

Lichtlösungen  
an verschiedenen  
Produkten.

© Mentor



Herstellung einer Kennzeichenrückleuchte in einer hochintegrierten Spritzgießfertigungszelle

## Welche Materialkombination passt?

Ziel des Verbundvorhabens ist die Entwicklung einer Fertigungszelle, in der ohne zusätzliche Schritte, wie beispielsweise Kleben, eine Kennzeichenrückleuchte mit hybriden Verfahren hergestellt werden kann. Ein Teil der notwendigen Analysen und Voruntersuchungen zu den Materialkombinationen, die sich aus dem Aufbau des Produkts mit Kunststoffgehäuse und -optik sowie metallischen Leiterbahnen ergeben, wird in diesem Artikel vorgestellt.

Die Prozesskette bei der Herstellung von LED-Beleuchtungssystemen gliedert sich aktuell in viele aufwendige Einzelschritte zur Gehäuseherstellung, LED-Kontaktierung, Montage einer Vorsatzoptik und eines Kühlkörpers, weshalb die Produktion zunehmend in Niedriglohnländern stattfindet. Die lange Pro-

zesskette bedingt zudem einen hohen technischen, logistischen und zeitlichen Aufwand (beispielsweise durch Handling und Transport). Ferner sind zwischen den einzelnen Etappen Vor- und Nachbearbeitungsschritte notwendig, sodass sich entlang der gesamten Prozesskette Fehlerquellen ergeben. Verunreinigun-

gen während des Transports sowie Montage- und Justierfehler können Verluste in der späteren Lichtausbeute bedeuten und zu Ausschussware führen [1–4]. Ziel des hier beschriebenen Forschungsprojekts ist die Entwicklung und Validierung eines LED-Beleuchtungssystems, das sich in einem hochintegrierten,

automatisierten und ressourcenschonenden Herstellungsprozess am Technologiestandort Deutschland fertigen lässt.

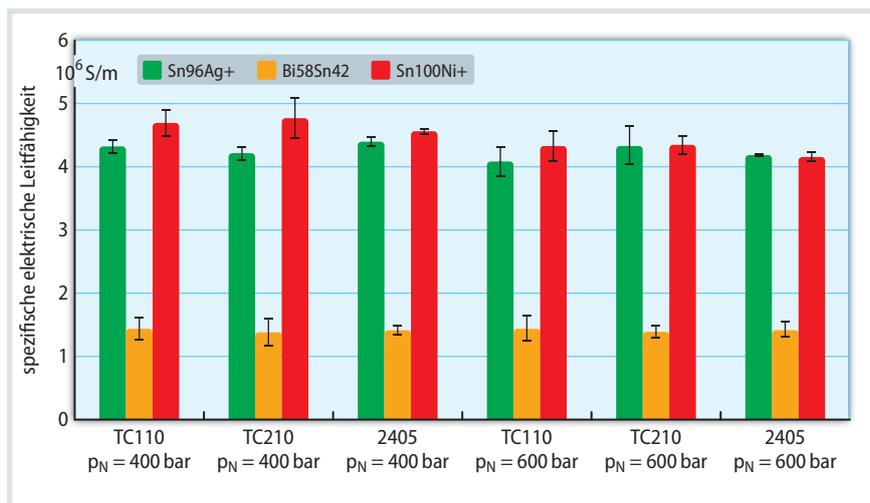
Der am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen konzipierte technische Lösungsansatz für die neue verkürzte Prozesskette besteht darin, dass er innovative Fertigungstechnologien und neue Materialien miteinander verbindet. Bei diesem integrierten Ansatz werden neuartige, elektrisch isolierende und thermisch leitfähige Kunststoffe als Gehäuse und gleichzeitig als Kühlkörper für das Beleuchtungssystem genutzt. In das dreidimensional geformte Gehäuse werden LED-Platinen und Kontaktstifte eingelegt. Anschließend werden diese durch das Integrierte Metall-Kunststoff-Spritzgießen (IMKS) mittels Leiterbahn, bestehend aus niedrigschmelzendem Lot, kontaktiert.

Durch die höhere Gestaltungsfreiheit bei der Positionierung einer LED im Vergleich zu konventionellen Platinen kann eine optische Komponente mit Freiformgeometrie über der LED platziert und mediendicht umspritzt werden. Das am IKV entwickelte IMKS-Verfahren ermöglicht die Herstellung von Kunststoffbauteilen mit integrierten Leiterbahnen in einem Werkzeug auf einer Spritzgießmaschine [5, 6]. Parallel dazu wird die lichtleitende Vorsatzoptik innerhalb der Fertigungszelle hergestellt. Abschließend wird die Optik auf dem Gehäuse platziert und mediendicht mit dem Gehäusematerial umspritzt. Das fertige Beleuchtungssystem kann nach dem integrierten Prozess ohne Nachbearbeitungsschritte eingesetzt werden.

