

Machbarkeitsstudie zur additiv gefertigten monolithischen Lichtscheibenbeleuchtung aus drei Richtungen

M. Rank^{1,2}, Michael Wagner³, Herbert Schneckenburger³ und A. Heinrich¹

¹Zentrum für optische Technologien, Hochschule Aalen, Anton-Huber-Straße 21, 73430 Aalen

²Institut für Physik, Universität Augsburg, Universitätsstraße 1, 86159 Augsburg

³Institut für angewandte Forschung, Hochschule Aalen, Anton-Huber-Straße 21, 73430 Aalen

<mailto:manuel.rank@hs-aalen.de>

Streifenbildung in Lichtscheibenmikroskopie lässt sich auf Vorwärtsstreuung durch einseitige Beleuchtung zurückführen. In dieser Arbeit wird ein Ansatz zur Beleuchtung aus verschiedenen Richtungen, hergestellt per 3D-Druck, evaluiert. Durch den Lagenprozess kommt es zu rauen Oberflächen und Volumenstreuung, die Nachbearbeitung erfordern. Messungen zeigen, dass das erzeugte Lichtblatt im Vergleich zum Stand der Technik noch relativ dick ist.

1 Einführung

Lichtscheibenbeleuchtung ist ein wichtiges Werkzeug zur Lebendzelluntersuchung. Es wird in einem Zellkomplex nur eine dünne Schicht beleuchtet, sodass die Lichtexposition der Zelle gering ausfällt. Mit Schichtbildern von verschiedenen Positionen können 3D-Modelle des Zellkomplex erstellt werden.

Bei herkömmlichen einseitigen Lichtscheibenbeleuchtungssystemen kommt es durch Vorwärtsstreuung häufig zu einer Streifenbildung. Die Streifen verschlechtern die Bildqualität und können zu Informationsverlust führen [1].

Abb. 1 zeigt eine Schichtaufnahme mit vergrößertem Ausschnitt zur besseren Sichtbarkeit der Streifenbildung.

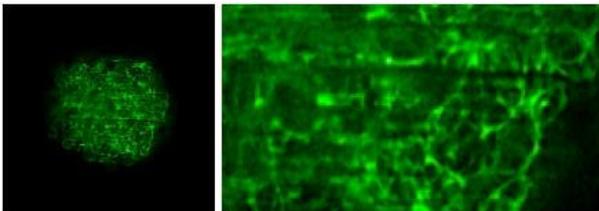


Abb. 1 Links: Schichtaufnahme einer Zelle; rechts: vergrößerter Ausschnitt mit (horizontaler) Streifenbildung.

2 Beleuchtung aus verschiedenen Richtungen

Zur Vermeidung der Streifenbildung soll die Lichtscheibe aus verschiedenen Richtungen erzeugt werden. Mithilfe eines additiv gefertigten Optikelements eingesetzt soll eine Beleuchtung aus drei Richtungen ohne Justieraufwand erfolgen. Wie Abb. 2 oben zeigt, wird ein Strahl, bspw. einer Faser, in mehrere Teilstrahlen aufgespalten. Anschließend findet eine Strahlumlenkung statt und abschließend die Fokussierung zum Lichtblatt. Die Auskoppelfläche ist dabei torusförmig, sodass die drei Hauptrichtungen jeweils einen konvergenten

Strahl aufweisen. Abb. 2 unten zeigt eine Alternative zur reinen Lichtleitung im Medium. In dem Teilmodul (Ausschnitt aus der Mitte) sind weitere zylindrische Grenzflächen integriert, um die Strahlformung durch vorige Kollimation zu verbessern.

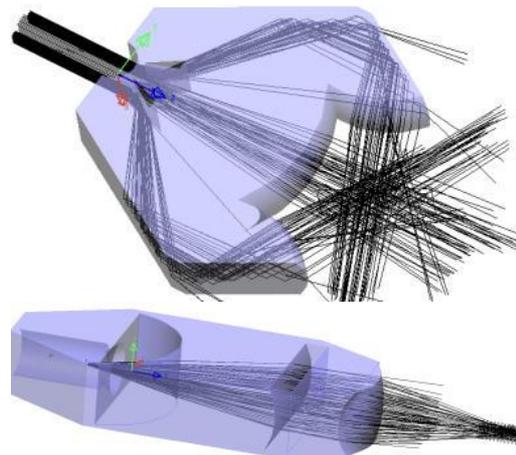


Abb. 2 Oben: Optikelement zur Aufspaltung eines Strahls in Teilstrahlen mit Umlenkung zur Beleuchtung aus drei Richtungen; Unten: Konzept zur Strahlformung mit mehreren Oberflächen (Teilmodul)

Eine Nutzung des durch die Lagenstruktur hervorgerufenen diffraktiven Effekts zur Erzeugung des Lichtblatts wird noch geprüft.

3 Erste Druckergebnisse

Je nach Druckausrichtung weisen die Druckteile eine raue Oberfläche auf [2], was in Abb. 3 zu sehen ist. Anders als die Bauteile in der Mitte und rechts ist das Bauteil links stehend gedruckt, sodass die gewölbte Fläche vorne während des Drucks nicht mit Supportmaterial umgeben wurde. Dadurch kann Oberflächenrauheit bereits deutlich reduziert werden. Für die Lichtleitung ist auch die Orientierung des Lichtstrahls zur Lagenstruktur entscheidend. Vorteil der additiven Fertigung ist die Integration von Befestigungen im Bauteil, hier die SMA-

Faserkopplung. So sind die optischen Flächen automatisch im Rahmen der Drucktoleranzen passend ausgerichtet.



