

Kunststoffoptik: Von der Entwicklung bis zur Serienfertigung

Technische Herausforderung und Chance für die Märkte von Morgen

042 Dr. Artur Landt (Fachjournalist, HighEndOffice),
nach Unterlagen von Viaoptic GmbH und Leuze electronic GmbH & Co KG

Der Begriff Kunststoffoptik wird landläufig oft noch mit geringer Qualität in Verbindung gebracht. Es ist durchaus wissenswert, dass hochwertige optische Systeme aus Kunststoff inzwischen höchsten Qualitätsanforderungen bei zugleich preisoptimierter Großserienfertigung gerecht werden und Unternehmen in die Lage versetzen, sich wachstumsorientierte Zukunftsmärkte zu erschließen. Nach einer Einführung in das Thema und einer kurzen Übersicht über Produkt-Highlights des Wetzlarer Unternehmens Viaoptic wird die Fertigung einer großformatigen Präzisionslinse (**Bild 1**) für ein Laser-Dispersions-Messgerät eingehend beschrieben.

1 Polymere: Werkstoffe mit Zukunft

Kunststoffoptiken bieten diverse Vorteile im Vergleich zu Glaskomponenten: Neben dem deutlich geringeren Gewicht lassen sie sich auch wesentlich einfacher herstellen. Kunststofflinsen kommen gebrauchsfertig und in hoher Stückzahl aus der Spritzgießmaschine. Die bei Glaslinsen aufwendige Nachbearbeitung durch Schleifen und Polieren entfällt. Selbst die Herstellung kompletter Systeme einschließlich Befestigungselementen ist bei Kunststoffoptiken in einem Arbeitsgang und in einem Bauteil preiswert zu realisieren. Optische Systeme aus Kunststoff sind daher erheblich wirtschaftlicher als Glaskomponenten, wobei ein Kostenfaktor von 1:10 als Durchschnittswert angenommen wird.

Für die Beurteilung der Marktchancen sind neben der Wirtschaftlichkeit aber auch technische Aspekte von großer Bedeutung. So lassen sich beispielsweise anspruchsvolle Linsengeometrien wie Asphären oder Fresnel-Strukturen mit äußerst hoher Präzision im Spritzgussverfahren realisieren. Auch optische Systeme aus mehreren Elementen können durch das Spritzgießen in einem Guss gefertigt werden. Die synthetischen Werkstoffe erfüllen in vielen Bereichen die Anforderungen moderner High-Tech-Produktion besser als Glas, so z.B. die Präzision in der Herstellung miniaturisierter optischer Systeme und die Realisierung optischer und physikalischer Eigenschaften, die mit Glas nicht erreichbar wären. Daher werden Kunststoffoptiken schon heute als zentrale Bauteile beispielsweise in Scanner, Lichtschranken, Barcode-Lesegeräten, Bewegungsmelder, Regensensoren, Kameras, Brillen, Lupen, Medizin- und Messinstrumente eingebaut.

2 Anforderungen an die Materialien

Der Einsatz von Kunststoffoptiken im High-Tech-Bereich erfordert eine ausgeprägte Kompetenz bei der Materialauswahl sowie hohe Präzision bei den Herstellprozessen. Wenn beide Voraussetzungen voll erfüllt werden, ist die optische Qualität der Kunststofflinsen in vielen Anwendungsbereichen durchaus vergleichbar mit der von Glaslinsen. Die optischen Parameter des Kunststoffs, wie Reinheit, Transmission und Brechzahl, müssen praktisch die gleichen strengen Qualitätsanforderungen erfüllen, wie optisches Glas.



Bild 1: Die Kunststofflinse mit einem Außendurchmesser von 97 mm und einer Mittendicke von 21 mm sieht in natura noch mächtiger aus, als auf dem Foto

Geeignete Materialien sind neben dem überwiegend eingesetzten PMMA (Polymethylmethacrylat, z.B. Plexiglas von Röhm) auch PC (Polycarbonat), PS (Polystyrol, Polystyren), COC (Cycloolefine-Co-Polymere), COP (Cycloolefine-Polymere) und SAN (Styrol-Acrylnitrilcopolymere). Die für den jeweiligen Einsatzzweck geeigneten Kunststoffe müssen in konstant hoher optischer Qualität verfügbar sein, was mittlerweile bei ausgewählten Lieferanten gegeben ist.

