

**Polycarbonat.** Große Einsatzchancen hat der Werkstoff Polycarbonat für optische Komponenten, wie die nicht abbildenden, mit Freiformflächen versehenen Linsen für LED-Leuchten und -Scheinwerfer im Kraftfahrzeug. Dank neu entwickelter Materialien mit höherer Transmission und lichtstabilen Einfärbungen lassen sich nun komplexe Linsen in hervorragender Qualität herstellen. Gleichzeitige innovative Verfahrensentwicklungen gestatten eine exakte wirtschaftliche Fertigung solcher Linsen in Großserie.

## Aufs Licht fokussiert



**Bild 1. Linsen mit Freiformflächen haben in der automobilen Lichttechnik großes Anwendungspotenzial** (Bilder: Bayer MaterialScience)

**FLORIAN DORIN  
CHRISTOPH KLINKENBERG  
OLAF ZOELLNER**

Der Reiz, transparente thermoplastische Kunststoffe zur Herstellung optischer Komponenten zu verwenden, hat mehrere Gründe. So können Bauteile wie etwa Linsen deutlich leichter produziert werden als mit Glas. Die Freiheiten bei der geometrischen Gestaltung der Komponenten sind größer. Die Großserienfertigung im Spritzgießverfahren verspricht zudem wirtschaftliche Vorteile. Kostensenkend wirkt sich zusätzlich aus, dass mittels Spritzgießen direkt Funktionen in das Bauteil integriert werden können.

Für LED-Leuchten und -Scheinwerfer bieten sich insbesondere Kunststofflinsen mit Freiformflächen an (Bild 1). Letztere weisen Geometrien ohne Symmetrien auf. Während klassische Linsensysteme

für diesen Einsatzzweck meist aus mehreren Komponenten bestehen, haben Linsen mit Freiformflächen unter anderem den Vorteil, dass sie als einzelnes Teil bzw. optisches Element das gesamte Licht fokussieren. Ihr Einsatz spart daher Bauroum und Gewicht.

Linsen mit Freiformflächen weisen häufig Bereiche mit hohen Wanddicken und starken Wanddickensprüngen auf. Sie in hoher optischer Qualität spannungsarm und dimensionstreu mittels Standardspritzgießen herzustellen, erfordert daher sehr lange Zykluszeiten von teilweise bis zu 20 min und mehr. Die Bayer MaterialScience AG, Leverkusen, setzt deshalb auf das Mehrschicht- bzw. Multi-Layer-Spritzgießen. Das Bauteil wird dabei schrittweise in mehreren Schichten z. B. unter Einsatz eines Indexplattenwerkzeugs aufgebaut. Durch diese Aufteilung lassen sich deutliche Verkürzungen der Kühl- und damit Zykluszeiten erreichen. Theoretisch liegt beispielsweise das Potenzial zur Kühlzeitreduzierung im Falle des Dreischicht-

Spritzgießens mit Polycarbonat bei mehr als 40 %. Dieses Potenzial haben Versuche kürzlich bestätigt. Auch die Bauteilqualität profitiert stark vom Mehrschicht-Spritzgießen. So lassen sich schwindungsbedingte Einfallstellen deutlich reduzieren, da ein großer Teil des Schwindungspotenzials auf den Vorspritzling entfällt. Fehler wie Einfallstellen auf dessen Oberfläche lassen sich in der Regel komplett durch das Überspritzen mit dem Nachspritzling eliminieren. Zudem führen niedrigere Spritzdrücke zu geringeren inneren Spannungen.

