

Kunststoffe

Werkstoffe ■ Verarbeitung ■ Anwendung

40 SPRITZGIESSEN

Von Funktion zu
Ästhetik in einem
Schritt

14 SPECIAL

Kreislaufwirtschaft:
Eine Anlage mit
Vorbildcharakter

46 BRENNSTOFFZELLEN

Epoxidharze fit für
den Einsatz in der Wasser-
stofftechnik machen



Circular
Excellence
of Plastics



Mehr als 20 Prozent PCR-Anteil bei Interieur- und Strukturbauteilen

Vom Gelben Sack in den Fahrzeuginnenraum

Kunststoffrezyklate werden schon seit Langem in Automobilen genutzt. Bisher ist das jedoch selten im Fahrzeuginnenraum der Fall. Ein gemeinsames Projekt von BMW und TechnoCompound zeigt nun, dass sich auch bei Interieurkomponenten PCR-Anteile von über 20 Prozent realisieren lassen. Zumindest, wenn sich das verwendete Compound dafür eignet.

Der Mini Cooper E zeigt, dass sich hohe PCR-Anteile auch bei Innenraumbauteilen umsetzen lassen.

© BMW



Im Juni 2024 wurde mit dem erfolgreichen Serienstart des Mini Cooper E von BMW erstmals ein Instrumententafelträger aus einem langglasfaserverstärkten Polypropylen (PP) mit hohem Anteil an Post-Consumer-Rezyklaten (PCR) umgesetzt. Für die Serienfreigabe musste das verwendete Material die notwendigen mechanischen Eigenschaften sowie die strengen Qualitätsanforderungen gemäß den BMW Group Standards GS 97014-3 und GS 97014-4 erfüllen. Der freigegebene Werkstoff TechnoGreen PP LGF 20-10-04 L E des Compoundeurs TechnoCompound besitzt einen PCR-Gehalt von 21 % und ermöglicht dadurch eine CO₂-Einsparung von 15 % gegenüber einem Compound aus Neuware. Mit diesem Werkstoff erhalten Automobilhersteller und deren Systemlieferanten

die Möglichkeit, den Einsatz von PCR auf den Fahrzeuginnenraum zu erweitern. Das hilft beim Erreichen der eigenen Nachhaltigkeitsziele und der Erfüllung der voraussichtlich ab 2030 geltenden Anforderungen der europäischen Altfahrzeugverordnung (ELV-Direktive).

Bei der Entwicklung des Instrumententafelträgers arbeitete BMW mit dem Systemlieferant Grupo Antolin und TechnoCompound zusammen. Das Ziel war, den Träger mit 20 % langglasfaserverstärktem PP (PP-LGF20) mit einem PCR-Anteil von 20 bis 30 % herzustellen. Hierfür wurde auf emissions- und geruchsarme Werkstoffe aus der Produktgruppe TechnoFiber und auf PCR-Produkte aus dem TechnoGreen-Sortiment von TechnoCompound zurückgegriffen. Die Erfüllung des Standards GS 97014-3 von

BMW stand bei der Werkstoffauswahl im Vordergrund. Dem OEM und dem Systemlieferanten konnten dabei sehr schnell Informationen zu den Emissions- und Geruchseigenschaften vorgelegt werden.

Diese führten dazu, dass der Werkstoff TechnoGreen PP LGF 20 ausgewählt und im Labor von BMW auf Herz und Niere geprüft wurde. Die positiven dort erzielten Untersuchungsergebnisse legten den Grundstein für die weitere Umsetzung. Die zulässigen Grenzwerte für Einzelstoffe, für die Gesamtemission (TVOC µg/m³ pro kg) und die Geruchsnote unterschritt der Werkstoff deutlich. Die Rezeptur des TechnoGreen PP LGF 20 basiert außerdem auf Rohstoffen, die aus langjährigen strategischen Lieferquellen stammen und eine hohe Zuver-

