

Hochpräzise Mikrooptiken aus Kunststoff für Anwendungen in der optischen Sensorik

Stefan Petzold, Jenoptik Polymer Systems GmbH, Triptis
Wolfgang Müller, Jenoptik Optical Systems GmbH, Jena

In diesem Artikel stellen wir die Vorteile des Spritzgießverfahrens zur kostengünstigen Massenfertigung von Kunststoff-Mikrooptiken vor. Anforderungen, Lösungsansätze und technische Möglichkeiten, die diese Herstellungsmethode bietet, werden diskutiert und insbesondere Bezug auf den Einsatz in optischen Sensorikanwendungen genommen.

Die Reduzierung der Baugröße technischer Systeme ist eine stets bestehende Anforderung, die in gleicher Weise auch die Sensorik und Messtechnik betrifft, die in solchen Systemen integriert ist. Dieser Anspruch wird nicht nur durch den Wunsch zur Material- und somit Kosteneinsparung begründet, sondern die Miniaturisierung eröffnet in vielen Fällen erst die Möglichkeit, Komplexität und Leistung technischer Systeme zu steigern oder die Einsatzfähigkeit für bestimmte Anwendungsfelder sicher zu stellen.

Unter dem Begriff „Mikrooptik“ werden in der Praxis neben kleinen optischen Bauteilen auch optische Mikrostrukturen wie z.B. Fresnelstrukturen, optische Beugungsgitter und Arrays aus Mikrolinsen oder Mikroprismen verstanden. Auch diese Strukturen werden bevorzugt in Kunststoff repliziert und für Sensoroptiken zum Einsatz gebracht. Im Weiteren wird jedoch auf optische Mikrobauerteile eingegangen, die diese Bezeichnung aufgrund ihrer geringen Bauteilgröße tragen, wobei auch diese zusätzlich mit optischen Mikrostrukturen versehen sein können. Es gibt derzeit keine klar definierte Bauteilgröße für die Einstufung eines Elements als Mikrobauerteil, in der Regel wird dieser Begriff jedoch für Bauteilgesamtdimensionen in einem Bereich von unter 3–1 mm verwendet.

1 Anwendungsbeispiele optischer Mikrosensorik

Die Bandbreite an Anwendungen für Mikrooptiken und Mikrostrukturen in der Sensorik ist vielfältig. Miniaturisierte Lichttaster (Sender-Empfänger-Systeme) mit hohen Reichweiten und Auflösungsvermögen spielen im Bereich Prozessautomation eine wachsende Rolle. Der Bedarf an reflektierenden optischen Encodern (miniaturisierte Motor-Feedback-Systeme) für hochgenaue Positions- und Drehgeschwindigkeitsbe-



Bild 1: Mikrooptiken, hergestellt im Spritzgießverfahren

stimmung bei gleichzeitiger Reduzierung der Bauteilgrößen steigt ebenso.

Darüber hinaus werden Mikrooptiken zunehmend in der medizinischen und industriellen Endoskopie eingesetzt, z.B. in der Bronchoskopie oder in Bohrlochinspektionssystemen. Mikrostrukturierte diffraktive optische Elemente (DOEs) auf Polymerbasis findet man in Minispektrometern wieder oder werden zur Farbfehlerkorrektur bei abbildenden optischen Kunststoff-Systemen genutzt.

Neben der Sensorik spielen Trends in der Konsumgüterbranche ebenfalls eine wichtige Rolle. Doppelseitige Mikrolinsenarrays zur Lichthomogenisierung und Strahlformung werden in Miniprojektoren z.B. in Laptops oder Mobiltelefonen genutzt oder zur Erzeugung von Lichtmustern mit dem Ziel der 3D-Bilderfassung eingesetzt. Auch in der Informations- und Telekommunikati-

