

Bild 1. Zugfestigkeiten für PP-GF und PA6-GF, jeweils Neuware und Rezyklat im Vergleich. Die Werte aller Untersuchungen sind prozentual (Neuware kompakt = 100 %) dargestellt. Quelle: HS

Schmalkalden / F. Schneider; Grafik: © Hanser

verbessert sich das Füllverhalten; Einfallstellen und Verzug verringern sich durch den Gasdruck in der Kavität, und häufig stellen sich geringere Schließkräfte und kürzere Zykluszeiten als willkommene Nebeneffekte ein.

Addieren sich die Negativeinflüsse auf?

Recyceltes Material aus Post-Consumer-Abfällen wiederum hat oft einen „stressigen“ Aufbereitungsprozess hinter sich, bei dem es im Extruder aufgeschmolzen wurde; dabei wird der Kunststoff durch Scherkräfte und thermische Belastung immer beeinträchtigt. Für die Verwendung von derartigem Recyclingmaterial beim MuCell-Verfahren galt es also zu klären, ob sich die beiden Effekte, wie befürchtet, aufaddieren. Zusätzlich sollten in Zusammenarbeit mit einem Indus-

triestrategiepartner die elektrischen Eigenschaften der Teile analysiert werden.

Leichtbauverfahren wie das TSG und die Verwendung von Rezyklaten besonders aus Post-Consumer-Abfall gewinnen für fast alle Branchen immer stärker an Bedeutung. Durch die Kombination der Beiden lässt sich gleich doppelt CO_2 sparen: Das Schäumen reduziert die Bauteilgewichte und zusätzlich verfügt der eingesetzte Rohstoff über einen geringeren CO_2 -Abdruck. Spannend waren die Fragen, ob sich das PCR-Material auf die Schaumstruktur auswirken würde, um wie viel sich der CO_2 -Abdruck verbessern und wie insgesamt die Wirtschaftlichkeit beeinflusst würde.

Als Untersuchungsobjekte dienten klassische normierte Zugstäbe sowie quadratische Platten für die elektrischen Versuche. Zum Einsatz kamen, vom Industriepartner definiert, die Materialien

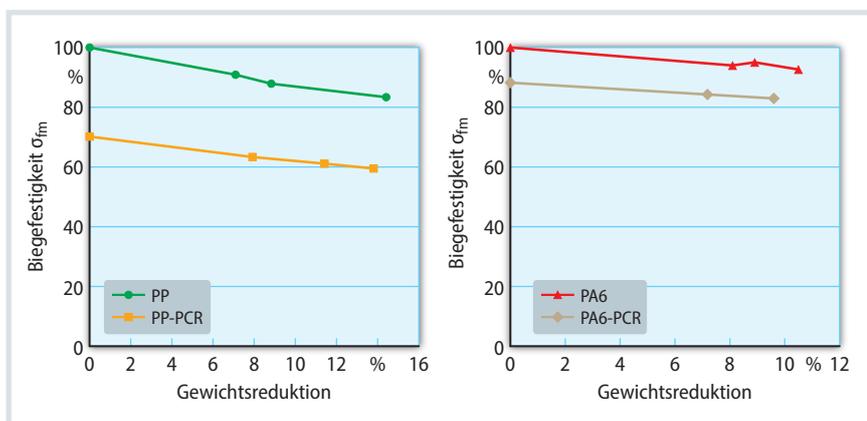


Bild 2. Biegefestigkeiten für PP-GF und PA6-GF, jeweils Neuware und Rezyklat im Vergleich. Die Werte aller Untersuchungen sind prozentual (Neuware kompakt = 100 %) dargestellt. Quelle: HS

Schmalkalden / F. Schneider; Grafik: © Hanser

■ PP und PCR-PP sowie
■ PA6 und PCR-PA6,
alle mit jeweils 30 % Glasfasern verstärkt. Das PP-Rezyklat bestand aus ca. 68 % PCR. Eine noch höhere Quote, 100 %, wies das recycelte PA6 auf. Das PA6-Rezyklat war ein relativ neuer Materialtyp, der zum Zeitpunkt der Arbeit noch nicht in größeren Mengen vorlag, weshalb man bei der Produktion der PA-Prüfkörper ein Werkzeug mit kleinerem Schussgewicht nutzte als bei PP.

