

---

**Laufzeit** 01.09.2010 - 31.12.2012

---

**Titel** Modellierung der orientierungsabhängigen mechanischen Eigenschaften von kohlenstofffaserverstärkten Thermoplastformteilen

---

**IGF-Vorhaben-Nr.: 16 712 N**

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) finden aufgrund ihrer Eigenschaften als Hochleistungsmaterialien vielseitige Anwendungen. Sie kommen bevorzugt im Bereich der Automobilindustrie, in der Luft- und Raumfahrttechnik sowie innerhalb des Maschinenbaus zum Einsatz. Traditionelle CFK-Verbundwerkstoffe besitzen eine duroplastische, mit Endlosfasern bzw. Geweben verstärkte Matrix. Sie können zu Struktur- und Leichtbauteilen verarbeitet werden, die höchste Anforderungen an die Ermüdungs-, Abrasions- und Korrosionsbeständigkeit erfüllen. Thermoplastische CFK-Verbundwerkstoffe zeichnen sich gegenüber duroplastischen Materialien durch eine höhere Energieaufnahmefähigkeit, bessere Schlagzähigkeit und ein hohes Recyclingpotenzial aus. Die Zykluszeiten bei der Thermoplastverarbeitung sind sehr viel niedriger als bei den chemisch vernetzenden Harzen. Kurzfaserverstärkte Thermoplaste können im Spritzgießverfahren verarbeitet werden, was variable Formgebungsmöglichkeiten und eine Großserienfertigung ermöglicht. Daher werden hoch belastete Komponenten für den Kraftfahrzeug-, Maschinen- und Gerätebau, die zuvor aus metallischen Werkstoffen gefertigt wurden, wo immer es möglich ist durch CFK-Formteile substituiert.

Bei der Auslegung und Dimensionierung von kohlenstofffaserverstärkten Formteilen werden erhöhte Anforderungen gestellt, da sie in der Regel für sicherheitsrelevante Anwendungen eingesetzt werden. Ein fester Bestandteil des Konstruktions- und Entwicklungsprozesses ist mittlerweile die virtuelle Bauteilberechnung mit Hilfe von Simulationsprogrammen. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz dieser Programme ist jedoch eine hinreichend genaue Beschreibung des Werkstoffverhaltens.

Das Bauteilverhalten spritzgegossener CFK-Formteile hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, die wesentlich von den Eigenschaften der Kohlenstofffaser, von Fasergehalt und -geometrie und von der Faserorientierung im Formteil geprägt werden. Die stark differierenden mechanischen und thermischen Kennwerte von Matrix und Fasern und insbesondere die Anisotropie der Kohlenstofffasern ergeben für den Materialverbund parallel und senkrecht zur Faserlängsachse äußerst unterschiedliche Eigenschaften (Abb. 1 und 2). Dies hat gravierende Auswirkungen auf das mechanische Bauteilverhalten, aber auch auf die beim Spritzgießen auftretende Verarbeitungsschwindung und den Verzug.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde als primäres Projektziel ein mikromechanisches Modell erstellt, mit dem die orientierungsabhängigen mechanischen Eigenschaften von kohlenstofffaserverstärkten Thermoplasten im Bereich der elastischen Deformation berechnet werden können. Die Güte des Modells konnte anhand von Vergleichen mit experimentell ermittelten Materialkennwerten sowie mit Vergleichsrechnungen verifiziert werden. Der Modellansatz wurde in ein neuartiges Programmtool implementiert, das nach Abschluss des Forschungsvorhabens einem breiten Nutzerkreis für die Berechnung von Materialkennwerten zur freien Verfügung steht (Abb. 3).

Im Zuge einer umfassenden experimentellen Materialcharakterisierung ist es gelungen, neben den rheologischen, thermischen und elastischen Materialeigenschaften auch die richtungsabhängigen Querkontraktionszahlen kohlenstofffaserverstärkter Thermoplaste erstmals vollständig zu erfassen. Bei der Prozess- und Bauteilsimulation kann nun auf komplette Stoffdatensätze dieser Materialklasse zurückgegriffen werden.