onstechnik werden mikrooptische Systeme und Komponenten verwendet. Nur mittels optischer Datenübertragung werden die Forderungen nach immer höheren Übertragungsraten und -kapazitäten erreicht. Insbesondere geht es hierbei um Fiber Optic Connectors (trennbare Steckverbindungen), die universelle optische Netzwerke bis hin zum Heimnetzwerk möglich machen. Hierbei übernehmen die mikrooptischen Polymerkomponenten als wesentliche Aufgabe die Lichteinkopplung. Alle genannten Anwendungen polymerbasierter Mikrooptiken liegen im Bereich hochvolumiger Produktionsmengen und sind deshalb mit der nachfolgend näher beschriebenen Spritzgießtechnologie wirtschaftlich und in hoher Qualität sehr gut realisierbar (**Bild 1**). Die Voraussetzung hoher Stückzahlen beim Einsatz des Spritzgießverfahrens liegt darin begründet, dass die Kosten für das

Spritzgießwerkzeug einen großen Teil der Gesamtkosten ausmachen. Deshalb ist der Einsatz dieses Verfahrens nur in der Massenproduktion wirtschaftlich sinnvoll.

2 Fertigungsmöglichkeiten für Mikrooptiken aus Kunststoff

Gerade zur Herstellung mikrooptischer Bauteile ist Kunststoff hinsichtlich seiner effizienten Verarbeitbarkeit in einstufigen Prozessen wie dem Spritzgieß- und Spritzprägeverfahren sehr gut geeignet. Der Nachteil der bei Kunststoffen im Vergleich zu optischen Gläsern auftretenden großen Wärmeausdehnung, die zu Maß- und Funktionsänderungen führen kann, ist bei Mikrooptiken im Vergleich zu größeren Kunststoffoptiken durch die kleinen Bauteildimensionen stark reduziert. Auch die auftretenden Schwankungen in Folge der Fertigungsschwindigkeit sind in ihrer Auswirkung meist vernachlässigbar.

In Abhängigkeit von den gewünschten Stückzahlen stehen folgende Fertigungsverfahren für Kunststoffoptiken zur Verfügung:

(1) Spanende Fertigung mittels Ultrapräzisionsdiamantbearbeitung aus Halbzeug:

Dieses Verfahren eignet sich zur Fertigung von Prototypen, Musterteilen und Kleinserien bis 100 Stück. Erreichbare Genauigkeit für optische Flächen: Formabweichung $\leq 1 \mu\text{m}$; Mittenrauwert $R_a \leq 10 \text{ nm}$.

(2) Urformen von thermoplastischen Optiken im Mikrospritzgießen:

Dieses Verfahren eignet sich zur Fertigung von Klein- und Großserien und wird einschließlich der Prozessautomatisierung und der erforderlichen Spritzgießwerkzeuge an die Serienstückzahl angepasst. Erreichbare Genauigkeit für optische Flächen: Formabweichung $\leq 1 \mu\text{m}$; Mittenrauwert $R_a \leq 10 \text{ nm}$. Für die mechanischen Maße sind Toleranzen von $\pm 10 \mu\text{m}$ und mit entsprechendem Aufwand von $\pm 5 \mu\text{m}$ erreichbar.

(3) Urformen von duroplastischen Optiken im Gieß- oder Reaktionsgießverfahren (z.B. für Silikonlinsen):

Dieses Verfahren eignet sich zur Fertigung von Klein- und Großserien. Erreichbare Genauigkeiten sind materialabhängig und liegen infolge der hohen Reaktionsschwindigkeiten (Volumenverkleinerung nach der Aushärtung) höher als bei thermoplastischen Optiken.