So entstanden Zugstäbe im Kompaktspritzgießen und – durch die stufenweise gesteigerte Zugabe von Stickstoff – solche mit circa 8, 10 und bei PP sogar 12 % Gewichtsreduktion (die realen Werte weichen von den angestrebten etwas ab). Da Einrichter in der Praxis der Schmelze häufig etwas mehr Treibgas als notwendig zudosieren, wurden zusätzlich weitere Zugstäbe bei einem Schäumgrad von 12 % mit einem 50%igen Gasüberschuss hergestellt, um herauszufinden, ob die höhere Gasmenge die Festigkeit beeinflusst.

Ermittlung der Zugfestigkeit

Mit spritzfrischen oder nach Norm konditionierten Prüfkörpern ging es dann an die Testungen, und bereits bei der ersten Messreihe gab es interessante Erkenntnisse. Zwar zeigte sich beim PP – womit man aufgrund der Herstellerangaben rechnen konnte –, dass die kompakt gespritzten Teile aus Recyclingware nur 70 % der Zugfestigkeit nach Norm von Neuware-Artikeln aufwiesen, doch vergrößerte sich der Abstand kaum, als man PP und PCR-PP zusätzlich schäumte. Der durch das Schäumen bedingte Verlust an Zugfestigkeit verlief über die laut Versuchsplan angestrebten Reduktionsstufen 8, 10 und 12 % bei beiden Materialsorten linear und fast parallel (**Bild 1**). Beim E-Modul ergab sich ein ähnliches Bild: PP-Rezyklat startete bei rund 85 % der Neuware und nahm ebenso wie Virgin-PP mit zunehmendem Schäumgrad fast linear ab.

Während bei Polypropylen die Neuware und das gewählte PCR hinsichtlich der Zugfestigkeit signifikant voneinander abweichen, ist der Unterschied bei Polyamid deutlich geringer: Das analysierte glasfaserverstärkte Polyamid-Recyclinggranulat erreichte 88 % des Virgin-Wertes. Allerdings werden diese Typen häu- ➤

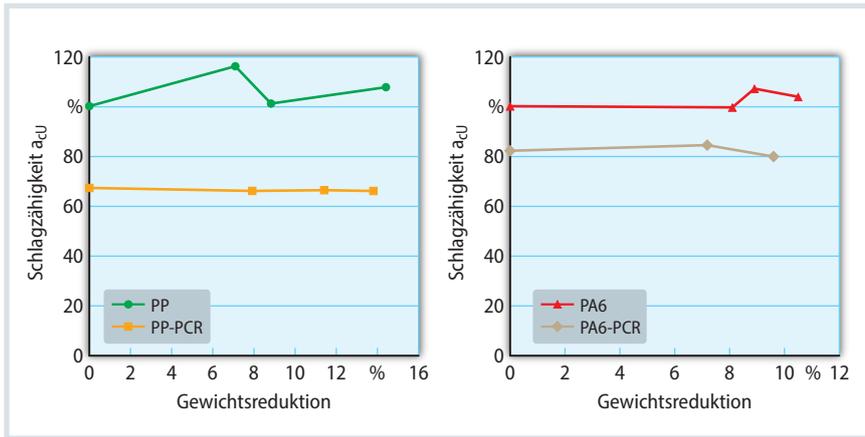


Bild 3. Schlagzähigkeit für PP-GF und PA6-GF, jeweils Neuware und Rezyklat im Vergleich. Die Werte aller Untersuchungen sind prozentual (Neuware kompakt = 100 %) dargestellt. Quelle: HS

