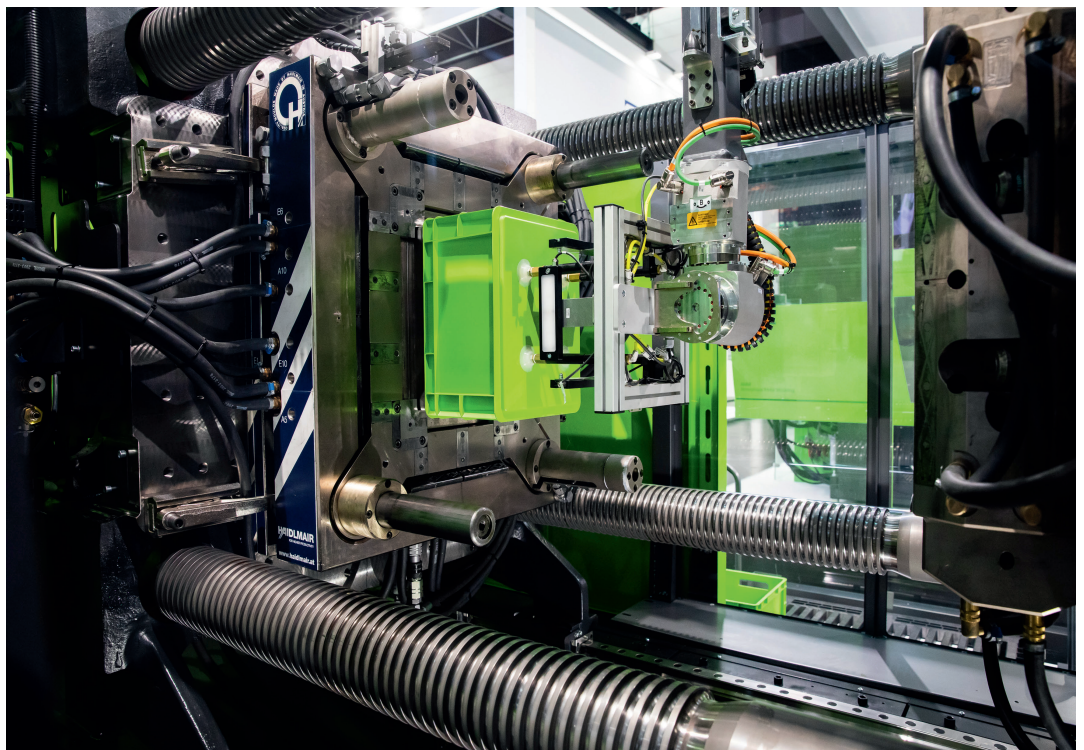


Recycling, das unter die Haut geht

Das Sandwichverfahren „skinmelt“ bereitet verstärktem Rezyklateinsatz den Weg

Prozesstechnologien zur Herstellung von Mehrschicht- und Mehrkomponentenprodukten bieten großes Potenzial, aufbereitete Kunststoffabfälle auch für Kunststoffteile einzusetzen, die besonders hohe Anforderungen an die Oberflächengüte, den Produktschutz oder die Verbrauchersicherheit stellen. Der Schlüssel: Das Rezyklat befindet sich im Inneren, während die Oberfläche aus Neuware gefertigt wird. Engel hat eine Variante des Sandwich-Spritzgießens entwickelt, die auch bei komplexer Bauteilgeometrie hohe Rezyklatanteile erlaubt.

Die Sandwichtechnik (skinmelt) versteckt das Rezyklat unter einer Oberfläche aus Neuware – zum Beispiel bei Transportboxen © Engel



Die Europäische Kommission schreibt in ihrer Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft sowie im Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft fest, dass bis 2025 in der Europäischen Union der jährliche Rezyklateinsatz bei der Herstellung von Kunststoffprodukten von derzeit 4 bis 5 Mio. auf 10 Mio. Tonnen erhöht werden soll [1–4]. Darüber hinaus bekräftigt die Kommission ihre Absicht, für bestimmte Produktgruppen einen verpflichtenden Rezyklatanteil einzuführen.

