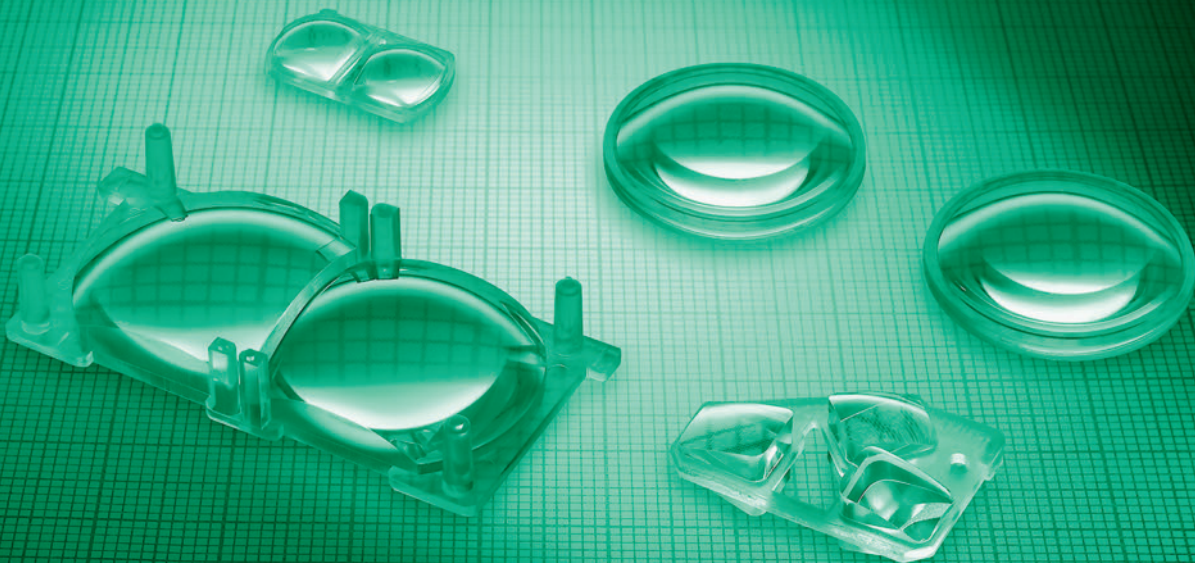


Optische Systeme aus transparenten Kunststoffen stehen wirtschaftlich im Wettbewerb zu Glasoptiken (Fotos/Grafiken: Arburg)



# Für den richtigen Durchblick

**Optische Teile (1).** Glas wird auch in der Optik zunehmend durch Kunststoff substituiert. Da die Bauteile mit ihren unterschiedlichen Wanddicken nicht den kunststoffspezifischen Gestaltungsrichtlinien entsprechen, wird als Alternative zum klassischen Spritzgießen das Spritzprägen angewendet. Die Fertigung der Funktionsteile erfordert sowohl Kenntnisse in Verfahrenstechnik und Werkzeugbau als auch in Optik und Messtechnik.

**THOMAS WALTHER  
ROLF-UWE MÜLLER**

**A**ufgrund der technischen Vorteile ersetzen die Kunststoffe zunehmend den Werkstoff Glas im Bereich optischer Anwendungen (Titelbild). Das Substitutionspotenzial resultiert aus den Freiheitsgraden hinsichtlich Gestaltung der optischen Funktionsoberflächen, Integration mehrerer Funktionsteile, geringen Materialkosten und geringem

spezifischen Gewicht. Das Spritzgießen ermöglicht die Fertigung in einem Verarbeitungsschritt in hoher Qualität und zu einem vergleichsweise günstigen Preis.

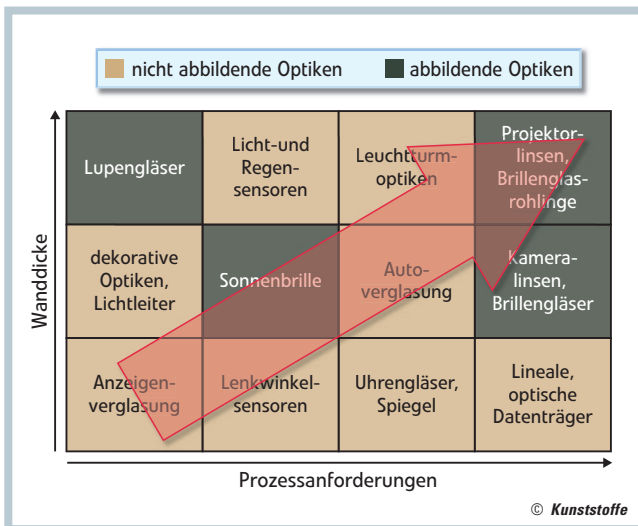
Für die Herstellung der Artikel wird in verschiedenen technischen Bereichen eine sehr hohe Kompetenz verlangt. Bei Design und Entwicklung optischer Bauteile stehen Berechnungsmethoden und die zu verwendenden Kunststoffmaterialien im Vordergrund. Der Formgebungprozess erfordert Know-how in der Werkzeug- und Verfahrenstechnik. Notwendig sind zudem fundierte Kenntnisse in der Messtechnik, um eine anhaltende Qualitätssi-