3 Anforderungen an die Prozesse

Maßgeblich für höchste Präzision im μ -Bereich ist eine akkurate Spritzgießtechnik. Auf diesem Gebiet hat Viaoptic, vormals Feinwerktechnik Wetzlar GmbH, eine über dreißigjährige Erfahrung. Als eigenständige Tochtergesellschaft der Leica Camera AG musste sie deren hohe Qualitätsanforderungen erfüllen, z.B. bei der Einstellscheibe im Sucher der Leica R-Kameras oder bei Bauteilen für Ferngläser, Laser-Entfernungsmesser und Mikroskope.

Grundlage der Fertigungspräzision sind komplexe Spritzgusswerkzeuge, die im hauseigenen Formenbau entwickelt und konstruiert werden. Dort kommen nur hochwertige Herstellungsverfahren zum Einsatz, wie Diamantdrehen, Hochgeschwindigkeitsfräsen, Draht- und Senkerodieren, Präzisionspolieren.

Die Materialien, Fertigungstechnologien und Spritzgusswerkzeuge sind auf möglichst geringen Verschleiß und hohe Wiederholgenauigkeit ausgelegt. Wie hoch die Anforderungen an die Werkzeuge sind,

kann man auch daran erkennen, dass die μ -genaue Präzision in der Großserienfertigung mit Auflagen von mehreren 100.000 Einheiten ohne Qualitätsabstriche gewährleistet sein muss. Die Obergrenze für „fehlerhafte Teile“ liegt typisch bei maximal 50 ppm. Um die hohen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen der Kunden u. a. aus der Automobilbranche zu erfüllen, hat Viaoptic das Präzisionsgebot für optische Systeme aus Glas auf die industrielle Herstellung von Kunststoffoptiken übertragen und arbeitet mit bis zu hundertfach engeren Toleranzen, als bei feinmechanischen Bauteilen üblich, was eine Oberflächenpräzision im mikroskopischen Bereich auch in der Großserienproduktion tatsächlich garantiert. Wenn man bedenkt, dass dabei in den Spritzgießmaschinen Kräfte zwischen 150 und 1200 kN wirken – je nach Form und Material – wird sofort klar, welches Know-how hier unabdingbar ist. Die Qualitätskette reicht daher vom hauseigenen Werkzeugbau bis zur Qualitätssicherung mit 3D-Messmaschinen, 3D-Interferometern und speziellen Optikprüfsystemen.

4 Maßgeschneiderte Lösungen

Das Spritzgussverfahren ist sehr flexibel in der Anwendung, so dass sowohl einfache Kunststofflinsen als auch komplexe optische Systeme sehr effizient in Stückzahlen von wenigen Hundert bis zu einigen Millionen gefertigt werden können. Ausbaufähige Werkzeuge ermöglichen jederzeit eine kundenspezifische Anpassung bei geänderten Spezifikationen. Die Vormontage von Teilen zu Baugruppen zur einfachen Integration in das Endprodukt oder sogar die Herstellung ganzer Optiksysteme in einem Stück erhöhen die Attraktivität des Verfahrens. Das Spritzgießverfahren selbst und eine eventuell anschließende Beschichtung der Oberflächen bieten weitere Variationsmöglichkeiten. Durch Veränderung der Einspritzregelungen und der Werkzeugtemperierungen können beispielsweise die makro- und die mikroskopische Struktur der Kunststoffoptik modifiziert werden. Damit lassen sich die Materialeigenschaften und somit die optischen Parameter gezielt steuern. Bei Beschichtungen ist zwischen mechanischen und optischen Funktionen zu unterscheiden. Eine Beschichtung kann die Oberflächenhärte sowie die Kratzfestigkeit erhöhen und, falls gewünscht, auch antistatische Wirkung haben. Bei einer optisch wirksamen Beschichtung spricht man von Vergütung. Sie kann Reflexionen verringern, die spektrale Transmission verändern oder als Filter bestimmte Wellenbereiche des einfallenden Lichts sperren. Allerdings ist die Vergütung von Kunststoffoptiken mit einer oder mehreren Schichten mitunter aufwendiger, als bei optischen Gläsern, und somit der einzige Kostenfaktor im gesamten Herstellungsprozess, der dann auch ähnlich teuer ist, wie bei Glasoptiken. Daher muss immer im Einzelfall nach dem Pflichtenheft bestimmt werden, welche Art der Beschichtung zum Einsatz kommt.