Um diese Ziele erreichen zu können, braucht es neben der Selbstverpflichtung der Marktakteure und einer höheren Ka-

pazität beim Aufbereiten getrennt gesammelter Kunststoffabfälle vor allem neue Verarbeitungstechnologien, die es ermöglichen, Rezyklate für ein breiteres Spektrum an Produkten und in höheren Anteilen einzusetzen [5]. Die Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich, leistet mit einem Spritzgieß-Sonderverfahren hierzu einen Beitrag.

Der Maschinenbauer und Systemlieferant hat das Zweikomponenten-Verfahren skinmelt für die Herstellung sogenannter Sandwich-Bauteile entwickelt, die einen Kern aus aufbereiteten Kunststoffabfällen und eine Oberfläche aus

Neuware haben. Neu ist, dass auch bei komplexen Bauteilgeometrien hohe Rezyklatanteile erzielt werden können. Präsentiert wurde das Verfahren erstmalig auf der K 2019 mit der Herstellung von Transportboxen (Titelbild). Der Rezyklatanteil lag bei über 50%. Bei beiden verarbeiteten Materialien – Rezyklat und Neuware – handelte es sich um Polypropylen (PP). Die Sortenreinheit stellt sicher, dass auch die Sandwichprodukte am Ende ihrer Nutzungsdauer wieder recycelt werden können.

Im Gegensatz zur klassischen Coinjektion werden im skinmelt-Prozess die bei-

den Schmelzen bereits vor dem Einspritzen nacheinander im Haupteinspritzzylinder geschichtet. Als erstes erreicht das Hautmaterial, die Neuware, die Kavität. Diese wird vom nachströmenden rezyklierten PP verdrängt und an die Wandung der Kavität gepresst, während sich der Kern mit Rezyklat füllt. Der erzielbare Rezyklatanteil wird wesentlich von der Formteilgeometrie und dem Füllbild der Kavität bestimmt. Dabei spielen die gewählte Anspritzposition und das Viskositätsverhältnis von Haut- und Kernmaterial eine große Rolle.

Besonders platzsparende Fertigungszelle

Um auch bei einem hohen Rezyklatanteil die Stabilität und Maßhaltigkeit des Produkts sicherzustellen, muss der Verarbeitungsprozess reproduzierbar sein. Engel hat dafür eine kompakte Fertigungslösung auf Basis der Zweiplatten-Spritzgießmaschine duo entwickelt. Bei der duo 3660H/1560W/450 combi, die auf der K für die Fertigung der Transportboxen zum Einsatz kam, befindet sich die zweite Plastifiziereinheit für das Hautmaterial in spitz abgewinkelter Position oberhalb der horizontalen Spritzeinheit, in der das Rezyklat aufgeschmolzen wird (**Bild 1**). Diese Bauweise ist besonders platzsparend.

Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal dieser Lösung ist die übersichtliche Visualisierung und Animation des Gesamtprozesses in der Steuerung CC300 der Spritz-

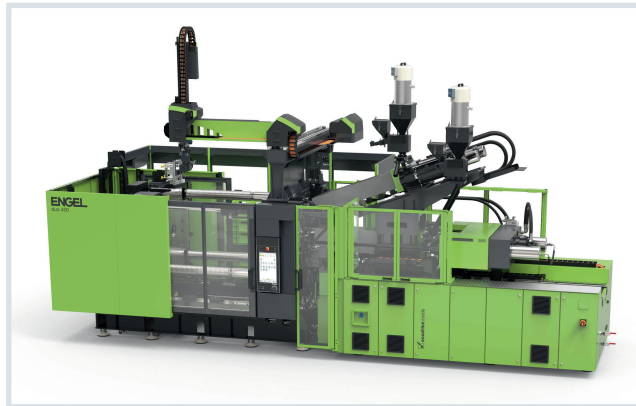


Bild 1. Bei der gezielt für das skinmelt-Verfahren ausgelegten Spritzgießmaschine Engel duo befindet sich die zweite Plastifiziereinheit für das Hautmaterial in spitz abgewinkelter Position oberhalb der horizontalen Spritzeinheit für das Rezyklat © Engel

gießmaschine. Das Mischungsverhältnis lässt sich so genau einstellen und damit der Rezyklatanteil optimieren.

