

Metall-Kunststoff-Verbund • Elastische Zwischenschicht • Spritzgießen • Sandwichspritzgießen • Verbundhaftung • Scherversuch • Scheinbare Scherfestigkeit

Metall-Kunststoff-Verbunde sind interessante Komponenten für den Leichtbau und gewinnen immer mehr an Bedeutung. Berichtet wird über Metall-Kunststoff-Verbunde mit einer elastischen Zwischenschicht aus TPU unterschiedlicher Dicke. Durch den Einbau einer solchen Zwischenschicht gelingt die Herstellung von flächigen und stoffschlüssigen Verbunden aus Metall und Funktionskunststoff mit sehr hohen Verbundfestigkeiten. Die Herstellung der Verbunde erfolgt durch Pressen, Spritzgießen bzw. Sandwichspritzgießen. Zur Charakterisierung der Verbundfestigkeit wird ein Scherversuch durchgeführt.

Metal-Plastic-Composites with an elastic intermediate Layer – Production by means of Press-Injection Molding Process or Sandwich-Injection Molding

Metal-TPU composite • Elastic interface layer • Injection moulding • Sandwich injection moulding • Bond strength • Shear test • Apparent shear strength

Metal-plastic composites are promising components for lightweight constructions. The paper deals with metal-plastic composites with an elastic interface layer of polyurethane with different thicknesses. The introduction of such a plane and adhesively bonded elastic interface layer enables the production of composites of metals and thermoplastics with very high bond strength. The composites are made by compression moulding, injection moulding or by sandwich injection moulding. The bond strength was characterized by a shear test.

Figures and Tables:
By a kind approval of the authors.

Metall-Kunststoff-Verbunde mit einer elastischen Zwischenschicht - Herstellung durch einen Press-Spritzgieß-Prozess bzw. Sandwichspritzgießen

Einleitung – Stand – Aufgabenstellung

Metall-Kunststoff-Verbunde sind interessante Komponenten für den Leichtbau und gewinnen zunehmend an Bedeutung. In solchen Verbunden kann die hohe Festigkeit und Steifigkeit der Metallkomponente mit den sehr guten Formgebungsmöglichkeiten der spezifisch leichteren Kunststoffkomponente kombiniert werden. Das ermöglicht die Herstellung von neuen Bauteilen mit zunehmender Integration von diversen Funktionen. Ein effektives Verfahren zur Herstellung von Metall-Kunststoff-Verbunden ist das Montagespritzgießen. Da die unterschiedlichen Verbundkomponenten unverträglich sind, ist die erreichbare Verbundhaftung meist niedrig und deshalb für industrielle Anwendungen oft nicht ausreichend. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Betrachtung von Metall-Kunststoff-Verbunden (Hart-Hart-Verbund) mit stoffschlüssiger Verbindung zwischen den Komponenten. Von Bräuer et al. wurden bekannte Methoden zur Erhöhung der Verbundhaftung zusammengestellt [1]. Bei der Herstellung von Metall-Kunststoff-Verbunden mit Thermoplasten (z.B. PA, PC, PET, PSU, PPS) tritt häufig das Problem auf, dass die Bauteile eine ungenügende Verbundhaftung aufweisen. Diese ist, neben der oben erwähnten Unverträglichkeit auf unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten und damit während der Kunststoffabkühlung im Bauteil eingefrorene Schwingungsspannungen zurückzuführen, die hochmodulige Kunststoffe, bzw. deren adhäsive Bindungskräfte im Verbund, nicht aufnehmen können. Ein eleganter Ausweg besteht in dem zusätzlichen Einbau einer spannungsausgleichenden „dämpfenden Zwischenschicht“ aus einer niedermoduligen Weichkomponente zwischen der Metallkomponente und der Funktionsschicht, wie von Gerndorf und Steiner vorgeschlagen [2, 3]. Zur

Auswahl der Werkstoffe für diese elastische Zwischenschicht zur Erhöhung der lokalen Rissbeständigkeit wurde der E-Modul der flexiblen Weichkomponente für die Zwischenschicht variiert. So untersuchten Steiner und Gerndorf in Metall-Kunststoff-Verbunden die Spannung im Übergangsbereich (Zwischenschicht) als Funktion des E-Moduls des Materials der elastischen Zwischenschicht im Bereich zwischen 10 und 7.500 MPa [3]. Bereits vor einigen Jahren wurden erstmals Metall-Kunststoff-Verbunde aus Stahlblech, einer Adhäsionsschicht, einer spannungsausgleichenden elastischen niedermoduligen Zwischenschicht aus TPU und einer Funktionsschicht aus den Thermoplastkunststoffen PA6/GF-30 und PC entwickelt und untersucht. Die Ergebnisse wurden von Bräuer et al. vorgestellt [4] und von Lehmann et al. diskutiert [5].

Diese Ergebnisse sollen in der vorliegenden Arbeit reproduziert und optimiert werden. Darüber hinaus soll der Einfluss der Zwischenschichtdicke und -härte auf die Verbundfestigkeit der Metall-Kunststoff-Verbunde untersucht werden.

Autoren

Matthias Bräuer, Dieter Lehmann†, Katharina Lönnecke, Volker Reichert, Konrad Schneider, Dresden, Germany

Korrespondenz:
Dr. Matthias Bräuer
Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.
PF 120411, 01005 Dresden
Tel.: +49 351 46 58-399
Fax: +49 351 46 58-290
<http://www.ipfdd.de>
E-Mail: braeuer@IPFDD.de



KGK RUBBERPOINT

Discover more interesting articles
and news on the subject!

www.kgk-rubberpoint.de



Entdecken Sie weitere interessante
Artikel und News zum Thema!

