

Bauteilgeometrie ist fast egal

Einfluss der Geometrie auf die Eigenschaften von elektrisch leitfähigen Metall/Thermoplast-Bauteilen Mit speziellen Additiven und Füllstoffzusätzen werden thermoplastische Kunststoffe hochleitfähig. Elektronische Anwendungen sind damit greifbar. Das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), das in Zusammenarbeit mit Siemens einen hochleitfähigen thermoplastischen Hybridwerkstoff entwickelte, hat grundlegende Auswirkungen der Bauteilgeometrie auf das Fließverhalten der Schmelze beim Spritzgießen und der sich so ergebenden mechanischen und elektrischen Eigenschaften von Musterbauteilen aus diesem Werkstoff näher untersucht.

Damit der leitfähige Kunststoff die anspruchsvollen Eigenschaften bei Elektronikbauteilen erfüllen kann, nützt man einen Synergieeffekt zwischen zwei leitfähigen Füllstoffen, die in eine thermoplastische Kunststoffmatrix eingearbeitet wurden. So wird die ansonsten begrenzte elektrische Leitfähigkeit konventionell gefüllter Kunststoffe auf hohe, homogen verteilte Werte bis in den Bereich von Stahl angehoben. Die beiden Füllstoffe sind zum einen kurze Fasern aus Kupfer, zum anderen eine niedrig schmelzende Metalllegierung, die während der Verarbeitung schmelzeflüssig vorliegt. Der Effekt: Die Legierung verbessert wie ein Lot die Kontaktstellen zwischen den Kupfer-Fasern und bildet so ein ausgeprägtes metallenes Netzwerk in der ansonsten isolierenden Kunststoffmatrix (Bild 2). Da-

Autoren

Prof. Dr. Dr. E.h. Walter Michaeli, Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen und Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV)

Jan Fragner, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) und Leiter der Arbeitsgruppe Sonderwerkstoffe/Werkzeugtechnik in der Abteilung Spritzgießen, fragner@ikv.rwth-aachen.de
 Dr. Tobias Pfefferkorn, früherer Leiter dieser Arbeitsgruppe, heute bei Pfefferkorn & Co, Simmern

durch werden die erzielbaren elektrischen Eigenschaften im Vergleich zu rein fasergefüllten Compounds gleichen Füllgrads wesentlich verbessert.

Mit dem hier untersuchten Werkstoff steht ein spritzgießfähiges Compound zur Verfügung, das auch für hochleitfähige Anwendungen wie komplexe Leiterstrukturen in Moulded Interconnect Devices (MID) und andere elektronische Komponenten, Sensoren sowie Steckverbindungen eingesetzt werden kann. Ein solcher Hybridwerkstoff wird in ähnlicher Zusammensetzung wie hier seit 2007 von A. Schulman unter dem Namen Schulatec Tinco 50 kommerziell vertrieben. Mit derartigen Werkstoffen sind auch effiziente elektromagnetische Abschirmungen und Module zur gezielten Entwärmung von elektronischen Geräten denkbar.

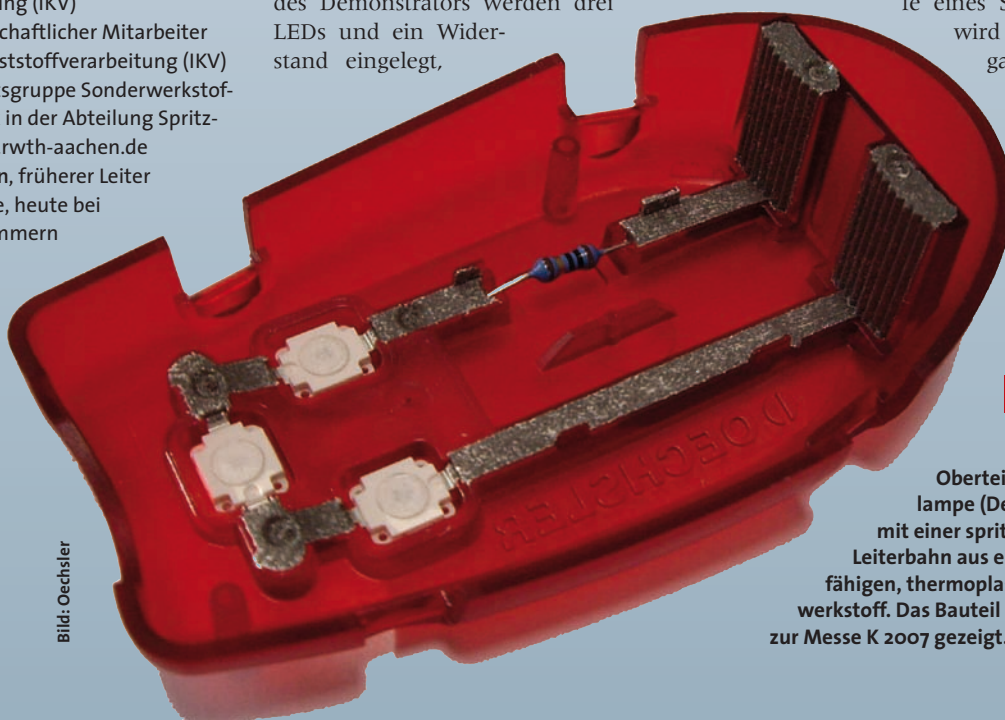
Das hohe Anwendungspotenzial des Hybridwerkstoffs demonstriert unter anderem das Beispiel einer 3K-Lichtleiste von Oechsler, Ansbach (Bild 1). In die zuerst gespritzte rote Kunststoff-Oberschale des Demonstrators werden drei LEDs und ein Widerstand eingelegt,

