



Die Substitution von Glas durch Kunststoff entscheidet sich an der Wirtschaftlichkeit. Insbesondere bei dicken Linsen beeinflusst vor allem der schichtweise Aufbau einer Optik das Ergebnis

(© KraussMaffei)

So behält man den Durchblick

Optische Bauteile stellen hohe Anforderungen an die gesamte Prozesskette

Jeder Brillenträger kennt es: Ein winziger Fleck auf dem Glas ruiniert das Seherlebnis. Und wenn beim Autoscheinwerfer das Licht in die falsche Richtung streut, ist das sogar sicherheitsrelevant. Die Fertigung optischer Bauteile im Spritzgießverfahren ist deshalb eine anspruchsvollen und verantwortungsvollen Aufgabe. Sie betrifft die gesamte Prozesskette.

Ob Ambientebeleuchtung im Wohnzimmer oder Blinker aus LED-Reihen: Das Spiel mit Licht wird immer anspruchsvoller und stellt einen wichtigen Wachstumsmarkt für die Kunststoffverarbeitung dar, denn sowohl bei abbildenden Optiken (wie Lupen oder Brillengläsern) als auch bei nicht abbildenden (etwa Scheinwerferlinsen oder Displayfenstern) schreitet die Substitution von Glas durch Polymere fort. Die Gründe dafür sind zum Teil messbar: Kunststoff ist leichter und die Wertschöpfung bei der Verarbeitung dieses Materials besser. Darüber hinaus bietet Kunststoff wesentlich größere Freiheiten im Design und was die Integration verschiedener Funktionen in ein Bauteil

betrifft. So kann ein Artikel Freiformflächen, Linsenarrays und Reflektorprismen mit unterschiedlichen Wanddicken beinhalten, und auch Mikrostrukturen lassen sich mit Kunststoff leichter abbilden als mit Glas.

Ein wesentlicher Markt für optische Anwendungen ist die Automobilbranche. Vor rund zehn Jahren fanden Voll-LED-Frontscheinwerfer erstmals ihren Weg in Serienfahrzeuge der Oberklasse (**Bild 1**). Heute werden 5 bis 10% aller Pkw damit ausgestattet. Experten rechnen damit, dass bis 2020 jedes fünfte Auto über LED-Scheinwerfer mit integrierten Bereichen für Fern-, Abblend-, Kurven-, Tagfahrlicht und Blinker verfügen wird. Das

technikaffine Europa treibt diese Entwicklung voran.

Herausforderungen: enge Toleranzen und vollkommene Transparenz

Die Geschäftsaussichten in diesem Bereich sind also hervorragend – wenn man das Einmaleins der Produktion von optischen Bauteilen beherrscht. Doch das hat es in sich. Neben der Einhaltung von Toleranzen ist das zentrale Anliegen die vollkommene Transparenz der Linsen; diese kann beispielsweise durch innere Spannungen beeinträchtigt sein, die den Strahlengang des Lichts beeinflussen. Bei großen Wanddicken ist die Schwindung

kritisch, Staubeintrag ins Material verursacht schwarze Punkte und bei zu langer Verweildauer der Schmelze in der Plastifiziereinheit vergilbt das Material durch thermische Oxidation.

Das am häufigsten genutzte transparente Material ist Polycarbonat (PC), das dank seiner hohen Verarbeitungstemperatur und niedrigen Schmelzeviskosität Mikrostrukturen gut abformen kann, eine geringe Schwindung aufweist und kristallklar ist. Polymethylmethacrylat (PMMA) ist sogar noch transparenter – allerdings bei geringerer Schlagzähigkeit.

Der Spritzgießmaschinenhersteller KraussMaffei verfügt seit Jahrzehnten über Erfahrung in der Herstellung transparenter Produkte aus PC. Bereits in den 1970er-Jahren war das Unternehmen mit der Herstellung von Autorückleuchten (**Bild 2**) befasst und agierte ab den Achtzigern als Pionier bei optischen Funktionsteilen (Bildplatten, CDs); in den 90er-Jahren erweiterten u.a. Linsen, Scheinwerfer und Automobilverschiebungen das Kompetenzspektrum.

Streng geregelt: Plastifizierung und Prozess

Voraussetzung für die Herstellung hochwertiger optischer Bauteile ist, vom Aufbereiten des Kunststoffgranulats bis zum finalen Abkühlen des Formteils, eine einwandfreie Schmelzequalität. Jede Unregelmäßigkeit in einem der Prozessschritte kann zu Ausschuss führen – es gibt wenig Raum für Kompromisse, sodass die ganze Fertigungskette und Anlagentechnik betrachtet werden muss.