5 Anwendungsbeispiele

Wie sich all das in der Praxis konkret realisieren lässt, kann anhand einiger Highlights aus dem Hause Viaoptic exemplarisch gezeigt werden. Beim „Auge“ eines Banknotenprüfautomaten werden hohe Ansprüche an die Auflösung gestellt, denn das optische System muss feinste Details der Geldscheine sicher und zuverlässig abbilden können. Um die asymmetrische Präzisionslinse mit komplexen optischen Parametern in großer Stückzahl herstellen zu können, wurde ein spezielles Spritzgusswerkzeug entwickelt und gebaut, mit dem gleich vier Linsen in einem Schritt entstehen.

Die Scanneroptik moderner Kassensysteme erfordert leistungsfähige und dauerbelastbare optische Komponenten wie z. B. ein Polygonelement mit Goldbeschichtung, das auch unter hohen Fliehkräften präzise arbeiten muss.

Ebenfalls sehr komplex ist das optische System für ein Texterkennungsgerät „Scan-Pen“ in den Abmessungen eines Textmarkers. Die

aufwendige Kunststoffoptik aus sphärischen und asphärischen Linsengruppen sollte die bisherige Glasoptik ersetzen, denn es galt, über 100.000 Einheiten jährlich kostengünstig zu bauen.

Noch rationaler kann die Produktion erfolgen, wenn ein Kunde weitere Möglichkeiten der Automatisierung und Logistik nutzt, wie zum Beispiel bei einem Einweg-Diagnosesensor für die Erkennung von über zehn verschiedenen Blutwerten ohne Laborumwege direkt in den Arztpraxen. Für diesen Zweck war ein Mehrfach-Spritzgießwerkzeug mit voll automatisierter Entnahme und Verpackung in Blister erforderlich. Dieser Automatisierungsgrad ist auch bei Zuliefererprodukten für die Automobilindustrie gefragt, denn dort werden hohe Anforderungen nicht nur an Qualität und Sicherheit, sondern auch an Montagefreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit gestellt. So auch beim Regensensor für deutsche Luxuslimousinen, dessen komplexes optisches System mit neun Asphären in einem hocheffizienten Fertigungsverfahren in einem Stück produziert und für den Transport automatisch in Blister verpackt wird.

6 Großformatige Präzisionslinse als Herausforderung

Für ein Laser-Distanz-Messgerät war eine besonders komplexe Linse mit einem Außendurchmesser von 97 mm und einem optisch genutzten Durchmesser von 95 mm bei einer Mittendicke von 21 mm erforderlich (**Bild 1**). Die Vorderfläche sollte asphärisch, die Rückfläche dagegen sphärisch und mit vier konzentrischen Nahbereichszonen versehen sein. Eine Bohrung durch die Linsenmitte entlang der optischen Achse war für den Einbau und die Zentrierung der Laserkollimationsoptik vorzusehen. Das Optikdesign der Linse (**Bild 2**) wurde von der Firma Leuze Electronic (Owen/Teck) im Rahmen eines gemeinsamen Entwicklungsprojektes mit der Firma TR-Electronic (Trossingen) realisiert.

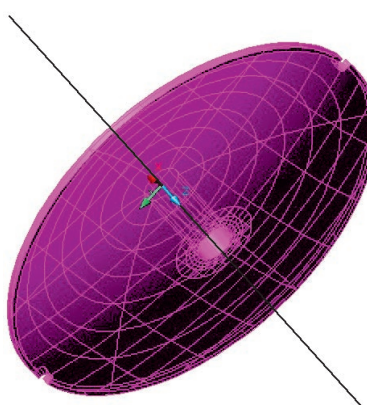


Bild 2:

Die Vorderfläche ist asphärisch, die Rückfläche sphärisch. In der schematischen Darstellung sind die vier konzentrischen Nahbereichszonen sowie die Bohrung in der optischen Achse für den Einbau und die Zentrierung der Laserkollimationsoptik gut zu erkennen.