Schmalkalden/ F. Schneider; Grafik: © Hanser

fig zum Beispiel im Automobilbereich eingesetzt, wo hohe mechanischen Eigenschaften eines Bauteils ausschlaggebend sind. 12% weniger Festigkeit können hier entscheidend sein. Umso wichtiger war die Frage, was geschieht, wenn man außerdem schäumt. Wie beim PP verlief der zusätzliche Abfall über die MuCell-Reduktionsstufen annähernd linear (**Bild 1**).

Die Versuche zur Zugfestigkeit führten zu ähnlichen Erkenntnissen wie bei der Biegefestigkeit (**Bild 2**). PCR-PP startete nach Norm bei etwa 70% der Neuware und fiel über die Reduktionsstufen linear ab. Dabei zeigte sich, dass geschäumtes Virgin-Material stärker an Biegefestigkeit verliert als die Recyclingware.

Ermittlung der Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit

Das untersuchte PA6-Rezyklat verfügte über 11% weniger Biegefestigkeit als PA6-Neuware, die sich (wie bei der Zugfestigkeit) über die Reduktionsstufen linear, aber weniger ausgeprägt verringerte. Der E-Modul beider Materialtypen war auf einem ähnlichen Niveau und blieb auch beim Schäumen relativ konstant und ohne sich signifikant zu verringern.

Am deutlichsten wirkte sich der Unterschied zwischen Neuware und Recyclingmaterial bei der Charpy-Schlagzähigkeit nach Norm aus – dafür fiel der Faktor „Schäumen“ hier praktisch nicht ins Gewicht (**Bild 3**). Getestet wurde an nicht gekerbten, aus Zugstäben gesäg-

ten Teilen, wobei das gewählte PP-Rezyklat etwa 65% der Schlagzähigkeit des nicht recycelten Polymers besaß und es geschäumt kaum weniger war. Recycling-PA lag bei 82% der getesteten Neuware. Die Ursache für den Befund, dass sich das TSG hier kaum auswirkte, ist vermutlich, dass die kompakte Randschicht der Proben auch wegen der fehlenden Kerbung bei der Testung einen größeren Einfluss hatte als vermutet.

Alle drei Analysen (Zugeigenschaften, Biegeeigenschaften, Schlagzähigkeit) ergaben, dass der MuCell-Prozess Post-Consumer-Rezyklate nicht stärker beeinflusst als Neuware. Die ursprüngliche Befürchtung, dass sich beide Faktoren eventuell kumulieren und die mechanischen Eigenschaften dadurch exponentiell schlechter würden, hat sich nicht bestätigt. Was sich ebenfalls nicht auswirkte, war die Beladung der Schmelze mit 50% mehr Treibgas. Das bedeutet, dass das Prozessfenster diesbezüglich nicht eingeschränkt wird.

Untersuchung der elektrischen Eigenschaften

Wie zuvor erläutert, wurden auch die elektrischen Eigenschaften der Testkörper untersucht – in Form der Kriechstromfestigkeit (CTI) und des Oberflächenwiderstands. Die Kriechstromfestigkeit steht für die Isolationsfähigkeit eines Stoffes und ist dann hoch, wenn hohe Spannungen auftreten, um auf der Oberfläche des Körpers messbare Ströme zu erzeugen. Bei PP blieben beide Werte fast konstant (600 V und ca. $1,2 \cdot 10^{10}\ \Omega$).

Ein Unterschied zwischen Neu- oder Recyclingware sowie kompakten und geschäumten Bauteilen konnte nicht nachgewiesen werden.

