

Beeinflussung der optischen Eigenschaften von Polymer Optischen Wellenleitern durch das Druckpfad-Design

Carsten Backhaus*, Norbert Lindlein*, Jochen Zeitler**, Jörg Franke**

*Institut für Optik, Information und Photonics, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

**Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

mailto:carsten.backhaus@fau.de

Die besondere Geometrie des Querschnitts der Polymer Optischen Wellenleiter (POW) beeinflusst das Design des Druckpfades. Um nun Vorschriften für das Druckpfad-Design ableiten zu können, benötigt es einer Charakterisierung der POWs bezüglich verschiedenster Druckpfade. Diese Charakterisierung wird vorgestellt und die daraus abgeleiteten Druckpfad-Design Vorschriften aufgezeigt.

1 Einleitung

In der DFG-Forschergruppe OPTAVER (LI 1612/6-2) wurden erfolgreich Lichtwellenleiter mittels eines Aerosol-Druck-Verfahrens hergestellt [1]. Dieses ermöglicht nahezu beliebige Druckpfade. Ein nun möglicher Druckpfad (Abb. 1) ist jedoch nicht zwangsweise eine Verbesserung in Bezug auf die optischen Eigenschaften des Lichtwellenleiters. Es gilt daher zu untersuchen, wie sich bestimmte Druckpfade, wie zum Beispiel eine einfache Außenkurve, auf die optischen Eigenschaften auswirken. Das Ziel ist es, aus mehreren vorgegebenen Druckpfaden, bei denen für jeden einzelnen Druckpfad die optischen Eigenschaften bekannt sind, hinterher einen Druckpfad zusammen zu setzen, der bezüglich der optischen Übertragungseigenschaften optimiert ist. So lassen sich auch für das Druckpfad-Design direkt Regeln ableiten, die zu einem optimierten System führen.

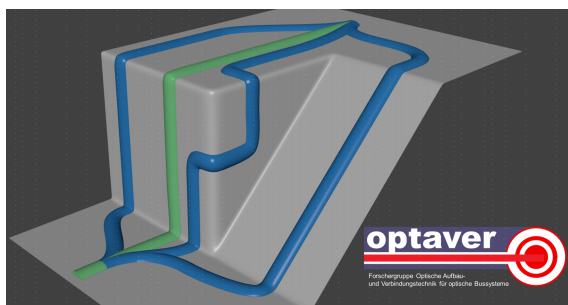


Abb. 1 Schematische Darstellung der Fragestellung: von den vier möglichen Pfaden soll derjenige bestimmt werden, welcher die besten optischen Übertragungseigenschaften hat (grün dargestellt).

2 Polymer Optische Wellenleiter (POW)

Die Forschergruppe hat den sogenannten Optaver Prozess zum Druck von optischen Wellenleitern etabliert [2]. Mittels flexographischem Druck werden zu-

nächst Konditionierungslinien (5 μm Höhe) auf einen PMMA-Film aufgebracht [3]. Dieses Verfahren ermöglicht es, die Breite der POWs zu definieren, welche typischerweise einen Spaltabstand von 250-1000 μm haben.

Im nächsten Schritt wird mittels Aerosol Jet Druck transparentes, flüssiges Polymer (J+S 390119) durch additive Fertigung auf das Substrat aufgebracht, welches den Kern des Wellenleiters darstellt. Derzeitig wird daran geforscht, ein weiteres Material als Mantel aufzubringen. Jedoch können die Wellenleiter, nur aus dem Kernmaterial bestehend, bereits als solche verwendet werden, da Luft in diesem Fall als Mantel fungiert (siehe Abb. 2).

Der enorme Vorteil des Optaver Prozesses ist die 3D-Fähigkeit, welche einen vielseitigen Einsatz ermöglicht. So ist eine Anwendung beim Flugzeug- und Autobau vorgesehen. Besonders bei ersterem ist man ebenfalls sehr um Gewichtseinsparung bemüht, was einen weiteren Vorteil des Optaver Prozesses aufzeigt, da die POWs leichter sind als herkömmliche Glasfaserkabel.

Der Prozess bedingt jedoch, dass die Geometrie des Querschnitts der Wellenleiter nicht länger rotationssymmetrisch ist, sondern nur einen Teil eines Kreissegmentes besitzt. Dies hat das Potential zu negativen Einflüssen zu führen, wie zum Beispiel erhöhte Auskoppelraten. Auf der anderen Seite können auch Phänomene, welche auf Grund der besonderen Geometrie auftreten, ausgenutzt werden, um zum Beispiel Strahlteiler zu realisieren.



Abb. 2 SEM-Aufnahme eines gedruckten Polymer-Optischen Wellenleiters auf einem PMMA Substrat. (1) Flexographisch gedruckte Konditionierungslinien. (2) Mittels Aerosol Jet gedruckter Kern der Wellenleiter

3 Druckpfad-Design

Das Design des Druckpfades muss sowohl geometrische als auch physikalische Eigenschaften berücksichtigen. Das Vorgehen für das Design des Druckpfades bei Optaver [4] ist in mehrere Schritte aufgeteilt. Zunächst wird das logische Design erstellt, bei dem schematisch Komponenten platziert werden. Es folgt das physikalische Design im 3D-CAD Model, bei dem physikalische Design Regeln überprüft und die Komponenten dementsprechend korrigiert werden. Anschließend wird dieses Model an die optische Analyse weitergegeben, welche nun eine optische Simulation des vorläufigen Modells erstellt. Das Ergebnis wird wieder in das 3D-CAD Model zurück geführt, angepasst, und wiederum auf physikalische Design Regeln überprüft. Das Abgleichen zwischen 3D-CAD Model und optischer Simulation wird iteriert bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht ist. Als finaler Schritt können die CAM-Daten exportiert werden.