### Vorteile gegenüber PMMA und Glas

Polycarbonat (PC) eignet sich besonders gut zur Produktion von optischen Komponenten wie Linsen. So liegt seine mit 90 % hohe Transmission im sichtbaren Wellenlängenbereich nur wenig unterhalb der durch Reflexionsverluste bestimmten theoretischen Grenze. Dank seiner hohen Wärmeformbeständigkeit ist es thermisch belastbarer als etwa Polymethylmethacrylat (PMMA) und im Einsatz wegen seiner hohen Zähigkeit sehr robust und bruchsicher. Zwei Punkte führen bereits im Standard-Spritzgießprozess zu signifikanten Produktivitätsvorteilen beim Einsatz von PC anstelle von PMMA: Der höhere Bre-

### **i** Kontakt

**Bayer MaterialScience AG**  
Fachpresse  
D-51368 Leverkusen  
TEL +49 214 30-25363  
→ [www.bayermaterialscience.com](http://www.bayermaterialscience.com)

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU111042

chungsindex des PC erlaubt es, etwa Linsensysteme dünner ausulegen, was den Materialverbrauch senkt und die Kühlzeiten verkürzt. Zudem ist die effektive Temperaturleitfähigkeit von PC höher als die von PMMA. Dies führt zu einer schnelleren Ableitung der Wärmeenergie aus dem Kunststoff in das Spritzgießwerkzeug, was ebenfalls zu geringeren Kühlzeiten führt.

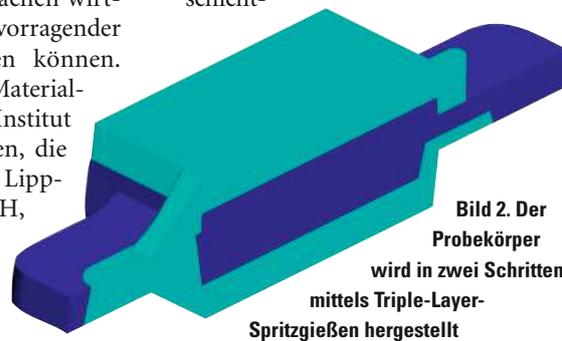
### Projekt „Autolight“

Dennoch sind u. a. in puncto Materialentwicklung, Zykluszeit, optischer Bauteilqualität, Simulation des Spritzgießprozesses und Werkzeugherstellung noch einige Hürden zu überwinden, bis komplexe Linsen mit Freiformflächen wirtschaftlich in Großserie in hervorragender Qualität produziert werden können. Deshalb arbeiten die Bayer MaterialScience AG, das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen, die Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt, und die Innolite GmbH, Aachen, im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts

„Autolight“ daran, eine Prozesskette zur Produktion von Kunststoff-Freiformoptiken für den Einsatz in Kfz-Frontscheinwerfern aufzubauen. Es ist das Ziel, hochintegrierte, montagegerechte und dabei multifunktionale Freiformflächen-Optiken zu entwickeln, die sich in kurzen Prozesszeiten spritzgießen und einfach montieren lassen. Zusätzlich sollen sie auf der Oberfläche mit Mikrostrukturierungen versehen werden.

Auf Bayer MaterialScience entfallen in diesem Projekt drei Schwerpunkte:

- Entwicklung von Polycarbonaten mit höherer Transmission und lichtstabilen Einfärbungen,
- quantitative Simulation zur Visualisierung und Optimierung des Mehrschicht-



Spritzgießprozesses hinsichtlich Zykluszeiten und Bauteilqualität und

- Aufbau einer optimierten Prozesskette zur wirtschaftlichen Fertigung optischer Linsen im Mehrschicht-Spritzgießen unter Nutzung der Ergebnisse der beiden oben genannten Punkte.

Im Rahmen des Projekts ist Bayer MaterialScience kürzlich ein wichtiger Durchbruch gelungen. So können nun mit einem neuen Modellierungsansatz die thermischen Prozesse in der Schmelze während des Abkühlens im Werkzeug im Rahmen der Messgenauigkeiten präzise simuliert werden. Dies ist Grundvoraussetzung, um sämtliche Faktoren, die die Bauteilqualität beeinflussen, rechnerisch nachzustellen. Denn die meisten dieser Faktoren wie etwa Verzug, Schwindung, Spannungen oder Kriechverhalten sind temperaturabhängig.