Material und Prozess

Hergestellt wird ein Metall-Kunststoff-Verbund (Hart-Hart-Verbund) entsprechend dem in Bild 1 gezeigten schematischen Aufbau aus einem Metallblech, der Adhäsionsschicht, der elastischen Zwischenschicht und der Funktionsschicht [1, 5]. Die Metallkomponente ist ein Stahlblech (Sorte blank DC 04 B), die Adhäsionsschicht besteht aus einem Uretdionpulverlack in der Allophanatgruppenaushärtungsstufe [6], als flexible Zwischenschicht werden drei TPU-ELASTOLLAN-Typen (siehe Tabelle 1) der Firma BASF Polyurethanes GmbH (Lemförde) verwendet und als Funktionsschicht wird PA6/GF-30 ULTRAMID B3EG6 von der BASF AG (Ludwigshafen) eingesetzt. Der komplette Verbund basiert auf den grundlegenden Untersuchungen zur Herstellung und Optimierung von Hart-Weich-Verbunden aus Metall, Adhäsionsschicht und TPU [1]. Diese werden zwecks Prüfung in Form eines Schälprüfkörpers durch Spritzgießen im Einlegeverfahren hergestellt. Von Bräuer et al. wird der Schälprüfkörper im Bild [1] und als Maßskizze [7] gezeigt. Auf den Metall-TPU-Verbund wird in einem zweiten Einlegeverfahren die Funktionsschicht aus einem Thermoplast durch Spritzgießen aufgebracht und so der Metall-TPU-Verbund zum Metall-Kunststoff-Verbund vervollständigt. Lehmann et al. veröffentlichten ein Schema für die technologische Umsetzung des Prozesses vom Blech zum Metall-Kunststoff-Verbund [5].

Die Applikation des Uretdionpulverlacks als potentiell reaktive Adhäsionsschicht auf das Metallblech wurde von Bräuer et al. bereits ausführlich beschrieben [7]. Die elastische, spannungsausgleichende Zwischenschicht aus TPU wird durch Pressen vorgefertigter TPU-Streifen unterschiedlicher Dicke zwischen 0,08 und 1,82 mm auf die beschichteten Bleche aufgebracht [8, 9]. Diese Streifen werden vorher entweder durch Folienextrusion oder durch Spritzgießen hergestellt. Anschließend wird im Einlegeverfahren die Funktionsschicht aus PA6/GF-30 aufgespritzt. Die jeweiligen Pressparameter sowie die Spritzgießparameter sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Vergleichend werden außerdem aus Blechen mit Adhäsionsschicht Metall-Kunststoff-Verbunde in einem Sandwichspritzgießprozess hergestellt, der eine elegante Verbundbildung in nur einem technologischen Schritt ermöglicht. Realisiert wird das durch den Einsatz einer Zweikompo-

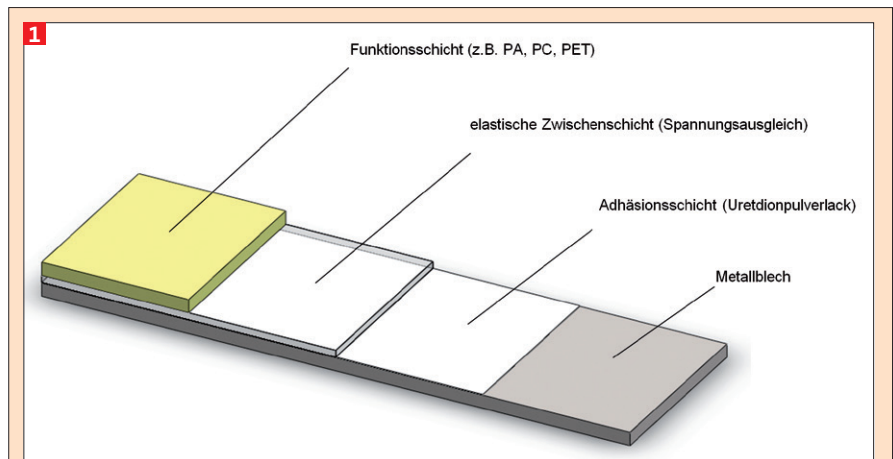


Abb. 1: Metall-Kunststoff-Verbund mit einer elastischen Zwischenschicht (Hart-Hart-Verbund); Abbildung aus Bräuer et al. [1].

nenten-Sandwich-Zwischenplatte der Fa. A & E Produktionstechnik GmbH (Dresden) [10-13]. Dabei werden in einem Schritt gleichzeitig sowohl die Hautkomponente TPU als auch die Kernkomponente PA6/GF-30 appliziert. Das Einspritzen der Hautkomponente beginnt zeitlich kurz vor dem Einspritzen der Kernkomponente. Die Kernkomponente ist allseitig von der Hautkomponente TPU umgeben. Die wichtigsten Parameter für die Verbundherstellung im Sandwich-Spritzgießverfahren sind in der Tabelle 3 zusammengestellt.

Beispiele für geprüfte Formteile beider Verbundherstellungsvarianten werden im Bild 2 gezeigt. Zur Beurteilung des Einflusses der Zwischenschichtdicke auf die Verbundfestigkeit muss diese bestimmt werden. Bei den durch Pressen und Spritzgießen hergestellten Proben mit Schälprüfkörpergeometrie wird die reale Zwischenschichtdicke nach dem Pressprozess gemessen. Bei den Sandwichproben werden die Dicken der Haut (TPU)- und der Kernschicht (PA6/GF-30) nach der Herstellung von Dünnschnitten und Sputtern mit 3 nm Platin durch REM-

1 Eigenschaften der TPU-Typen für die Zwischenschicht [18-20]

TPU ELASTOLLAN	Härte	Zugfestigkeit	Reißdehnung
	Shore A	MPa	%
C 78 A10	80	50	650
C 85 A10	87	50	650
C 90 A10	93	52	610

2 Verbundherstellung – Presse und Spritzgießen

Aufbringen der flexiblen Zwischenschicht durch Pressen

Elektrohydraulische Zweisäulenpresse PW 40 EH,
Fa. Maschinen- und Apparatebau Paul-Otto-Weber, Remshalden

Pressparameter	Maßeinheit	
Temperatur – obere Pressenplatte	°C	100
Temperatur – untere Pressenplatte	°C	210
Vorheizzeit	min	15
Presskraft	kN	10
Presszeit	min	2
Kühlzeit	min	13

Aufbringen der Funktionsschicht durch Spritzgießen

Mehrkomponenten-Spritzgießmaschine Engel victory 330H/80V/80 combi
Fa. Engel, Schwertberg (Österreich)

Spritzgießparameter	Maßeinheit	
Masse-/Düsentemperatur	°C	260
Werkzeugtemperatur	°C	90
Max. Nachdruck (Hydraulikdruck)	bar	50

3 Verbundherstellung – Sandwich-Spritzgießverfahren			
Aufbringen der flexiblen Zwischenschicht (TPU) als Hautkomponente und der Funktionsschicht (PA6/GF) als Kernkomponente im Sandwich-Verfahren			
Spritzgießmaschine KraussMaffei KM-C80-380CX mit Bolton-Einheit KraussMaffei KM 390-BO-L der Fa. KraussMaffei, München Mit Zweikomponenten-Sandwich-Zwischenplatte der Fa. A & E Produktionstechnik GmbH, Dresden und Einkomponenten-Spritzgießwerkzeug			
Spritzgießparameter	Maßeinheit	Komponente	
Schneckendurchmesser	mm	TPU	Spritzgießeinheit 1 40
		PA6/GF-30	Bolton-Einheit 40
Masse-/Düsentemperatur	°C	TPU	230
		PA6/GF-30	260
Einspritzgeschwindigkeit	cm³/s	TPU	30
		PA6/GF-30	15
Max. Nachdruck	bar	TPU	800
		PA6/GF-30	420
Werkzeugtemperatur	°C		60

Aufnahmen in 30-facher Vergrößerung mit einem Mikroskop Gemini Ultra plus der Firma Zeiss GmbH (Jena) bestimmt.