Die Plastifiziereinheit ist das Herz jeder Spritzgießmaschine. Bei optischen Artikeln muss sie exakt auf das Schussgewicht abgestimmt sein, um eine zu lange Verweildauer und damit Materialdegeneration zu vermeiden. Die Schnecke bereitet das Material schonend auf, wobei es eine zu hohe Scherung und Totwassergebiete zu vermeiden gilt. KraussMaffei verfügt über eine breite Palette an Schnecken: von der 3-Zonen-Universalversion über ein Modell mit angepasster Geometrie für PMMA bis zur Hochleistungsschnecke für hohe Durchsätze. Um Luft einzug über die Düse zu vermeiden, darf höchstens ein geringer, besser gar kein Schnecken-Rückzug erfolgen; das Schließverhalten der Rückströmsperre muss auch bei sehr geringen Einspritzgeschwindigkeiten konstant und präzise sein, manchmal empfiehlt sich dann der Einsatz einer Mehrkugel-Rückströmsperre.

Einen Kontakt des Polymers zu Eisenwerkstoffen (unlegierten Stählen) gilt es zu vermeiden, daher kommen bei den Komponenten der Plastifiziereinheit hochverschleißfeste Varianten zum Einsatz. Bei Kunststoffen, die wie PMMA zum Anhaften neigen, sollten Schnecke und Rückströmsperre beschichtet sein, entweder mit einer Mono-Layer-PVD-Schicht (TiN), einer Multi-Layer-PVD-Schicht (CrN) oder mit einer Hartverchromung. Bei Produktionsunterbrechungen muss die Temperatur im Zylinder nach einem exakten Zeitplan abgesenkt und gehalten werden, um Belagbildung an Zylinder und Schnecke zu vermeiden.

Bei Stillständen, Chargenschwankungen oder wechselnden Raumbedingun-

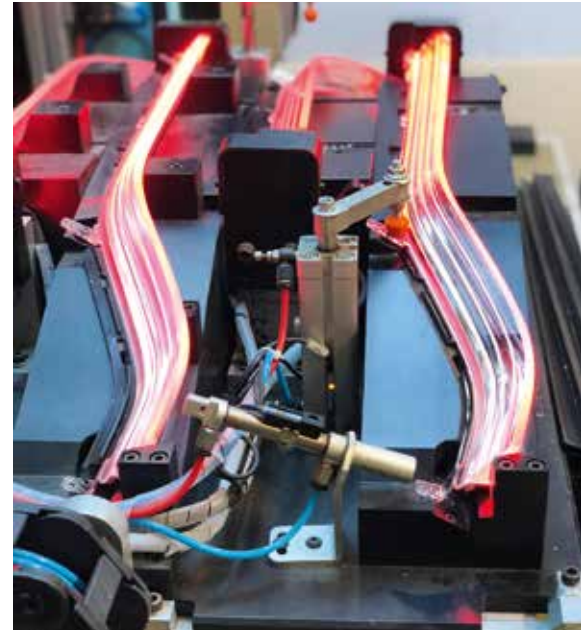


Bild 1. Lichtleisten z. B. für LED-Scheinwerfer werden im Mehrschichtverfahren hergestellt

(© Plastmet)

gen (wie Temperatur und Feuchtigkeit) empfiehlt sich die Maschinenfunktion APC plus von KraussMaffei, die anhand der gemessenen Schmelzeviskosität den Spritzgießprozess von Schuss zu Schuss so regelt, dass dabei gewichtskonstante Bauteile entstehen.

Verfahren im Werkzeug: am besten Spritzprägen

Noch mehr als bei anderen Produkten ist es für eine makellose Lichtdurchgängigkeit wichtig, optische Komponenten frei von Spannungen zu halten. Beim »



**AB LAGER
VERFÜGBAR**



KOEPPCell®

www.blauer-engel.de/uz132

K/PE 30 ist als erste KOEPPCell®-PE-Qualität mit dem blauen Engel ausgezeichnet worden.

Zellpolyethylen
discover the difference!

Zellkautschuk

Alle EPDM-Qualitäten sind auch in peroxidisch vernetzter Variante erhältlich.