Für die Präsentation auf der K-Messe arbeitete Engel mit Partnerunternehmen zusammen. Hersteller des Werkzeugs ist der Formenbauspezialist für Lager- und Logistikcontainer Haidlmair GmbH, Nußbach/Österreich, der die produzierten Transportboxen für die Intralogistik im eigenen Haus nutzt (**Bild 2**). Das Rezyklat (Typ: Systalen) lieferte der Grüne Punkt – Duales System Deutschland (DSD) und stammt aus Haushaltsabfällen, die im Gelben Sack bzw. der Gelben Tonne gesammelt wurden.

Versuche bestätigen Gebrauchstauglichkeit

Um die Gebrauchstauglichkeit der 2K-Transportboxen zu bestätigen, wurden im Transfercenter für Kunststofftechnik

in Wels/Österreich Stapeldruckversuche durchgeführt. Dabei wurden jeweils drei übereinander gestapelte Boxen mit einer konstanten Geschwindigkeit von 10 mm/min auf Druck belastet, gestaucht und synchron die Kraft- und Wegsignale aufgezeichnet (**Bild 3**). Um die Messergebnisse bewerten zu können, wurden zum Vergleich geometrisch identische Transportboxen ohne Sandwichtaufbau getestet, die zum einen vollständig aus dem Neuwarematerial und zum anderen vollständig aus dem Rezyklatmaterial gefertigt wurden.

Die in den Stapeldruckversuchen ermittelten Kraft-Weg-Kurven sowie die erreichten Maximalkräfte und die resultierenden Stauchungen bis zum Erreichen der jeweiligen Maximalkraft zeigen jeweils den Mittelwert aus drei Versuchen (**Bild 4**). Interessanterweise erreichen jene Boxen, die ausschließlich aus Rezyklat bestehen, die mit Abstand höchsten Maximalkraft- und Stauchungswerte. Allerdings zeigt sich sowohl beim Verlauf der Kraft-Weg-Kurven als auch beim Ausmaß der Standardabweichung der Stauchungswerte, dass beim Einsatz von aufbereiteten Kunststoffabfällen mit erheblichen Streuungen der Eigenschaften gerechnet werden muss.

Die Versuche mit Boxen, die vollständig aus Neuware bestehen, zeigen im Vergleich dazu annähernd deckungsgleiche Kurvenverläufe für die drei Versuchsdurchführungen, und die resultierenden Standardabweichungen sind klein. Die „skinmelt-Boxen“ zeigen analog zu den Boxen, die nur aus Rezyklat bestehen, eine leichte Tendenz zu einer höheren Streuung; allerdings gibt es keine Einbußen hinsichtlich der tolerierbaren Maximalkraft. Dass sich die offenbar höhere Tragkraft des Rezyklats nicht deutli- ➤

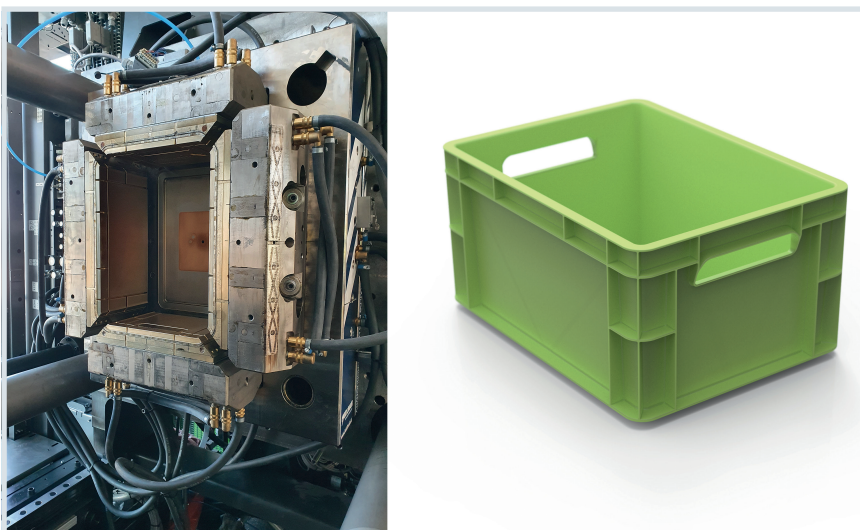


Bild 2. Das auf der K 2019 eingesetzte Werkzeug stammt vom Formenbauer Haidlmair, der die Transportboxen für die Intralogistik im eigenen Haus nutzt © Haidlmair/Engel



