

Additive Fertigung von reflektiven und transparenten Optiken – Potential und neue Lösungsmöglichkeiten für optische Systeme

A. Heinrich, M. Rank, A. Sigel, Y. Bauckhage, S. Suresh-Nair

Zentrum für optische Technologien, Hochschule Aalen, Anton-Huber-Straße 21, 73430 Aalen

[mailto: Andreas.Heinrich@hs-aalen.de](mailto:Andreas.Heinrich@hs-aalen.de)

Die additive Fertigung ermöglicht die Realisierung von komplex geformten optischen Bauteilen. Je nach eingesetzter Fertigungsmethode können entweder transparente Optiken oder reflektive Optiken mit Hilfe des „3D Drucks“ entwickelt werden. Letztlich entscheidet die Anwendung welche der Methoden am Besten zum Ziel führt. So weisen z.B. transparente additiv gefertigte Proben den Nachteil eines nennenswerten Transmissionsverlustes auf. Dahingegen erfordern reflektive Proben oftmals einen höheren Aufwand bei der Nacharbeit.

1 Einführung

Additive Fertigungstechnologien unterscheiden sich von „konventionellen“ Fertigungstechnologien dahin gehend, dass Material aufgetragen statt abgetragen wird. Dabei kommen verschiedene additive Fertigungstechnologien zum Einsatz, die auch bei der Realisierung von optischen Komponenten zum Einsatz kommen können.

Grundsätzlich kann man hier zwischen reflektiven und transparenten Elementen unterscheiden. Für die letztere Gruppe sind demnach optisch transparente Bauteile notwendig. Damit wäre eine Einteilungsmöglichkeit der existierenden additiven Fertigungsverfahren z.B. bzgl. des verwendeten Materials. Es kann zwischen metallischen Werkstoffen und Kunststoffen unterschieden werden. Für die reflektierenden Optiken kommt z.B. Aluminium in Frage. Ein Verfahren, mit dem pulverförmige Metalle verarbeitet werden können ist das Selektive Laser Melting (SLM). Im Gegensatz dazu sind gängige additive Fertigungsverfahren für transparente Materialien Fused Deposition Modeling (FDM), Multi Jet Modeling (MJM) oder Stereolithography (SLA).

Das Verfahren des FDM basiert auf der Aufschmelzung eines oder mehrerer Kunststoffäden mittels eines oder mehrerer Extrusionsköpfe, welche im Raum beweglich sind. Damit können Schichtweise 3D Bauteile aufgebaut werden. Typische Schichtdicken liegen hier bei ca. 100µm. Dieses Verfahren wird z.B. zur Realisierung von einfachen Lichtleitelementen eingesetzt.

Das MJM Verfahren ist vergleichbar mit dem Ink-Jet Druck. Hier wird ein flüssiges, UV-reaktives Kunstharz direkt mit einem Druckkopf schichtweise aufgetragen. Nach der tröpfchenweise Abscheidung einer Schicht wird das Material mit einer Walze nivelliert und mit UV Licht ausgehärtet. Minimale Schichtdicken, die mit diesem Verfahren erreicht werden können, liegen bei wenigen 10µm. Um überhängende Strukturen zu realisieren wird neben

dem Baumaterial oftmals ein zweites Material (Supportmaterial) als Unterlage parallel gedruckt. Dieses kann anschließend z.B. mittels eines Wasserbades oder Lösungsmittels aus dem Bauteil gelöst werden kann.

Bei der SLA Methode kommen meist Epoxidharze zum Einsatz, welche schichtweise aufgetragen und entweder mit Hilfe eines Laser oder mit Hilfe einer Maskenabbildung (z.B. über einen DMD Projektor) ausgehärtet werden. Minimale Schichtdicken liegen hier z.T. bei unter 10µm. Um hier überhängende Strukturen realisieren zu können, wird das Baumaterial zugleich auch als Supportmaterial verwendet. Die Generierung der Supportstruktur erfolgt dabei allerdings als filigrane Struktur, die über „Sollbruchstellen“ an den Baubereich anschließen. Daraus resultieren entsprechende raue Bauteiloberflächen nach Entfernung des Supportmaterials.

Für den Einsatz der additiven Fertigungsverfahren für optische Anwendungen ist es entscheidend, die komplette Prozesskette zu betrachten. Diese ist in Abbildung 1 gezeigt. Da die additive Fertigung eine Individualisierung und damit Optimierung auf einen Aufgabe hin ermöglicht, steht immer eine spezielle Anwendung im Fokus. Als Beispiel ist hier die Formvermessung des „Tannenbaums“ einer Turbinenschaufel angeführt. Dazu gilt es eine Laserlinie kontinuierlich über das Bauteil zu führen. Mittels eines Kamerasystems wird die Deformation der Laserlinie erfasst, so dass über Triangulation die Form des Bauteils berechnet werden kann. Die Aufgabe ist damit eine Optikkomponente zu realisieren, welche eine entsprechend komplex geformte Laserlinie aus einem punktförmigen Laserstrahl generiert. Dazu ist zunächst ein entsprechendes Optikdesign notwendig. Als Ergebnis erhält man eine komplexe Optikform, welche nicht mittels konventionellen Fertigungsverfahren realisiert werden kann.