Anhand von Modellrechnungen wurde der Einfluss orientierungsabhängiger Stoffdaten auf die rheologische und strukturmechanische Simulation von CFK-Bauteilen untersucht und mittels Bauteilversuchen verifiziert. Auf der Basis optimierter Materialkarten für die Spritzgießsimulation konnte eine verbesserte Vorhersagegenauigkeit der orientierungsabhängigen Verarbeitungsschwindung von kohlenstofffaser- verstärkten Formteilen erzielt werden (Abb. 4).

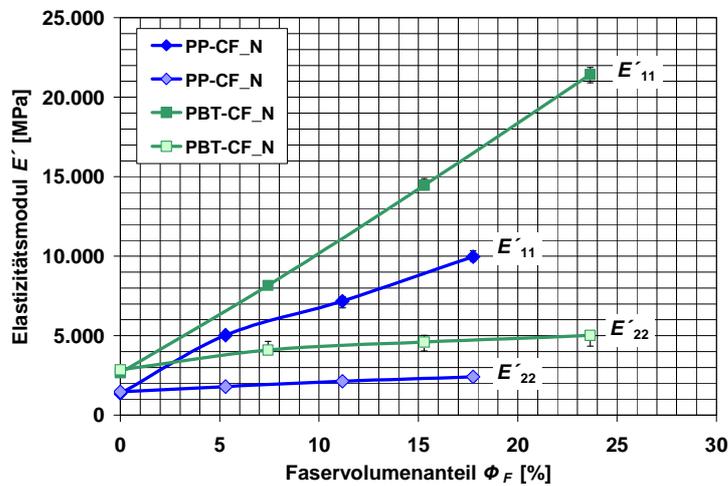


Abb. 1: Elastizitätsmodul  $E'_{11}$  und  $E'_{22}$  in Abhängigkeit vom Faservolumenanteil (23 °C).

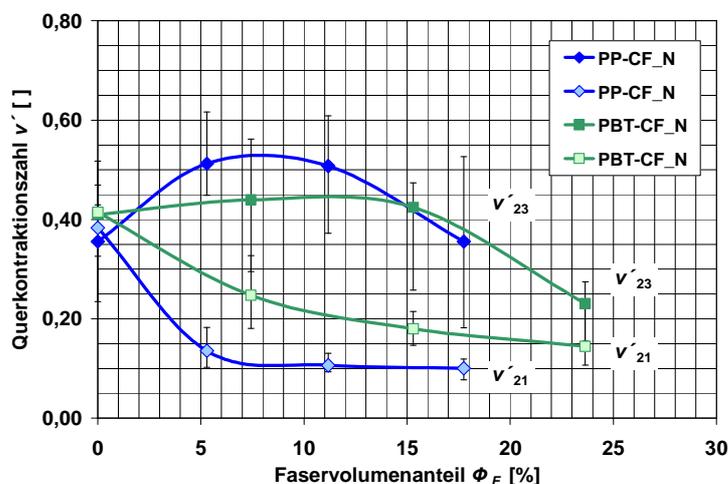


Abb. 2: Querkontraktionszahlen  $v'_{21}$  und  $v'_{23}$  in Abhängigkeit vom Faservolumenanteil (23 °C).