6.1 Komplexe Vorgaben zum Linsenaufbau

Das Laser-Distanz-Messgerät ist für die Millimeter-genaue Fernsteuerung automatisierter Lagerfahrzeuge vorgesehen, wobei jede Millisekunde ein neuer Messwert für die Steuerung erforderlich ist. Als Nutzlicht für die Entfernungsmessung wird ein Laserstrahl über den axialen Kollimator auf den Retroreflektor des Fahrzeugs und zurück über die Linse auf eine Messzelle geworfen. Dabei muss die Linse das Nutzlicht in einem Entfernungsbereich von 10 cm bis 200 m hochpräzise auf eine Photodiode mit einer Messfläche von 1 mm² konzentrieren. Durch den coaxialen Aufbau bedingt, gelangt der vom Zielobjekt reflektierte Strahlungsfluss, der aus 200 m auf die Linse trifft, nahezu vollständig auf das Empfangselement. Bei kürzeren Entfernungen nimmt bis 5 m die Intensität des auf die Empfangsdiode einfallenden Strahlungsflusses zu, um dann bei noch geringeren Messdistanzen rapide abzunehmen (**Bild 3**), da immer größere Bereiche des reflektierten Strahlbündels außerhalb der Messfläche bleiben. Außerdem wird die Empfangsdiode zunehmend überstrahlt und der Schatten der Kollimators

Wirkungsgrade von Empfangslinsen mit 2°-Retroreflektor

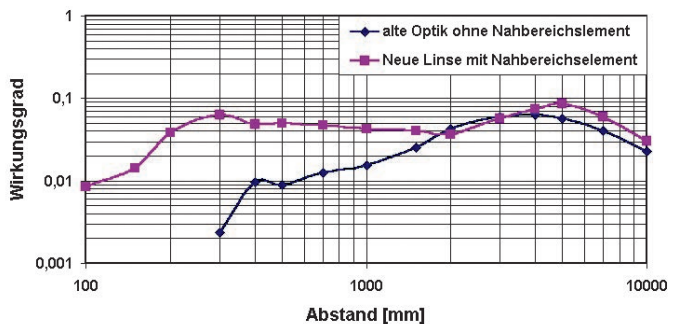


Bild 3: Die Grafik zeigt die deutliche Erhöhung des Wirkungsgrades bei Messdistanzen unter 2 m und die Erweiterung der Naheinstellgrenze bis zu 10 cm durch das Nahbereichselement der Linse.

schluckt einen Teil des Nutzlichts (Hohlstrahl). Eine spezielle Linsenkonstruktion erhöht nun im Nahbereich den Anteil des auf die Messzelle einfallenden Lichts durch eine geeignete Gestaltung der vier Nahbereichszonen, so dass der steile Abfall der Empfangsleistung kompensiert wird (**Bild 4**) und der Strahlungsfluss erst kurz vor dem Messgerät abbricht. So weit die Theorie.

6.2 Praktische Umsetzung

Die Konstruktion einer solchen Optik gestaltet sich indes schwierig. Eine geschliffene und polierte Asphäre aus Glas mit vier Nahbereichszonen lässt sich nicht am Stück realisieren, vielmehr müssten separate Glaselemente für den Nahbereich auf eine Fernbereichslinse gekittet werden. Bei der Herstellung der Linse aus Pressglas könnte man zwar die Form, nicht aber die erforderlichen Toleranzen von $\pm 10 \mu\text{m}$ einhalten. Es zeigte sich schließlich, dass nur mit einer hochwertigen Kunststofflinse die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen erfüllt werden konnten.