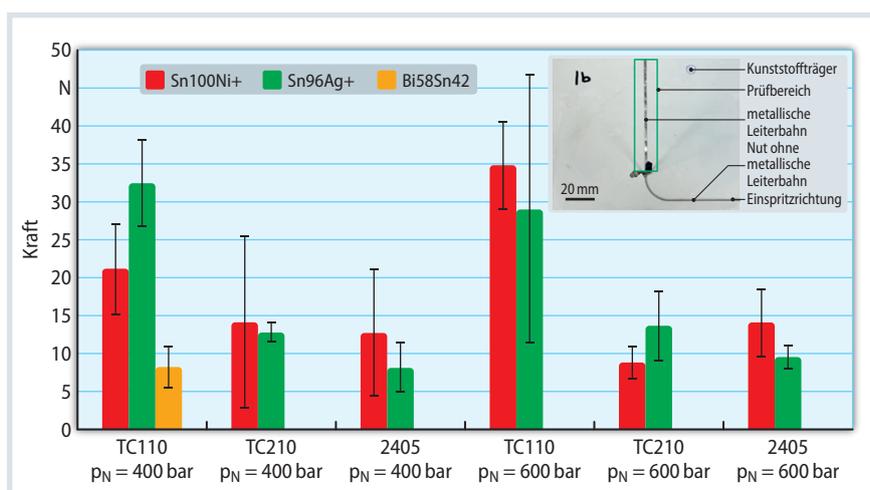
### Fertigungskonzept verkürzt Prozesskette

Gehäuse, Kontaktierung und optische Komponente stellen Bestandteile in den gängigsten LED-Anwendungen dar. Daher lässt sich das erarbeitete Fertigungskonzept variabel zur Herstellung einer Vielzahl lichttechnischer Anwendungen adaptieren, beispielsweise in der Automobil-, Gebäude- und Straßenbeleuchtung. Das Fertigungskonzept soll die Prozesskette verkürzen, mit einer höheren Wertschöpfung und ohne teure Montageschritte. Ferner sollen Vor- und Nachbearbeitungsschritte entfallen und Material eingespart werden.

Die Grundlage für den neuen Lösungsansatz bilden verschiedene Vor-



**Bild 1.** Spezifische elektrische Leitfähigkeiten aller Materialkombinationen aus einem metallischen Lot und einem Standard- bzw. thermisch leitfähigen Kunststoff. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser



**Bild 2.** Notwendige Auszugskräfte für alle Materialverbunde. Beide metallischen Lote halten im Zusammenhang mit TC110 den größten Auszugskräften stand. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

untersuchungen. Diese betreffen zum einen die Materialkombination aus dem neuartigen Kunststoff (Gehäuse) und metallischen Lot (Leiterbahn) sowie die Materialkombination bestehend aus dem neuartigen Kunststoff (Gehäuse) und Kunststoff für optische Anwendungen (Vorsatzoptik).

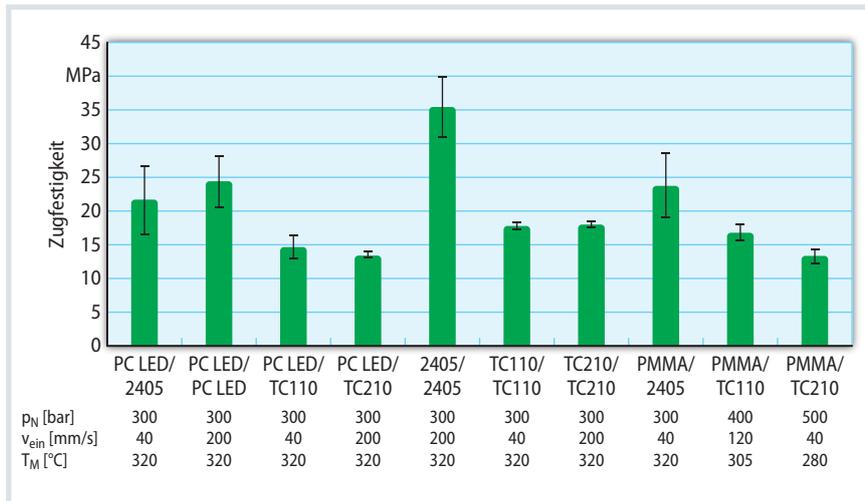
Dazu wurde zunächst als Probekörper ein quadratischer Kunststoffträger mit einer Leiterbahngeometrie gewählt, die eine Kurve beinhaltet, da auch in dem Leiterbahnverlauf für den späteren Demonstrator Kurven liegen. Für den Kunststoffträger wurden neben dem Standardgehäusematerial Makrolon 2405 auch die zwei thermisch leitfähigen Kunststoffe Makrolon TC110 und Makrolon TC210 (Hersteller jeweils: Covestro) verwendet. Als Leiterbahnmaterialien wurden die drei Lote Sn96Ag+,