Bild 3. Stapeldruckversuch mit drei übereinander gestapelten Transportboxen mit Sandwich-Aufbau. Links: ohne Druckbelastung. Rechts: Starke Druckbelastung führt bei den Boxen erkennbar zu einer Stauchung der Seitenwände und Verstärkungsrippen © Transfocenter für Kunststofftechnik

cher in der Stabilität der skinmelt Boxen widerspiegelt, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit am vergleichsweise geringen Rezyklatanteil in den stabilitätsgebenden Verstärkungsrippen.

Das Rezyklat darf auch günstiger sein

Die Rippen bilden das Fließwegende und sind daher überwiegend mit Hautmaterial gefüllt. Das erklärt, weshalb die Stabilität der Boxen, bei denen sich das Rezyklat nur im Kern befindet, vergleichbar mit der Stabilität der komplett aus Neuware produzierten Kisten ist. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass sich für die Herstellung der untersuchten Stapelboxen – zumindest im Hinblick auf die Stapel Eigenschaften – auch ein weniger leistungsfähiges und entsprechend günstigeres Rezyklat als Kernkomponente einsetzen ließe.

Zu beachten ist in jedem Fall die höhere Streuung bei Messwerten aus mechanischen Versuchen mit Recyclingmaterialien. Dieses vor allem für Post-Consumer-Materialien typische Verhalten muss bei der Bauteilauslegung durch entsprechende Sicherheiten berücksichtigt werden.

Die Versuche bestätigen die Gebrauchstauglichkeit der im Zweikomponentenprozess (skinmelt) produzierten Transportboxen. Um die Produktsicherheit abschließend bewerten zu können, wurden weitere Untersuchungen, insbesondere mit Blick auf die Impact- und Dauergebrauchseigenschaften durchgeführt.

Rezyklat erhöht Festigkeit

Die mechanischen Eigenschaften wurden am Institute of Polymeric Materials

and Testing der Johannes Kepler Universität in Linz/Österreich im Detail untersucht. Dazu wurden kleine Vielzweckprüfkörper vom Typ 5A nach DIN EN ISO 527–2 aus den langen Seitenwänden der Transportboxen ausgestanzt. Die Seitenwände wurden aus zwei Gründen als geeignete Stellen zur Prüfkörperentnahme identifiziert. Zum Ersten liegt hier eine definierte Vorzugsfließrichtung der Schmelze beim Füllen der Kavität vom Kistenboden in Richtung Oberkante vor. Die Orientierung der Prüfkörperlängsachse wurde parallel zu dieser Vorzugsfließrichtung gewählt. Zum Zweiten liegt in den Seitenwänden der Sandwich-Boxen ein ausgewogenes Verhältnis von Haut- und Kernkomponente vor. Damit ist sichergestellt, dass tatsächlich die Sandwichstruktur geprüft wird.

Die mechanische Charakterisierung der Seitenwände lieferte vier Einzelresultate (**Bild 5**). Die Härtemessung nach Shore D bestätigt die nach den Vorversuchen erwartete Gleichwertigkeit der Boxen aus Neuware mit solchen mit Sandwichaufbau. Die höhere Oberflächenhärte des Kernmaterials wird vom Hautmaterial überlagert. Aus monotonen Zugversuchen mit konstanter Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/min wurden des Weiteren Werte für E-Modul, Festigkeit und Bruchdehnung der verschiedenen Transportboxenwände ermittelt.

