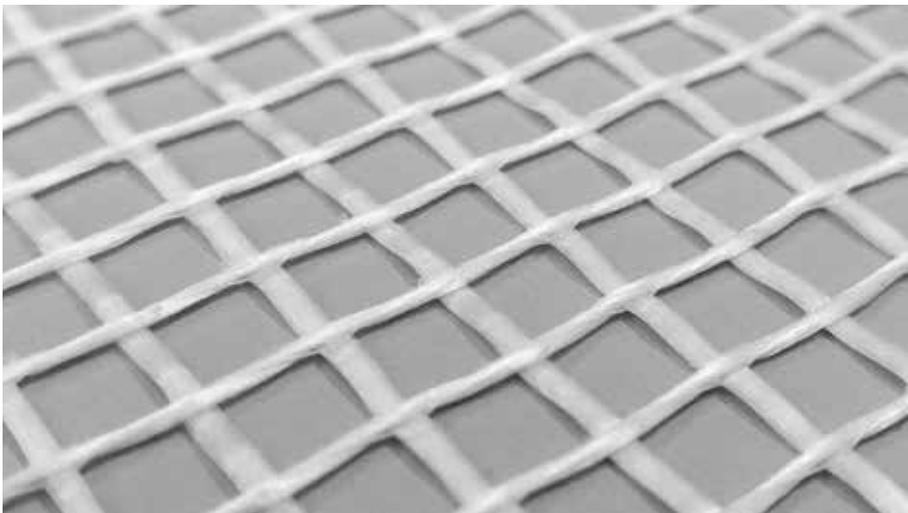


# Gitter für Bauteile von Format

## Webtextilien mit verstärkter thermoplastischer Matrix bieten seriennahe und belastbare Faserverbundbauteile

Der aufwendige und teure Verarbeitungsprozess endlosfaserverstärkter thermoplastischer Faserverbundkunststoffe ist eine große Hürde für die automobile Großserie. Das direkte Umspritzen gitterartiger textiler Webstrukturen ermöglicht einen schnellen und beherrschbaren Prozess mit hohem wirtschaftlichen Potenzial. Dies wurde für den Montageträger des VW Tiguan untersucht.



Verschiebefeste Drehergewebe lassen sich sehr gut drapieren und können durch die grobe Webstruktur auch von gefüllten Thermoplasten noch gut umflossen werden. Dadurch eignen sie sich für einen schnellen Serienprozess faserverstärkter Kunststoffbauteile (© Volkswagen)

Die gesetzlich festgesetzte Grenze des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes [1, 2] erfordert von Automobilherstellern leichtere Fahrzeuge. Der Trend entfernt sich dabei mehr und mehr von ganzheitlichen Leichtbaustrukturen mit Monomaterialien und orientiert sich an belastungsgerecht partiell verstärkten Bauteilen. Neben hybriden Mischbauweisen aus Metall, Faserverstärkungen und Kunststoffen [3] liegt der aktuelle Entwicklungsfokus auf Faserverbundkunststoffen (FVK) mit Organoblechverstärkungen [4, 5, 7].

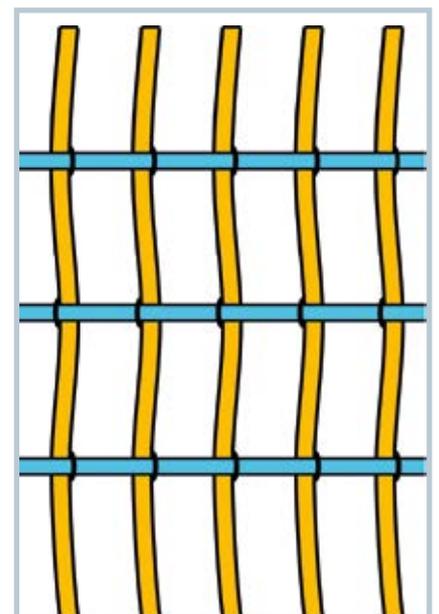
### Hürden in der Großserienfertigung

Um den Leichtbau serienreif zu gestalten und ihn in die Massenproduktion zu inte-

