

Effiziente Berechnung der Impulsantwort zeitabhängiger Signale in gedruckten polymer-optischen Wellenleitern

C. Backhaus, F. Loosen, N. Lindlein

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Institut für Optik, Information und Photonik, Erlangen
carsten.backhaus@fau.de

ÜBERBLICK

Das Gebiet der optischen Datenübertragung, insbesondere bei der Integration in dreidimensionalen Bauteilen, besitzt ein hohes Potential zur Verbesserung der Systeme. Um innovative Ideen umzusetzen, wurde die von der DFG geförderte Forschergruppe „Optische Aufbau- und Verbindungstechnik für baugruppenintegrierte Bussysteme (OPTAVER)“ gegründet. Ein Ziel der Forschergruppe ist es, Wellenleiter mit Hilfe optischer Polymere in einem Aerosol Jet Druckverfahren zu generieren. Neben der technischen Umsetzung des Verfahrens spielt die Modellierung und die anschließende Simulation der polymer-optischen Wellenleiter eine besondere Rolle. So muss dabei die aufgrund des Herstellungsverfahrens im allgemeinen raue Oberfläche der Polymere berücksichtigt werden. Um dies zu gewährleisten, ist eine Simulation des Systems nötig. Unter Berücksichtigung der Dämpfung des Signals als auch der Signaldispersion wird eine effiziente Simulation des Systems umgesetzt, welche mittels Raytracing realisiert wird.

PROJEKTBECHREIBUNG

Gedruckte polymer-optische Wellenleiter (POWs) sind hochgradig multimodig, sodass eine Raytracing Simulation mit guter Näherung verwendet werden darf. Neben der Erweiterung des Simulationsmodells von Wellenleitern bezüglich der Dämpfung des Signals [1] wurde eine Erweiterung bezüglich der Signaldispersion eingeführt. Für diese wurde ein effizientes Verfahren entwickelt, welches typische physikalische Eigenschaften für optische Signale (Gauß-förmige Pulse, Wellenlängenbreite <1nm, Vernachlässigung der Materialdispersion, etc.) ausnutzt.

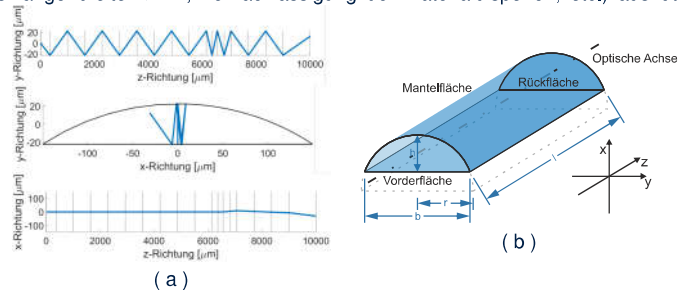


Abbildung 1: Simulation eines Strahls (a) beim Durchgang durch den linearen POW (b) unter Berücksichtigung von Streuung.

DÄMPFUNG DES SIGNALS

Beim Durchlaufen des Lichts durch optische Materialien ist Dämpfung ein wichtiger Prozess, der beachtet werden muss. Daher ist es essentiell bei der Simulation von POWs ebenfalls die Dämpfung des Signals an der rauen Grenzfläche zwischen Kern und Mantel zu berücksichtigen.

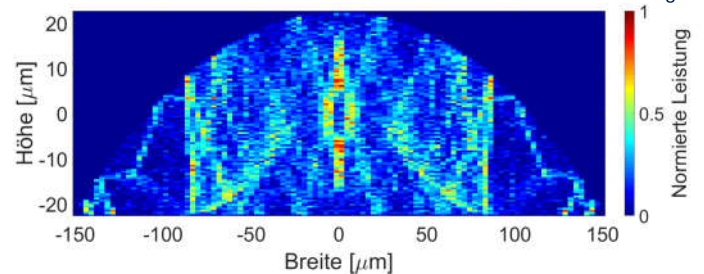


Abbildung 2: Normierte Intensität im POW nach 1cm.