### Messtechnik zur Temperaturbestimmung

Dass der Durchbruch gelang, ist auch einer neuen Messtechnik zu verdanken. Mit ihr kann die Temperatur der in der Kavität befindlichen Schmelze gemessen →

werden. Hierbei müssen der zeitliche Verlauf der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität des Werkstoffs sowie die Dichteverteilung, die Drücke während des Herstellungsprozesses und der zeitliche Verlauf des Wärmeübergangs ins Spritzgießwerkzeug genau berücksichtigt werden. Bisherige Messverfahren hatten den Nachteil, dass die im Werkzeug positionierten Sensoren einen signifikanten, nicht mehr messbaren Einfluss auf die Schmelzetemperatur ausübten, was zu Ungenauigkeiten führte und die Ergebnisse bis zur Unbrauchbarkeit verfälschte. Die Temperaturfühler des neuen Verfahrens beeinflussen dagegen nur zu Be-

Schmelzetemperatur und auf Seiten der Geometrie u. a. die Wanddicken des Vor- und Nachspritzlings.

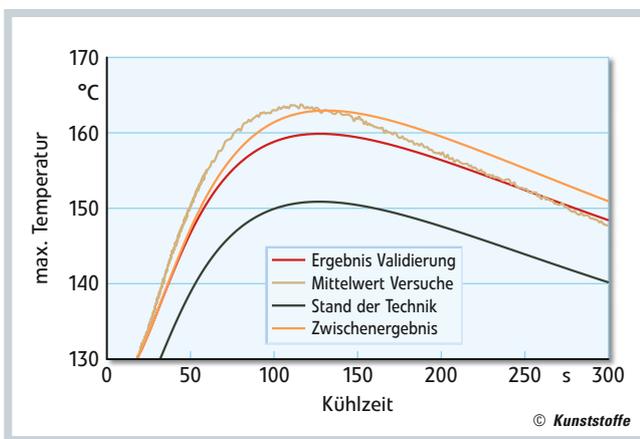
Der Entwicklung des Simulationsmodells gingen umfangreiche Recherchen zum theoretischen Einfluss der Materialeigenschaften und der Versuchsparameter auf das Kühlverhalten voraus. Der Aufbau des Modells orientierte sich an der Versuchsgeometrie, um die Versuche genau nachstellen zu können. Das Temperaturfeld während der Abkühlung wurde mit der Software „Abaqus“ simuliert. Variiert wurden die Materialdaten wie Wärmeleitfähigkeiten, -kapazitäten und Dichten sowie die Randbedingungen wie

zu verteilen, dass die Kühlzeiten auf ein Optimum minimiert werden. Im ersten Schritt werden dabei zunächst die Wanddicken auf ihr Abkühlverhalten hin optimiert, und auf Basis dieser Wanddickenverteilung wird dann die Werkzeugfüllung bestmöglich gestaltet.

Erste Versuche zeigen, dass eine auf diese Weise optimierte Triple-Layer-Geometrie auch hinsichtlich Geometrietreue zu guten Ergebnissen führt.

### Ausblick

Die nächsten Entwicklungsschritte konzentrieren sich darauf, einen Ansatz zur Simulation der Bauteilqualität zu finden. So soll u. a. geprüft werden, inwieweit sich mit den ermittelten Modellierungsparametern mit gängigen Rheologieprogrammen die Kombination aus mechanischem und rheologischem Materialverhalten quantitativ abbilden lässt. Dazu soll untersucht werden, wie sich qualitätsbestimmende Faktoren wie Schwindung und Verzug sowie innere Spannungen rechnerisch beschreiben lassen. Die letzte Aufgabe besteht dann darin, einen simulativen Ansatz zu erarbeiten, der die Optimierung der Wanddicken sowohl hinsichtlich einer minimalen Kühlzeit als auch einer balancierten Werkzeugfüllung und exzellenten Bauteilqualität erlaubt. ■



**Bild 3. Die exzellente Validierung beweist, dass mit dem neuen Modellierungsansatz die thermischen Prozesse in der Schmelze während des Abkühlens im Werkzeug im Rahmen der Messgenauigkeiten präzise simuliert werden können**

ginn der Schmelzeabkühlung kurz und in geringem Ausmaß die Messung und liefern danach reproduzierbare, verlässliche Werte.