Abb. 3: Teilmodule in verschiedenen Ausrichtungen gedruckt.

Durch den lagenweisen Aufbau des Elements per 3D-Druck liegt kein homogenes Material vor, sodass es zu Streuung im Medium kommt. Abb. 4 links zeigt die Abstrahlung eines gedruckten Teilmoduls bei Einkopplung eines grünen Lasers per Faser von links. Die Grenzflächen in der Mitte und rechts sind durch Oberflächenstreuung erkennbar. Betrachtet man eine rohe Auskoppelfläche, siehe Abb. 4 rechts, sind im Streulicht die Schichtstrukturen (Ellipsen) erkennbar.

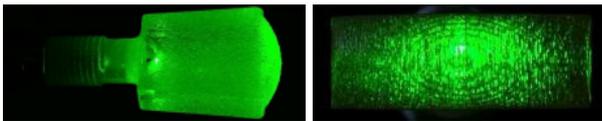


Abb. 4 Links: Volumenstreuung in 3D-Druckteil; rechts: Streuung an rauher Oberfläche eines rohen 3D-Druckteils.

4 Vermessung der Lichtverteilung

Für die Bewertung der additiv gefertigten Optikelemente zur Erzeugung eines Lichtblatts wird in einem Kamerachip-basierten-Beam Profiler die Bestrahlungsstärkeverteilung nach der Optik analysiert. In Abb. 5 ist der Vergleich zwischen einem rohen (oben) und polierten (unten) Druckteil dargestellt. Bei gleichen Belichtungseinstellungen wird das Licht beim rohen Druckteil deutlich breiter gestreut. Im polierten Teil kann ein schmales Maximum erzielt werden. Das überlagerte Profil ergibt eine FWHM von ca. 900 μm was deutlich über dem Stand der Technik von unter 10 μm für Lichtscheibenmikroskopie liegt.

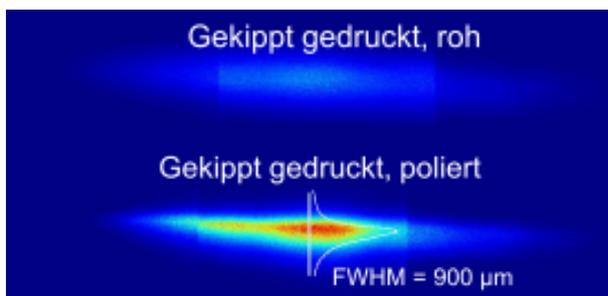


Abb. 5 Unterschied zwischen Lichtverteilung vor (oben) und nach (unten) Politur

Obwohl Abb. 5 zeigt, dass mit dem vorliegenden gedruckten Optikelement kein ausreichend dünnes Lichtblatt erzeugt werden kann, soll die Lichtverteilung in verschiedenen Abständen betrachtet werden. Der Scan von 4 – 18 mm ist in Abb. 6 dargestellt. Im Nahfeld ist in der Mitte deutlich die Fokussierung zu erkennen. Der Fokus wird bei 10 mm erreicht. Nach dem Fokus nimmt die maximale Bestrahlungsstärke wieder ab.

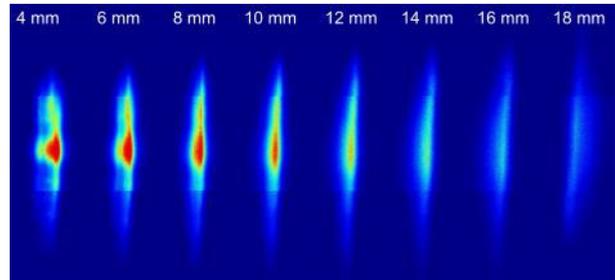


Abb. 6: Lichtverteilung in verschiedenen Abständen nach Optikelement

5 Zusammenfassung und Ausblick

In der Simulation kann die Lichtblattbeleuchtung aus mehreren Richtungen erzeugt werden. Hier sind weitere Optimierungen notwendig, bspw. mit anderen Quellen (dünnere Fasern), um mehr Spielraum zum Ausgleich der Streueffekte durch die additive Fertigung zu erhalten. Zum jetzigen Zeitpunkt liegt die Dicke des Lichtblatts mit gedruckten Optiken deutlich über dem Stand der Technik.

Die Nachbearbeitung der 3D-gedruckten Elemente ist kritisch für die Lichtformung. Um Formabweichungen bei der Politur zu vermeiden, soll automatisiertes Fluid-Jet-Polishing eingesetzt werden.

Nicht durch Oberflächennachbearbeitung lösbar ist das Problem der Volumenstreuung im durch die Lagenstruktur heterogenen Material. Lagenfreier 3D-Druck oder optimierte Materialien sollten theoretisch bessere Ergebnisse liefern.

Literatur

- [1] T. Bruns et al., "Single Plane Illumination Module and Micro-capillary Approach for a Widefield Microscope" in: Journal of Visualized Experiments (2014)
- [2] A. Heinrich et al., „Additive manufacturing of optical components“ in: Adv. Opt. Techn. 2016 Volume 5 Issue 4: 293-301
- [3] M. Rank et al., "Diffraktive Effekte an additiv gefertigten optischen Elementen," *DGaO-Proceedings*, vol. 118, http://www.dgao-proceedings.de/download/118/118_b8.pdf, 2017.