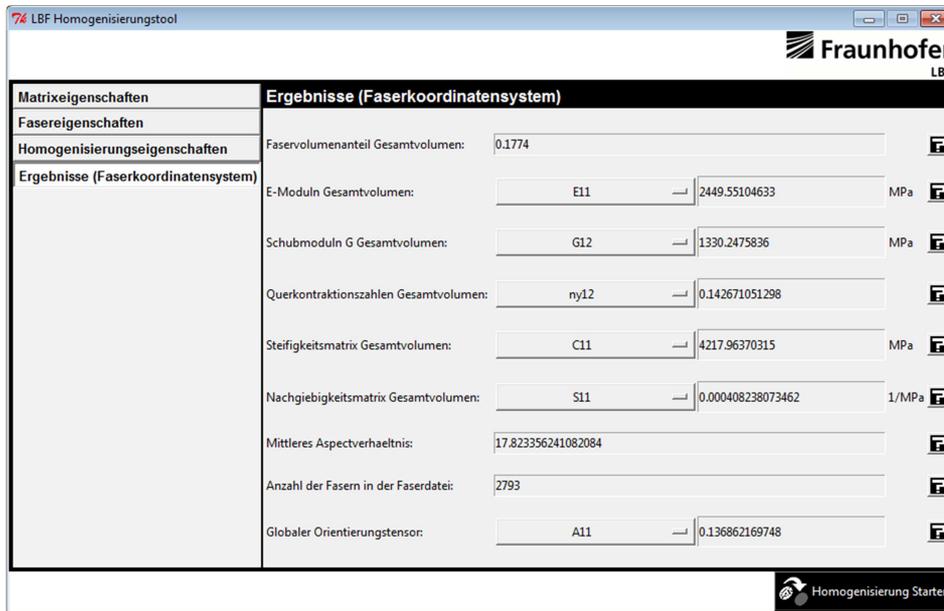


Abb. 3: Homogenisierungssoftware: Ergebnisdarstellung.

Versuch	Nachdruck [bar]	Werkzeugtemperatur [°C]	Einspritzzeit [s]
11 S	200	140	1,0
12 S	400	140	1,0
13 S	200	160	1,0
14 S	400	160	1,0
15 S	300	150	2,0
16 S	200	140	3,0
17 S	400	140	3,0
18 S	200	160	3,0
19 S	400	160	3,0

Schmelzetemperatur [°C]:	310
Nachdruckzeit [s]:	25
Restkühlzeit [s]:	40
Formteil:	Stab mit konvergentem Einlauf
Material:	TEDUR L 9404-1 (PPS-CF30)

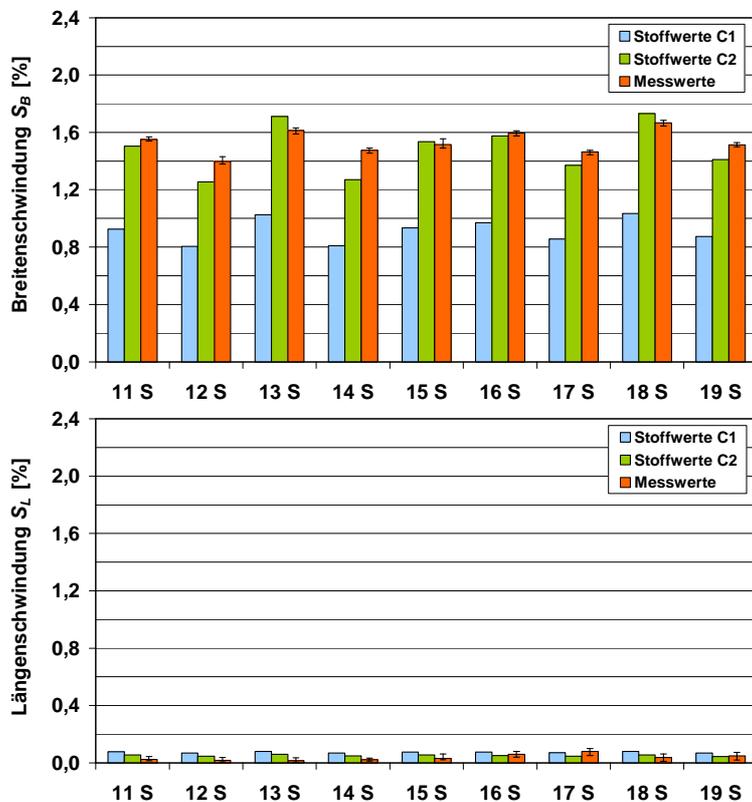
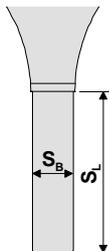


Abb. 4: Experimentelle und simulierte Schwindungswerte (Stab, PPS-CF30).

*Kontakt: Dipl.-Ing. Joachim Amberg, Tel.: +49 6151 705-8737; joachim.amberg@lbf.fraunhofer.de  
M. Sc. Felix Dillenberger, Tel.: +49 6151 705-8753; felix.dillenberger@lbf.fraunhofer.de*

## **Danksagung und Bestellhinweis**

Das IGF-Vorhaben 16 712 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V. (FGK, Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt) zum Thema

„Modellierung der orientierungsabhängigen mechanischen Eigenschaften von kohlenstofffaserverstärkten Thermoplastformteilen“

wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

**Gefördert durch:**



**aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages**

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden, der zum Selbstkostenpreis beim Fraunhofer LBF bestellt werden kann. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.

---