Während sich der E-Modul der Seitenwände aus Neuware und Rezyklat kaum unterscheidet und dementsprechend auch im Sandwich-Verbund in etwa die gleichen Steifigkeitswerte vorliegen, zeigt sich bei der Festigkeit ein relevanter Unterschied. Mit 28 MPa liegt die Festigkeit des Rezyklats deutlich über der Festigkeit der Neuware (23 MPa), was einen – wenn auch geringen – Einfluss auf die Festigkeit des Sandwich-Verbunds hat. Beim Vergleich der Bruchdehnungswerte zeigt sich, dass durch den Einsatz von Rezyklat das plastische Deformationsvermögen deutlich reduziert wird, selbst wenn das Rezyklat nur im Kern vorliegt.

Auffallend im Vergleich zu den Stapeldruckversuchen ist die deutliche Zunahme der relativen Standardabweichung, also der Größe der Fehlerbalken im Verhältnis zur absoluten Balkenhöhe von Re-

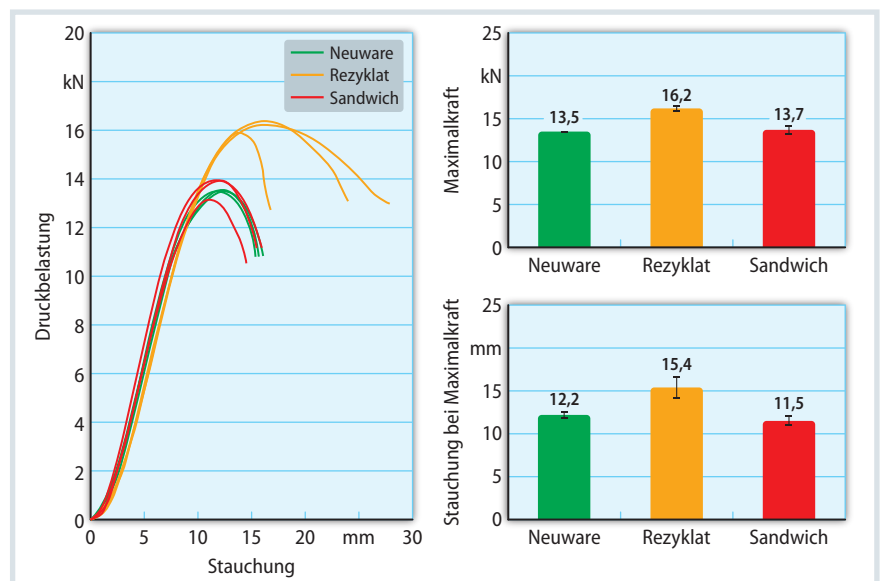


Bild 4. Die Kraft-Weg-Kurven (links) zeigen für jene Boxen, die ausschließlich aus Rezyklat bestehen, die mit Abstand höchsten Maximalkraft- und Stauchungswerte. Die offenbar höhere Tragkraft des Rezyklats spiegelt sich allerdings nicht in der Stabilität der skinmelt-Boxen wider