W. KÖPP GmbH & Co. KG
www.koepp.de

KÖPP
experts in foam



Bild 2. Für die exakte Streuwirkung von Scheinwerfern und Rückleuchten bedarf es einer präzise abgestimmten Prozesskette (© Plastmet)

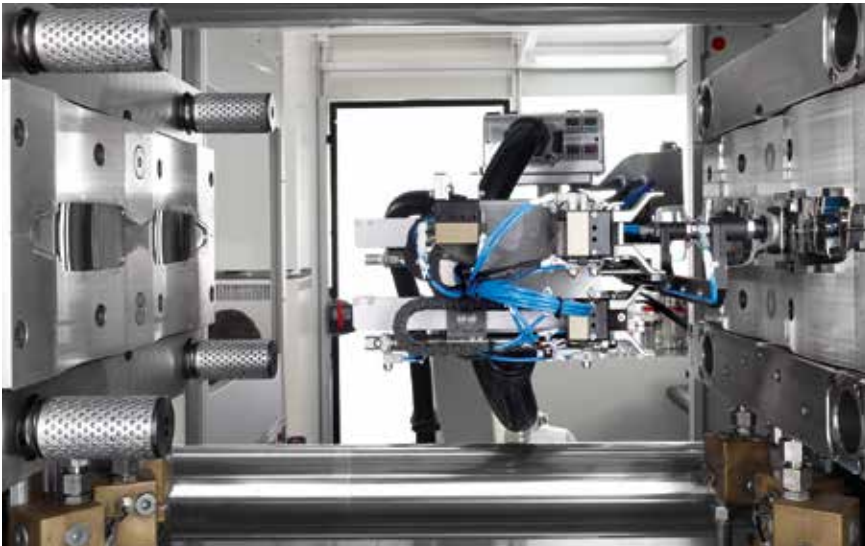


Bild 3. Für optische Anwendungen empfehlen sich Werkzeuge mit Prägefunktion. Dadurch lassen sich längere Fließwege realisieren sowie Lunker, Einfallstellen oder auch Doppelbrechungseffekte durch innere Spannungen vermeiden (© KraussMaffei)

konventionellen Spritzgießen kann sich durch die Nachdruckphase eine ungünstige Situation ergeben, weil der Innendruck am Anguss immer höher ist als am Fließwegende. Beim Spritzprägen hingegen herrscht in der gesamten Kavität ein gleichmäßiges Druckniveau. So lassen sich längere Fließwege realisieren, Lunker und Einfallstellen vermeiden – und eben auch Doppelbrechungseffekte durch innere Spannungen (**Bild 3**).

Die Prägefunktion kann über die Hauptachsen der Maschine erfolgen, also etwa durch die Schließbewegung des Werkzeugs, wobei hier die meiste Kraft vorhanden ist und sich durch die

Messsysteme der Schließeinheit eine sehr gute Prozesskontrolle ergibt. Sie lässt sich aber auch über die Nebenachsen wie Kernzüge und Auswerfer auslösen, beispielsweise mit bewegten Stempeln, was besonders für Teilflächen praktisch ist. Findet die Prägefunktion beim Öffnen des Werkzeugs statt, spricht man von „Atmen“.

Wichtig für diese Technik ist eine robuste Bauart der Maschine und höchste Plattenparallelität. Die Baureihe CX bietet sich durch ihre hohe Systemsteifigkeit und viele Ausstattungsoptionen an. Bei größeren Schließkräften empfiehlt sich die Baureihe GX (beide von KraussMaffei), die

über eine Regelung der Plattenparallelität verfügt.

Ausschussentscheidend: Materialversorgung und Reinraumklima

Jedes Fünkchen Staub verursacht bei transparenten optischen Teilen Verunreinigungen und damit Ausschuss. Das heißt: Kontamination muss unter allen Umständen vermieden werden. Die Maßnahmen beginnen bei der Materialversorgung aus (nur für diesen Zweck genutzten) Silos mit polierten Oberflächen, reichen über die Entfernung von Feinstaub, Flusen und Engelshaar bis zum staubdichten Weitertransport an den Eingang der Plastifiziereinheit. Letzterer kann mit Schutzgas, etwa Stickstoff oder Argon, gespült werden, um Luftsauerstoff zu verdrängen und Oxidation zu verhindern. Auch ein Abdichten der Schnecke ist möglich.

Die Produktion selbst sollte im Reinraum stattfinden oder mit einer Flow Box über der Schließeinheit der Maschine (**Bild 4**), um den Kavitätsbereich nahezu staubfrei zu halten. Bei KraussMaffei-Maschinen lassen sich damit Bedingungen der Reinraumklasse ISO8 schaffen. Auch empfiehlt sich eine spezielle Ausstattung der Maschine mit kleinen Oberflächen, kurzen Leitungen und gekapselten Antrieben, um die Reinigung zu erleichtern.

