um- oder überspritzt. Das Ergebnis sind leichte, dreidimensionale Formteile mit ausgeprägt anisotroper und optimal auf die jeweiligen Belastungsfälle ausgelegter Steifigkeit und Festigkeit.



In das Werkzeug integrierte Klemmen haben die erwärmten UD-Lamine exakt positioniert, bevor diese mit PP-LGF überspritzt und zum fertigen Bauteil ausgeformt werden (© GKTool)

Ein zukunftsweisendes Ergebnis der Suche nach hoch belastbaren Leichtbaulösungen für die Automobilindustrie, die Luft- und Raumfahrt sowie viele weitere Anwendungen ist das Umspritzen von Fasergelegen, -geweben und -laminaten. Hier konnte sich das FiberForm-Verfahren der KraussMaffei Technologies GmbH, München – die Verarbeitung von Organoblechen im Spritzgießprozess [1–3] – bereits in ersten Serienanwendungen im Markt etablieren. Den Entwicklungspartnern Georg Kaufmann Formenbau AG (nachfolgend: GK-Tool), Busslingen/Schweiz, KraussMaffei und Sabic, Geleen/Niederlande, ist es jetzt in einem weiterführenden Projekt gelungen, Bauteile in einem großserientauglichen Prozess herzustellen, die mit UD-Laminaten (UD: unidirektional) verstärkt

sind. Diese bestehen aus Endlosfasern, die in eine Thermoplastmatrix, beispielsweise aus Polypropylen (PP) oder Polyamid (PA), eingebettet sind.

Bei dieser besonders materialsparenden Verfahrensvariante kommen die schmalen UD-Lamine zum Einsatz, um die mechanischen Eigenschaften lokal konzentriert zu verbessern. Der Prozess beginnt mit dem Herstellen der Lamine in definierter Länge, Dicke und Breite aus übereinandergeschichteten UD-Tapes. Ein Handlingsystem positioniert die Lamine in einer Infrarot-Heizstation und danach im Werkzeug. Dort werden sie mit einer langglasfaserverstärkten (LGF) Type des gleichen Matrixmaterials schonend um- oder überspritzt und gehen mit dieser eine stoffschlüssige Verbindung ein. In diesem Schritt ent- »

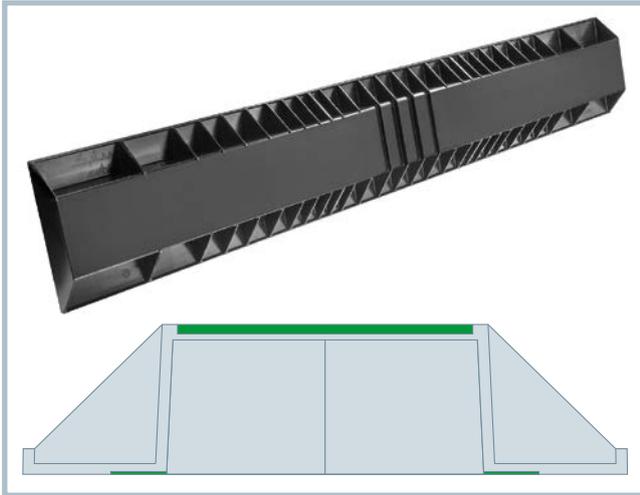


Bild 1. Musterbauteil mit drei unterschiedlich bemessenen UD-Laminat-Einlegern. Im abgebildeten Querschnitt (unten) sind die Einleger grün eingefärbt (© Sabic)

steht das fertige Bauteil mit nachbearbeitungsfreier Oberfläche, wobei im selben Arbeitsgang auch funktionale Ergänzungen wie Stege und Ösen, Clips oder Umrandungen integriert werden können.