die im nächsten Schritt mit dem leitfähigen Kunststoff (grau) umspritzt werden. Gleichzeitig wird eine gute Kontaktierung über die Bauteiloberfläche durch eine 9V-Blockbatterie zur Stromversorgung sichergestellt (Bild 1, rechts oben).

Besonderheiten des Fließverhaltens des leitfähigen Compounds beachten

Für einen weit reichenden industriellen Einsatz dieses Kunststoff/Metall-Hybridwerkstoffs werden neben hohen Leitfähigkeitswerten wichtige weitere Fragestellungen am IKV untersucht. Hierzu zählen die maximal realisierbaren Fließlängen bei entsprechenden Leiterquerschnitten, die Kontaktierbarkeit sowie der Einfluss komplexer Geometrieelemente auf die erzielbaren Bauteileigenschaften.

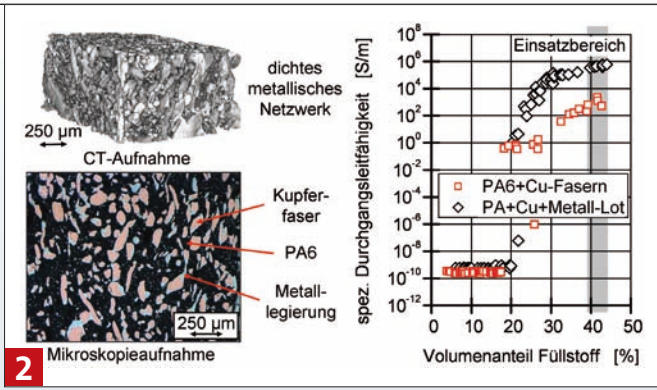
Im Vergleich zu einem ungefüllten Thermoplasten verändern sowohl die Kupferfasern als auch die niedrig schmelzende Metalllegierung die Verarbeitungseigenschaften und damit die resultierenden Bauteileigenschaften wesentlich. Mit Hilfe eines Sichtwerkzeugs wird der Füllvorgang beobachtbar. Aufgrund des hohen Metallanteils und



1

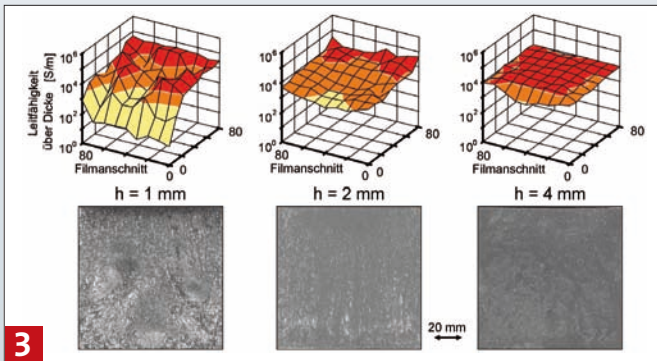
Oberteil einer Taschenlampe (Demonstrator) mit einer spritzgegossenen Leiterbahn aus einem hochleitfähigen, thermoplastischen Hybridwerkstoff. Das Bauteil wurde erstmals zur Messe K 2007 gezeigt.