Sn100Ni+ (Felder Lottechnik) und Bi58Sn42 (Tamura Elsold) betrachtet.

Um zu überprüfen, welchen Einfluss die Spritzgießprozessparameter auf die resultierenden Verbundeigenschaften ausüben, wurde der Nachdruck bei der Herstellung des Kunststoffträgers systematisch variiert. Die Bauteile wurden zunächst elektrischen Belastungstests unterzogen; anschließend wurden Zugprüfungen vorgenommen, um den Einfluss von mechanischen Belastungen auf die Verbundeigenschaften zwischen Kunststoffträger und Leiterbahn zu ermitteln.

### Wie leitfähig sind die Probekörper?

Bei den elektrischen Belastungstests wurde die spezifische elektrische Leitfähigkeit sowie die Bauteilerwärmung »



**Bild 3.** Zugfestigkeit der hergestellten 2K-Proben mit abnehmender Verbundfestigkeit bei steigender thermischer Leitfähigkeit der Materialien. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

unter konstanter Strombelastung der jeweiligen Materialkombination ermittelt. Zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit wurde der jeweilige Probekörper fixiert und durch zwei Aufsatzelektroden am Anfang und am Ende der Leiterbahn angeschlossen. Für die vorliegende Anwendung sind Leitfähigkeiten im Bereich von  $4 \text{ bis } 5 \cdot 10^6 \text{ S/m}$  notwendig. Die Materialkombinationen bestehend aus dem Leiterbahnmaterial Sn100Ni+ und den beiden thermisch leitfähigen Kunststoffen erwiesen sich als die vielversprechendsten (**Bild 1**). Im Rahmen der Untersuchungen zeigte sich das Lot Bi58Sn42 als für den Anwendungsfall ungeeignet.

### Welche Verbundfestigkeit liegt bei den IMKS-Probekörpern vor?

Um die maximale Zugfestigkeit des Materialverbunds zu untersuchen, wurden die Proben zunächst präpariert, indem der Abschnitt vom Anspritzpunkt der Leiterbahn bis zur Kurve aus dem Kunststoffträger herausgetrennt wurde (**Bild 1**). Zur Messung der Verbundfestigkeit zwischen metallischer Leiterbahn und Kunststoffträger wurden Zugprüfungen mit einer Zugprüfmaschine (Typ: Z150; Hersteller: ZwickRoell) durchgeführt, die die Leiterbahn mit einer definierten Geschwindigkeit von 2 mm/min aus dem Kunststoffträger herauszog.

Durch die Zugversuche ließ sich der Materialverbund mit Bi58Sn42 als die ungeeignetste Alternative identifizieren (**Bild 2**). Lediglich im Zusammenhang mit

TC110 und einem Nachdruck von 400 bar war überhaupt eine Messung der Auszugskraft der Leiterbahn aus dem Kunststoffträger möglich, weil bei den anderen Proben bereits bei der Probenpräparation die Leiterbahn herausgebrochen ist. Bei der Messung der Zugfestigkeit zeigten sich die Lote Sn100Ni+ und Sn96Ag+ zusammen mit TC110 als vielversprechendste Materialkombinationen. Es wird davon ausgegangen, dass die Füllstoffe, die in den thermisch leitfähigen Kunststoffen enthalten sind und die dafür sorgen, dass die Wärme besser verteilt wird, eine bessere Haftverbindung mit Zinn eingehen als mit Bismut.