Materialsparen auf den Punkt gebracht

Die mechanischen Eigenschaften solcher Formteile lassen sich mithilfe der individuell konfigurierbaren UD-Lamine punktgenau an die im Einsatz auftretenden lokalen Belastungen anpassen. Für mehrachsige Belastungen können auch multiaxiale Materialaufbauten erstellt werden. Dabei werden diese Lamine im Sinne eines effektiven und zugleich effizienten Leichtbaus verwendet – effektiv, weil sie immer nur dort positioniert werden, wo tatsächlich hohe Kräfte auftreten, und effizient, weil durch den lokalen Einsatz nur geringe Mengen des Hochleistungsmaterials erforderlich sind. Dank dieser Kombination von werkstofflichem und konstruktivem Leichtbau kann die übrige Bauteilstruktur meist sehr dünnwandig und/oder mit weniger verstärkenden Rippen, also besonders material- und kostensparend, ausgelegt werden. Damit und mit ihrer hervorragenden Recyclingfähigkeit erfüllen die fertigen Bauteile wichtige Voraussetzungen für das vom Gesetzgeber und Verbraucher geforderte Einsparen von Ressourcen.

Auf dem Weg, das Fahrzeuggewicht weiter zu verringern, bietet die Spritzgießverarbeitung von Organoblechen mit ihrer flächigen Verstärkungsstruktur bereits vielfältige zukunftsweisende Ansätze. Als lokal und quantitativ auf die Bauteilbeanspruchung abgestimmte Verstärkungen können UD-Lamine das Bauteilgewicht weiter verringern. Dies eröffnet z. B. Automobilherstellern neue Möglichkeiten, den Kraftstoffverbrauch zu senken und damit vom Gesetzgeber vorgesehene Strafzahlungen für einen zu hohen CO₂-Ausstoß zu vermeiden.

Musterbauteil lässt Anwendungspotenzial erkennen

Um die Verfahren zur Auslegung und Herstellung UD-Laminatbasierender Hybridstrukturen simulieren, entwickeln und be-

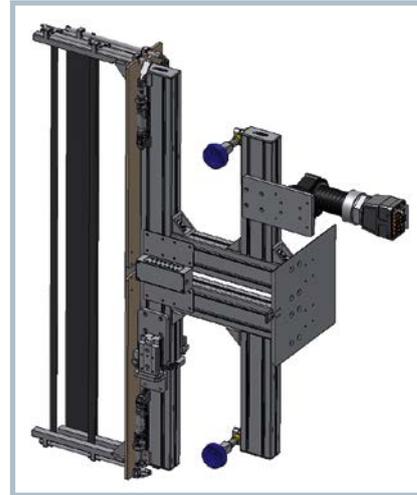


Bild 2. Das eigens für die Übergabe der Lamine in das Werkzeug entwickelte Greifersystem ist ebenfalls in das Fertigungssystem integriert

(© KraussMaffei)

werten zu können, hat Sabic ein Demonstratorbauteil entwickelt, das sich zur Bewertung unterschiedlicher Abmessungen und Anordnungen der Lamine in verschiedenen Varianten herstellen lässt. Sein Design erleichtert die Bestimmung des Bauteilverhaltens unter quasi-statischer, dynamischer, Ermüdungs- und Kriechbeanspruchung unter Zug, Druck und Schub. Und letztlich ermöglicht es auch die Bewertung von Verbindungstechniken. Dabei ist der Querschnitt des Musterteils im mittleren Teil geringer gehalten, um das Versagen auf diesen Bereich zu konzentrieren.

Das hier beschriebene Teil mit den Abmessungen 1018 x 160 x 40 mm (**Bild 1**) enthält drei Laminat-Einleger, hergestellt aus UD-Tape (Typ: UDmax GPP 45-70 Tape, Hersteller: Sabic FRT). Das Tape besteht aus einer PP-Matrix mit einem hohen Anteil (45 Vol.-%) unidirektionaler, exakt in Längsrichtung der Tapes verlaufender Glasfasern. Dank der speziellen HPFIT-Produktionstechnik des Herstellers sind die Fasern effektiv imprägniert und gleichmäßig in der Thermoplast-Matrix verteilt. Ausgehend von 0,25 mm Nenndicke wurden daraus je zwei Lamine mit 0,75 mm Dicke und eines mit 3 mm Dicke vorgefertigt.