Die zum Verfahren gehörende Messeinheit zur Bestimmung des Temperaturverlaufs in der Schmelze wurde so aufgebaut, dass sie sich möglichst exakt in einer Simulation nachstellen lässt. Die Messungen bzw. die Fertigung der Probekörper im Triple-Layer-Spritzgießverfahren erfolgten auf einem bestehenden Werkzeug für ein dickwandiges optisches Bauteil. Für die Temperaturmessungen wurde bewusst ein „Worst Case“-Probekörper gewählt. Er weist nicht gewölbte, sondern plane Flächen auf (Bild 2). Mit ihm kann sehr genau geprüft werden, wie präzise die gewünschte Geometrie einer Linse abgebildet werden kann. Denn auf den planen Flächen lassen sich selbst Einfallstellen von wenigen Mikrometern Tiefe zuverlässig erkennen. Geometrieabweichungen wie Einfallstellen sind die wichtigsten Größen, die die optische Qualität der Linsen ausmachen.

Um sicherzustellen, dass die Messergebnisse geometrie- und prozessunabhängig sind, wurden verschiedene Parameter variiert – prozessseitig z. B. die

Werkzeug- und Schmelzetemperatur und Wärmeübergangskoeffizient – und dies alles in Abhängigkeit der Verarbeitungsparameter wie den Nachdrücken, Spritzdrücken und Geschwindigkeiten. Bei allen Simulationen wurden die gleichen Randbedingungen wie im Herstellungsprozess gewählt. So konnten mit einer Vielzahl an Parametersätzen eine Vielzahl an Gleichungen mit Unbekannten gelöst werden.

### Exzellente Validierung, geometrieunabhängiges Modell

Beim Vergleich der Messergebnisse und Berechnungen zeigt sich, dass die simulierten Temperatur-Abkühlkurven alle Versuchsergebnisse innerhalb der Mess-toleranzen widerspiegeln (Bild 3). Die hier gezeigten Modelle unterscheiden sich allein durch unterschiedlich gewählte Prozessparameter, z. B. Schmelze- oder Werkzeugtemperatur. Weiterhin konnte bewiesen werden, dass der verwendete Modell-aufbau nicht von der Geometrie des Probekörpers abhängt und daher auf frei wählbare Geometrien übertragbar ist.

Mit dem neuen Modellierungsansatz ist es bereits möglich, die Wanddicken so

### DIE AUTOREN

FLORIAN DORIN, geb. 1980, ist Experte für die Konstruktion und Simulation optischer Komponenten aus Polycarbonat bei der Bayer MaterialScience AG, Leverkusen.

CHRISTOPH KLINKENBERG, geb. 1981, ist für Spritzguss-Prozessentwicklung optischer Bauteile und Automobilverschleißung aus Polycarbonat im selben Unternehmen zuständig.

OLAF ZOELLNER, geb. 1963, ist Leiter Anwendungsentwicklung Spritzgießen Europa im selben Unternehmen.

### SUMMARY

#### FOCUSED ON THE LIGHT

POLYCARBONATE. There are great opportunities to use polycarbonate for optical components, such as non-imaging lenses with free-form surfaces for LED lights and motor vehicle headlamps. Thanks to newly developed materials with higher transmission and light-stable coloration, complex lenses can now be produced in excellent quality. At the same time, innovative process developments permit accurate, economic production of these lenses on an industrial scale.

Read the complete article in our magazine

**Kunststoffe international** and on [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)