cherung zu erreichen. Für Hersteller von Spritzgießteilen sind optische Artikel eine große Herausforderung, da neben der üblichen Maßhaltigkeit vor allem die optischen Funktionen relevant sind.

## Optische Funktion als Qualitätsmerkmal

Optische Spritzgießteile lassen sich nach ihrem Einsatzgebiet differenzieren. Es wird zwischen nicht abbildenden und abbildenden Optiken unterschieden, wobei nicht abbildende als Beleuchtungsoptiken und abbildende als Bildverarbei-

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110222



**Bild 1. Die optischen Teile lassen sich nach ihrer Anwendung in abbildende und nicht abbildende Optiken einteilen**

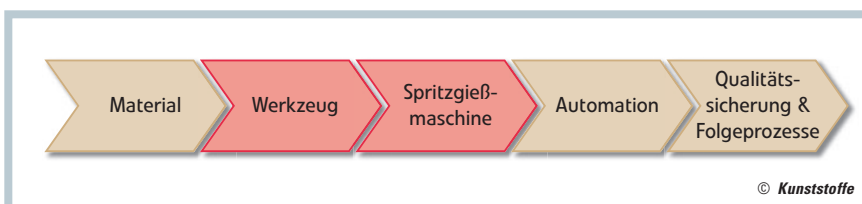
tungsoptiken bezeichnet werden können (Bild 1). In Abhängigkeit von Wanddicke und Prozessanforderungen:

- vergrößern sich die Ansprüche an die optische Funktion,
- eignet sich Spritzprägen als Verfahrensalternative zunehmend mehr und
- wird das Messsystem komplexer.

Nicht abbildende Optiken können z. B. Scheinwerferverseibungen oder Uhrengläser sein. Die äußere Geometrie des Bauteils und die Transparenz stehen dabei im Vordergrund. Ähnlich ist es bei Lichtleitern, die eingekoppelte Strahlen einer Lichtquelle transportieren und dann an einer oder an mehreren definier-

deutet, dass anstatt der äußeren Geometrie, nach der Spritzgießteile üblicherweise qualitativ beurteilt werden, die optische Funktion im Vordergrund steht. Zudem sind die Brechungsindizes für die optische Funktion maßgeblich.

Ein entscheidender Einflussfaktor ist die Wanddicke des Bauteils. Sie bestimmt die Kühlzeit und hat damit einen wesentlichen Einfluss auf die Schwindungseffekte. Daher wird bei der Bauteilgestaltung angestrebt, die Wanddicke so gering wie möglich auszuführen. Zusätzlich sollte die Wanddickenverteilung annähernd gleichmäßig sein, um die Schwindung kontrollieren zu können.



**Bild 2. Die Prozesskette beim Spritzgießen von optischen Bauteilen muss von Beginn an als ein Ganzes betrachtet werden**

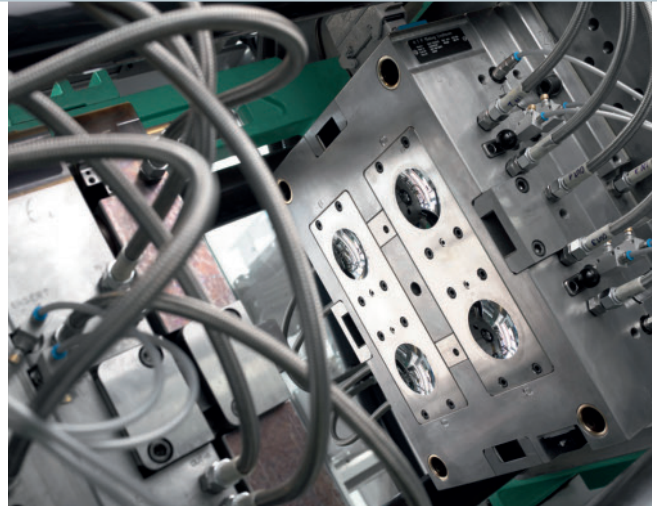
ten Stellen diese wieder auskoppeln. Bei den abbildenden Optiken werden die Lichtstrahlen ebenfalls transportiert, jedoch geordnet. Die einzelnen Punkte eines Bilds werden durch die Optik so projiziert, dass im Ziel wieder ein scharfes Bild entsteht.