Prüfverfahren zur Bestimmung der Scherfestigkeit (Vorrichtung-1, -2 und -3)

Zur quantitativen Charakterisierung der Verbundfestigkeit für solch steife, nicht biegsame Hart-Hart-Verbunde wird die scheinbare Blockscherfestigkeit bestimmt [14]. Um einen Scherversuch durchführen zu können, werden in den Kunststoffteil der Metall-Kunststoff-Verbund-Prüfkörper derart Nuten gefräst,

dass die verbleibenden rechteckigen Verbunde eine Größe von 8...25 mm mal 12...30 mm haben, siehe Bild 2. Bei der Versuchsvariante mit Schälprüfkörpergeometrie ist die Anzahl der möglichen Prüfstellen pro Prüfkörper von deren Abmessungen abhängig. Bei den Sandwich-Prüfkörpern erfolgt die Prüfung an jeweils vier Positionen, siehe Bild 2. Die Scherung findet zwischen dem Blech und den Kunststoffkomponenten statt. Die Dickenmessung für die TPU-Schicht auf der Stahlplatte nach dem Pressvorgang ergibt für eine Zieldicke (Streifendicke nach Herstellung) von 1 mm eine reale

Schichtdicke im Verbund von ca. 0,9 mm. In den Sandwichprüfkörpern übernimmt die untere Hautschicht aus TPU die Funktion der Zwischenschicht im Verbund. Die Dickenabschätzung mittels Mikroskopie für diese TPU-Schicht ergibt einen Wert von ca. 0,6 mm.

Der Scherversuch erfolgt auf einer Universalprüfmaschine (UPM) TIRA-test-2300 der Firma Tira GmbH (Schalkau). Zur Vermeidung des Abkippens der Probe während der Prüfung, was die Belastungsform ändert und damit zu verfälschten Werten führt, wurden anfänglich zwei größenangepasste Blechplatten zur Abstützung der Probe, als Vorrichtung-1 bezeichnet, genutzt. Da durch die Vorrichtung-1 das Abkippen nicht verhindert werden konnte, wurde als Nächstes eine an die Prüfkörpergeometrie angepasste Eigenbau-Vorrichtung-2 nach Schneider et al. eingesetzt [15], siehe Bild 3.

Wenn auch die Vorrichtung-2 deutlich steifer als die Vorrichtung-1 ist, so ändert sich, insbesondere bei den relativ großen Schichtdicken der weichen Zwischenschicht und der damit verbundenen großen Scherwege im Laufe des Schervorganges, die Kraftangriffsrichtung, wodurch keine reine Scherbelastung der Probe gewährleistet ist, welche eine Voraussetzung für eine reproduzierbare Bestimmung der scheinbaren Scherfestigkeit ist. Außerdem wurde eine Abhängigkeit der Ergebnisse von der Prüfkörperhöhe festgestellt. Deshalb wurde eine Vorrichtung-3 (siehe Bild 4) konzipiert, aufgebaut und erprobt, die diese Einflussgrößen weitgehend eliminiert. Die neue Vorrichtung-3 zeichnet sich dadurch aus, dass ein Abkippen der Probe während des Schervorganges konstruktiv ausgeschlossen wird. Erreicht wird dies durch eine Rollenführung der gesicherten Komponente in einem sehr steifen Rahmen.

Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Verbunde, die konkreten Prüfparameter und die jeweils verwendeten Probandimensionen sind für alle drei Vorrichtungen in Tabelle 4 zusammengestellt.

Die Sandwichverbunde wurden jeweils nur mittels Vorrichtung-1 und -2 geprüft. Bild 2 zeigt die Prüfkörper nach erfolgter Prüfung. Werden Verbunde mit einer vergleichbaren Schichtdicke von ca. 0,9 mm betrachtet, wird mittels Vorrichtung-2 für die Press-Spritzgießverbunde eine mittlere scheinbare Scherfestigkeit

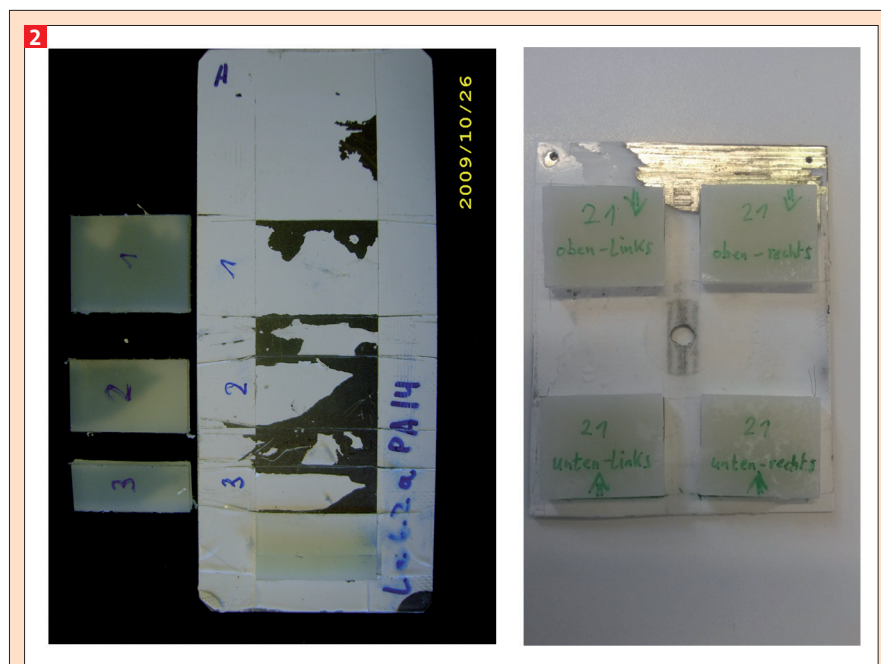


Abb. 2: links: Probekörper für Scherversuch Presse / Spritzgießen („Schälprüfkörper“), rechts: Probekörper für Scherversuch Sandwichspritzgießen.