Bild: Oechsler



2

Anordnung der Metalllegierung im Spritzgussteil ermöglicht den Synergieeffekt von Metalllegierung und Kupferfasern



3

Elektrische Leitfähigkeit von Platten unterschiedlicher Wanddicke gemessen über der Bauteildicke

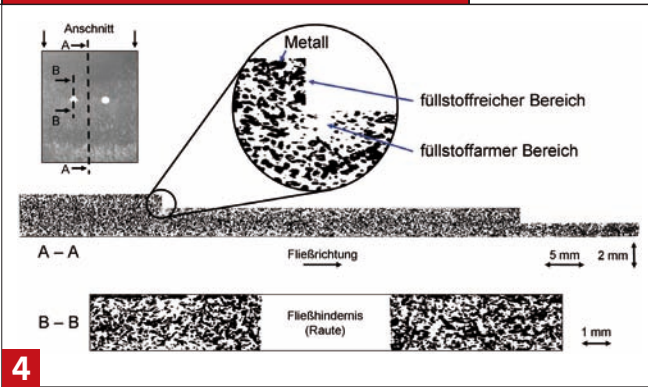
Elektronikbauteile können funktional höher integriert werden

Innovative Metall/Thermoplast-Hybridmaterialien wie das hier untersuchte Komposit aus Thermoplast, kurzen Kupferfasern und einer niedrig schmelzende Metalllegierung (die während der Verarbeitung schmelzflüssig vorliegt) besitzen ein hohes Potenzial zur Steigerung der Funktionalität und Integrationsdichte von Elektronikbauteilen. Nach einer ausführlichen Prozess- und Materialanalyse zeigen die Untersuchungsergebnisse am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen, dass komplexe Geometrielemente in einem Bauteil wie Fließhindernisse oder Wanddickensprünge nur einen geringen Einfluss auf die erzielbaren elektrischen und mechanischen Eigenschaften besitzen. Weitere Untersuchungen, die derzeit am IKV durchgeführt werden, befassen sich unter anderem mit der Ausbildung von Bindenähten und der resultierenden Verbundfestigkeit an 2K-Probekörpern aus Thermoplast und dem leitfähigem Compound.

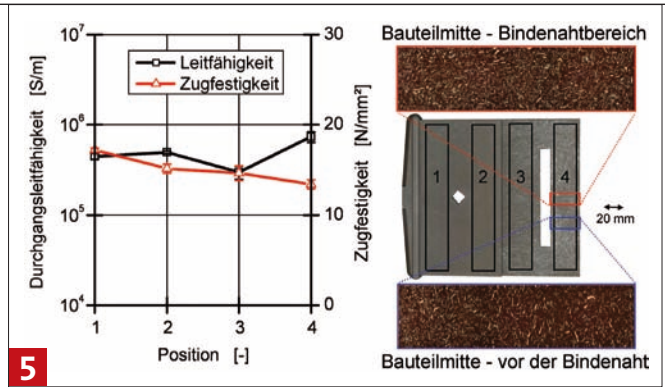
der somit erhöhten Wärmeleitfähigkeit von zirka acht Watt pro Meter x Kelvin friert die Fließfront abhängig von Geometrie und Prozessführung schnell ein. Diese bildet eine Art Pfropfen, der von der nach-

strömenden Schmelze voran geschoben wird. Erst nach einer Übergangsphase, in der Wandleiteffekte beobachtet werden können, bildet sich eine blockähnliche Strömung mit Wandhaftung aus. Die Aus-

bildung einer Verdichtungsline und ein unregelmäßiges Aufreißen der Fließfront aufgrund der deutlich reduzierten Elastizität des Compounds werden hier erstmals bei thermoplastischen Systemen beobach-



4 Füllstoffverteilung im Querschnitt einer Platte mit Wanddickensprüngen und Fließhindernissen



5 Einfluss unterschiedlicher komplexer Geometrielemente auf die elektrischen und mechanischen Eigenschaften

Bilder: IKV

tet, sind aber in ähnlicher Form von Duroplasten bekannt.

Komplexe Geometrien beeinflussen die lokalen Bauteileigenschaften

Die Füllstoffverteilung und somit die resultierenden Bauteileigenschaften sind neben den Prozessparametern wesentlich von der gewählten Bauteilgeometrie abhängig. Daher sind für eine breite Verwendung des elektrisch hochleitfähigen Compounds Erkenntnisse über die Füllstoffverteilung, die elektrische Leitfähigkeit und die mechanischen Eigenschaften notwendig. Zur Integration unterschiedlicher Funktionen muss zum einen der Einfluss variierender Wanddicken untersucht werden. Zum anderen werden am IKV praxisrelevante Geometrielemente wie Wanddickensprünge, Fließhindernisse oder Durchbrüche in Abhängigkeit der Prozessparameter im Spritzgießprozess analysiert. Aufgrund seiner hohen Durchgangsleitfähigkeit und guten thermischen Stabilität bietet das Material die Möglichkeit einer direkten Herstellung von Leiterbahnen im (Mehrkomponenten)Spritzgießverfahren. Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Materialeinsatz ist es darüber hinaus, ausreichend lange Fließwege spritzgießen zu können, welches auch am IKV an praxisrelevanten Querschnitten (0,5 x 0,5 bis 3 x 3 Quadratmillimeter) untersucht wird.