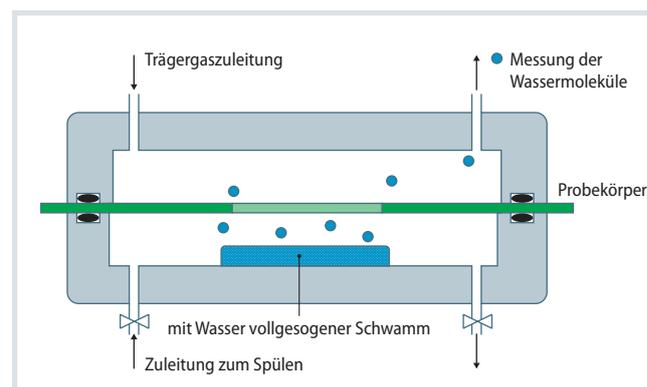
Für die Vorsatzoptik wurden im Projektkonsortium als mögliche optische Materialien ein PC (Typ: Makrolon LED 2245; Hersteller: Covestro) und ein PMMA (Typ: Plexiglas 7N; Hersteller: Röhm) definiert. Die gewählten Materialien wurden am IKV grundlegend untersucht. Zunächst wurden die mechanischen Zugfestigkeiten zwischen den

Materialpaarungen mittels Zugstäben nach DIN EN ISO 527 A1 untersucht [7]. Die Zugstäbe aus Optik- und Gehäusekomponente wurden in Anlehnung an die spätere Fertigung des Technologieträgers in derselben Reihenfolge hergestellt, also zuerst die optische und anschließend die Gehäusekomponente gespritzt (Maschinentyp: e-motion 160/440; Hersteller: Engel). Um die Ergebnisse der Zugversuche besser einordnen zu können, wurden für alle ausgewählten Kunststoffe zweifach angespritzte Zugstäbe aus einem Material mitbetrachtet.

### Verbundfestigkeiten der optischen Materialien

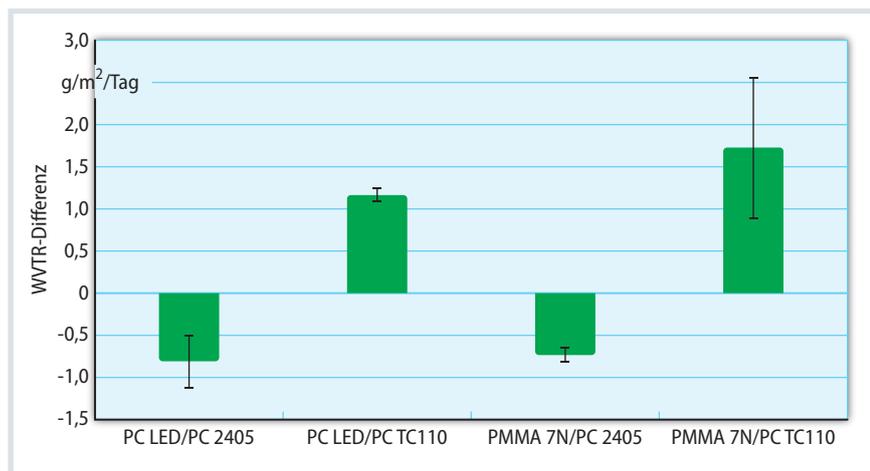
Bei den Versuchen wurden die Spritzgießparameter der zweiten Komponente variiert. Als Parameter mit einem besonders großen Einfluss auf die Verbundfestigkeit wurden in der Literatur und in Vorversuchen Nachdruck, Einspritzgeschwindigkeit und Schmelzetemperatur identifiziert [8]. Zur Untersuchung der Zugfestigkeit wurden die Versuche nach DIN EN ISO 527-1 mit einer Dehnrates von 1 %/min durchgeführt [9].

Die Ergebnisse zeigen eine verbesserte Zugfestigkeit des PMMA im Vergleich zu PC (**Bild 3**). Die Verbundfestigkeit der Gehäusematerialien nimmt mit Zunahme des thermisch leitfähigen Anteils ab. Dies wird sowohl bei Verwendung von PC wie auch PMMA als optische Komponente ersichtlich. Im Vergleich ist die Verbundfestigkeit bei 2K-Zugstäben aus einem Material höher als bei Zugstäben aus zwei unterschiedlichen Materialien. Vermutlich lässt sich die höhere Zugfestigkeit bei PMMA-Zugstäben durch die niedrigere Schmelztemperatur des PMMA erklären. Im Ver-



**Bild 4.** Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur WVTR-Messung.

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser



**Bild 5.** Ergebnisse der WVTR-Messungen der 2K-Probekörper in Abhängigkeit der Materialflächenanteile. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

gleich zur Materialgrundfestigkeit nimmt die Festigkeit deutlich ab, so hat zum Beispiel Plexiglas 7N laut Datenblatt eine Bruchfestigkeit von 73 MPa und Makro-LED 2245 von 60 MPa.