von 15 MPa bestimmt, für die Sandwichverbunde ein Wert von 10 MPa. Damit liegt das so bestimmte Niveau der Scherfestigkeit wesentlich höher als der Wert, der mittels Vorrichtung-1 bestimmt wurde (5 respektive 7 MPa). Die Scherfestigkeitswerte für die Verbunde der Press-Spritzgieß-, sowie der Sandwichspritzgieß-Technologie für jeweils ähnliche Streifendicken (siehe in Tabelle 4) liegen auf einem annähernd gleichen Niveau: die Mittelwerte der scheinbaren Scherfestigkeit betragen 5 und 7 MPa mit Vorrichtung-1, bzw. 9 und 10 MPa mit Vorrichtung-2. Diese Aussage gilt nicht nur für die Mittelwerte, sondern auch für die jeweiligen Maximalwerte. Das beweist, dass es bereits mit diesen ersten, noch nicht optimierten Sandwichspritzgießversuchen gelingt, Metall-Kunststoff-Verbunde mit einer elastischen Zwischenschicht herzustellen, die eine ebenso hohe Verbundfestigkeit aufweisen wie diejenigen Verbunde, die durch die aufwändigere kombinierte Press-Spritzgieß-Technologie gefertigt werden.

Für die Versuche mit der Vorrichtung-3 werden Verbunde mit einer Zwischenschicht aus drei unterschiedlich harten TPU-Typen durch Pressen und Spritzgießen hergestellt. Die TPU-Zwischenschichtdicken variieren zwischen 0,08 und 1,82 mm. Die Scherfläche beträgt konstant 9 mm * 15 mm. Einen Überblick über die Daten wird in Tabelle 4 gegeben. Die Scherfestigkeiten in Abhängigkeit von der TPU-Härte und der Dicke d der elastischen Zwischenschicht sind in Bild 5 dargestellt. Die Linien zwischen den Messpunkten dienen lediglich der erleichterten Erfassung der Abhängigkeit der Scherfestigkeit von der Zwischenschichtdicke und besitzen keinerlei physikalische Bedeutung. Zur Erleichterung der Diskussion ist zusätzlich eine Linie bei einer Scherfestigkeit von 6 MPa eingezeichnet. Die verwendeten Werte sind jeweils Mittelwerte aus 6 bis 12 Messungen. Je dünner die Zwischenschicht ist, desto schwieriger erweisen sich die Herstellung der Verbunde sowie die Präparation der Scherflächen durch Fräsen.

Zuerst soll der Einfluss der TPU-Härte auf die Verbundfestigkeit diskutiert werden: Je weicher das TPU ist, desto größer wird der Wert der scheinbaren Scherfestigkeit für die jeweiligen Verbunde: die jeweiligen Maxima der Scherfestigkeit betragen 9,7 MPa bei $d = 0,5$ mm (TPU C 78 A), ca. 7,5 MPa bei $d = 0,3$ mm (TPU C 85 A) und ca. 6 MPa bei $d = 1,8$ mm (TPU C 90 A). Ein Vergleich der Scherfestig-

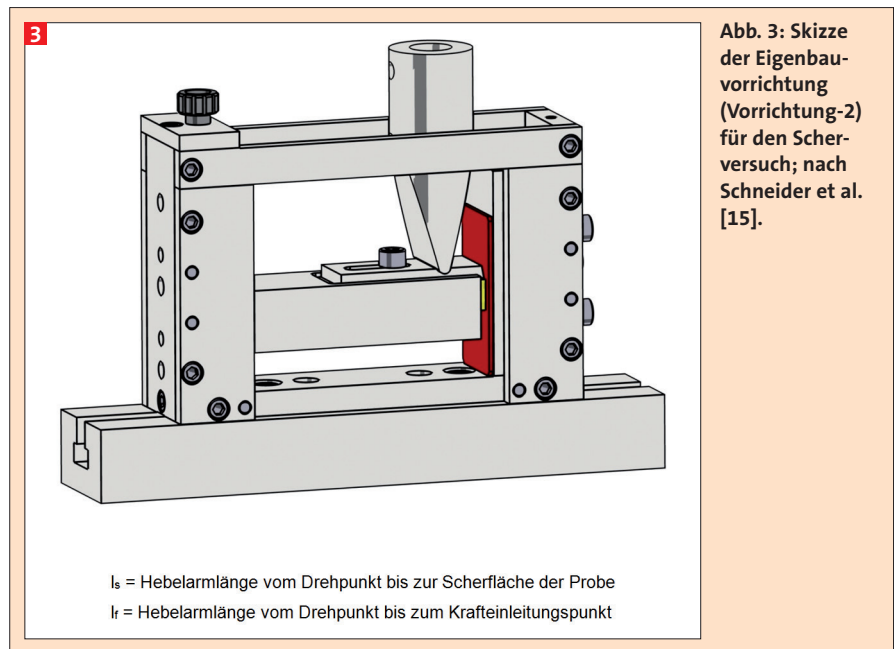


Abb. 3: Skizze der Eigenbauvorrichtung (Vorrichtung-2) für den Scherversuch; nach Schneider et al. [15].

keitswerte für eine TPU-Zwischenschichtdicke von 0,5 mm, das entspricht dem Maximum der Kurve für das weichste TPU C 78 A, ergibt folgende Abstufung der Festigkeiten: 9,7 MPa für das TPU C 78 A, ca. 7 MPa für das TPU C 85 A sowie nur ca. 5 MPa für das härteste TPU C 90 A. Je weicher das TPU ist, desto mehr verformt es sich bei steigenden Scherkräften an der Polyamidschicht und überträgt die Schubspannung, ohne dass die Grenzschicht versagt.