Zum Überspritzen kam ein PP-LGF (Typ: Stamax 30YK270E mit 30 Gew.-% Langglasfasern, Hersteller: Sabic) zum Einsatz. Teil-



Bild 3. Mit der komplett von KraussMaffei installierten Produktionszelle ließ sich das Demonstratorbauteil mit einer Zykluszeit von weniger als 60 s herstellen (© KraussMaffei)

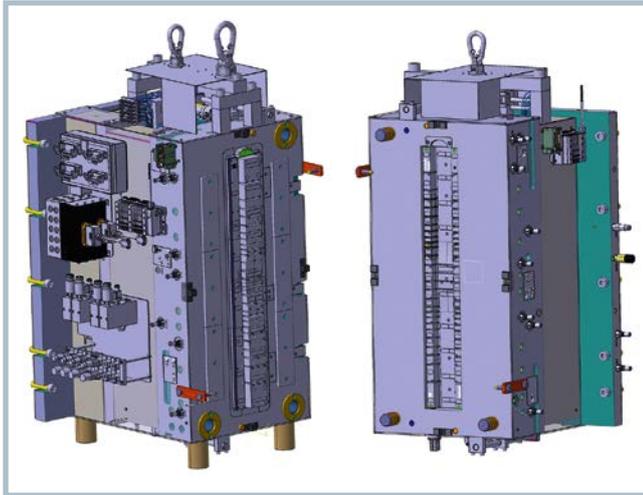


Bild 4. GKTool hat das Werkzeug für die Fertigung des Demonstratorbauteils konstruiert und gebaut; links: Stempel, rechts: Matrize (© GKTool)

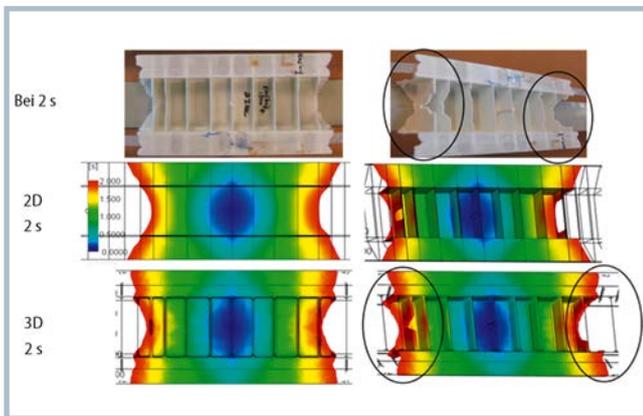


Bild 5. Die Ergebnisse der Füllsimulation zeigen eine gute Übereinstimmung mit der durchgeführten Füllstudie (© Sabic)

le aus diesem in Form von 15 mm langen Pellets gelieferten Material zeichnen sich durch hohe Steifigkeit und Festigkeit bei zugleich hoher Dimensionsstabilität, Kriech-, Ermüdungs- und Wärmeformbeständigkeit aus. Von besonderem Vorteil für Automobilanwendungen ist ihre hohe Schlagzähigkeit über einen breiten Temperaturbereich und die damit verbundene hohe Energieaufnahme bei Crashsituationen.

Das mit diesen PP-basierten Materialien von Sabic hergestellte Demonstrator-Bauteil entsteht als sogenanntes One-Shot-Teil, bei dem alle drei im Werkzeug positionierten Lamine in einem Schuss vollständig überspritzt werden. Hierfür wird eine Standard-Spritzgießmaschine benötigt, die zusätzlich für die Ansteuerung des IR-Ofens ausgerüstet ist – in diesem Fall eine Maschine des Typs KM 16000-12000 MX von KraussMaffei mit 16 000 kN Schließkraft.

Erwärmte UD-Lamine fordern die Technik heraus

Die auf Länge geschnittenen UD-Tape-Lamine müssen zunächst erwärmt werden, bevor sie im Spritzgießwerkzeug positioniert werden können. Die damit verbundenen Aufgaben – Handling der warmen UD-Tapes, Übernahme und Fixierung im Werkzeug, Anspritzen der Lamine – haben KraussMaffei und

GKTool vor dem eigentlichen Projektstart im Rahmen eines gemeinsamen, von Sabic initiierten Entwicklungsvorhabens gelöst. Dabei hat KraussMaffei alle Themen rund um das Aufheizen und das Roboter-Handling bearbeitet, während GKTool die werkzeugspezifischen Themen abgearbeitet hat. Die validierten Konzepte wurden im Anschluss auf das eigentliche Versuchsträgerbauteil übertragen.