### Mediendichtheit von 2K-Bauteilen

Zur Untersuchung der Mediendichtheit fertigte die Heinze Kunststofftechnik Werkzeugeinsätze für einfache Probekörper auf derselben Spritzgießmaschine. Dabei wurde zuerst ein äußerer Ring mit einer Fläche von 55,71 cm<sup>2</sup> (~87,5%) aus den optischen Materialien spritzgegossen. Anschließend wurde der Ring mit einer Fläche von 7,91 cm<sup>2</sup> (~12,5%) mittig mit einem Gehäusekunststoff angespritzt. Dabei wurden die gleichen Prozessparameter wie bei der Untersuchung der Zugfestigkeit verwendet.

Die Probekörper wurden in einer WTVR-Kammer (Water Vapor Transmission Rate) untersucht (Bild 4). Dabei wird der Probekörper in der Messkammer mediendicht eingespannt, sodass die Kammer in einen unteren und einen oberen Bereich unterteilt ist. Unterhalb der Probekörper wird ein mit Wasser vollgesogener Schwamm platziert. Nach dem Spülen beider Kammern mit Trägergas wird die Menge der Wassermoleküle gemessen, die durch den Probekörper diffundieren.

Die WVTR-Messung nähert sich einem konstanten Wert an, der als WVTR-Wert zur Auswertung genutzt wird. Um die materialspezifische Wasserdurchlässigkeit von der Durchlässigkeit der Fügezone unterscheiden zu können, wurden

zunächst Kreisscheiben aus einem Material untersucht, hergestellt jeweils mit den Prozessparametern der maximalen und minimalen Zugkraft. Nun werden die WVTR-Werte in Abhängigkeit der Flächenanteile der einzelnen Materialien von den Messwerten der 2K-Probekörper abgezogen, sodass die Differenzen aufgrund der Stoßverbindung dargestellt werden (Bild 5).

Bei den Proben mit PC TC110 zeigt sich ein Einfluss der Stoßverbindung auf die Mediendichtheit im Mittel von 1,44 g/m<sup>2</sup>/Tag. Allerdings erzielen die 2K-Proben mit PC 2405 einen besseren WVTR-Wert als die reinen Materialien. Dies lässt vermuten, dass die Stoßverbindung keinen Einfluss auf die Mediendichtheit hat.

### Ausblick

Bei den Voruntersuchungen erwies sich das metallische Lot Bi58Sn42 für den Anwendungsfall als ungeeignet. In folgenden Versuchen wird daher nur noch auf die anderen beiden Lote zurückgegriffen. Die thermisch leitfähigen Kunststoffe zeigten vielversprechende Ergebnisse, genauere Untersuchungen werden zurzeit am IKV durchgeführt. Die Verbundfestigkeiten der optischen 2K-Probekörper entsprechen den Festigkeiten der 2-fach angespritzten Probekörper aus einem Material. Die Mediendichtheit entspricht denen der Grundkunststoffe. Daher können die Materialpaarungen für eine Beleuchtung in der Außenanwendung prinzipiell verwendet werden.

Nach den beschriebenen grundlegenden Untersuchungen werden weitere Analysen zum Leiterbahnlayout und zur Kontaktierung von Einlegern am IKV durchgeführt. Mit einem neu konstruierten Werkzeug zur Herstellung eines Demonstrators sollen anwendungsnahe Versuche zur Verbundfestigkeit, Kontaktierung und Positionierung der Optik durchgeführt werden, über die das IKV gesondert berichtet. ■

## Info

### Autoren

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann** ist Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen und Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen.

**Ingrid Sturm, M.Sc.** ist Leiterin der Arbeitsgruppe Mehrkomponententechnik am IKV; [ingrid.sturm@ikv.rwth-aachen.de](mailto:ingrid.sturm@ikv.rwth-aachen.de)

**Jonas Gerads, M.Sc. RWTH**, ist Leiter der Arbeitsgruppe Optische Komponenten am IKV.

### Dank

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13N14627 gefördert. Die Autoren danken außerdem

- der Covestro AG, Leverkusen,
  - der Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich,
  - der Felder GmbH Löttechnik, Oberhausen,
  - der Heinze Kunststofftechnik GmbH & Co. KG, Herford,
  - der Mentor GmbH & Co. Präzisions-Bauteile KG, Erkrath,
  - der Röhm GmbH, Darmstadt, und
  - der Tamura Elsold GmbH, Ilsenburg,
- für die Unterstützung und Bereitstellung von Versuchsmaterialien.

### Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

[www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

Read the English version of the article in our magazine **Kunststoffe international** or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)