Beim PA6 ließ sich beim Oberflächenwiderstand kein Unterschied zwischen PCR- und Virgin-Material bzw. kompakt und geschäumt nachweisen. Bei der Kriechstromfestigkeit bei den geschäumten Platten hingegen gab es einen Unterschied. Diese sank sowohl bei PCR als auch Neuware von etwa 500 V (für kompakt) auf 375 V , was vermutlich auf ausgeprägte Schlieren an der Oberfläche zurückzuführen war, die die Messergebnisse beeinflussen.

PIR versus PCR – spezifische Vor- und Nachteile

Wer Recyclingware nutzt, bevorzugt in aller Regel Rezyklat aus Post-Industrial-Abfall (PIR), also solchen, der zum Beispiel als Angüsse oder NiO-Teile in der Fabrik anfällt und beim Verarbeiter oft ohne Umweg anteilig zugegeben und damit wiederverwertet wird. Dieses Material ist sortenrein und wenig verunreinigt. Meist sind deshalb die benötigten Mengen aber nicht am Markt verfügbar. Höhere Rezyklatanteile und damit bessere CO_2 -Bilanzen können sich also nur aus dem Post-Consumer-Bereich ergeben.

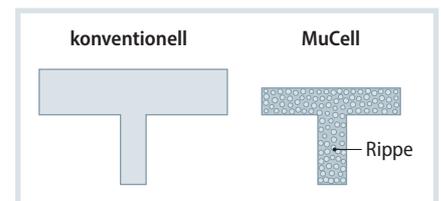


Bild 4. Schäumergerechte Bauteiloptimierung durch konstruktive lokale Wanddickenanpassung. Quelle: KraussMaffei/Trexel; Grafik: © Hanser

Im Gelben Sack sammelt sich eine Vielzahl verschiedener Kunststoffe einschließlich Lebensmittel- oder Farbstoffen, Etiketten – und Gerüchen. Trotz aufwendiger Aufbereitung verbleiben manchmal kleinste Fremdstoffpartikel in der Rezyklatschmelze – im Falle des MuCell-Verfahrens können die sogar hilfreich sein. Bisweilen werden beim TSG eigens Füllstoffe als Keimbildner eingesetzt, um eine feinere Schaumstruktur zu erreichen. Die Arbeitshypothese lautete

deshalb, dass die Verteilung der Gasbläschen bei den Rezyklaten von PP und PA6 gleichmäßiger und feinporiger sein würde. In der Tat sieht man diesen Effekt subjektiv bei vergrößerten Schnittbildern deutlich.

Die physikalischen Eigenschaften von Kunststoffbauteilen bilden die technische Basis einer Entscheidung für oder gegen Rezyklate – aber der CO₂-Fußabdruck und der Preis sind das Zünglein an der Waage. Um zu definieren, wie viel Kohlendioxid sich durch den Einsatz der Rezyklattypen einsparen lässt, greift KraussMaffei auf die Herstellerangaben zurück, die sich auf Produktion, Compoundierung und Aufbereitung beziehen. Außer Acht bleiben die Aufwendungen für Logistik, die unabhängig vom Granulattyp nahezu gleich sein sollten. Demnach liegt PP bei 2,1 kg CO₂-Äq/kg (also pro kg produziertem Werkstoff), das verglichene PCR-PP aber nur bei 1,2 kg CO₂-Äq/kg. Bei PA6 ist das Verhältnis ähnlich: 5,1 zu 3,85 kg CO₂-Äq/kg laut Hersteller. Von der Größenordnung her kaum ins Gewicht fallen die Unterschiede beim Spritzgießen.

Die Frage bleibt: Wann lohnt der Umstieg?