Zum Einfluss der Zwischenschichtdicke auf die Verbundfestigkeit: Für die Verbunde mit einer Zwischenschicht aus der härteren TPU-Type C 90 A wird der scheinbare Scherfestigkeitswert von 6 MPa erst für eine maximale Schichtdicke

von ca. 1,8 mm erreicht. Die Scherfestigkeitsverläufe der Verbunde mit einer Zwischenschicht aus den beiden weicheren TPU-Typen zeigen einen ähnlichen Verlauf. Sie weisen jeweils bei Zwischenschichtdicken zwischen ca. 0,3 und 0,5 mm ein Maximum auf. Dieser Maximalwert ist für Verbunde mit einer Zwischenschicht aus dem weichsten TPU C 78 A mit 9,7 MPa größer im Vergleich zur mittelharten TPU-Type C 85 A mit 7,5 MPa. Wird der Wert der scheinbaren Scherfestigkeit von 6 MPa als willkürliche Zielgröße für die Verbundfestigkeit betrachtet, so garantiert der Einsatz der weichsten TPU-Type C 78 A als Zwischenschicht dieses Niveau in einem größeren Zwischenschichtdickenbereich

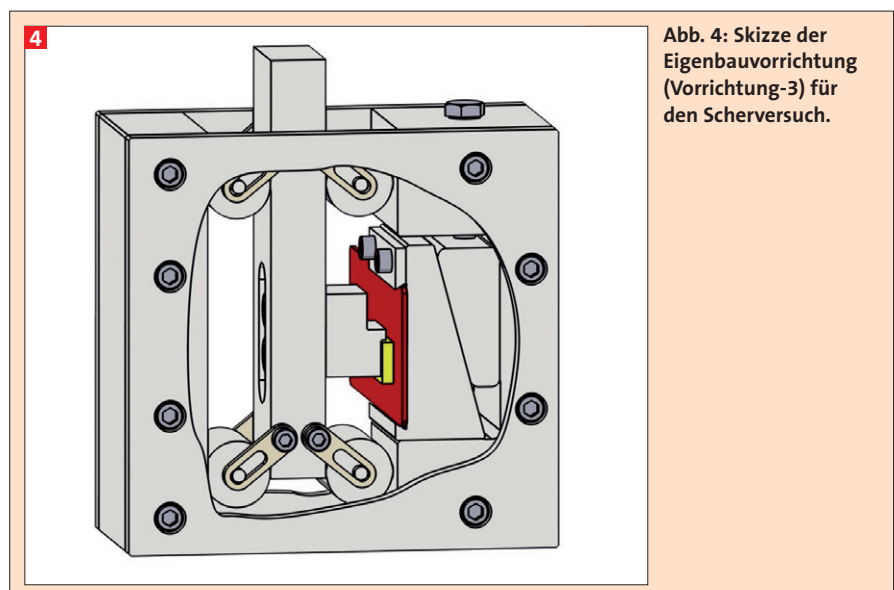


Abb. 4: Skizze der Eigenbauvorrichtung (Vorrichtung-3) für den Scherversuch.

4 Weiterentwicklung des Prüfverfahrens für den Metall-Kunststoff-Verbund (UPM TIRA-test-2300-Prüfmaschine)					
Prüfversuch	Blockscherversuch				
Normierung	DIN EN ISO 13445:2006-09				
Prüfvorrichtung	Vorrichtung-1	Vorrichtung-2 (siehe Bild 3)		Vorrichtung-3 (siehe Bild 4)	
Prüfgeschwindigkeit	2 mm/min	1 mm/min		1 mm/min	
Messgröße	Maximale Scherkraft $F_{max.}$		Maximale Scherkraft $F_{max.}$		Maximale Scherkraft $F_{max.}$
Auswertegröße $A =$ Prüffläche	Scheinbare Scherfestigkeit τ $\tau = F_{max.} / A$		Scheinbare Scherfestigkeit τ $\tau = (F_{max.} * l_s) / (A * l_f)$ $l_s =$ Hebelarmlänge (siehe Bild 3) $l_f =$ Hebelarmlänge (siehe Bild 3)		Scheinbare Scherfestigkeit τ $\tau = F_{max.} / A$ bei $A =$ konstant
MKV-Geometrie	Schälprüfkörper	Sandwich	Schälprüfkörper	Sandwich	Schälprüfkörper
Herstellung Zwischenschicht Funktionsschicht	Spritzgießen Spritzgießen	Sandwich- spritzgießen	Pressen Spritzgießen	Sandwich- Spritzgießen	Pressen Spritzgießen
Zwischenschicht	TPU C 85 A10	TPU C 85 A10	TPU C 85 A10	TPU C 85 A10	drei TPU-Typen, siehe Tabelle 1
Zwischenschichtdicke d	0,95 mm	0,60 mm	0,22 – 1,80 mm	0,60 mm	0,08 – 1,82 mm
Scherflächengröße	8 mm * 25 mm bis 20 mm * 25 mm	25 mm * 30 mm	20 mm * 23 mm bis 8 mm * 12 mm	20 mm * 30 mm	9 mm * 15 mm
ermittelte scheinbare Scherfestigkeit			für 20 mm * 23 mm		für TPU C 85 A10
Mittelwert	5 MPa	7 MPa	9 MPa ($d=0,55$ mm)	10 MPa	6,5 MPa ($d=0,55$ mm)
Mittelwert Maximum	8 MPa	10 MPa	15 MPa ($d=0,91$ mm) 13 MPa ($d=0,55$ mm)	13 MPa	4,5 MPa ($d=0,90$ mm)
Veröffentlichungen	[4, 5]				

($0,2 \leq d \leq 0,7$ mm) im Vergleich zum mittelharten TPU C 85 A ($0,2 \leq d \leq 0,6$ mm).

Der Abfall der Scherwerte vom Maximum hin zu kleineren Zwischenschichtdicken liegt daran, dass in diesem Bereich die elastische Zwischenschicht auf Grund der geringeren Dicke ihre Funktion des Spannungsabbaus immer weniger erfüllen kann. Dieser Effekt führt auch dazu, dass sich Verbunde mit solchen kleinen Zwischenschichtdicken im-

mer schwieriger herstellen lassen. Sie versagen teilweise bereits beim Präparieren der Scherflächen. Bei zunehmender Dicke der elastischen Zwischenschicht über das Maximum der Scherfestigkeit hinaus, nimmt infolge einer zunehmenden Deformation der Zwischenschicht die Mode-I-Belastung zu, was letztlich in einer Mixed-Mode-Belastung im Gegensatz zu der gewünschten Mode-II-Belastung, und damit zu abnehmenden scheinbaren Scherfestig-

keiten führt. Von den drei untersuchten TPU als Zwischenschichtkomponente in Hart-Hart-Verbunden ist die weichste TPU-Type C 78 A am besten geeignet, da sie sowohl bezüglich des Maximalwertes der Scherfestigkeit, als auch bezüglich des geeigneten Zwischenschichtdickenbereiches das jeweils höchste Niveau sichert.