Von den genannten Fertigungsverfahren kommt dem Mikrospritzgießen die größte Bedeutung zu. Dieses Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass der Kunststoff durch Erwärmung und unter Druck in einen plastischen Zustand überführt wird und so in einem zyklischen Prozess in die formbildende Kontur eines Werkzeugs eingespritzt werden kann, in dem es erkaltet und als

fertiges Bauteil entformt wird. Im Vergleich zum konventionellen Spritzgießen ergeben sich folgende Herausforderungen:

- Es sind sehr geringe Materialvolumina definiert, homogen aufzuschmelzen und dem Werkzeug zuzuführen, was mit den üblichen Schneckenkolben – Plastiziereinheiten, die nur begrenzt in ihrer Baugröße und ihrem Durchsatzvolumen reduziert werden können – nicht möglich ist.
- Die erforderlichen Spritzgießwerkzeuge sind entsprechend der Bauteilgeometrie der Optikteile so aufzubauen, dass Auswerferfunktion, Entlüftung, Herstellbarkeit und Funktion der Optikeinsätze sichergestellt sind. Bei sehr kleinen und komplexen Bauteilen erreichen die zur Werkzeugherstellung üblichen Verfahren (Fräsen, Schleifen, Erodieren) ihre Grenzen.
- Teileentnahme aus dem Werkzeug und definierte beschädigungsfreie Ablage in Aufnahmen oder Magazine ist aufgrund der Bauteilgröße, des geringen Teilengewichtes und elektrostatischer Effekte erschwert.
- Die Angussabtrennung, die definiert und beschädigungs- sowie verschmutzungsfrei erfolgen muss, wird durch die eingeschränkte Handhabbarkeit und Fixierbarkeit der Bauteile beeinträchtigt.

Um das Spritzgießverfahren für Mikroelemente in der Praxis umzusetzen, muss deshalb schon in der Bauteildesignphase auf die technologischen Aspekte Rücksicht genommen und entsprechende Flächen und Bereiche am Bauteil für das Teilehandling vorgesehen oder angebracht werden.

Für das Mikrospritzgießen sind inzwischen eine Reihe maschinentechnischer Lösungen in Form von Mikrospritzgießmaschinen verfügbar, wobei nur bestimmte Maschinenkonzepte auch geeignet sind.

Die Lösungen für das Aufbereiten der geringen Schmelzemengen wurden durch eine Vorplastizierung mit Schnecke und Kolbeneinspritzung [1] (**Bild 2**) oder der Vorplastizierung mittels Kolben und Ein-

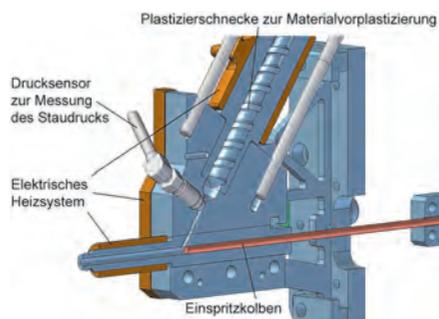


Bild 2: Plastiziereinheit: Vorplastizieren mit Schnecke, Einspritzung mit Kolben [5] (Bild: Wittmann-Battenfeld GmbH)

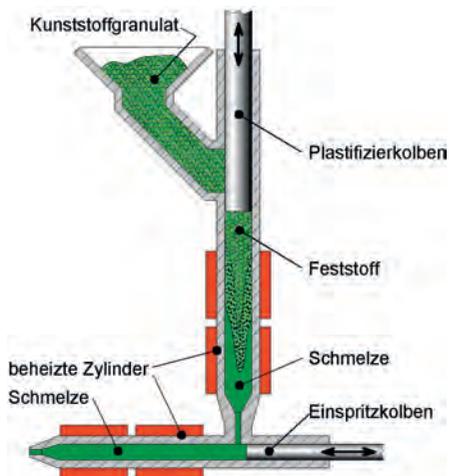


Bild 3: Plastiziereinheit: Vorplastizierung und Einspritzung mittels Kolben [6] (Bild: Klöckner Desma Schuhmaschinen GmbH)

spritzung ebenfalls mit Kolben [2] (**Bild 3**) gefunden. Bei der Vorplastizierung wird das Schmelzen bzw. Plastizieren des Kunststoffes und der Einspritzvorgang durch zwei eigenständige Aggregate der Maschine ausgeführt.

