

Anwendung von Beam-Propagation-Method und Wave-Propagation-Method zur Simulation innovativ gedruckter Lichtwellenleiter

Carsten Backhaus, Florian Loosen, Christian Vögl, Refik Mansuroglu, Norbert Lindlein

Institut für Optik, Information und Photonik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

<mailto:carsten.backhaus@fau.de>

In der DFG-finanzierten Forschergruppe OPTAVER wurden Lichtwellenleiter mittels eines Aerosol-Druck-Verfahrens hergestellt. Eine dadurch ermöglichte Koppelstelle kann jedoch nicht mehr mittels Raytracing simuliert werden, da Interferenzeffekte nicht berücksichtigt werden. Eine Anwendung wellenoptischer Methoden auf die Problemstellung wird im Folgenden untersucht und dargestellt.

1 Einführung

In der Automobilbranche ist es das langfristige Ziel, Autos autonom fahren lassen zu können. Um dies zu realisieren, benötigen sie ein gutes Sensornetzwerk. Eine Lösung dieses Problems sind optische Bussysteme. Sie werden das Rückgrat kommandierender Sensor- und Infotainmentnetzwerke bilden. Aus diesem Grund ist es wichtig, gute Technologien zu entwickeln die dies ermöglichen.

Um dieser Aufgabe nachzukommen, wurde Anfang 2015 die von der DFG geförderte Forschergruppe OPTAVER (optische Aufbau- und Verbindungstechnik für baugruppenintegrierte Bussysteme) gegründet. Das Ziel dieser Forschergruppe ist es, Wellenleiter mittels eines Druckverfahrens herzustellen.

2 Druck der Wellenleiter

Das verwendete Druckverfahren ist das so genannte Aerosol Jet Printing [1]. Dies hat den Vorteil, Materialien mit optischen Eigenschaften auf dreidimensionalen Substraten zu drucken. In der Forschergruppe werden vor allem Materialien aus Polymeren verwendet. Im Druckprozess ergeben sich raue Oberflächen sowie besondere Geometrien (siehe Abb. 1).

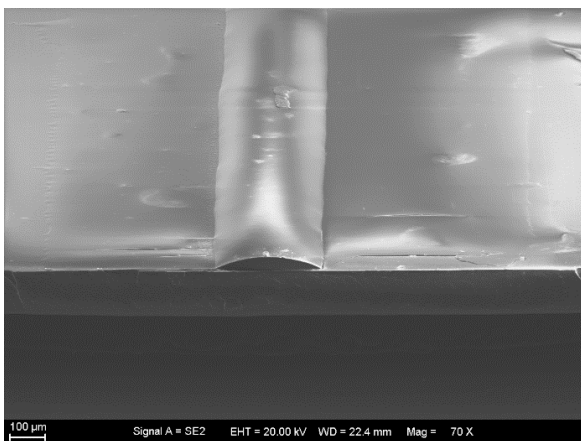


Abb. 1 Ein gedruckter Wellenleiter unter dem Rasterelektronenmikroskop.

3 Raytrace Simulation

Um eine Aussage über die Güte der gedruckten Wellenleiter treffen zu können, ist eine Simulation dieser nötig und unumgänglich. Dabei muss besonders auf die erwähnten Geometrien und die sich ergebenden rauen Oberflächen eingegangen werden. Während die Geometrie mit gängigen Flächentypen beschreibbar ist, stellen die rauen Oberflächen ein deutlich schwierigeres Problem dar.

Im hausinternen Raytracing-Programm RAYTRACE wurde für die Simulation ein Monte-Carlo-Algorithmus implementiert [2]-[3]. Dabei wird aus den Parametern der Oberfläche ein Streuspektrum berechnet, das die Wahrscheinlichkeit darstellt, mit der ein Strahl in die jeweilige Richtung gestreut wird. Für jeden einfallenden Strahl wird dann genau ein gestreuter Strahl mit einem Zufallszahlengenerator unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeitsverteilung ausgewählt.

4 Grenze der Raytrace-Simulation

Es gibt jedoch in der Praxis Fälle, in denen eine Raytrace-Simulation nicht den Anforderungen entspricht. Ein Beispiel dafür ist die in der Forschergruppe entwickelte Koppelstelle [4], welche ortsvariabel einsetzbar ist und eine kraftabhängige Koppelrate zulässt. An den Grenzflächen werden keine Interferenzeffekte in einem Raytracing-Ansatz berücksichtigt, sodass ein anderer Simulations-Ansatz zu wählen ist.

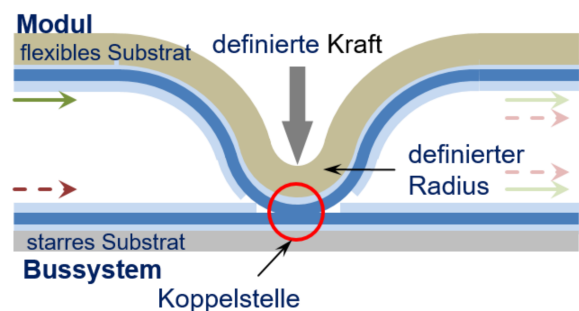


Abb. 2 Skizze der kraftabhängigen Koppelstelle.

5 Wellenoptischer Ansatz

In diesem Fall ist es nötig, einen wellenoptischen Ansatz für die Simulation der Koppelstelle zu wählen. Um die optimale Methode zu finden, welche effektiv und genau ist, wurde die Simulation mittels der Beam Propagation Method (BPM) [5] und der Wave Propagation Method (WPM) [6] in ihren ersten Schritten durchgeführt.