Abschließend soll ein Vergleich des ermittelten Scherfestigkeitsniveaus ähnlicher Verbunde (Zwischenschicht aus TPU C 85 A, ähnliche Zwischenschichtdicken, ähnliche Scherflächengröße, ohne Berücksichtigung der Sandwichproben) in Abhängigkeit von der eingesetzten Vorrichtung erfolgen. Die Werte für die scheinbare Scherfestigkeit für Verbunde mit einer Zwischenschichtdicke von 0,55 mm betragen 9 MPa (Vorrichtung-2) und 6,5 MPa (Vorrichtung-3), respektive für Verbunde mit einer Zwischenschichtdicke von ca. 0,9 mm 5 MPa (Vorrichtung-1), 15 MPa (Vorrichtung-2) sowie 4,5 MPa (Vorrichtung-3); alle Werte aus Tabelle 4. Werden die offensichtlich zu hohen Werte, gemessen mit der Vorrichtung-2, beiseitegelassen, dann gelingt sowohl die Herstellung der Verbunde, als auch die Ermittlung der Scherfestigkeit als quantitativem Maß für die Verbundfestigkeit auf hohem Niveau sowie mit guter Reproduzierbarkeit: für Verbunde mit einer Zwischenschicht aus 0,9 mm dickem TPU C 85 A konnte mit der Vor-

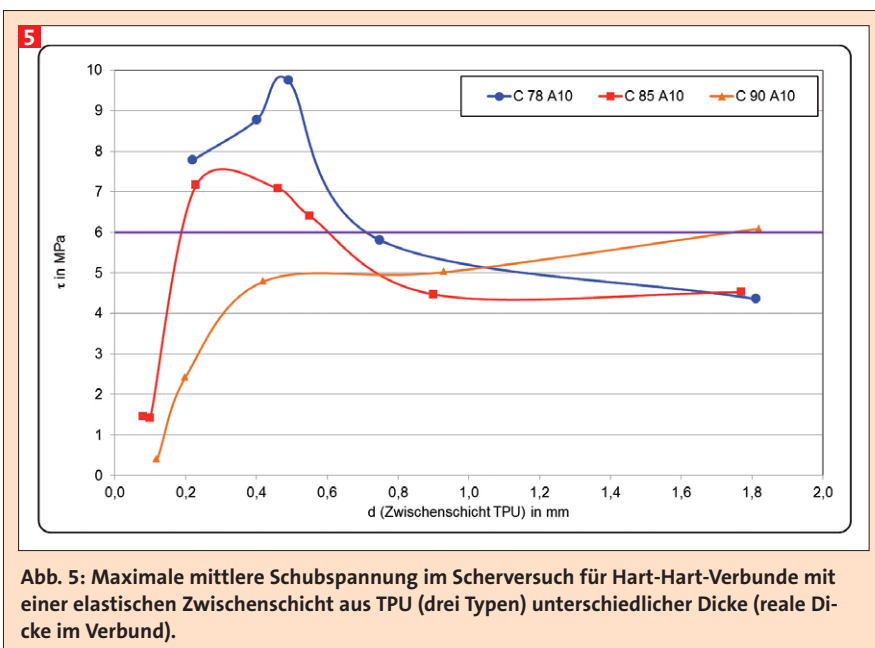


Abb. 5: Maximale mittlere Schubspannung im Scherversuch für Hart-Hart-Verbunde mit einer elastischen Zwischenschicht aus TPU (drei Typen) unterschiedlicher Dicke (reale Dicke im Verbund).

richtung-3 der frühere Wert mit der Vorrichtung-1 bestätigt werden. Die scheinbare Scherfestigkeit für solche Verbunde beträgt zwischen 4 und 5 MPa. Der Einsatz der Vorrichtung-3 für Blockscheruntersuchungen von Hart-Hart-Verbunden führt zu plausiblen und zuverlässigen Messergebnissen.

Die Auswertung des Scherexperimentes führt zu einem weiteren qualitativen Ergebnis: Während bei den früheren Metall-Kunststoff-Verbunden [4, 5] das Versagen meist in der Grenzschicht Metall-Adhäsionsschicht bzw. Adhäsionsschicht-Zwischenschicht (Mischversagen in zwei Grenzschichten) erfolgte, versagt in den neuen Verbunden stets die Grenzschicht zwischen der TPU-Zwischenschicht und der PA6-Funktionsschicht. Das bedeutet, dass sowohl die Haftung der Adhäsionsschicht auf dem Metall, als auch die der Zwischenschicht auf der Adhäsionsschicht, nochmals erhöht worden sind. Deshalb findet das scherungsbedingte Versagen bei den neuen Verbunden zwischen der TPU-Zwischenschicht und der PA6-Funktionsschicht als bezüglich der Haftung schwächster Grenzschicht statt.

Die Metall-Kunststoff-Verbunde sind hinsichtlich aller Grenzschichten haftungsoptimiert: Die Adhäsionsschicht ist so entwickelt, dass der Uretdionlack einerseits sehr fest auf dem Stahlsubstrat haftet (Gitterschnitttest) und andererseits kann der Uretdionlack in der Allophanatgruppenaushärtungsstufe während der thermischen Verbundbildung mit dem TPU der Zwischenschicht unter Ausbildung von Urethanbindungen reagieren und damit einen festen Verbund bilden [1, 5]. Ohne Adhäsionsschicht ist die Haftung der TPU-Zwischenschicht auf der Stahlblechplatte wesentlich geringer [4]. Ähnlich reaktiv ist die Grenzschicht zwischen der TPU-Zwischenschicht und der PA6-Funktionsschicht, was durch Untersuchungen von Zweikomponenten-Hart-Weich-Verbunden aus PA und TPU belegt ist [16, 17]. Ohne die elastische niedermodulige TPU-Zwischenschicht kann die Funktionsschicht aus einem Thermoplast, wie hier z. B. PA6/GF-30, nicht auf dem Metallsubstrat haften und damit kann kein Verbund hergestellt werden, selbst bei Blechen mit aufgebrachtener Adhäsionsschicht. Die spannungsausgleichende elastische TPU-Zwischenschicht ist deshalb eine zwingende Voraussetzung für die Herstellung solcher stoffschlüssiger Metall-Kunststoff-Verbunde mit hoher

Verbundhaftung in allen Verbundgrenzschichten, wie sie schematisch in Bild 1 dargestellt sind.