grieren, befassen sich sowohl Automobilhersteller als auch Institute und Universitäten mit der Entwicklung von Materialien und Prozessen. Die Verarbeitung von thermoplastischen FVK erfolgt größtenteils über eine Prozesskombination. Dabei bringt besonders die Temperaturführung im Verarbeitungszyklus sowohl einen zeitlichen Mehraufwand, als auch einen erhöhten Energieeintrag mit sich. Das ist gegenüber dem standardisierten Spritzgießprozess nachteilig für die Serienfertigung mit hohen Stückzahlen. Weiterhin ist eine gesonderte Anlagenperipherie notwendig, wodurch zusätzliche Kosten entstehen. Zudem sind die Übergabe- und Verarbeitungszeit sowie die genaue Halbzeugtemperatur prozessent-

scheidend. Demzufolge können Temperaturschwankungen in den Produktionshallen (Sommer/Winter) Störgrößen in der Prozessführung darstellen, die einen Prozess in der Großserie erschweren.

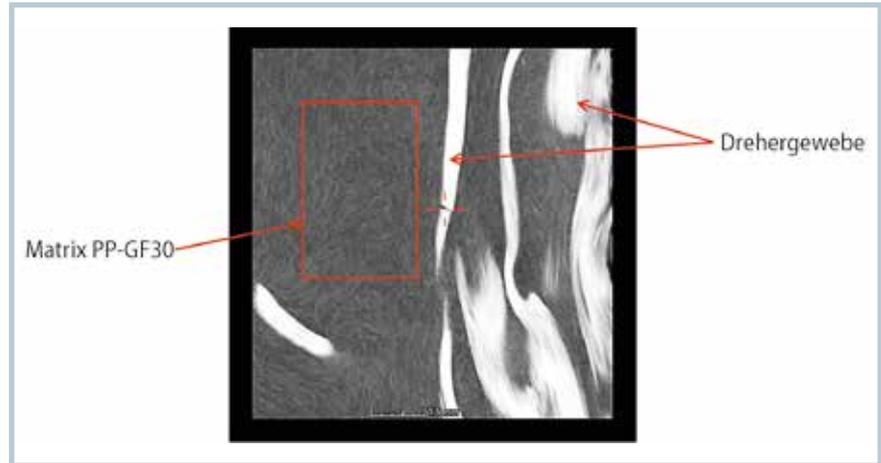
Für eine Verarbeitung von FVK in der Großserie ist es deshalb notwendig, einen robusten Prozess abzubilden, der von äußeren Einflüssen weitgehend unabhängig ist. Außerdem sollten die Faserverbundverstärkungen möglichst ohne Vorbehandlungen (Aufheizen, Vorformen, etc.) verarbeitet werden können.



**Bild 1.** Drehergewebe verfügen über mindestens zwei Fadensysteme: einen Kettfaden (gelb) und einen Schussfaden (blau). Die Kettfäden umschlingen nach jedem Schusseintrag den Schussfaden (© Volkswagen)

### Gitterartige Drehergewebe thermoplastisch umspritzt

Ein Lösungsansatz für die seriennahe Umsetzung von FVK bietet der Einsatz von gitterartigen Webtextilen (**Titelbild**), die beispielsweise aus Glasfasern bestehen können. Verschiebefeste Dreherbindungen verhindern, dass die Fasern innerhalb der Werkzeugkavität ausschweben. Ein Drehergewebe verfügt über mindestens zwei Kettfadensysteme, einem Steherfaden und einem Bindefaden (**Bild 1**). Dabei umschlingen die Kettfäden nach jedem Schusseintrag den Schussfaden. Dieser Typ von Gewebe erfordert eine spezielle Art der Kettfadenführung. Durch die Umschlingung verbessern sich die Schiebefestigkeit und auch das Handling der Gewebe. Zusätzlich wird die Spannung des Stehfadens erhöht, was die Ondulation der Kette und somit die Dehnung in Kettrichtung verringert. Die verfahrensbedingt geringere Fadendichte in Kett- und Schussrichtung ermöglicht zudem ein gutes Drapierverhalten. Das Gewebe kann so-