Zentrales Produktionsthema: die Wirtschaftlichkeit dicker Linsen

Ob eine Substitution von Glas durch Kunststoff sinnvoll ist, entscheidet sich nicht zuletzt an der Wirtschaftlichkeit. Hier schaffen Mehrkavitätensysteme und Mehrkomponententechnik attraktive Bedingungen. Meist reichen Maschinenschließkräfte bis 6500 kN aus, um 4- bis 6-fach-Werkzeuge zu bedienen.

Insbesondere bei dicken Linsen stellt der schichtweise Aufbau einer Optik den zentralen Hebel für eine wirtschaftliche Fertigung dar. Dicke Linsen mit 20 bis 30 mm Dicke benötigen im konventionellen Spritzgießen Zykluszeiten von teilweise mehr als 20 Minuten. Da die Kühlzeit quadratisch von der Wanddicke (s) abhängt, kühlen mehrere dünne Einzelschichten schneller ab als eine dicke und die Gesamtzykluszeit verkürzt sich entsprechend.

Beim Schichtspritzgießen entsteht zunächst ein Vorspritzling, danach geben bewegliche Kerne im Werkzeug das Volumen für die Folgeschichten frei („Core Back“-Technologie). Meist ist der Vorspritzling optisch nicht aktiv und auf beiden Seiten von Folgeschichten umgeben (Aufbau: 2/1/2 oder 2/1/3), die entweder simultan oder sequenziell gefertigt werden, wobei Ersteres erneut Zykluszeit spart.

Ein konkreter Blick auf das Beispiel einer 32 mm dicken Linse aus PMMA verdeutlicht die Abstufungen in der Wirtschaftlichkeit. Dabei beträgt die Schmelztemperatur (T_M) 224 °C, die Werkzeugtemperatur (T_W) 70 °C und die durchschnittliche Entformungstemperatur (T_E) liegt bei 105 °C. Die theoretische Kühlzeit (t_k) lässt sich mit folgender Gleichung berechnen:

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{\text{eff}}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right)$$

In der Einschichtversion liegt sie bei über 1800 s (30 min). In der Zweischichtausführung (Beispiel 22 + 10 mm) halbiert sie sich auf ungefähr 900 s. Noch rascher geht es mit drei Schichten (Beispiel 18 + 7 + 7 mm), die Kühlzeit sinkt dann auf nur noch ungefähr 600 s. Die tatsächlichen Kühlzeiten können abhängig von den Bauteilanforderungen (z.B. Geometrie oder Toleranzen), den möglichen Prozessparametern (z.B. Werkzeugtemperatur, Masstemperatur oder Nachdruck) sowie den nachge-



Bild 4. Produktion unter Reinraumbedingungen: Die Zweiplattenmaschine CX ist optional mit einer speziellen Flow Box über der Schließeinheit ausgestattet. Damit bleibt der Werkzeugbereich nahezu staubfrei (© KraussMaffei)

lagerten Prozessschritten (z.B. Überspritzen) weiter optimiert werden. Mit dem Schichtspritzgießen lässt sich somit bei gleicher Schließkraft trotz geringerer Kavitätenanzahl die Ausbringung an Bauteilen signifikant steigern (**Bild 5**).

Funktionelle Strukturen: Mottenaugen und Fresnellinse

Je mehr Funktionen in ein Bauteil integriert werden können, desto mehr lohnt

sich der Umstieg auf Kunststoff. Ein Beispiel dafür ist die Entspiegelung optischer Elemente durch Mottenaugenstrukturen. Die Facettenaugen nachtaktiver Insekten verfügen über winzige Erhebungen, deren Abstand mit 200 nm geringer ist als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts, sodass keine Reflexion auftritt. Diese Nanostrukturen lassen sich im herkömmlichen Spritzgießen nur schwer abformen, es gelingt aber mit einer dynamischen Werkzeugtemperierung, die das Werkzeug »



profiTEMP+ 6 - 192 Zonen

Die neuen Pluspunkte für Ihre Heißkanalregelung:

- » Smart Power Limitation
- » Pairing-Mode
- » Multi-Touch-Screen
- » Moldcheck
- » Temperaturregelung 4.0



PSG Plastic Service GmbH | Voltastr. 2 | 68519 Viernheim | Deutschland
T +49 6204 6069-0 | info@psg-online.de | www.psg-online.de