Aufbauend auf diesen CO₂-Vorteilen von Rezyklat, erschließt die Kombination mit dem TSG weitere Einsparmöglichkeiten. Durch das Schäumen sinkt das Bauteilgewicht, oft verringert sich zudem der Schließkraftbedarf, sodass weniger Energie verbraucht wird. Besonders gut gelingt dies in Verbindung mit einer schäumgerechten Bauteiloptimierung (**Bild 4**), die vor allem bei PCR das Potenzial einer höheren Festigkeit durch lokale Wanddickenanpassung nutzt. Dabei werden nur die Artikelbereiche gestärkt, bei denen mechanische Festigkeit geboten ist, und alle anderen so weit wie möglich im Volumen reduziert. Auf diese Weise lässt sich das maximale Einsparungspotenzial erreichen. Beim Kompaktspritzgießen hingegen müssen oft Fließwege unnötig dick ausgeführt sein, nur um das Bauteil überhaupt fertigen zu können.

Der Preis für Kunststoffe ist immer volatil, was die Recyclingbemühungen seit vielen Jahren insgesamt erschwert. Wenn – wie zum Zeitpunkt der Untersuchung – rezykliertes PP teurer ist als

PP-Neuware, ergibt sich kein wirtschaftlicher Anreiz zur Umstellung. Bei PA6-Rezyklat lohnt es sich zumindest ein bisschen: Es war rund 11 % preisgünstiger.

Fazit

Wie lautet nun das Fazit für die Kombination aus MuCell-Verfahren und Post-Consumer-Rezyklat? Wie immer: Die Anwendung entscheidet. Durch die meist schlechteren mechanischen Eigenschaften der PCR bilden die kundenseitigen Festigkeitsvorgaben das wichtigste Kriterium für das jeweilige Projekt. Anhand der von KraussMaffei durchgeführten Untersuchungen lässt sich nun genau vergleichen, wie sich Neu- und Recyclingware über die Gewichtsreduktionsstufen verhalten.

Es gilt dann eine Balance zu finden, indem man alle relevanten Faktoren abwägt. So kann man beispielsweise entscheiden, geschäumte Recompounds zu nutzen, aber die Dimensionen des Bauteils schäumgerecht zu verändern, um höhere Festigkeitswerte zu erzielen. Oder man schäumt Neuware und verwendet Rezyklate nur für Kompaktbauteile. Durch diese Analysen kann KraussMaffei Interessenten kompetent beraten, welcher Weg am sinnvollsten wäre.

Insgesamt ergeben sich also durchaus Möglichkeiten, Rezyklate gezielt und sinnvoll beim physikalischen Schaumspritzgießen einzusetzen, um den CO₂-Abdruck von Bauteilen doppelt zu senken. ■

Info

Text

Fabian Schneider hat seine Masterarbeit über das in diesem Artikel dargestellte Thema an der Hochschule Schmalkalden angefertigt.

Norbert Heyer arbeitet im Process Engineering bei der KraussMaffei Technologies GmbH, Parsdorf;
norbert.heyer@kraussmaffe.com

Felix Weitmeier ist Leiter Process Engineering bei KraussMaffei;
felix.weitmeier@kraussmaffe.com

Andreas Handschke ist Product & Technology Manager Multinject and Foaming (CellForm) bei KraussMaffei;
andreas.handschke@kraussmaffe.com

Prof. Dr.-Ing. Thomas Seul ist Professor für Fertigungstechnik und Werkzeugkonstruktion an der Fakultät Maschinenbau der Hochschule Schmalkalden. Darüber hinaus ist er Präsident des VDFW Verband Deutscher Werkzeug- und Formenbauer e.V.; t.seul@hs-sm.de

KraussMaffei auf der Fakuma

Passend zur Thematik präsentiert KraussMaffei auf der diesjährigen Fakuma eine MuCell-Anwendung. Die vollelektrische Spritzgießmaschine PX 321 verfügt hier über die neue Schnecke HPS-Physical Foaming für MuCell-Anwendungen.

Halle A7, Stand 7303

Literatur

Die neue MuCell-Schnecke ist universell einsetzbar und sorgt für eine 30% höhere Plastifizierleistung (siehe auch **Kunststoffe** 6/2023, S. 58–61).

www.kunststoffe.de/a/fachartikel-4774312