**Bild 2.** In der Computertomografie-Aufnahme des Faserverbands ist zu sehen, dass die Gittereinleger eine unregelmäßige Schmelzeströmung und damit auch Faserorientierung erzeugen

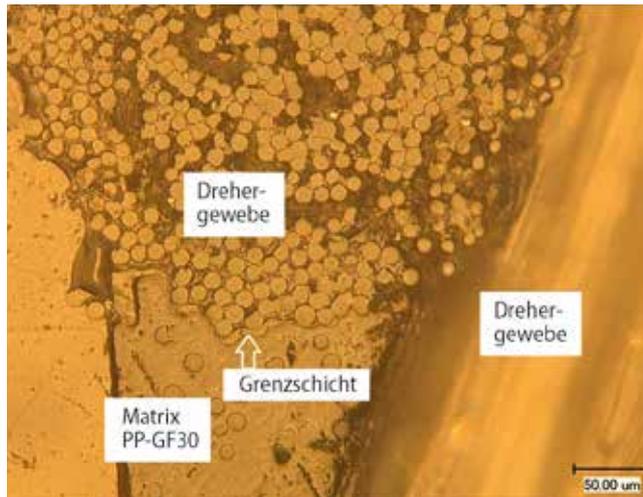
(© Volkswagen Zentrallabor)

wohl mit ungefüllten als auch mit gefüllten Thermoplasten umspritzt werden.

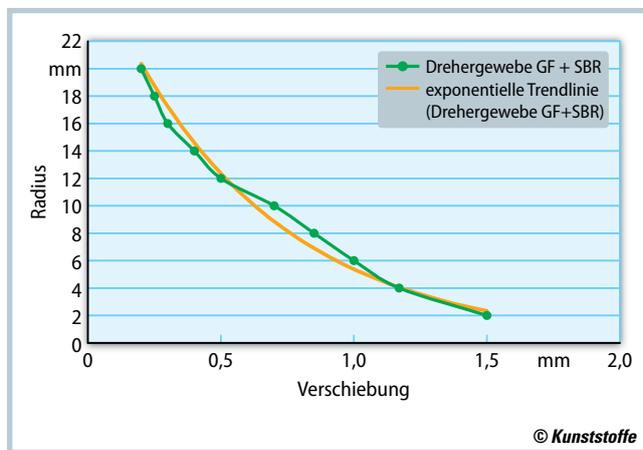
Bei dem verwendeten Versuchsmaterial handelt es sich um ein Scheindrehergewebe der Firma Delcotex Delius Techtex GmbH & Co. KG, Bielefeld. Sowohl Kett- als auch Schussfaden beste-

hen aus einer 6400 dtex Glasfaser, wobei der zusätzliche Bindefaden ein Polyesterfaden mit 220 dtex ist. Die Fasern des hier betrachteten Halbzeugs sind mit einer Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)-Schlichte versehen und der Gitterabstand beträgt ca. 5x5mm. »

**Bild 3.** Das Schlibbild der Faserverbundplatte (gespritzt bei einer Werkzeugtemperatur von 50 °C) in einer 600-fachen Vergrößerung zeigt eine sichtbare Grenzschicht zwischen Matrix und Fasern. Vermutlich wird diese durch die Schlichte hervorgerufen (© PUK Clausthal)



**Bild 4.** Abhängigkeit zwischen Formteilradius und der Verschiebung von Kett- und Schussfäden. Für belastbare Bauteile kommt es darauf an, dass sich das Fasergewebe während dem Drapieren möglichst wenig verzieht (Quelle: Volkswagen)