4 Simulationen

Um nun die Beeinflussung der optischen Eigenschaften zu verstehen, wurden Wellenleiter mittels Simulationen untersucht. Die initiale Fragestellung ist: Ist es möglich eine Druckpfad-Design Regel aufzustellen, welche eine Innenkurve oder eine Außenkurve eines Wellenleiters bevorzugt. Als Simulationsmethode wurde Raytracing verwendet, da die Dimensionen der POWs (Tab. 1) im Vergleich zur Wellenlänge (800nm) groß sind. Weiterhin wurden bei den Simulationen perfekte Oberflächen angenommen, da die Untersuchungen rein geometrischen Aspekten und nicht etwa Rauigkeiten galten.

Parameter	
Höhe	40 μm
Breite	300 μm
Brechungsindex Mantel	1
Brechungsindex Kern	1.593
Brechungsindex Substrat	1.4903
NA der Lichtquelle	0.1

Tab. 1 Parameter für die Simulationen der Außenkurve und der Innenkurve.

5 Ergebnisse

Variiert man nun den Radius des Druckpfades einer Außenkurve (Abb. 3) erhält man einen kritischen Radius von 13.65 μm . Für eine Innenkurve (Abb. 4) ergibt sich hingegen ein deutlich größerer Radius von 305.2 μm . Da Strahlen immer an der Außenseite des Wellenleiters bei einer Kurve geführt werden, liegt der Hauptgrund für dieses unterschiedliche Verhalten darin, dass bei der Außenkurve Luft und bei der Innenkurve das Substrat

an dieser Grenzfläche vorzufinden ist. Aus diesen Simulationen lassen sich zwei Druckpfad-Design Regeln ableiten: Zum einen sind Kurvenradien kleiner als der kritische Radius verboten. Zum anderen sind Außenkurven Innenkurven zu bevorzugen.

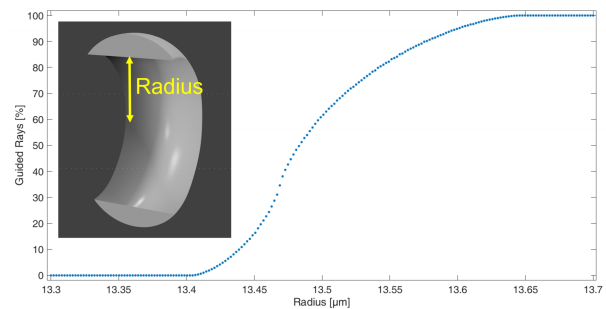


Abb. 3 Betrachtung der geführten Strahlen bei Veränderung des Radiuses der Pfadfunktion für eine Außenkurve des Wellenleiters. Als kritischer Wert, ab dem nicht mehr alle Strahlen im Wellenleiter geführt werden, kann ein Radius von 13.65 μm festgestellt werden.

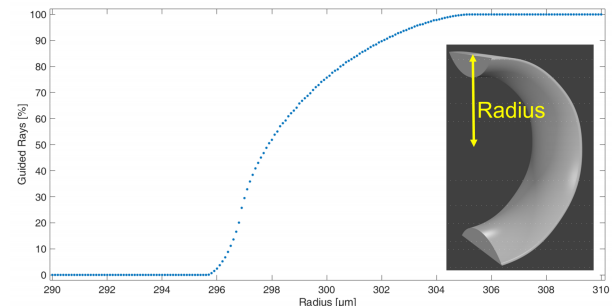


Abb. 4 Betrachtung der geführten Strahlen bei Veränderung des Radiuses der Pfadfunktion für eine Innenkurve des Wellenleiters. Ab einem Radius von 305.2 μm werden nicht mehr alle Strahlen im Wellenleiter geführt.

Literatur

- [1] F. Loosen, et al., "Approach for the production chain of printed polymer optical waveguides—an overview," Appl. Opt. 56, 8607-8617 (2017)
- [2] T. Reitberger, et al., "The future of short-range high-speed data transmission: printed polymer optical waveguides (POW) innovation, fabrication, and challenges," Proceedings SPIE 10751, Optics and Photonics for Information Processing XII, 1075109 (7 September 2018)
- [3] G.-A. Hoffmann, et al., "Manufacturing of polymer optical waveguides using self-assembly effect on pre-conditioned 3D-thermoformed flexible substrates," Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 10115 (2017), 1011503.
- [4] J. Zeitler, et al. "Computer-Aided Design and Simulation of Spatial Opto-Mechatronic Interconnect Devices," Proceedings of the 26th CIRP Design Conference, 2016 Elsevier, 2016. 727-732.