Die UD-Lamine werden in einer IR-Heizstation (Hersteller: KraussMaffei) erwärmt, die direkt oberhalb des Werkzeugs positioniert ist. Die so erzielten kurzen Transferwege und -zeiten vermeiden ein übermäßiges Abkühlen bei der Übergabe. Für das Handling der im erwärmten Zustand biegeschlaffen UD-Lamine hat KraussMaffei ein spezielles Klemmgreifer-System optimiert (**Bild 2**) und ebenfalls in das Fertigungssystem integriert.

Dieses für unterschiedliche Laminatdicken geeignete System positioniert die aus dem Magazin entnommenen Lamine in der IR-Heizstation, wo sie in zwei Ebenen erhitzt werden. Damit die Aufheizzeit kurz bleibt, sind die IR-Strahler beidseitig in der Station angeordnet. Die von KraussMaffei speziell dafür entwickelte Regelung vermeidet ein Überhitzen der Halbzeuge und ermöglicht gleichzeitig die Bedienung, Kontrolle und Dokumentation des Aufheizvorgangs innerhalb der Maschinensteuerung MC6.

Der Greifer hält die Lamine von der Entnahme über das Erwärmen bis zur Übergabe ins Werkzeug fest und sichert so die erforderliche hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bei der Positionierung. Alle Komponenten des Greifersystems sind daher auf die speziellen Umgebungsanforderungen dieser Anwendung – die von der IR-Heizstation ausgehende Hitzeeinwirkung – ausgelegt.

Die komplette Produktionszelle (**Bild 3**) einschließlich der in die Maschine integrierten IR-Station hat KraussMaffei für die Versuche im unternehmenseigenen Technikum in München installiert. Mit dieser Konstellation lassen sich Zykluszeiten von weniger als 60 s erreichen.

Mit umfangreichem Fertigungs-Know-how zum Formteil

Die Optimierung der nachfolgenden Fertigungsschritte – Übernehmen im Werkzeug, Umformen und Spritzgießen – lag in den Händen von GKTool. Dort wurde auch das speziell auf die Fertigung des Musterbauteils von Sabic abgestimmte Werkzeug (**Bild 4**), basierend auf einer für GKTool patentierten Werkzeugtechnik, konstruiert und gebaut.

Bei einem Gewicht von 7000 kg ist es stempel- und matrizen-seitig mit je einer Auswerferplatte und einer zusätzlichen Trä- ➤

Nichts mehr verpassen!

www.kunststoffe.de/newsletter

Kunststoffe.de

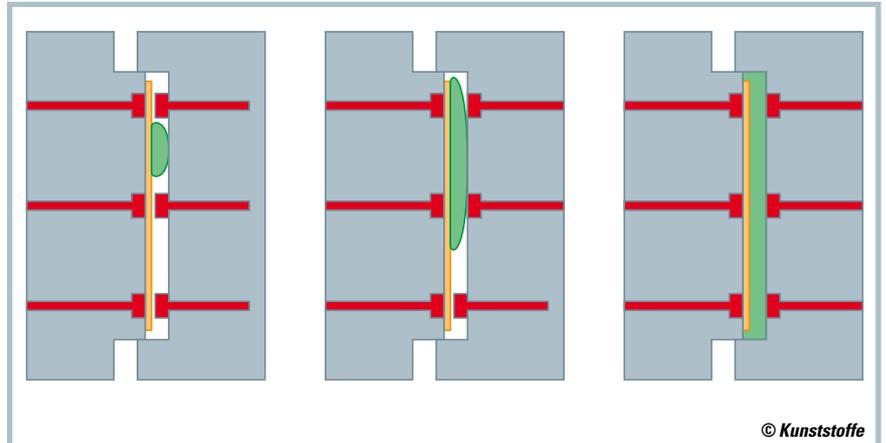


Bild 6. Abhängig vom Fließfrontverlauf der Schmelze in der Kavität werden die Klemmelemente separat zurückgezogen (Quelle: GKTool)

Die Autoren

Dipl.-Ing. Christian Götz ist Leiter Innovation & Tech-Center bei der Georg Kaufmann Formenbau AG, Busslingen/Schweiz; c.goetze@gktool.ch

B.Eng. Philipp Böhme ist Entwicklungsingenieur bei der Georg Kaufmann Formenbau AG.