Nur ein durchgängiges Fertigungskonzept mit Spritzgießen, Teilehandlung, Angussabtrennung, Bauteilprüfung und Magazinierung der Gutteile unter Reinraumbedingungen stellt eine qualitätsgerechte Herstellung von Mikrooptiken auch in großen Mengen sicher. Nach Lösungen hierzu wird von verschiedenen Herstellern gesucht [3]. Ein erfolgreicher Lösungsansatz ist in der in **Bild 4** gezeigten Anlage umgesetzt. Um mit einer solchen Fertigungsanlage flexi-



Bild 4: Mikrospritzgießanlage speziell angepasst für die Herstellung von Mikrooptiken [7]

bel ein bestimmtes Spektrum an Bauteilen fertigen zu können, muss das integrierte Handling- und Prüfsystem für das abzudeckende Anwendungsfeld variierbar sein. Dies bedeutet im konkreten Fall, dass durch den Austausch von bauteilspezifischen Greifermodulen eine Vielzahl von Bauteilen entnommen und auch im Magazinersystem unterschiedliche Magazine eingesetzt werden können.

Das jeweilige Ablageraster erfordert lediglich eine angepasste Programmierung der Anlage.

Das Gleiche gilt für die online-Bauteilprüfung mittels eines integrierten Kamerasystems, auch hier ist die Prüfung auf Bauteilvollständigkeit oder das Erkennen bestimmter Fehler durch eine angepasste Programmierung des Messsystems lösbar.

Bild 5 zeigt das Beispiel einer angepassten Fertigung für die Medizintechnik: es handelt sich dabei um eine kleine Mikrospritzgießlinse für Endoskopanwendungen.

3 Möglichkeiten der Gestaltung von Kunststoffmikrooptiken

Im Gegensatz zu Glasoptiken, die normalerweise mechanisch gefasst werden müssen, können bei Kunststoffoptiken nicht nur mehrere optische Funktionselemente zusammengefasst, sondern auch Fassungs- und Montageelemente direkt in das Bauteil integriert werden. Die Handhabung so her-



Bild 5: Asphärische Mikrolinsen aus der Mikrospritzgießfertigung

gestellter Mikrooptiken wird in der Regel durch diese Maßnahmen verbessert, da die angefügten Elemente die Gefahr einer Berührung und Beschädigung der optischen Flächen deutlich vermindern.

Kunststoffmikrooptiken können im Spritzgießen auch direkt in Fassungen aus anderen Materialien wie z.B. Metallgehäusen eingebracht werden, wenn das Systemdesign den Prozessanforderungen angepasst wurde. Weiterhin ist es möglich, Bauteile aus verschiedenen oder verschieden eingefärbten Kunststoffen in einem Prozessablauf zu Spritzgießen. Ein Beispiel für eine hoch öffnende asphärische Mikrolinse, die in eine gleich angespritzte Fassung integriert ist, zeigt **Bild 6**. Die umgebende schwarze Fassung der Linse dient zum einen als Blende und Öffnungsbegrenzung und ermöglicht zum anderen den genauen Platzierung und Montage im Gerät.

Das Zwei- oder Mehrkomponentspritzgießen eröffnet auch Möglichkeiten für eine wesentlich komplexere Bauteilgestaltung und der Integration mehrerer Mikrooptiken in einem Bauteil. Ein Beispiel hierfür ist das in **Bild 7** gezeigte Optikteil, bestehend aus einer komplexen Fassung, in die mehrere Mikrolinsen integriert wurden. Die Linsen sind durch die Fassung lichtdicht voneinander getrennt, obwohl die Abstände zwischen den Linsen unter 0,2 mm liegen. Die Interferometermessung an den Linsen (**Bild 8**) zeigt, dass die globalen Formgenauigkeiten unter 0,5 µm gehalten werden können. Diese werden trotz der nicht unerheblichen Bauteilbelastungen durch Druck und Temperatur in den beiden Spritzgießprozessphasen erreicht.