Sowohl bei abbildenden als auch bei nicht abbildenden Optiken ist für das Erreichen der optischen Funktion die sehr genaue Abformung der Grenzschichten notwendig, an denen Licht ein- oder ausgekoppelt wird. Damit wird eine sehr hohe Abformtreue gefordert. Weiterhin können innere Spannungen den Strahlengang beeinflussen und damit die Qualität des Bauteils beeinträchtigen. Das be-

### Wider die kunststofftechnische Gestaltung

Optische Bauteile sind meist nicht unter kunststofftechnischen Aspekten konstruiert. Ihre Funktionalität besteht darin, das Licht im Kunststoff zu leiten. Dickwandige Produkte und Teile mit großen Wanddickenunterschieden sind eine Folge. Für den Spritzgießprozess bedeutet das wiederum vergleichsweise lange Zykluszeiten.

Damit die resultierende Teilegeometrie der berechneten Sollgeometrie entspricht, müssen Schwindungseffekte bereits beim Bauteildesign detailliert berücksichtigt werden. Bedingt durch →



**Bild 3. Werkzeugeinsätze ermöglichen durch ihre Austauschbarkeit schnelle Produktwechsel; die hochpräzisen Funktionsflächen werden für eine genaue Abformung mit Diamanten bearbeitet**

die geforderte hohe Abformtreue und durch die Begleiterscheinungen dickwandiger Bauteile ist in der gesamten Prozesskette ein umfassendes Know-how wesentlich. Das klassische Spritzgießen gepaart mit einer konventionellen Werkzeugtemperierung erreichen dabei ihre Grenzen. Eingesetzt werden daher verstärkt Konzepte der variothermen Werkzeugtemperierung und Spritzprägen mit seinen möglichen Varianten.

Bei der Herstellung hochwertiger optischer Bauteile ist es unumgänglich, die Fertigungskette und die damit verbundene Anlagentechnik ganzheitlich zu sehen (Bild 2). Sie umfasst neben dem eigentlichen Spritzgießprozess auch die vorherige Materialkonditionierung und nachfolgende Operationen wie Entnahme, Qualitätssicherung und weitere Folgeprozesse. Diese können Beschichtungs-, Montage- oder Verpackungsschritte sein.

### Material lässt dem Verarbeiter wenig Spielraum

In transparenten Bauteilen sind jegliche Art von Verunreinigungen im Bauteil, Einschlüsse oder Schlieren sofort als Fehler erkennbar. Die Recherche nach der Ursache ist meist nicht eindeutig. Daher sind Grundregeln wie sehr hohe Sauberkeit

und Reproduzierbarkeit bei allen Prozessschritten einzuhalten. In vielen Fällen kommen deshalb auch aus der Reinraumtechnik abgeleitete Maßnahmen zum Einsatz.

Beim Material wird dem Verarbeiter wenig Spielraum gelassen. Die optischen und mechanischen Eigenschaften des Rohstoffs sind auf die jeweilige Anwendung abgestimmt. Einige Materialhersteller bieten spezielle Chargen mit sogenanntem optical grade an, bei denen eine besondere Reinheit und Staubfreiheit des Materials garantiert wird. Staubanteile können zu Problemen führen, da die Partikel im Vergleich zu den Granulatkör-

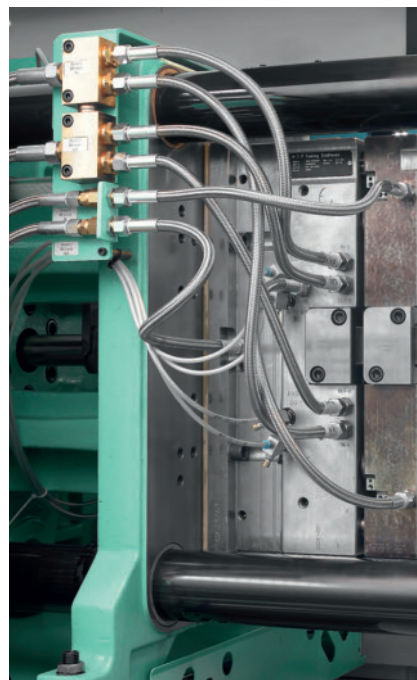
nern ein anderes Plastifizierverhalten haben oder gar nicht aufschmelzen. Sie werden daher in der Schmelze mitgeführt und können sich im Bauteil unter Umständen als Verunreinigungen ablagern.