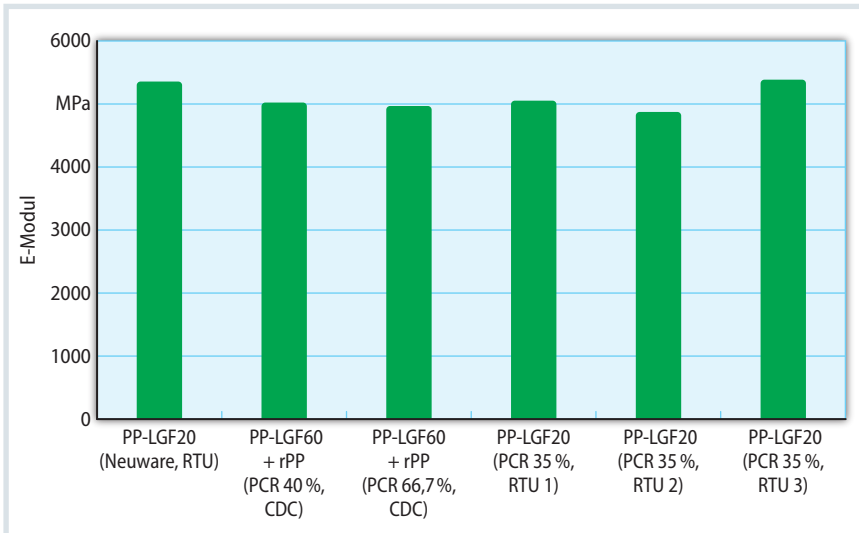


Bild 1. E-Modul unterschiedlicher PP-Compounds: Die Varianten mit Rezyklatanteil kommen auf ähnliche Werte wie die Neuwaren-Type. Quelle: TechnoCompound; Grafik: © Hanser

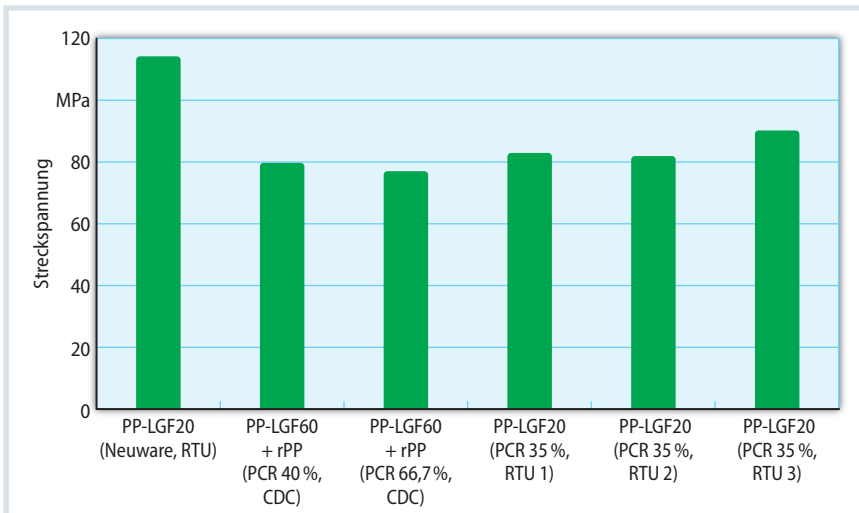


Bild 2. Streckspannung von PP-Compounds: Die PCR-basierten Typen kommen auf geringere Werte als die Neuware, erreichen aber immer noch gute Werte. Quelle: TechnoCompound; Grafik: © Hanser

lässigkeit hinsichtlich der Qualität, der Verfügbarkeit und der Preistransparenz ermöglichen.

Ermitteln von Kraft-Weg-Verläufen und Spannungs-Dehnungs-Kurven

Darüber hinaus war der Anspruch an den Werkstoff, einer hohen mechanischen Belastung standzuhalten. Außerdem sollte sich die Bauteilentwicklung anhand von Simulationsdaten zügig und kosteneffizient gestalten lassen. Deshalb wurde das mechanische Verhalten des Materials untersucht und es wurden prognosefähige Materialkarten zur Steifigkeits-, Festigkeits- und Crashsimulation für die Simulationssoftwares (Solver) Abaqus und Pam-Crash erstellt.

Durch Zugversuche mit unterschiedlichen Abzugsgeschwindigkeiten auf einer Zugprüfmaschine wurde eine experimentelle Datenbasis zum Verformungs- und Versagensverhalten des Kunststoffs geschaffen (**Bilder 1–4**). Ziel war die Ermittlung von Kraft-Weg-Verläufen sowie von wahren Spannungs-Dehnungs-Kurven.