Dr. Bert Rietman ist Staff Scientist Composites bei Sabic; Bert.Rietman@sabic.com

Emmanuel Boxus, M.Sc., ist Scientist Application Technology bei Sabic.

Dipl.-Ing. Stefan Fenske ist Technologiemanager FiberForm bei der KraussMaffei Technologies GmbH, München; Stefan.Fenske@kraussmaffe.com

Dipl.-Ing. Stefan Schierl ist Technologieentwickler FiberForm bei KraussMaffei.

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1568290

English Version

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

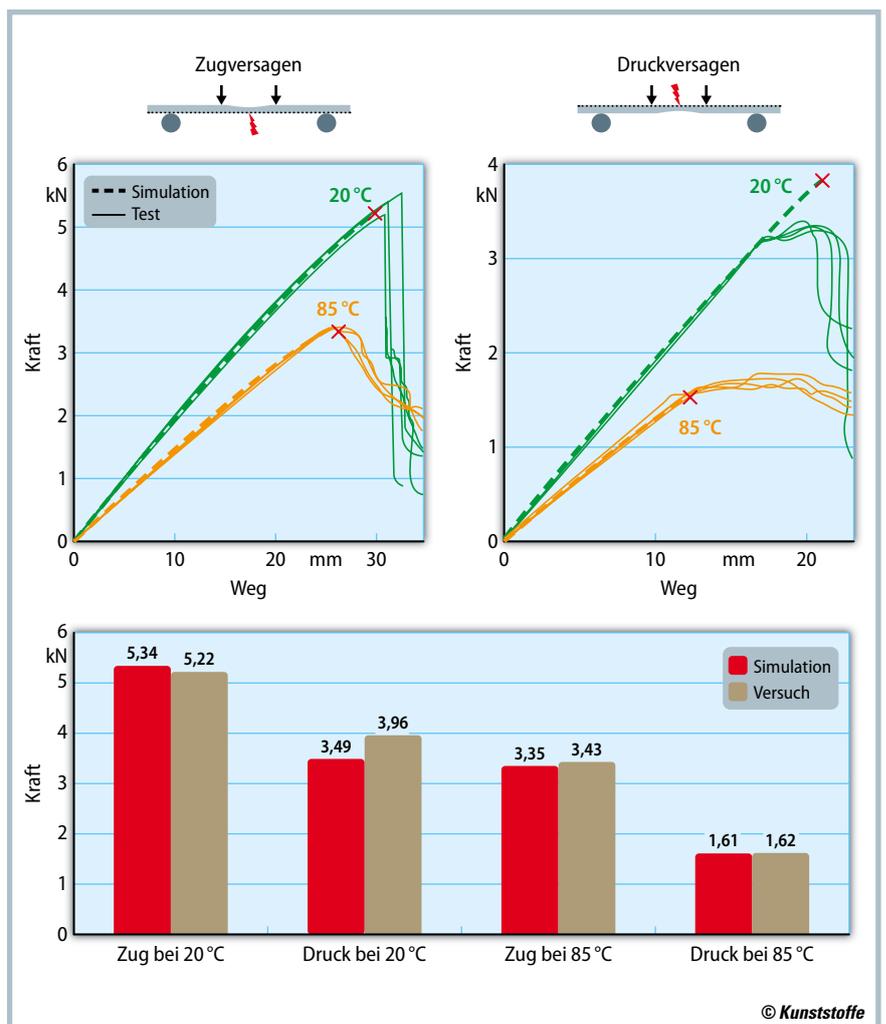


Bild 7. Der Vergleich zwischen Simulation und 4-Punkt-Biegeversuch zeigt eine gute Übereinstimmung und damit die hohe Qualität sowohl der Berechnung als auch des ausgeführten Bauteils. Die Versagensstelle unter Zug- (Laminat auf der Unterseite) und Druckwirkung (Laminat auf der Oberseite) ist rot markiert (Quelle: Sabic)