Quelle: Johannes Kepler Universität; Grafik: © Hanser

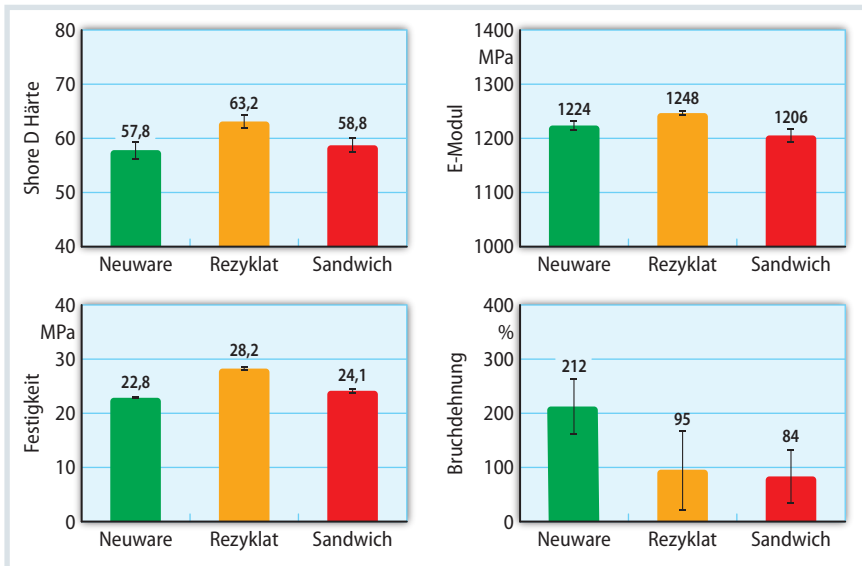


Bild 5. Resultate der mechanischen Charakterisierung der Seitenwände: Die Härtemessung nach Shore D bestätigt die nach den Vorversuchen erwartete Gleichwertigkeit von Boxen aus Neuware und solchen mit Sandwichaufbau Quelle: Johannes Kepler Universität; Grafik: © Hanser

zyklat und Sandwich-Verbund. Für die meisten Produkteigenschaften und Funktionalitäten dürfte dies jedoch keine Rolle spielen, sodass dem sinnvollen und sicheren Einsatz von Rezyklaten nichts im Wege steht. Dies gilt vor allem für Bauteileigenschaften, die das elastische Materialverhalten bzw. das Verhalten vor dem Erreichen der Fließgrenze (pre-yield) betreffen. Für Produkte, deren Funktionalität und Sicherheit in großem Maße vom plastischen Deformations-, Energieaufnahme- und Post-Yield-Verhalten abhängen, gilt es, weiteres fundiertes Know-how in Bezug auf den Rezyklateinsatz aufzubauen.

Fazit

Der Einsatz recycelter Kunststoffe wird sich nicht zuletzt durch regulative Vorgaben deutlich erhöhen. Mehrkomponenten-Spritzgießverfahren wie Engel skinmelt bieten die Möglichkeit, selbst in Produkten, die besondere Anforderungen an das optische Erscheinungsbild und die Funktionalität der Oberfläche stellen, den Rezyklateinsatz zu erhöhen. Da sich das Hautmaterial individuell modifizieren lässt, sind selbst Anwendungen im Lebensmittelbereich denkbar. Durch die geschickte Wahl von Verarbeitungsprozess und Werkzeugdesign kann die Bauteiloberfläche zur Gänze in Neuware ausgeführt und dabei gleichzeitig ein Rezyklatanteil von über 50% erreicht werden.

Einige Eigenschaften des wiederaufbereiteten Rezyklats im Bauteilkern, wie Farbgebung oder Oberflächenhärte, können dabei vollständig von jenen des Hautmaterials überdeckt werden. Zugleich können sich andere Eigenschaften des Kerns, wie eine gegebenenfalls höhere Steifigkeit oder Festigkeit, positiv auf die Produktperformance im Sandwich-Verbund auswirken. Für sehr anspruchsvolle Einsatzzwecke mit komplexeren Lastprofilen wird es – ähnlich wie bei der passenden Auswahl und Abstimmung von Haut- und Kernkomponente – auf das Teamwork in den Entwicklungskonsortien ankommen, um die dort auftretenden Herausforderungen zu meistern. ■

Die Autoren

DI Markus Gall ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Polymeric Materials and Testing an der Johannes Kepler Universität in Linz/Österreich; markus.gall@jku.at

DI Günther Klammer ist Bereichsleiter Plastifiziersysteme und Recycling bei der Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich; guenther.klammer@engel.at

DI Raffael Rathner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Polymer Extrusion und Compounding an der Johannes Kepler Universität; raffael.rathner@jku.at

o. Univ.-Prof. DI Dr. mont. Reinhold W. Lang ist Vorstand des Instituts für Polymeric Materials and Testing an der Johannes Kepler Universität; reinhold.lang@jku.at

Univ.-Prof. DI Dr. Georg Steinbichler ist Bereichsleiter Forschung und Entwicklung Technologie bei Engel und Vorstand des Instituts für Polymer Injection Moulding and Process Automation an der Johannes Kepler Universität; georg.steinbichler@engel.at

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-07

English Version

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

SCHUMA

Ob Fördern, Separieren, Stapeln oder Verteilen – in **SCHUMA** finden Sie den richtigen Partner.

SCHUMA Maschinenbau GmbH | Fon +49 (0) 73 33/96 09 -0 | www.schuma.com