Manche Werkstoffe zeigen ein stark lokalisierendes Deformationsverhalten vor dem Bauteilversagen. Das musste bei der Auswahl des Dehnungsmessverfahrens berücksichtigt werden. Deshalb wurde neben der Auswertung globaler Kraft-Weg-Verläufe auch ein optisches Dehnungsmessverfahren eingesetzt. Durch dieses konnten die lokalen Dehnungen an beliebigen Stellen auf der

Probeplatte mit hoher zeitlicher und örtlicher Auflösung ermittelt werden. Weiterhin wurden Drei-Punkt-Biegeversuche durchgeführt, die einen Abgleich der Materialkarten unter einem mehrachsigen Spannungszustand ermöglichen.

Analyse mit Simulationssoftware

In ausgewählten Versuchsserien wurde der Einfluss der Probenentnahmerichtung (längs, quer und diagonal) verglichen. Für die isotrope Definition der Materialkarten wurden die ermittelten Eigenschaften für verschiedene Richtungen gemittelt. Für die Steifigkeits-, Festigkeits- und Crashberechnungen im Solver Abaqus wurde das isotrope Modell *PLASTIC + *DAMAGE INITIATION, CRITERION=DUCTILE + *DAMAGE EVOLUTION verwendet. Das Fließverhalten und die Versagensdefinition wurde in Abhängigkeit der Dehnrate angegeben, das Versagen zusätzlich in Abhängigkeit des Spannungszustands (Triaxialität). Die Bruchdehnungen für Zugbelastung wurden dem Zugversuch entnommen. Nach Definition der Materialkarten wurden Zug- und Biegeversuche mit einer ausgewählten Elementkantenlänge nachsimuliert und die ermittelten Eingabeparameter anhand von Abgleichen der globalen Kraft-Weg-Kurven verifiziert und gegebenenfalls optimiert.

Die Abaqus-Materialkarten wurden anschließend in den Solver Pam-Crash für die Anwendung mit Schalenelementen konvertiert. Die Modellierung erfolgte im Materialmodell Typ 103 unter der Verwendung der Versagenskriterien Thinning und Thickening. Die dehnratenabhängigen Fließkurven wurden aus den Abaqus-Materialkarten übernommen, die Versagensdefinition im Rahmen der Möglichkeiten im Solver Pam-Crash individuell abgestimmt. Nach Definition der Materialmodelle wurden Zug- und Biegeversuche ebenfalls mit einer ausgewählten Elementkantenlänge nachsimuliert und die ermittelten Eingabeparameter anhand von Abgleichen der globalen Kraft-Weg-Kurven verifiziert und gegebenenfalls optimiert.

Detaillierte Untersuchungen sichern Serienstart

Die detaillierten und fachkundigen Untersuchungen, die im Vorfeld stattgefunden haben, sowie die erhobenen »

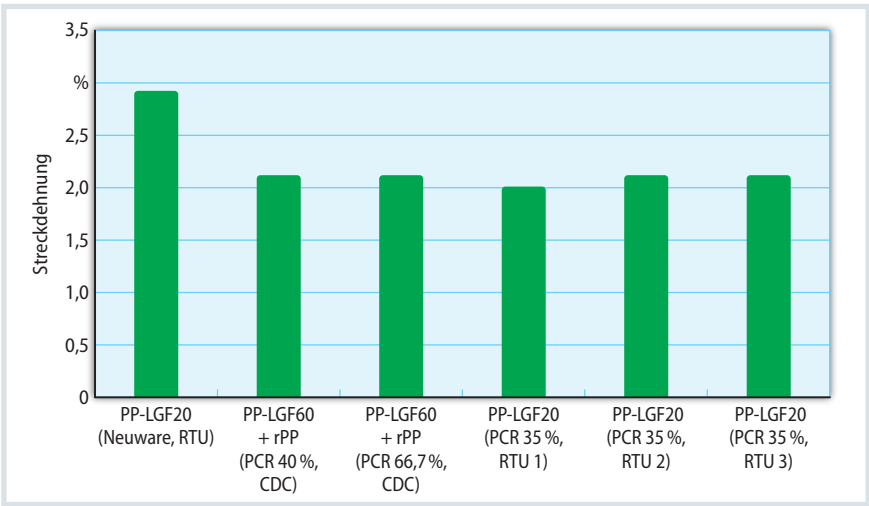


Bild 3. Streckdehnung langglasfaserverstärkter PP-Compounds: Die Werte der Varianten mit PCR-Anteil entsprechen weitgehend den notwendigen Anforderungen. Quelle: TechnoCompound; Grafik: © Hanser