Für die Granulat-Trocknungsanlage sowie für das Materialfördersystem ist entscheidend, dass die Anlagen staubdicht ausgeführt sind und die Fördersysteme zum einen nicht abrasiv auf das Material wirken und zum anderen keine Erosion durch dieses erfahren. Der Weg vom Granulatbehälter zum Schneckeneinzug sollte kurz und überschaubar sein. Bei Anwendungen mit hohen Anforderungen an den Reinheitsgrad, wie zum Beispiel bei der Herstellung von ophthalmischen Linsen für Brillen, werden oftmals zwischen Materialabscheider und Einzugszone sogenannte Staubabscheider eingesetzt.

### Kurze Wege beim Temperieren

Anspruchsvolle optische Bauteile erfordern eine an die Qualitätsmerkmale angepasste Werkzeugtechnik. Grundsätzlich sind hohe und lange Nachdruckphasen sowie hohe Temperaturen gegeben. Bei der Auslegung und Konstruktion der Spritzgießwerkzeuge ist daher eine ausreichende Steifigkeit notwendig. Für den Werkzeugaufbau kommen sowohl korrosionsbeständige wie auch Standard-Werkzeugstähle zum Einsatz, die chemisch abgeschiedene Korrosionsschutzschichten aufweisen.

Die präzisen optischen Funktionsflächen sind durch Formeinsätze meist austauschbar (Bild 3). Deren Oberflächen, wie zum Beispiel Freiformflächen, Linsenarrays oder Reflektorprismen, werden in der Regel mit Diamanten für eine genaue Abformung bearbeitet. Trotz der Austauschbarkeit der Formeinsätze muss



**Bild 4. Damit sich die Temperierschläuche durch die Werkzeugführung nicht zusätzlich bewegen und die Versorgungsleitungen möglichst kurz sind, werden sie direkt an der beweglichen Aufspannplatte angebracht**

## i Artikelserie

Dieser Beitrag ist der Auftakt eines Zweiteilers. In der Fortsetzung werden die Autoren genauer auf die Werkzeug- und Verfahrenstechnik für das Spritzprägen optischer Bauteile mit all seinen möglichen Varianten eingehen. Der zweite Beitrag wird in der **Kunststoffe** 11/09 folgen.

eine effektive Temperierung gewährleistet werden.

Unter dem Aspekt der Reinraumtechnik sind unnötige Oberflächen zu vermeiden, auf denen sich Verunreinigungen absetzen können. Elektrische und hydraulische Zuleitungen wie auch Temperierschläuche sollten daher nicht durch die Werkzeugbewegung mitgeschleppt werden. Um das Werkzeug mit kurzen Zuleitungen zu versorgen, werden an der beweglichen Aufspannplatte geeignete Schnittstellen zur Verfügung gestellt (Bild 4).

kraftbedarf bestimmen Aufspannfläche und Zuhaltkraft und damit primär die Maschinengröße. Die Spritzeinheit wird den spezifischen Anforderungen modular angepasst. Die Kriterien sind das Schussgewicht, der zu verwendende Kunststoff, die erwartete Zykluszeit und die erforderlichen Spritzdrücke. Die Höhe des Schussgewichts und der zu erwartende Spritzdruck sind relevant für die Wahl des Schneckendurchmessers. Das Schussgewicht sollte idealerweise zwischen 20 und 80 % des maximalen Ausstoßes der



**Bild 5. In der Fertigungszelle für die Produktion ophthalmischer Linsen sind Flowboxen integriert**

Werkzeugtemperaturen und weitere Sensorik-Informationen werden in der Maschinensteuerung aufgezeichnet und überwacht. Die Daten der Temperiergeräte werden über Standard-Schnittstellen an die Maschinensteuerung übertragen und damit der QS-Auswertung zugeführt. Um die Prozesssicherheit zu erhöhen, empfiehlt sich die Durchflussüberwachung der Medien. Die Temperiergeräte sollten mit einer Absaugeinrichtung ausgestattet sein, die bei einem Kavitätenwechsel und beim Werkzeugausbau zum Einsatz kommt.

