

Additive Fertigung und Analyse der Eigenschaften von 3D gedruckten Elastomeroptiken

Thomas Tischler*, Andreas Varnay*, Burkhard Heine**, Andreas Heinrich*

*Hochschule Aalen, Zentrum für optische Technologien (ZOT), Anton-Huber-Str. 21, 7340 Aalen, Deutschland

**Hochschule Aalen, Oberflächen- und Werkstofftechnik, Beethovenstraße 1, 73430 Aalen, Deutschland

<mailto:thomas.tischler@studmail.htw-aalen.de>

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Herstellung von adaptiven Optiken basierend auf Elastomeren, welche mit Hilfe der Additiven Fertigung realisiert werden.

1 Einführung

Ein Einsatz von adaptiven Optiken ermöglicht in vielen industriellen Anwendungen gegenüber den konventionellen Möglichkeiten viele Vorteile. So muss z.B. bei der Erfassung von Bauteilen in unterschiedlichen Abständen der Fokus der Optik angepasst werden um diese detektieren zu können. Dies wird oft mit Autofokus-Systemen realisiert, bei denen einzelne Linsenelemente verschoben werden. Die Verschiebung der Fokusslage kann aber auch durch den Einsatz von gezielt deformierbaren elastischen Linsen erreicht werden.

Bisherige adaptive Systeme mit elastischen Optiken nutzten für die Herstellung ein Spritzgussverfahren [1]. Im Gegensatz dazu soll in dieser Arbeit die Herstellung mit Hilfe der additiven Fertigung beschrieben werden. Ein großer Vorteil des 3D Drucks ist hierbei die Möglichkeit komplexe Geometrien herstellen zu können [2].

2 Additive Fertigung mit Elastomeren

Als additives Fertigungsverfahren wurde die DMD-Stereolithographie genutzt. Wobei im Gegensatz zur herkömmlichen Stereolithographie als Lichtquelle eine DMD-Projektor (Digital Micromirror Device) verwendet wird. Die laterale Druckauflösung wird hierbei auf die Abbildungsgröße der einzelnen Pixel im Bauraum beschränkt. Der Druckprozess (Bottom up Ausführung) ist in Abbildung 1 dargestellt und lässt sich in drei Ablaufschritte unterteilen:

1. Der Druckkopf wird einen Behälter mit UV-sensitiven Fotopolymer getaucht. Durch ein optisches Fenster gelangt UV-Licht von unten in den Bauraum und härtet entsprechend der zu druckenden Lage des Druckobjektes das Fotopolymer aus (Abbildung 1, A). Anschließend wird der Druckkopf um eine Schichtdicke nach oben verfahren.

2. Als erste Schichten werden „First-Layer“ und „Burn-in-Layer“ ausgehärtet. Diese gewährleisten die Haftung des Druckobjektes am Druckkopf. Darauf werden notwendige Stützstrukturen gebildet welche die Fertigung von Hohlräumen oder überhängenden Strukturen ermöglichen (Abbildung 1, B).
3. Nach der Erstellung von ersten Stützstrukturen beginnt der Druck des ausgewählten Druckobjektes (Abbildung 1, C).

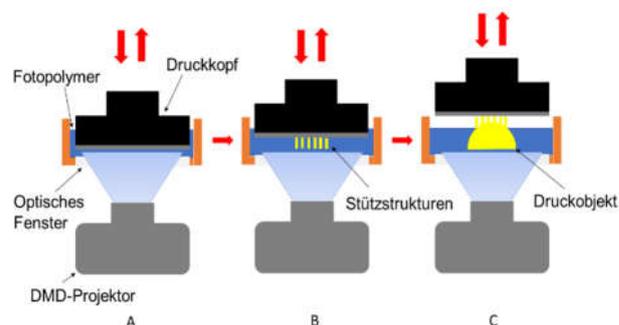


Abbildung 1: DMD-Stereolithographie Verfahren.

Durch das Anpassen von Druckparametern (z.B. Belichtungszeit, Wellenlänge) lassen sich die elastischen Eigenschaften des Objektes verändern.

3 Optiksimation von 3D gedruckten Optiken

Durch die Optik-Design-Software „LightTools“ wurde eine elastisch deformierbare Toruslinse entwickelt, die ein Ringlicht zur optischen Vermessung von Bohrlöchern liefert. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Optiksimation der Torusoptik dargestellt. Abbildung 3,a) zeigt das 3D-Modell der Optik, b) zeigt den Strahlengang in der Simulation und c) das Bild des Detektors (Position ist in b) mit rot gekennzeichnet).

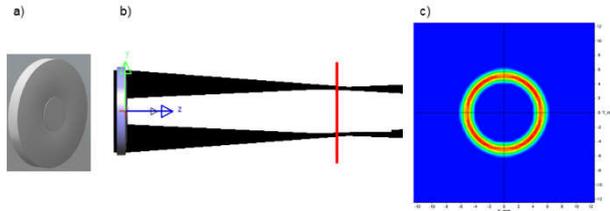


Abbildung 3: *Optik Design einer Torusoptik. a) 3D-Geometrie der Optik; b) Strahlengang in der Simulation; c) Bild des Detektors.*

Aus der Optik-Design-Software kann die 3D-Geometrie direkt an die Software des Druckers übergeben werden und ausgedruckt werden. Somit ist eine direkte Umsetzung des Optik Designs gegeben.