Zusammenfassung

Metall-Kunststoff-Verbunde (Hart-Hart-Verbunde) gewinnen zunehmend an Bedeutung. In solch einem Verbundbauteil können die besonderen Eigenschaften beider Komponenten Metall und Kunststoff vorteilhaft kombiniert werden. Die durch einfaches stoffschlüssiges Fügen der Komponenten erreichbare Verbundhaftung ist für die industrielle Überführung meist zu gering, da die Komponenten unverträglich sind. Hinzu kommen prozessbedingte eingefrorene Spannungen im Verbund infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten der Komponenten. Der Unverträglichkeit der Komponenten wird durch spezielle Oberflächenmodifizierungsvarianten entgegen gewirkt. Zur Reduzierung der Spannungen im Bauteil entwickelten Steiner und Gerndorf das Konzept der spannungsabbauenden elastischen Zwischenschicht.

Unter Anwendung dieses Konzepts wurden stoffschlüssige Metall-Kunststoff-Verbunde mit einer Adhäsionsschicht aus einem Uretdionlack sowie einer elastischen Zwischenschicht aus einem TPU entwickelt. Die TPU-Zwischenschicht wird durch Pressen auf das mit einer Adhäsionsschicht modifizierte Stahlsubstrat aufgebracht. Es wurde der Einfluss der Zwischenschichtdicke im Bereich zwischen 0,08 und 1,82 mm auf die Verbundfestigkeit untersucht. Die Funktionsschicht besteht aus einem PA6/GF-30 und wird zuletzt durch Spritzgießen appliziert. Die Verbundfestigkeit (Verbundhaftung) wird durch einen Scherversuch quantitativ bestimmt.

Die durch Sandwichtspritzen hergestellten Verbunde weisen unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Messwerte vom TPU-Typ (Härte), von der Zwischenschichtdicke sowie von der Größe der Scherfläche, ein ebenso hohes Verbundfestigkeitsniveau, quantifiziert als scheinbare Scherfestigkeit, auf, wie die im aufwändigeren Press-Spritzgieß-Prozess hergestellten Verbunde. Ein Wert zwischen 6 und 7 MPa wird für realistisch gehalten.

Die Auswertung der Scheruntersuchungen im Blockscherterest mit Vorrichtung-3 an Verbunden mit drei unterschiedlich harten TPU-Typen, hergestellt durch Pressen und Spritzgießen, führt zu zwei Ergebnissen.

Einfluss der TPU-Zwischenschichtstärke auf die Verbundfestigkeit:

Für die Herstellung von Hart-Hart-Verbunden mit einer elastischen Zwischenschicht aus TPU ist die weichste Type C 78 A am besten geeignet. Diese Verbundvariante erreicht eine Scherfestigkeit von ca. 10 MPa. Außerdem ist der für hohe Verbundfestigkeiten geeignete Zwischenschichtdickenbereich mit ca. 0,5 mm besonders groß.

Einfluss der TPU-Zwischenschichtdicke auf die Verbundfestigkeit:

Die Scherfestigkeit weist in Abhängigkeit der Zwischenschichtdicke eine Abhängigkeit mit einem Maximum zwischen 0,3 und 0,5 mm auf; Ausnahme die Verbunde mit dem harten TPU C 90 A. Dünnere Zwischenschichten können die Funktion des Spannungsabbaus nicht erfüllen. Deshalb fallen die Scherwerte vom Maximum hin zu kleineren Zwischenschichtdicken ab. Bei ansteigender Dicke der elastischen Zwischenschicht nach dem Maximum der Scherwerte kommt es infolge einer zunehmenden Deformation der Zwischenschicht zu einer Mixed-Mode-Belastung, was wiederum zu abnehmenden Scherfestigkeiten führt.

Bezüglich der Optimierung des Scherprüfversuchs ist der Einsatz der von Schneider konzipierten Vorrichtung-3 ein signifikanter Fortschritt: Zum einen wird das Abkippen der Probe vollständig verhindert, zum anderen lassen sich damit reproduzierbare Ergebnisse mit geringerer Streuung im Vergleich zu den früheren Vorrichtungen erzielen. Für Verbunde mit einer Zwischenschicht aus 0,9 mm dickem TPU C 85 A beträgt die scheinbare Scherfestigkeit zwischen 4 und 5 MPa.

Durch die Applikation einer spannungsausgleichenden TPU-Zwischenschicht lassen sich stoffschlüssige Metall-Kunststoff-Verbunde mit hoher Verbundfestigkeit herstellen. Die entsprechend dem Schema in Bild 1 hergestellten Metall-Kunststoff-Verbunde versagen in der Grenzschicht zwischen der TPU-Zwischenschicht und der Funktionsschicht aus dem Thermoplastkunststoff PA6/GF-30, wobei alle drei Grenzschichten der Metall-Kunststoff-Verbunde haftungsoptimiert sind.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Frau Kutschera für die labortechnischen Arbeiten, bei Herrn Tuschla für die Herstellung und Applikation des Uretdionpulverlacks als Adhäsionsschicht, bei Herrn Pursche für die

Herstellung der TPU-Streifen durch Folienextrusion sowie bei Herrn Scholze für die Herstellung der TPU-Streifen durch Spritzgießen, das Spritzgießen der Funktionsschicht sowie die Einrichtung der Laborpresse. Herrn Storck (TU Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau, Institut für Strukturleichtbau, Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung; sven.storck@mb.tu-chemnitz.de) danken wir für die Durchführung der Sandwich-Spritzgießversuche in Chemnitz. Für die Prüfung der Verbunde im Blockscher Versuch danken wir Herrn Scheibner. Weiterhin bedanken wir uns bei Frau Schlenstedt für die Bestimmung der Schichtdicke der Sandwichverbunde.