Daten führten im Juni 2024 zu einem erfolgreich abgesicherten und reibungslosen Serienstart des Instrumententafel-trägers des Mini Coopers E mit einem PCR-Anteil von 21 %. In den ver-gangenen beiden Jahren wurden außer-dem eine Vielzahl weiterer Anwen-dungen im Fahrzeuginnenraum mit PCR-basierten Werkstoffen in die Serienfer-tigung überführt. In 2025 werden acht weitere Serienstarts erwartet. Dabei handelt es sich um Innenraumanwen-dungen für Fahrzeuge von VW und Mercedes. Des Weiteren werden PIR-basierte I-Tafelträger für Audi und Seat innerhalb des Jahres 2025 in die Serie starten. Insgesamt werden derzeit zehn OEM und 14 Modellreihen von Techno-Compound im Segment I-Tafelträger seriell mit Neuware und PIR- und PCR-basierten Compounds bedient.

Für zukünftige Anwendungen be-steht bei verschiedenen Automobilher-stellern der Wunsch nach noch höheren PCR-Anteilen. Bei TechnoCompound und seinen Partnern werden dazu Techno-logien entwickelt, die das Upcycling von

Kunststoffabfällen aus der Leicht-verpackungsfraction des Gelben Sacks ermöglichen, um diese für hochwertige technische Bauteile einsetzen zu können. Unter anderem kommen folgende ver-fahrens- und rezepturtechnische Ansätze, auch in Kombination, bereits zum Einsatz:

- Abmischen und Homogenisieren unterschiedlicher PCR-Rohstoffquel-len nach selbst entwickelten Algorith-men zur Sicherstellung konstanter rheologischer und mechanischer Eigenschaften des PCR-Rohstoff-Pre-mixes als Eingangsstoffstrom für die Compoundierung
- Einsatz unterschiedlicher, an das Produkt angepasster Entgasungstechnologien im Compoundierextruder
- produkt- und anwendungsabhängige Additivierung
- Inline-Prozess-Überwachung und -Steuerung sensibler Materialeigen-schaften
- Desodorierung von Rohstoffen und Compounds
- Sortierung des PCR-Rohstoffstroms auch mit KI-Unterstützung: Minimie-

rung des Anteils von Fremdpolyme-ren, unerwünschter Füllstoffe und von kritischen Verunreinigungen, die etwa stark anhaften oder in den Kunststoff migrieren

Speziell angepasste PCR-Typen

Eine wachsende Anzahl von gebrauchsfertigen TechnoGreen-Typen auf PP-Basis befindet sich mit PCR-Anteilen von bis zu 35 Gew.-% zwischenzeitlich im Sorti-ment von TechnoCompound. Darüber hinaus ermöglicht das neue Concentrate Dilution Concept (CDC) des Unterneh-mens, PP-LGF-Compounds für Struktur-bauteile mit speziell dafür entwickelten PCR-basierten rPP-Compounds abzu-mischen, um die notwendigen mechani-schen Eigenschaften zu erreichen und zugleich den CO₂-Fußabdruck der End-produkte so weit wie möglich zu redu-zieren (**Tabelle**). Der bei TechnoCom-pound eingesetzte Pultrusionsprozess führt dabei zu hochwertigen Com-pounds auf dem Leistungsniveau von Produkten auf Neuwarebasis. Falls das breite Sortiment an gebrauchsfertigen Ready-To-Use-Typen (RTU) nicht mehr ausreicht, kann eine CDC-Type die pas-sende Lösung sein.

Als Basis dient dabei TechnoGreen PP LGF 60 mit einer Matrix aus 100 % Neuware (Klasse GK1A). Dieses wird an der Spritzgießmaschine des Verarbeiters mit TechnoFin rPP abgemischt, das bis zu 100 % aus PCR (Klasse GK4) besteht. Im Mischungsverhältnis von beispiels-weise 1 : 2 sind damit CO₂-Einsparungen von 55 % im Vergleich zur Verarbeitung von Neuware mit gleichem Faseranteil möglich.