gerplatte für die 34 Klemmen je Seite ausgestattet, die die UD-Lamine im Werkzeug festhalten und während des Überspritzens fixieren (**Titelbild**). Die Kavität ist zur Prozessdokumentation mit mehreren Druck- und Temperatursensoren ausgestattet. Darüber hinaus ist sie stempel- und matrizenseitig jeweils als Einsatz ausgeführt. Dank des modularen Werkzeugaufbaus mit verschiedenen Wechseleinsätzen lassen sich damit sieben unterschiedliche Varianten des Bauteils herstellen. Zudem ist das Werkzeug sowohl für das Spritzprägen als auch das Spritzgießen geeignet.

Der Greifer fährt die vorgewärmten Lamine in das geöffnete Werkzeug ein, wo sie die integrierten Klemmen übernehmen. Die lokalen Verstärkungen erforderten dabei ein komplett neues Konzept, um sie beim nachfolgenden Schließen des Werkzeugs sicher zu halten. So bestehen die Klemmen aus zwei gegenüberliegend im Werkzeug positionierten Halteelementen. Diese bewegen sich beim Schließen des Werkzeugs so, dass das Laminat im Klemmbereich nicht deformiert und dennoch exakt auf der gewünschten Werkzeugseite positioniert wird. Dabei kann im Prozess vor dem Überspritzen entschieden werden, ob die dünnen Verstärkungslamine (links und rechts) auf die Stempel- oder die Matrizen­seite gedrückt werden und dadurch auf der Ober- oder Unterseite des Fertigteils verbleiben.

Das Einspritzen der PP-LGF-Schmelze erfolgt über einen Heißkanalverteiler mit vier hydraulisch betriebenen Nadelverschlussdüsen und dynamischer Nadel-Öffnungskinetik. Auf diese Weise lässt sich der Einfluss des Anspritzens und Füllens der Kavität auf die mechanischen Eigenschaften der Bauteile minimieren (**Bild 5**).

Während des Einspritzens drücken die Klemmen die Lamine mit definierter Kraft gegen die vorgesehene Werkzeugseite, sodass sie nicht von der Schmelze unterspült werden können. Um sie vollflächig überspritzen zu können, lassen sich alle Klemmelemente einzeln zurückziehen (**Bild 6**). Die Klemmen öffnen sich dabei synchron mit der Fließfront der Schmelze, die durch die Position der Schnecke vorgegeben ist. Weiterhin ist es wichtig, dass der Schmelzestrom möglichst laminar und gleichmäßig in der Kavität verteilt wird, damit geringe Querkräfte auf die UD-Lamine wirken und sie sich nicht aus ihrer Soll-Position heraus verschieben. Eine Füllanalyse ist daher zwingend nötig, damit das Füllverhalten im Vorfeld analysiert und ggf. gezielt verändert werden kann.

Geprüft und für serientauglich befunden

Mithilfe der neu entwickelten Technologie für das Handling und die Fixierung der UD-Tapes konnten Testbauteile in der angestrebten hohen Qualität hergestellt werden. Dies und die anschließende umfangreiche Prüfung der Eigenschaften unter statischer und dynamischer Last ermöglichten die Validierung der vollständig integrierten virtuellen Prozesskette, wie sie bei Sabic im Einsatz ist. Dort werden die einzelnen Fertigungsschritte virtuell abgebildet und dabei die wichtigsten Zustandsgrößen in der Prozesskette bis hin zur Bauteilsimulation berücksichtigt.

Beispielhaft dafür steht ein Vergleich zwischen den in der Simulation prognostizierten Versagensbelastungen und den unter Zug und Druck im 4-Punkt-Biegeversuch erzielten Messergebnissen bei Raumtemperatur und bei 85 °C (**Bild 7**). Die gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Werten erlaubt Rückschlüsse sowohl auf die hohe Qualität der Simulationsmethode als auch auf die erreichte Bauteilqualität. ■