Literaturverzeichnis:

- [1] M. Bräuer, M. Edelmann, L. Häußler und I. Kühnert: Mat.-wiss. u. Werkstofftechn. 43 (2012) 6, 534
- [2] G. Steiner und R. Gerndorf: Kunststoffe 94 (2004) 7, 83
- [3] G. Steiner und R. Gerndorf: Plastverarbeiter 55 (2004) 3, 46
- [4] M. Bräuer, M. Edelmann, I. Kühnert und K. Schneider: Polymerwerkstoffe 2010, Halle/Saale, 15.-17. September 2010, 213
- [5] D. Lehmann, M. Bräuer, M. Gedan-Smolka, I. Kühnert und K. Schneider: Konstruktion 66 (2014) 5, 5
- [6] F. Lehmann, M. Gedan-Smolka und D. Lehmann: Farbe und Lack 106 (2000) 12, 62
- [7] M. Bräuer, S. Wießner, M. Edelmann, M. Gedan-Smolka, B. Hupfer, D. Lehmann, J. Nagel und K. Schneider: KGK 63 (2010) 1-2, 12
- [8] M. Bräuer, M. Edelmann, I. Kühnert, U. Lappan, D. Lehmann, K. Schneider und M. Tuschla: KGK 67 (2014) 5, 22
- [9] M. Bräuer, K. Lönnecke, B. Lauke und K. Schneider: KGK 70 (2017), 3, 22
- [10] H. Apel und V. Reichert: Technomer 2003, Chemnitz, 13.-15. November 2003, Langfasungs-CD-ROM: V=SG-10
- [11] V. Reichert und H. Becker: Kunststoffe 99 (2009), 11, 38
- [12] W. Nendel und V. Reichert: Plastverarbeiter 55 (2014), 12, 28
- [13] V. Reichert: Technomer 2015, Chemnitz, 12.-13. November 2015, Komplex 1: Spritzgießen P 1.6
- [14] ISO 13445:2003 bzw. EN ISO 13445:2006, DIN EN ISO 13445:2006-09 Klebstoffe – Bestimmung der Scherfestigkeit von Klebungen zwischen starren Werkstoffen nach dem Blockscherverfahren
- [15] K. Schneider, B. Lauke und W. Beckert: Appl. Composite Mat. 8 (2001) 1, 43
- [16] B. Hupfer, D. Lehmann und G. Reinhardt: Kunststoffberater 43 (1998) 10, 41
- [17] M. Bräuer, B. Hupfer, J. Nagel und D. Lehmann: J. Polym. Eng. & Sci. 42 (2002) 4, 859
- [18] Broschüre „Thermoplastische Polyurethanelastomere-TPU-ELASTOLLAN“, Elastogran, Ausgabe Februar 2005
- [19] TPU- ELASTOLLAN-Produktdatenblätter
- [20] TPU- ELASTOLLAN Abnahmeprüfzeugnis/ Herstellerangaben

EVENTS

30. Internationales Kolloquium Kunststofftechnik und 70 Jahre IKV

IKV 2020 ist für das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen in dreifacher Hinsicht ein Jubiläumsjahr: Die RWTH Aachen feiert ihr 150-jähriges Bestehen, das IKV wird 70 Jahre alt und richtet zum 30. Mal das Internationale Kolloquium Kunststofftechnik aus. Es findet am 11. und 12. März 2020 im Eurogress Aachen statt. Aus Anlass des Jubiläums veranstaltet das IKV am 10. März 2020 zudem das International Symposium on Plastics Technology im VIP-Bereich des Tivoli Fußballstadions. Schwerpunktthemen des Kolloquiums bilden mit den Plenarvorträgen die Kreislaufwirtschaft, die Digitalisierung/Kunststoffindustrie 4.0 und die Additive Fertigung. Die Forschungsthemen des Kolloquiums werden in 15 Sessions angeboten. Die Themen des Symposiums, das vollständig in englischer Sprache abgehalten wird, umfassen ebenfalls Kreislaufwirtschaft, Kunststoffindustrie 4.0 und additive Fertigung sowie, darüber hinaus, Leichtbau-technologien, Spritzgießen und Extrusion. Institutsleiter Professor Christian Hopmann beschreibt den Unterschied der Ausrichtung so: „Am IKV haben wir immer beides im Blick – erkenntnisorientierte Grundlagenforschung und anwendungs-

orientierte Forschung für die Industrie. Wir wollen mit unserem Symposium der Grundlagenforschung Raum geben und haben daher Wissenschaftler aus aller Welt gebeten, ihre Projekte vorzustellen und mit Wissenschaft und Wirtschaft zu diskutieren.“

Die anwendungsorientierte Forschung wird beim Kolloquium unter dem Programmpunkt „IKV 360“ besonders deutlich. Ein weiterer fester Bestandteil des Kolloquiums ist die Industrieausstellung im Foyer des Eurogress Aachen. Sie bietet Ausstellern die Möglichkeit, Lösungen für die Kunststoffbranche zu präsentieren und mit Industriepartnern ins Gespräch zu kommen. Das IKV erwartet Aussteller entlang der gesamten Wertschöpfungskette: Rohstoffhersteller, Maschinenhersteller, Verarbeiter, Anbieter von Peripheriegeräten und Dienstleistungsanbieter.

Zum Jubiläumskolloquium erwartet das Institut erneut rund 800 Fachleute aus der Kunststoffbranche weltweit. Themen der 15 Sessions des Kolloquiums Kunststofftechnik:

- Prozesseinrichtung im Spritzguss durch Human-Machine-Interfaces und KI
- Durchsatzsteigerung und Qualitätssicherung in der Verpackungstechnik



- Erweiterte Fluidmodellierung in der Kautschukverarbeitung
- Präzise, reproduzierbare Prozessregelung im Spritzgießen
- Simulative Optimierung der Misch- und Werkzeugtechnik in der Extrusion
- Neue Prüf- und Qualitätssicherungsmethoden für Hochleistungs-FVK
- Neue Spritzgießprodukte mittels treibmittelbeladener Schmelzen
- Mit integrativen Simulationsmethoden zu optimierten Spritzgießprodukten
- Plasmamodifizierte Barrieren und Membranen
- Digitale Schatten zur datenbasierten Prozess- und Materialbeschreibung
- Multiskalare Materialmodellierung zur Vorhersage von Bauteileigenschaften
- Entwicklungen für die ressourceneffiziente Produktion von PET-Flaschen
- Prozess- und Auslegungsoptimierung in der Additiven Fertigung
- Präzisionssteigerung beim Spritzgießen durch kontrollierte Erstarrung
- Qualitätsmerkmale UD-Tape-basierter Lamine für die Umformmodellierung

www.ikv-aachen.de