### Verarbeitung und Prüfverfahren

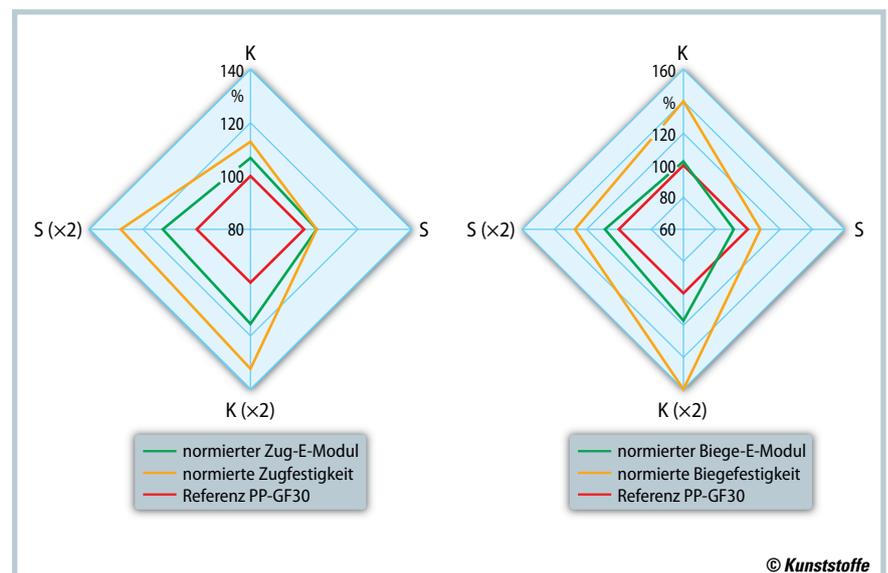
Im ersten Entwicklungsschritt des Projekts wird die Verarbeitbarkeit an einfachen Plattengeometrien (200x160x2,5mm) mit Filmanguss getestet und nachgewiesen. Hierbei liegt ein spezielles Augenmerk auf Einspritzgeschwindigkeiten und Drücken, wie sie in einem Serienprozess vorherrschen (Werkzeugtemperatur 35 °C, Massetemperatur 245 °C, Einspritzgeschwindigkeit 55 mm/s, Nachdruck 45 bar). Als Matrixwerkstoff kommt ein zu 30 % glasfasergefülltes Polypropylen (PP-GF30) (Hersteller: LyondellBasell, Rotterdam/Niederlande), zum Einsatz, das auf einer Spritzgießmaschine (Typ: 650-3000-750 CXZ, Hersteller: KraussMaffei Technologies, München) verarbeitet wird. Über Computertomografie (CT)-Aufnahmen wird die Gitterstruktur innerhalb der Platte auf Verschiebungen und Stauereffekte hin geprüft. Der nächste Schritt dient der Charakterisierung des Verbunds. Einerseits beschreiben Fiber-Pull-Out-Versuche das Grenzflächen-/Ablösungsverhalten,

andererseits wird die Anbindung optisch mittels Mikroskopie bewertet. Die Drapierbarkeit wird über 2D-Grenzgeometrien (Radien zwischen 3–15 mm) ab-

gebildet und ein Grenzmuster für die maximale Drapierfähigkeit des Drehergewebes abgeleitet. Zuletzt steht das mechanische Verhalten des Verbunds im Vordergrund. Hier werden die Normprüfungen für Zugfestigkeit [8], Biegefestigkeit [9] und Schlagzähigkeit [10] herangezogen.