Wanddicke beeinflusst das Scher- und Temperaturprofil

Die Wanddicke eines Bauteils hat einen deutlichen Einfluss auf das Scher- und Temperaturprofil. Aufgrund der zunehmenden Scherung mit abnehmender Wanddicke sind die Scherzonen im Falle der dünnen Platten gerade im Angussbereich stärker ausgeprägt, was zu einem deutlich geringeren Metallanteil führt. Je größer die Bauteildicke ist, desto gleichmäßiger verteilt sich der Füllstoff über dem Fließweg. Aufgrund der verzögerten Erstarrung können sich im Bauteilkern größere Metallansammlungen bilden. Dieses führt zu einer Verbesserung der Leitfähigkeit. In Bild 3 ist die Leitfähigkeit

über der Bauteildicke in Abhängigkeit der Wanddicke an Probeplatten (80 x 80 Quadratmillimeter) dargestellt.

Durchbrüche und Wanddickensprünge führen zu überlagerten Effekten

Mit zunehmender Plattendicke steigt die durchschnittliche Leitfähigkeit und zeigt zudem eine geringere Abhängigkeit von der Position über dem Bauteil. Auch die Reproduzierbarkeit der Werte nimmt zu. Im Fall der ein Millimeter dicken Platte kann man einen starken Einbruch der Leitfähigkeit direkt am Filmanschnitt aufgrund der hohen Materialscherung im Angussbereich erkennen. Hier wird bereits deutlich, dass bei der Bauteilauslegung der Anschnitt von entscheidender Bedeutung ist.

Durchbrüche und Wanddickensprünge verursachen mechanische Schwachstellen in Bauteilen wie Fließnähte beziehungsweise Bindenähte. Aber auch Füllstoffschwankungen sind die Folge. Diese können sich auf die elektrischen und mechanischen Eigenschaften auswirken. Betrachtet man die Metallverteilung einer Platte mit Wanddickensprüngen und Fließhindernissen, sind mehrere Effekte überlagert. Die beiden Wanddickensprünge spiegeln sich in der unterschiedlichen Metallanhäufung an der Oberfläche wider (Bild 4). Entsprechend des Verhaltens von Platten unterschiedlicher Wanddicke steigt der Metallanteil mit abnehmender Dicke und ist gerade am Fließwegende bei einer Wanddicke von einem Millimeter deutlich höher.

Stumpfe Bindenähte zeigen mechanisch und elektrisch konträre Effekte

Im Vergleich zu Fließnähten zeigen stumpfe Bindenähte einen deutlich größeren Einfluss auf die elektrischen und mechanischen Kennwerte. Am Beispiel der Füllstoffverteilung der Geometrie mit angussferner Bindenaht erkennt man, dass sich durch das Aufeinandertreffen der metallreichen Fließfronten die Metallfasern und -partikel im Bindenahtbereich senkrecht zur Fließrichtung ausrichten. Ein Durchmischen der Schmelzströme

findet nicht statt. Der Füllstoffanteil in der Bindenaht ist damit merklich erhöht. Dies spiegelt sich in erhöhten Leitfähigkeitswerten in Position 4 wider (Bild 5). Dagegen sinken die mechanischen Kennwerte, da der metallreiche und querorientierte Bindenahtbereich die Tragfähigkeit der polymeren Matrix herabsetzt. Hier sind bei der Bauteilauslegung die konträren Effekte von elektrischer Leitfähigkeit und mechanischen Eigenschaften besonders zu beachten.

Fließ- und Erstarrungsverhalten beeinflusst die Bauteileigenschaften

Das Fließ- und Erstarrungsverhalten des Materials bei der Spritzgießverarbeitung bestimmt maßgeblich die Verteilung und Ausrichtung der Füllstoffe und damit die resultierenden Bauteileigenschaften. Es zeigt sich, dass nicht nur globale Kennwerte bei der Bauteilauslegung verwendet werden dürfen, sondern neben der Prozessführung auch die Formteilgeometrie sowie die eingesetzte Werkzeug- und Anlagentechnik betrachtet werden muss. Daher müssen industrielle Applikationen unter Berücksichtigung der Materialbesonderheiten entwickelt werden, um die Vorteile des Werkstoffs Gewinn bringend einsetzen zu können.

Das Forschungsvorhaben 15258 N der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung“ (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert. Beiden Institutionen gilt der ausdrückliche Dank der Autoren sowie den Firmen Siemens in Erlangen, Arburg in Loßburg, A. Schulman in Kerpen, Deutsches Metallfaserwerk in Helmstadt-Bargen und der MTT Technologies in Lübeck.

infoDIRECT

Langfassung zum Download

Der ungekürzte Beitrag steht im Internet zum Download zur Verfügung. infoDIRECT-Suche **0410PVIKV** auf: **www.plastverarbeiter.de**