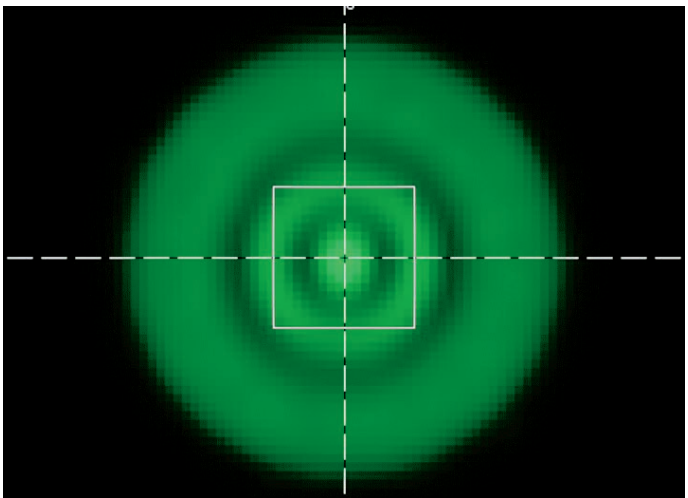


Bild 4: Verteilung der Bestrahlungsstärke in der Empfangsdioden-Ebene: Das Quadrat in der Mitte entspricht der aktiven Fläche der Empfangsdiode. Das Messobjekt steht im Abstand von 1,2 m. Auf die Fernbereichsfläche der Linse trifft nur wenig Licht, weil der Retroreflektor des Messziels einen geringen Öffnungswinkel aufweist. Der äußere Ring der Kaustik kommt aus der Fernbereichszone, der Fleck und der Kreis auf der Empfangsdiodenfläche stammen von zwei Teilflächen der Nahbereichszone. Ohne Nahbereichszone wäre nur der äußerste Ring vorhanden und auf die Empfangsdiode würde kein Licht fallen.

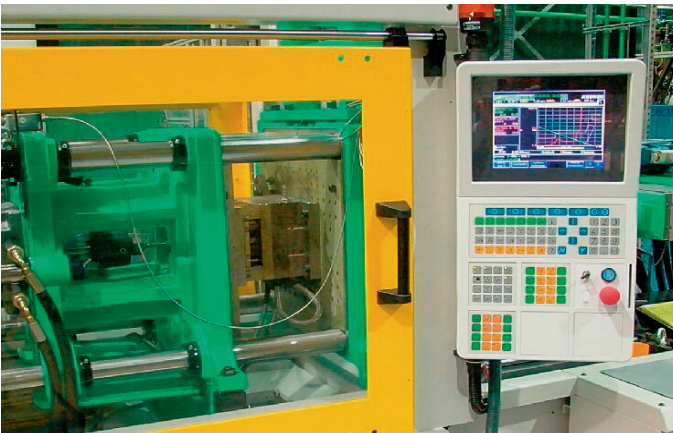


Bild 5: Spritzgießmaschine mit Präzisionswerkzeug

Eine 21 mm dicke Präzisionslinse mit 97 mm Durchmesser ist eine Herausforderung für jedes Kunststoff-Spritzgussverfahren, weil der Materialschwund (die Werkstoffschumpfung) während der Abkühlung mit der Linsenmasse zunimmt und bereits im Vorfeld ausgeglichen werden muss. Das Material Zeonex E 48R bot dabei die am besten geeigneten optischen Eigenschaften: geringe Spannungsdoppelbrechung, hohe Temperaturbeständigkeit bis über 100°C , Transparenz von über 90 % im Spektralbereich von 400-800 nm sowie minimale Wasseraufnahme mit Werten unter 0,01 %, was eine optimale Beschichtung im Vakuum ermöglicht.

Die hochpräzise Spritzgussform wurde mit zwei diamantgedrehten Formeinsätzen hergestellt. Die Spritzgießmaschine (**Bild 5**) ist mit einer lagegeregelten Schneckenführung für die Materialzufuhr ausgestattet, die eine hundertprozentige Formneustfüllung gewährleistet. Das Fließverhalten des Materials wird durch eine exakte Temperaturführung im Werkzeug so beeinflusst, dass die Form optimal ausgespritzt wird. Die im Werkzeug integrierten Temperaturfühler liefern die Messdaten für die präzise Temperatursteuerung während des gesamten Prozesses. Ein kompletter Fertigungszyklus dauert 15 Minuten. In dieser Zeit werden sämtliche Parameter, wie das Einspritzen, Nachdrücken und Abkühlen, von einem Rechner gesteuert und überwacht. Ein mehrstufiges Auswerfersystem und ein dreidimensional arbeitender Handlingmechanismus sorgen für eine verzugsfreie Entformung ohne Beschädigung der Linsenoberflächen. Besonders schwierig war das Ausspritzen der vier Nahbereichszonen, zumal ihre Achsen einen maximalen radialen Kippfehler von $6'$ nicht überschreiten dürfen.

Ansprechpartner:

Steffan Gold
Geschäftsführer
Viaoptic GmbH
Ludwig-Erk-Str. 7, D-35578 Wetzlar
Tel. 06441/9011-19
Fax 06441/9011-20
eMail: gold@viaoptic.de
Internet: www.viaoptic.de



LASER 2003. World of Photonics: C1.325

Jörg Droemer
Leuze electronic GmbH + Co KG
In der Braike 1, D-73277 Owen/Teck
Tel. 07021/573-246
Fax 07021/9850957
eMail: joerg.droemer@leuze.de
Internet: www.leuze.de