Die simulierte Optikkomponente wird mittels eines 3D Druckers hergestellt, kann so jedoch aufgrund

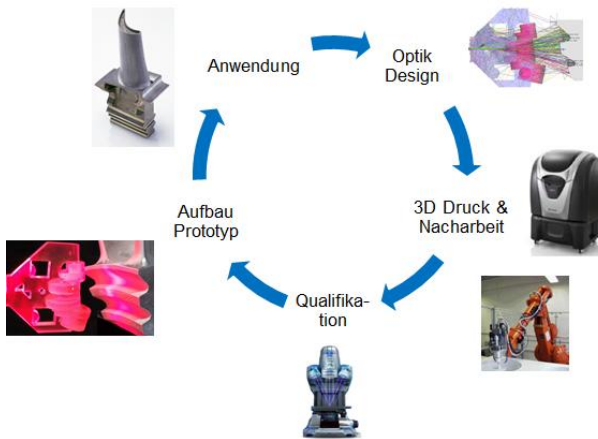


Abb. 1 Prozesskette

der Oberflächenrauheit noch nicht für optische Anwendungen eingesetzt werden. Damit ist der nächste Prozessschritt die Nacharbeit der Bauteiloberfläche. Hier kommen entweder Roboterbasierte Verfahren zur Politur und / oder Beschichtungsverfahren zum Einsatz. Wie z.B. das Verfahren des Dip-coatings eingesetzt, so können im optimalen Fall Rauheitswerte von $R_a=10\text{nm}$ erreicht werden. Wesentlich ist dabei, dass eine mögliche Formabweichung durch die Beschichtung bereits im Design mit berücksichtigt werden muss.

2 Anwendungsbeispiele

Die additive Fertigung von optischen Komponenten eröffnet eine komplett neue Herangehensweise, optische Komponenten und Systeme realisieren zu können.

Mit dem 3D Druck können komplex geformte optische Leitelemente realisiert werden, wie sie z.B. in Abb. 2 dargestellt sind.



Abb. 2 individualisiertes beleuchtetes Logo

Ein optisch messender Formsensordesign basierend auf einer komplexen Optikkomponente, um aus einem Laserpunkt eine komplex geformte Lichtlinie zu generieren ist in Abb. 3 links gezeigt. Abb. 3 rechts zeigt einen solchen Formsensordesign basierend auf dem diffraktiven Effekt in 3D gedruckten Proben.

Die Realisierung eines Dubletts mit integrierter Blende ist in Abb. 4 gezeigt. Bzw. Abb. 5 zeigt gedruckte Flüssiglinsen mit mechanischer Struktur zur asphärischen Deformation. Die Realisierung von Mikrolinsen als Auskoppeloptiken für eine Glasfaser

ist in Abb. 6, bzw. der Multimaterialdruck von mit Quantendot dotieren Elementen in Abb. 7 gezeigt.

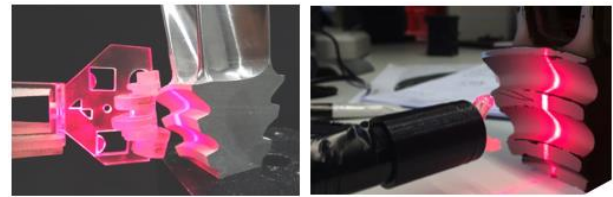


Abb. 3 Formsensoren zur optischen Vermessung einer Turbinenschaufel

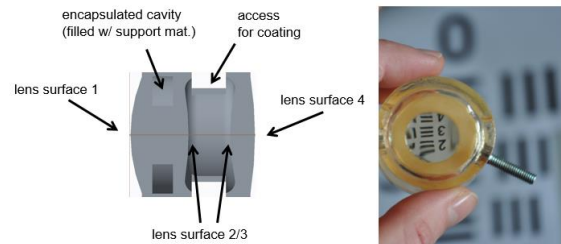


Abb. 4 3D gedrucktes Linsensystem

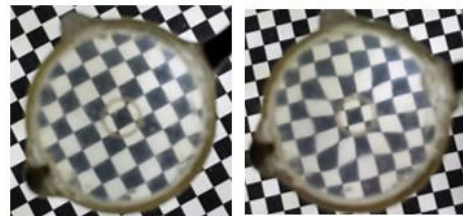


Abb. 5 3D gedruckte Flüssiglinsen

Abb. 6 gedruckte Mikrolinsen auf Glasfaserende

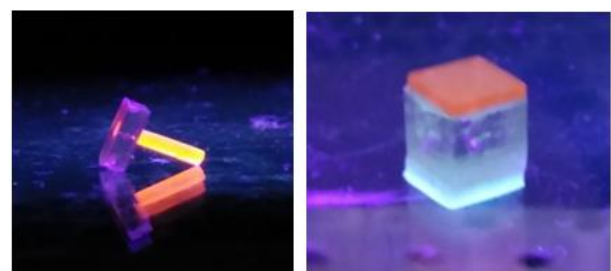
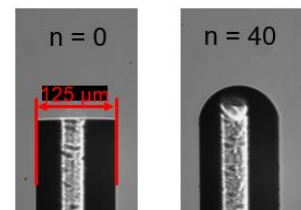


Abb. 7 Multimaterialdruck mit Quantendots

Eine detaillierte Beschreibung der angeführten Beispiele, sowie weitere Möglichkeiten den 3D Druck für optische Komponenten zu nutzen (auch SLM Verfahren) finden sich in [1], sowie in den darin gegebenen Referenzen

Literatur

- [1] M. Rank, A. Heinrich, "3D Printing of Optics", Spotlight vol. SL39, <http://dx.doi.org/10.1117/3.2324763>; ISBN: 9781510619982, SPIE Press (2018)