Während die PCR-haltigen RTU-Typen bereits in Serienanwendungen laufen, sind die CDC-Varianten gerade bei OEM und Tier1 in der Bewertungsphase. Über alle Produktreihen hinweg liegt der

	Prüfnorm	Einheit	PP-LGF20 (Neuware, RTU)	PP-LGF60 + rPP (PCR 40 %, CDC)	PP-LGF60 + rPP (PCR 66,7 %, CDC)	PP-LGF20 (PCR 35 %, RTU 1)	PP-LGF20 (PCR 35 %, RTU 2)	PP-LGF20 (PCR 35 %, RTU 3)
E-Modul (Zug)	DIN EN ISO 527	MPa	5362	5027	4972	5051	4870	5380
Streckspannung	DIN EN ISO 527	MPa	114	79,4	77,1	82,7	81,7	89,9
Streckdehnung	DIN EN ISO 527	%	2,9	2,1	2,1	2	2,1	2,1
Charpy-Kerbschlagzähigkeit	DIN EN ISO 179-1/1eA	kJ/m ²	18,8	11,2	10	10,8	11,2	14,2

Tabelle. Eigenschaften verschiedener RTU- und CDC-Typen: Auch mit PCR-Rezyklaten lassen sich die notwendigen Anforderungen gut erfüllen.

Quelle: TechnoCompound

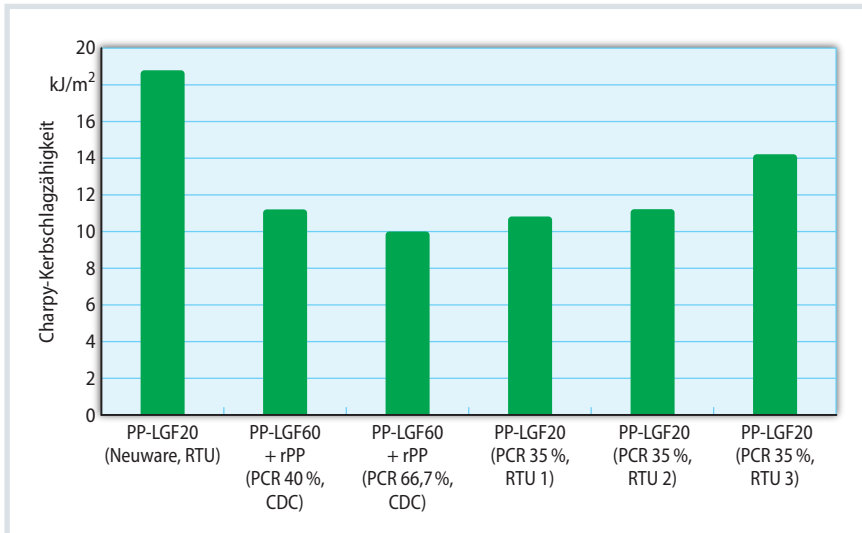


Bild 4. Charpy-Kerbschlagzähigkeit von glasfaserverstärkten PP-Compounds mit verschiedenen Rezyklatanteilen. Quelle: TechnoCompound; Grafik: © Hanser

Anteil rezyklathaltiger Compounds von TechnoCompound aktuell bereits bei 70 % des jährlichen Absatzes. Rund ein Drittel der Compounds enthalten PCR-Anteile von über 20 %. Es ist geplant die Anteile kontinuierlich zu steigern. Diese umweltfreundlichen Materiallösungen eröffnen Tier-1-Zulieferern und OEM in der Automobilindustrie Möglichkeiten, die Einhaltung der Altfahrzeugverordnung auch bei Neu- und Weiterentwicklungen sicherzustellen. In strategischen Partnerschaften bietet TechnoCompound umfangreichen Support bei der Entwicklung entsprechender Closed-Loop-Lösungen mit verringertem ökologischem Fußabdruck. Ein weiteres Geschäftsfeld sind Materialien für PCR-basierte Verpackungen für den Nicht-Lebensmittelbereich.