### Stabiles Gewebe mit kurzglasfaserverstärkter Matrix

Der Aufbau des Drehergewebes hat sich in den Anspritzversuchen als stabil gegenüber Einspritzdruck und -geschwindigkeit erwiesen. Die CT-Detaillaufnahme (Bild 2) des Verbunds zeigt, dass keinerlei Stauereffekte der kurzglasfasergefüllten Matrix beim An- und Durchspritzen auftreten. In Bezug auf eine anisotrope Ausrichtung der Kurzglasfasern, wie sie bei einem Filmanguss vermutet wird, ist zu sehen, dass vornehmlich eine Isotropie auftritt. Es ist wahrscheinlich, dass der Gittereinleger als eine Art Widerstand fungiert und so eine Schmelzeströmung entsteht, die sich in ungleichmäßiger Faserorientierung durch den Fließvorgang innerhalb der Kavität zeigt. In Bezug auf die Haftung wird in Bild 3 ein beispielhaftes Schlibbild einer Platte bei 600-facher Vergrößerung und einer Werkzeugtemperatur von 50 °C gezeigt. Zwischen dem Drehergewebe und der angespritzten PP-GF30-Matrix bildet sich eine deutliche Grenzschicht aus. Es ist zu vermuten, dass die PP-GF30-Matrix inkompati- »



**Bild 5.** Die Ergebnisse des Zug- (links) und Biegeversuchs (rechts) mit einfacher (Kett-(K) und Schussfaden (S)) und doppelter (K(x2), S(x2)) Verstärkung in Netzdiagrammen (Quelle: Volkswagen)

bel mit der Faserschichte ist. Dies wird aktuell am Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik der TU Clausthal näher betrachtet.

Für die Untersuchung der Drapierfähigkeit wurde das Gittergewebe systematisch über unterschiedliche Radien einer Prinzipgeometrie drapiert und die entsprechende Verschiebung der Kett- und Schussfäden gemessen. In **Bild 4** ist zu erkennen, dass eine Abhängigkeit zwischen dem zu drapierenden Radius und der Verschiebung der Fäden besteht. Je kleiner der Radius, desto größer ist die Verschiebung im Gewebe. Für eine intakte Gewebestruktur ist eine Verschiebung  $\leq 0,5$  mm zulässig.

Die Netzdiagramme in **Bild 5** zeigen die Zugfestigkeiten und die Biegefestigkeiten unterschiedlicher Verbundvarianten in Abhängigkeit der Gewebeausrichtung innerhalb des Werkzeugs. Es werden sowohl einzelne Lagen, als auch doppelte Lagen des Drehergewebes verarbeitet. Die Abkürzungen „K“ und „S“ stehen hierbei jeweils für die Ausrichtung der Kett- und Schussfäden in Schmelzflussrichtung. Der Zusatz „x2“

## Die Autoren

**Sonja Krömer** ist seit 2014 Doktorandin der Volkswagen AG im Werk Wolfsburg; [sonja.kroemer@volkswagen.de](mailto:sonja.kroemer@volkswagen.de)

**Prof. Dr.-Ing. Gerhard Ziegmann** war von 1998 – 2012 Leiter des Instituts für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik der TU Clausthal und ist seit 2012 Inhaber der Niedersachsenprofessur für Faserverbundkunststoffe; [ziegmann@puk.tu-clausthal.de](mailto:ziegmann@puk.tu-clausthal.de)

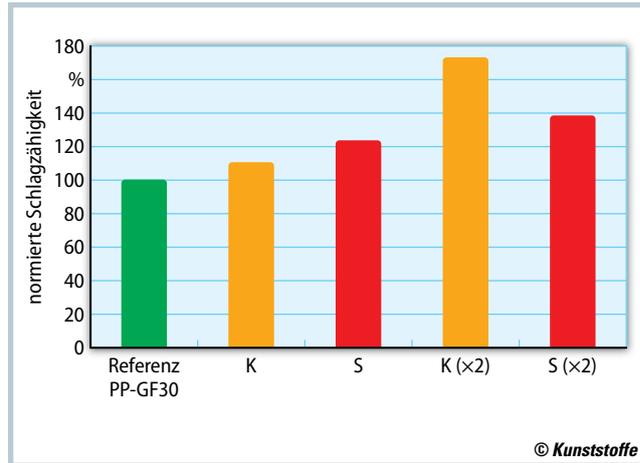
### Dank

Mein Dank gilt Prof. Dr. Gerhard Ziegmann sowie dem Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik der TU Clausthal für die Betreuung und Unterstützung zu dem aktuellen Faserverbund-Projekt. Ein weiteres Dankeschön gilt der Volkswagen AG für die Bereitstellung des Themas und der fachlichen Diskussion sowie der Anlagen- und Messtechnik.