Bild 6: 2-Komponenten-Mikrolinse für Sensorikanwendung in der Messtechnik



Bild 7: Komplexes 2-Komponenten-Teil mit integrierten Mikrolinsen für Messtechnikanwendungen

4 Fazit

Das Produktionsvolumen in den optischen Technologien wuchs in den letzten Jahren überdurchschnittlich mit jährlich mehr als 10% [4], was auch Mikrooptiken aus Kunststoff und daraus gebildete Systeme und hybride Systeme mit einschließt. An der Weiterentwicklung und Verbesserung der Technologien zur Fertigung mikrooptischer Komponenten und Systeme wird dabei stetig gearbeitet, so dass sowohl die Prozessstabilität als auch die erreichbare Teilegenauigkeit zunimmt. Gleichzeitig werden die Schnittstellen zu nachfolgenden Prozessen wie Beschichtungs- und Montagetechniken verstärkt in die Lösungskonzepte eingebunden, um Probleme in der Fertigung von Mikrooptiken unter den genannten Anforderungen frühzeitig zu erkennen und zu beseitigen.

Leider werden aus unserer Sicht die bereits vorhandenen Möglichkeiten des Einsatzes dieser Mikrooptiken nicht durch alle potentiellen Anwender in ausreichendem Maße genutzt. Viele heute noch in Produktion und Anwendung anzutreffende Sensorsysteme könnten in Mikroausführung zu besseren oder neuen Lösungen führen, die mit aktuellen Fertigungstechniken im Mikrospritzgießen realisierbar wären. Wir

Bemerkung: Linse2 Radius ist 0,89 Handling1

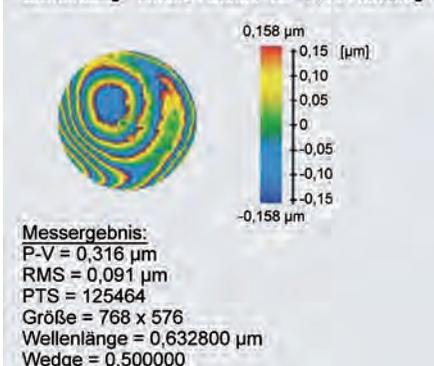


Bild 8: Interferometermessung an einer runden Linse aus Bild 7

hoffen mit dem vorliegenden Artikel Anregungen für derartige Innovationen gegeben zu haben.

Literaturhinweise:

- [1] Wittmann-Battenfeld, *Micro Power*, Firmenprospekt, Kottlingbrunn 2012
- [2] Desmatec, *formicaPlast*, Firmenprospekt, Achim 2009
- [3] G. Jüttner, H. Freitag, B. Dormann, *Mikrospritzgießen mit Automatisierung nach Maß*, Mikroproduktion 05/10, Carl Hanser Verlag München
- [4] Studie des BMBF, *Optische Technologien*, Aktualisierung 2010
- [5] Plastiziereinheit der Mikrospritzgießmaschine „Micropower 5“ der Firma Wittmann-Battenfeld GmbH
- [6] Plastiziereinheit der Mikrospritzgießmaschine „formicaPlast“ der Firma Klöckner Desma Schuhmaschinen GmbH
- [7] Maschinenhersteller: Wittmann Battenfeld GmbH, Kottlingbrunn

Ansprechpartner:

Stefan Petzold
Head of Business
Development
Machine Vision & Sensor
Systems
Jenoptik Polymer
Systems GmbH
Am Sandberg 2
D-07819 Triptis
Tel. 036482/45-207
Mobil: 0174/3156926
Email: stefan.petzold@jenoptik.com
Internet: www.jenoptik.com/oes



Wolfgang Müller
Application Engineering
Polymer Optics
Jenoptik Optical Systems
GmbH
Göschwitzer Str. 25
D-07745 Jena
Tel. 0172/3415029
Email: wolfgang.mueller@jenoptik.com
Internet: www.jenoptik.com/oes