### Abstimmen aller Maschinengrößen

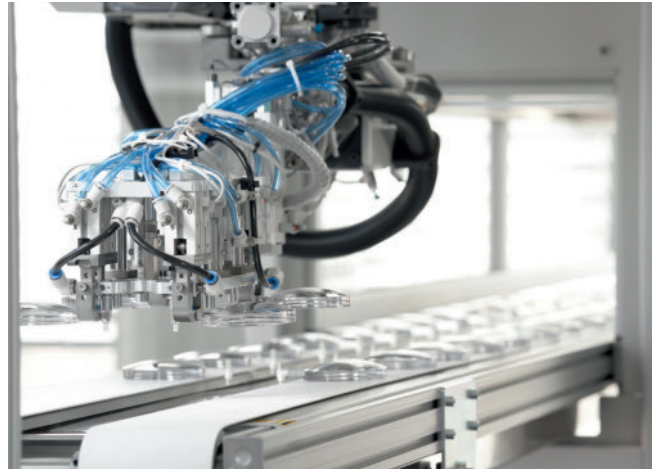
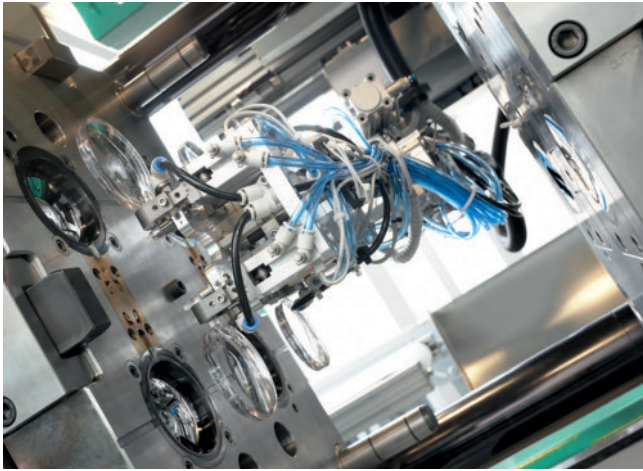
Für optische Anwendungen gibt es kein typisches Maschinenkonzept. Die jeweils geeignete Ausführung leitet sich vielmehr aus der Größe des Bauteils und der benötigten Schließkraft sowie der notwendigen Werkzeug- und Prozesstechnik ab.

Für die Auslegung der Maschinengröße ist das Werkzeug der entscheidende Aspekt. Werkzeuggröße und Schließ-

gewählten Schnecke liegen. Mit dem Schneckendurchmesser und der Zykluszeit lässt sich die Verweilzeit des Kunststoffs in der Schmelze bestimmen. Diese muss sich innerhalb der für den jeweiligen Rohstoff vom Hersteller vorgeschriebenen Grenzen befinden.

In der Praxis müssen gerade in Bezug auf die Verweilzeit oft Kompromisse geschlossen werden. Die bei dickwandigen Bauteilen oft langen Zykluszeiten führen zu entsprechend langen Verweilzeiten der Schmelze im Plastifizierzylinder. Thermische Oxidation mit einer zunehmenden Vergilbung des Materials und damit eine verminderte Qualität des fertigen Bauteils sind mögliche Folgen.

Für die Komponenten der Plastifiziereinheit – Zylindermodul, Schnecke und Rückstromsperre – werden meist hochverschleißfeste Varianten eingesetzt. Zusätzlich werden bei Kunststoffschmelzen, die zum Anhaften neigen und dadurch sogenannte black spots im Bauteil bilden können, hartstoffbeschichtete Schnecken und Rückstromsperren eingesetzt (Chromnitridschichten). →



**Bild 6.** Die Teile werden schonend durch Greifer aus der Kavität entnommen (links) und direkt auf dem Förderband abgelegt (rechts)

### Die richtige Umgebung zum Produzieren

Grundsätzlich ist die Herstellung optischer Bauteile nicht an eine bestimmte Maschinenteknik gebunden. Die dem heutigen Stand der Technik entsprechenden Spritzgießmaschinen bieten mit ihrer Steuerung und Sensorik die notwendigen Voraussetzungen für den geforderten reproduzierbaren Prozess. Für das Spritzprägen sind zusätzliche maschinentechnische Voraussetzungen nötig. Bezüglich der Antriebstechnik muss die in Frage kommende Prägefunktion realisierbar und über die Maschinensteuerung frei und flexibel programmierbar sein. Generell gilt: Die Konstruktion des Prägewerkzeugs gibt die maschinenseitige Prägefunktion vor.