4 Analyse der Elasteroptiken

Der schichtweise Aufbau der Geometrien und die Abbildung der einzelnen Pixel in den Bauraum durch die DMD-Technologie, erzeugen Oberflächenunebenheiten die die optische Qualität beeinflussen. Abbildung 4 zeigt die Oberflächenvermessung mit Hilfe der Weißlichtinterferometrie. In a) ist die Oberfläche direkt nach dem Druck des Objektes dargestellt. Der Ra-Wert beträgt ca. 300 nm, was zu Streueffekten führt. Durch Beschichtungsverfahren kann dieser Wert deutlich verringert werden und die optischen Eigenschaften verbessert werden. In b) ist die Oberfläche nach einer Beschichtung dargestellt. Der Ra-Wert beträgt dabei ca. 70 nm was für Beleuchtungszwecke ausreicht.

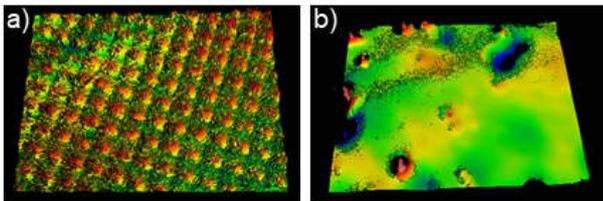


Abbildung 4: *Oberflächenrauheiten von additiv gefertigten Elasteroptiken. a) Oberfläche direkt nach dem Druck; b) Oberfläche nach Beschichtung*

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Transmissivität vom eingesetzten elastischen Material, so können Werte von bis zu 60 % erreicht werden.

Neben der optischen Qualität sind die elastischen Eigenschaften essentiell für die Anwendung als adaptive Optik. E-Modulmessungen ergaben dabei für die verwendeten Elastomere Werte im Bereich von 8-10 MPa.

Erste Messungen bzgl. der Abhängigkeit der optischen Abbildung zur mechanischen Deformation konnten qualitativ aufgenommen werden. Das Licht einer Laserlichtquelle wird durch ein Kepler-Teleskop aufgeweitet und trifft auf die Toruslinse

die auf einem Schirm ein Ringlicht erzeugt. Dieses Ringlicht wird mit einer Kamera, die sich hinter dem Schirm befindet, aufgenommen. Durch vier Stellschrauben kann die Optik radial deformiert werden. Die Aufnahme der Optik ist in Abbildung 2, a) dargestellt, b) zeigt die Intensitätsverteilung für den Zustand ohne Krafteinwirkung, c) zeigt die Intensitätsverteilung für eine Krafteinwirkung von oben und unten auf die Optik. Man erkennt eine Intensitätsverschiebung innerhalb des Ringes (Maxima sind mit einem Kreis gekennzeichnet).

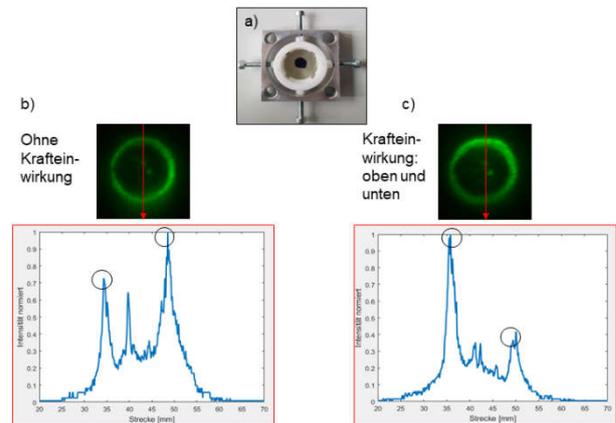


Abbildung 2: *a) Aufnahme für die Elasteroptik mit vier Stellschrauben für mechanische Deformationen; b) Intensitätsverteilung des Rings ohne Krafteinwirkung; c) Intensitätsverteilung bei Krafteinwirkung von oben und unten.*

Neben der radialen Krafteinwirkung kann durch Krafteinwirkung auch parallel zur optischen Achse der Optik eine Formveränderung des Fokus erzeugt werden (siehe Abbildung 5), die ist vor allem für die individualisierte optische Messtechnik von Interesse.

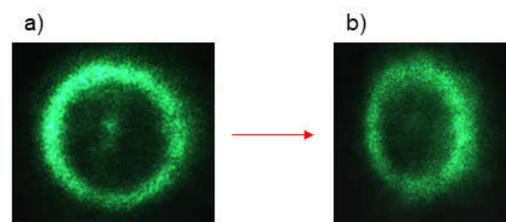


Abbildung 5: *a) Ring ohne Krafteinwirkung; b) Ring mit Krafteinwirkung.*

Literatur

- [1] Liebetraut, P., Petsch, S., Mönch, W., and Zappe, H., "Tunable solid-body elastomer lenses with electromagnetic actuation," *Applied optics*; Vol. 50, No. 19, 2011, pp. 3268–3274. doi: 10.1364/AO.50.003268.
- [2] A. Heinrich et al, "Additive manufacturing of optical components" in *Advanced optical Technologies*, 5(4) (2016)