In Abbildung 2 ist zu sehen, dass der Großteil der Intensität in der Mitte des POWs geleitet wird. Dies entspricht experimentellen Ergebnissen.

SIGNALDISPERSION

Neben der Signaldispersion aufgrund der Geometrie des Wellenleiters bewirkt zusätzlich die raue Grenzfläche zwischen Kern und Mantel, dass die einzelnen Strahlen unterschiedlich lange Wege zurücklegen. Die aus der sogenannten Modendispersion erhaltene Impulsantwort kann mit Hilfe der Stufenantwort (Step Response) gewonnen werden [2].

Eine effizientere Berechnung möchten wir hier vorstellen:

- Annahme: Signallaufzeit $t = \frac{s \cdot n}{c}$, Strecke s , Lichtgeschwindigkeit c , Brechungsindex n
- Unterschiedliche Weglängen in Abhängigkeit der Mode
- Ordne Strahlen nach Signallaufzeit
- Einteilung in Laufzeitintervalle Δt
- Strahlleistung aller Strahlen innerhalb eines Laufzeitintervalls aufsummieren
- Erhalt der Impulsantwort des Systems durch eine Raytracing Simulation.

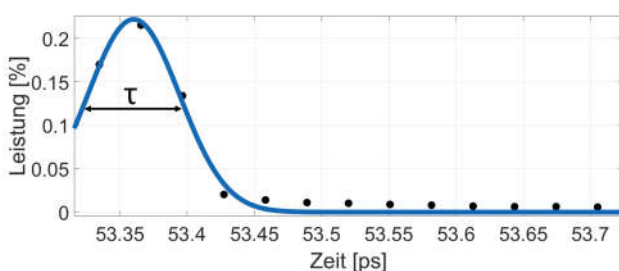


Abbildung 3: Impulsverlängerung τ aufgrund von unterschiedlichen Ausbreitungswegen. Darstellung für eine Laufzeitintervallgröße von $\Delta t = 0.03 \text{ ps}$.

SIMULATION UND ERGEBNISSE

Tabelle 1: Auflistung der verwendeten Parameter zur Simulation des POWs.

Parameter	Wert [Einheit]
RMS der Rauheit der Grenzfläche	20 nm
Korrelationslänge	1,708 μm
Brechungsindex EpoCore	1,598
Brechungsindex Luft	1,000
Brechungsindex PMMA	1,490
Numerische Apertur der einfallenden Kugelwelle	0,1
Höhe des Wellenleiters	45 μm
Breite des Wellenleiters	300 μm
Länge des Wellenleiters	1 cm

Der Dämpfungsbelag α wird üblicherweise logarithmisch dargestellt und nach folgender Formel berechnet:

$$\alpha = \frac{10}{L} \cdot \log\left(\frac{P_0}{P_1}\right) \quad (1)$$

Dabei bezeichnet P_0 die Eingangsleistung, P_1 die Ausgangsleistung und L die Länge des betrachteten Wellenleiters. Desweiteren wurde die Impulsverlängerung τ (Ausgangsimpulshalbwertsbreite) berechnet [3].

Tabelle 2: Ergebnisse der Simulation.

Parameter	Wert [Einheit]
Dämpfungsbelag α	0,54 dB/cm
Impulsverlängerung τ	0,08 ps

Die Werte stimmen mit den experimentell gemessenen Werten gut überein und liegen in der erwarteten Größenordnung.

[1] F. Loosen et al., Design and simulation rules for printed optical waveguides with implemented scattering methods in CAD and raytracing software. Proceeding, 117. DGaO-Jahrestagung, Hannover, (2016).

[2] E. Griese et al., Time domain simulation of optical multimode chip-to-chip interconnects. SPIE Proc. 4455, S. 131-142, (2001).

[3] O. Ziemann et al., POF-Handbuch - Optische Kurzstrecken-Übertragungssysteme. 2.Auflage, Springer-Verlag, (2007)