Die Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Jochen Mitzler ist Leiter Strategisches Produktmanagement bei der KraussMaffei Technologies GmbH, München;

jochen.mitzler@kraussmaffei.com

Dipl.-Ing. Martin Würtele ist Leiter Technologieentwicklung bei KraussMaffei;

martin.wuertele@kraussmaffei.com

Jens Fiedler ist Produkt Marketing Manager Spritzgießtechnik bei KraussMaffei;

jens.fiedler@kraussmaffei.com

Schlüsseltechnologie Optik

Da Photonik und Werkstofftechnik zukunftssträchtige Schlüsseltechnologien für die deutsche Industrie sind, fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Stichwort „Photonische Prozessketten“ entsprechende Vorhaben. Mit den Partnern

- Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt,
- Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM), Freiburg,
- FWB Kunststofftechnik GmbH, Pirmasens,
- Kugler GmbH Feinmechanik + Optik, Salem, und
- Simcon kunststofftechnische Software GmbH, Würselen,

erforscht KraussMaffei die „Flexible und ressourceneffiziente Herstellung von Hochleistungsoptiken aus Kunststoff durch integrierte Fertigung von Mehrkomponentensystemen (Optisys)“. Das erklärte Ziel lautet, die erarbeiteten Prozesse auf die Herstellung von Serienprodukten zu übertragen und die Ergebnisse zeitnah zu verwerten.

» www.photonikforschung.de

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/5288726

English Version

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

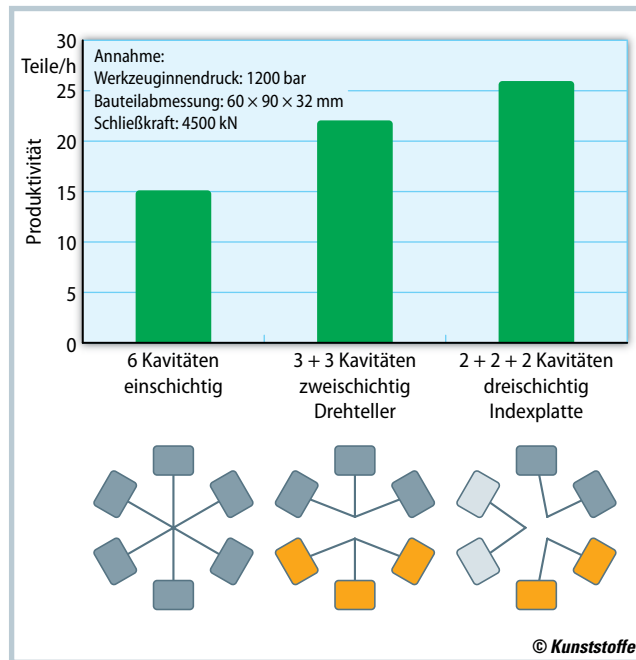


Bild 5. Die Multi-Layer-Technologie erlaubt im Vergleich zum Mono-Layer-Spritzgießen eine signifikante Produktivitätssteigerung (Teile pro Stunde) bei gleicher Linsengeometrie und Schließkraftgröße – in diesem Fall um rund 70 %

(Quelle: KraussMaffei)



Bild 6. Für den besseren Durchblick: lupenreine Fresnellinsen aus Silikon (© KraussMaffei)

an der betreffenden Stelle kurzzeitig stark aufheizt. Aufgrund seiner niedrigeren Viskosität kann der Kunststoff auf diese Weise alle Strukturen präzise wiedergeben.

Bei streuenden Fresnellinsen ist eine ringförmige Stufenstruktur in die Linse eingebracht, um die Bauteildicke zu minimieren. Diese Struktur kann allerdings so fein angelegt sein, dass sie mit bloßem Auge nicht erkennbar ist. Beim Spritzgießen mit PC oder PMMA würde man hier ebenfalls die dynamische Werkzeugtemperierung einsetzen – oder gleich zu Flüssigsilikon (LSR) greifen. Auf der Fakuma 2017 präsentierte KraussMaffei die Herstellung einer Fresnellinse aus Silikon mit 5g Schussgewicht auf einer vollelektrischen

PX-SilcoSet-Maschine (**Bild 6**). Die Zykluszeit betrug 22s.

Fazit

Die Produktion transparenter optischer Artikel bietet große Wachstumschancen, stellt jedoch hohe Anforderungen an die Fertigungskompetenz, weil bereits winzige Fehler zum Ausschuss führen. Deshalb muss die gesamte Prozesskette schon ab der Materialaufbereitung darauf abgestimmt sein, potenzielle Fehlerquellen zu eliminieren. Auch Verfahren wie Spritzprägen und dynamische Werkzeugtemperierung sind nötig, um hochwertige optische Bauteile zu erzielen. ■