CO₂-Fußabdruck und -Einsparungen

Für die PCR-Typen bietet TechnoCompound außerdem einen besonderen Service an. Seit 2023 lässt der Compoundeur für diese den CO₂-Fußabdruck und die CO₂-Einsparungen unter Nennung des PIR-PCR-Verhältnisses von dem Partnerunternehmen ConClimate ermitteln. Die Werte basieren auf Berechnungen mit der Software Substain, die auf Basis anerkannter Emissionsfaktoren die CO₂-Emissionen (Scope 1, 2 und 3) einschließlich der Verpackung zur Verfügung stellt. Darüber hinaus plant TechnoCompound in Kürze auch den Unternehmens-CO₂-Fußabdruck angeben zu

können sowie einen Dekarbonisierungsplan gemäß den Nachhaltigkeitszielen des Mutterunternehmens Polymer-Gruppe zu erstellen.

Das Unternehmen beteiligt sich außerdem an aktuellen Forschungen rund um das Kunststoffrecycling und den Rezyklateinsatz. Beispielsweise ist es aufgrund der steigenden Nachfrage nach hochwertigen Recyclingmaterialien entscheidend, die Materialeigenschaften und Zusammensetzung von mechanisch recycelten Kunststoffabfällen noch besser zu verstehen und bestehende Verfahren zu optimieren. Aus diesem Grund erforscht TechnoCompound gemeinsam mit BASF und Endress+Hauser sowie den Universitäten Bayreuth und Jena, wie das mechanische Recycling von Kunststoffen verbessert werden kann. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt „SpecReK“ (Spektroskopische Untersuchung des Recyclings von Kunststoffen) beabsichtigt, die Zusammensetzung von Kunststoffabfällen während des Recyclingprozesses zuverlässig und präzise zu identifizieren und die Qualität des recycelten Kunststoffs zu verbessern. Dabei sollen moderne Messmethoden kombiniert mit künstlicher Intelligenz (KI) eingesetzt werden.

Fazit und Ausblick

Bei dieser Forschung wird auf spektroskopische Methoden gesetzt. Diese nutzen die Wechselwirkungen von Licht

und Material, um Informationen über die chemische Struktur der recycelten Kunststoffe zu gewinnen. Damit möchten die Projektpartner in Echtzeit bestimmen, aus welchen Kunststoffsorten, Zusatzstoffen und Verunreinigungen sich das Material bei der Verarbeitung zusammensetzt. Im nächsten Schritt soll ein KI-Algorithmus Muster in den Messdaten erkennen und vorschlagen, welche weiteren Bestandteile zuzusetzen sind oder wie der Recyclingprozess anzupassen ist, um die Qualität des wiederaufbereiteten Kunststoffs zu verbessern.

Auf Rezyklaten basierende, langglasfaserverstärkte PP-Compounds können einen wichtigen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit in der Automobilindustrie leisten. Neben dem sehr naheliegenden Ersatz für Neuware bieten sie auch die Möglichkeit, Polyamide (PA) und Metalle zu ersetzen, was für noch höhere Einsparungen bei den CO₂-Emissionen sorgt. Weitere Einsparungen ergeben sich durch die geringere Dichte, die energieeffizientere Verarbeitung und die leichtere Handhabung gegenüber den zuletzt genannten Werkstoffen. Es ist gegenwärtig schon möglich, Strukturbauteile im Fahrzeuginnenraum mit einem PCR-Anteil von 20 bis 60 % darzustellen. Beispiele wie Träger für Armlehnen, Mittelkonsolen, Heckklappen, Sitzschalen und Türmodule werden derzeit für den Serieneinsatz validiert. ■

Info

Text

Rifat Erden leitet den Vertrieb und das Marketing bei TechnoCompound; rifat.erden@technocompound.com

Im Profil

TechnoCompound verfügt über 35 Jahre Erfahrung im Compoundieren von Rezyklaten. Dieses umfangreiche Wissen ermöglicht die Entwicklung von PCR-basierten Werkstoffen für den Serieneinsatz in anspruchsvollen technischen Spritzgieß- und Extrusionsanwendungen. Das Unternehmen ist Teil der familiengeführten Polymer-Gruppe. Es verfolgt eine umfangreiche Nachhaltigkeitsstrategie. Der Eigenkapitalanteil des Unternehmens ist höher als 40 % und die Reinvestitionsquote liegt bei über 70 % des jährlichen EBT.

www.technocompound.com