In relativ wenigen Fällen ist für optische Bauteile eine Produktionsumgebung unter Reinraumbedingungen Voraussetzung (**Bild 5**). Um dennoch ein entsprechend sauberes Umfeld zu gewährleisten, stehen folgende Optionen/Zusatzausstattungen zur Auswahl:

- eine Reinraum-Flowbox über der Schließeinheit zur Vermeidung von Kontaminationen im Kavitätsbereich,
- erhöhte Maschinenfüße zur besseren Reinigungsmöglichkeit auch unter der Maschine,
- kurze Anschlussleitungen zur Werkzeugtemperierung durch feste Verlegung maschinenseitiger Schlauchleitungen direkt an die Aufspannplatten,
- eine durchgängig helle Maschinenfarbe zum Erkennen von Verunreinigungen,
- flüssigkeitsgekühlte Antriebe, um Luftströmungen und damit Staubverwirbelungen zu vermindern, und
- Minimierung von Oberflächen an Maschine und Werkzeug, etwa durch eine

komplette Kapselung von Hydraulikblöcken.

### Definiert auf Raumtemperatur abkühlen

Zu einem ganzheitlichen Fertigungs-konzept gehören auch in die Maschinensteuerung integrierte Robot-Systeme für die Teileentnahme. Die Bauteile werden durch Greifer aus der Kavität entnommen oder vom Auswerfersystem an den Entnahmegreifer übergeben (**Bild 6 links**). Stand der Technik sind hier einfache pneumatische Greiferachsen bis hin zu synchron mit dem Auswerfer fahrende Servoachsen.

Ausschlaggebend für die Robotertechnik ist der Umfang der Folgeprozesse sowie die Art der Bauteilablage. Das kann von der einfachen Ablage direkt auf ein Förderband (**Bild 6 rechts**) über die Ablage in definierten Mustern bis hin zum Bestücken von Trays mit Auf- und Abstapleinrichtungen variieren. Weitere Prozessschritte können folgen, so sind z. B. definierte Kühlstrecken nicht unüblich. Dabei werden die Bauteile, die noch mit sehr hohen Temperaturen aus dem Werkzeug kommen, auf definierten Kühlpositionen abgesetzt. An diesen können die Formteile gleichmäßig auf Raumtemperatur abkühlen, bevor Messeinrichtungen die Qualität kontrollieren und dokumentieren. Je nach Anwendung sind Montageschritte mit weiteren Bauteilen oder eine Ablage in ein entsprechend geschütztes Umfeld möglich.

### Fazit

Das Herstellen von optischen Bauteilen im Spritzgießen ist ein Bereich, der sich aktuell stark entwickelt. Die Fertigung erfordert jedoch nicht nur umfassende

Kenntnisse in Sachen Spritzgießen und Werkzeugbau, sondern auch in der Optik und der entsprechenden Messtechnik.

Häufig wird beim Spritzgießen von dickwandigen wie auch bei optischen Teilen das Spritzprägen eingesetzt. Das Verfahren bietet gegenüber dem klassischen Spritzgießen gerade bei diesen Artikeln einige signifikante Vorteile, die Voraussetzungen dafür sind jedoch hochwertige und komplexe Werkzeug- und Maschinenteknik. Zudem ist die Verfahrenstechnik deutlich umfangreicher und setzt Kenntnisse auf dem Gebiet voraus, die sowohl bei Erarbeitung und Validierung der Prozesse wie auch bei Betreuung in der Serienfertigung benötigt werden. ■

### DIE AUTOREN

DR.-ING. THOMAS WALTHER, geb. 1969, ist Abteilungsleiter der Anwendungstechnik bei Arburg GmbH + Co KG, Loßburg.

DIPL.-ING. (FH) ROLF-UWE MÜLLER, geb. 1961, ist bei Arburg in der anwendungstechnischen Beratung mit Schwerpunkt Optik tätig.

### SUMMARY FOR TRUE INSIGHT

OPTICAL PARTS. Glass is being increasingly substituted with plastics in the field of optics, too. Since the varying wall thickness of such parts doesn't conform to the design guidelines applying to polymers, embossing is being used as an alternative to classic injection molding. The production of function parts requires understanding not only of processing technology and mold making, but of optics and metrology as well.

Read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* and on [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)