## Service

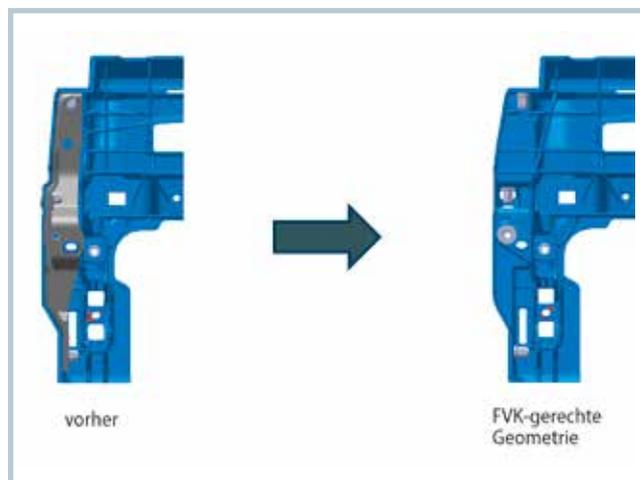
### Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2595710](http://www.kunststoffe.de/2595710)



**Bild 6.** Darstellung der normierten Schlagzähigkeit. Die höchsten Werte zeigen die Verbundvarianten mit doppelter Verstärkung und Ausrichtung in Ketttrichtung

(Quelle: Volkswagen)



**Bild 7.** Vergrößerung der Radien an der Seitenkontur für den FVK-gerechten Einsatz von Gittergewebe in einem Montageträger.

Serienstand (links) und mögliche FVK-Geometrie (rechts) (© Volkswagen)

weist auf eine doppelte Einlegervariante hin. In rot ist jeweils das reine Matrixmaterial als Referenz aufgeführt. Die Eigenschaften auf Zug- und Biegebeanspruchung sind in Ketttrichtung grundsätzlich höher, als die Eigenschaften in Schussrichtung. Dies ist auf die erhöhte Anzahl an Fäden/cm und auf den stabilisierenden Kettfaden zurückzuführen. Wird eine doppelte Variante der Einleger verarbeitet, verringert sich der Unterschied zwischen Kette und Schuss deutlich. Bei den Zugeigenschaften zeigen die Varianten K(x2) und S(x2) die höchsten Steigerungen der Festigkeit. Auch die E-Moduln haben bei den doppelten Einlegervarianten die höchsten Werte. Bei dem Biegeversuch übersteigt die Biegefestigkeit der einfachen Kettvariante (K) die der Variante mit doppelter Schussausrichtung (S(x2)). Die Biegemoduln der einfachen Varianten K und S zeigen hingegen nur geringe Steigerungen und sogar Verschlechterungen gegenüber der Serienreferenz. Für die Untersuchung bei schlagartiger Beanspruchung stellt **Bild 6**

die normierte Schlagzähigkeit der verstärkten Platten dar. Es ist zu erkennen, dass auch hier die Varianten mit doppelter Verstärkung und Ausrichtung in Ketttrichtung die höchsten Werte erzielen.

### Metalleinleger in Montageträger ersetzen

Als potenzielle Einsatzorte im Automobil kommen diverse zu verstärkende Elemente aus dem Interieur und Exterieur in Frage. Ein erster Ansatz ist aufgrund des Leichtbaugedankens die Substitution von Metalleinlegern im Kunststoff-Montageträger des VW Tiguan. Hierbei besteht die Möglichkeit, die gitterartige Faserverstärkung direkt in den Spritzgießprozess zu integrieren. Dafür muss ein Teil der vorhandenen Bauteilgeometrie angepasst werden, um ein automatisiertes Handling und eine faserverbundgerechte Drapierung zu gewährleisten. Auf Basis der generierten Ergebnisse in **Bild 4** zeigt **Bild 7** eine mögliche Anpassung der Außenkontur. ■