6 Ergebnisse der Simulationsmethoden

Die BPM mit Pade-Approximation höherer Ordnung ist die Standardmethode zur Simulation von Wellenleitern. Ihr Vorteil liegt in der Möglichkeit eine nicht-paraxiale Ausbreitung zu simulieren. Der Nachteil liegt jedoch in der sehr rechenintensiven numerischen Lösung. Daher ist eine erste zweidimensionale Simulation des Kopplers möglich, wenn auch nicht recheneffizient (Abb. 3).

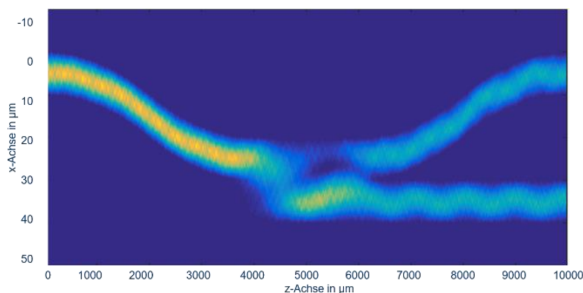


Abb. 3 Simulation der Koppelstelle mittels der Beam Propagation Method (BPM).

Die WPM ist ebenfalls im nicht-paraxialen Fall anwendbar aber ebenso rechenintensiv, wenn keine Fast Fourier Transformation (FFT) verwendet werden kann. Schaut man sich einen geraden Wellenleiter jedoch an, so gibt es Felder, in denen der Brechungsindex konstant ist, nämlich im Kern und im Mantel. Mit einem einfachen Ansatz lässt sich die FFT wieder verwenden. Die Rechnung besteht darin, dass zwei Felder für die zwei verschiedenen Brechungsindizes mittels FFT berechnet werden und anschließend die komplexe Amplitude vom jeweils anderen Feld eingerechnet wird. Eine erste zweidimensionale Simulation zeigt (Abb. 4), dass die Methode sich prinzipiell eignet, um einen Wellenleiter zu simulieren.

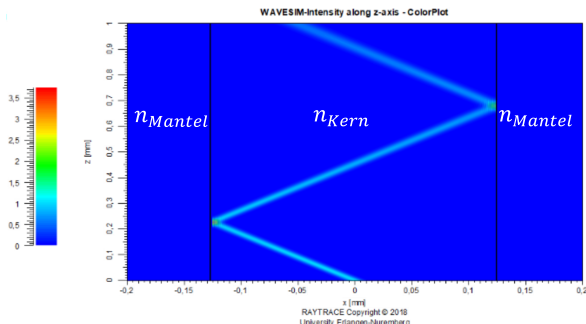


Abb. 4 WPM-Simulation eines Gaußstrahls, welcher in einem Winkel von 45° zur z-Achse in einem Wellenleiter propagiert wird.

Bei der Simulation treten jedoch noch Instabilitäten auf (Abb. 5). Der Grund für diese konnte bislang nicht geklärt werden [7].

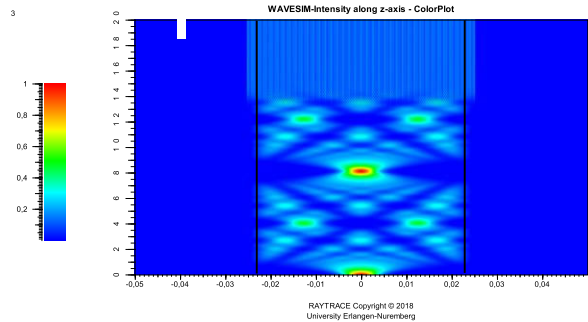


Abb. 5 WPM-Simulation eines Gaußstrahls. Es treten unerklärliche Instabilitäten auf.

7 Zusammenfassung

Man kann zeigen, dass die BPM anwendbar ist zur Simulation der Koppelstelle. Das Ziel ist hier in Zukunft eine 3D-Simulation zu etablieren. Man könnte ebenfalls zeigen, dass auch die WPM effizient auf einfache Wellenleiterstrukturen anwendbar ist. In Zukunft besteht die Aufgabe in der Simulation komplexerer Strukturen. Des Weiteren steht eine systematische Untersuchung der Parametereinflüsse in der WPM noch aus um zum Beispiel den Grund für die Instabilitäten zu verstehen.

Literatur

- [1] T. Reitberger, J. Hoerber, R. Schramm, S. Senfelder, J. Franke: „Aerosol Jet® printing of optical waveguides,“ 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (IEEE ISSE) Eger, 2015.
- [2] F. Loosen et al. DGaO Proceedings C5 (2016)
- [3] C. Backhaus et al. DGaO Proceedings P8 (2017)
- [4] L. Lorenz; K. Nieweglowski; Z. Al-Husseini; N. Neumann; D. Plettemeier; K.-J. Wolter; T. Reitberger; J. Franke; K. Bock; „Asymmetric optical bus couplers for interruption-free short range connections on board and module level“, IEEE Journal of Lightwave Technology Vol. 35 (18), S. 4033-4039, 2017
- [5] G.R. Hadley: Wide-angle beam propagation using Padé approximant operators, Opt. Lett. **17** (1992) 1426
- [6] K.-H. Brenner, W. Singer: Light propagation through microlenses: a new simulation method, Appl. Opt. **32** (1993) 4984
- [7] S. Schmidt, T. Tiess, S. Schröter, R. Hambach, M. Jäger, H. Bartelt, A. Tünnermann, H. Gross, „Wave-optical modeling beyond the thin-element-approximation,“ Opt. Express 24(26), S. 30188-30200, 2016.