

Simulationen zur Erfassung der Güte gedruckter Polymer Optischer Wellenleiter (POWs) bei Variation signifikanter Charakteristika

F. Loosen*, C. Backhaus, C. Vögl, N. Lindlein

Institut für Optik, Information und Photonik (IOIP),
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Erlangen
* seit April Carl Zeiss SMT GmbH

florian.loosen@fau.de



ÜBERBLICK

Die Forschergruppe OPTAVER (Optische Aufbau- und Verbindungstechnik für baugruppenintegrierte Bussysteme) beschäftigt sich seit ca. 3 Jahren mit dem Design, der Simulation und dem Druckprozess Polymer Optischer Wellenleiter (POWs). Durch den eingesetzten additiven 3D-Fertigungsprozess (Flexodruck und Aerosol-Jet-Druck) der Wellenleiterstrukturen wird eine optische Simulation vorab unumgänglich, um die Güte der Wellenleiter simulativ zu überprüfen. In den vergangenen DGaO-Jahrestagungen wurde neben der Erweiterung des Simulationsmodells um einen Streuansatz (Dämpfungsberechnung) [1] auch eine Erweiterung bezüglich der Signaldispersion [2] vorgestellt. Dämpfung und Signaldispersion legen vor allem die Güte des Wellenleiters als wichtige Kenngrößen fest. Diese ist abhängig von der Variation signifikanter Charakteristika, wie Wellenleiterform, -pfad und Materialeigenschaften, welche simulativ untersucht werden müssen.

PROJEKTBE SCHREIBUNG

Der vorgelagerte Design- und Simulationsansatz (virtuelles Abbild) soll vor allem Aufschluss über die Grenzen des additiven Fertigungsprozesses gedruckter POWs liefern und schon im Design die Güte des Wellenleiters bestimmen [3]. Abbildung 1 zeigt ein 3D-Strukturbauteil, welches zum Beispiel im Automobilbau eingesetzt wird, mit verlegtem POW.

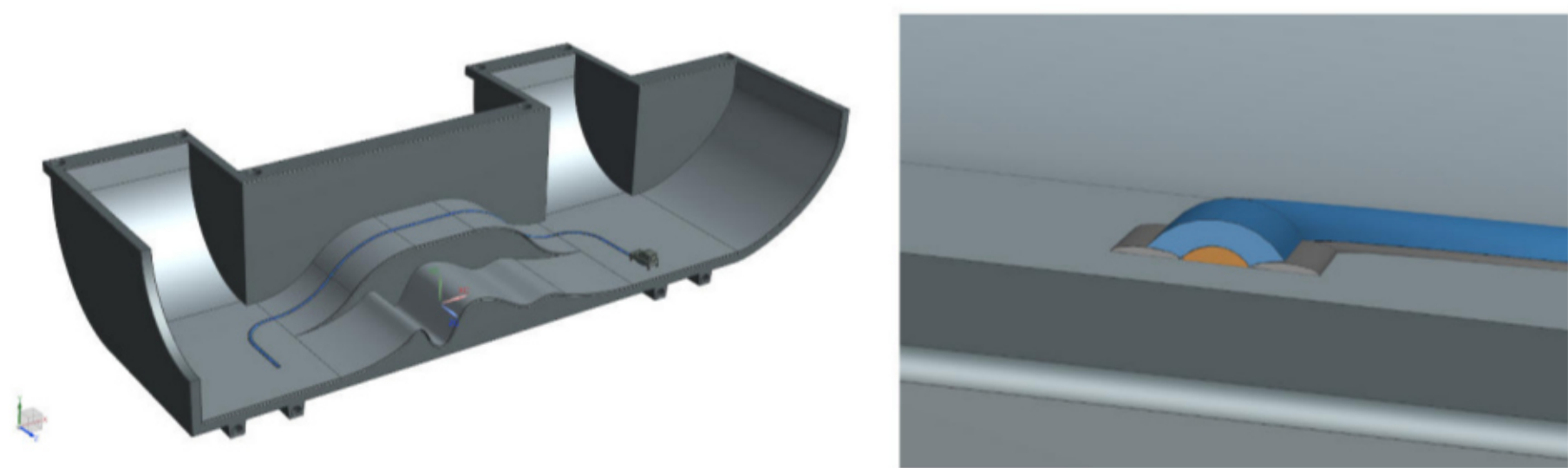


Abbildung 1: CAD-Skizze des verlegten POW auf einem 3D-Strukturbauteil (links) mit Querschnitt (rechts).

SIMULATIONSMETHODE

Die Simulationemethode [4] basiert auf der Verbindung von nicht-sequentiellm Raytracing mit einem Monte-Carlo-Ansatz, der die Rauheit zwischen Kern- und Mantelmaterial des Wellenleiters mit berücksichtigt. Dabei wird bei jedem Auftreffen eines einfallenden Strahls der ausfallende Strahl je nach seiner Wahrscheinlichkeit (im Leistungsspektrum) berechnet (Abb. 2).

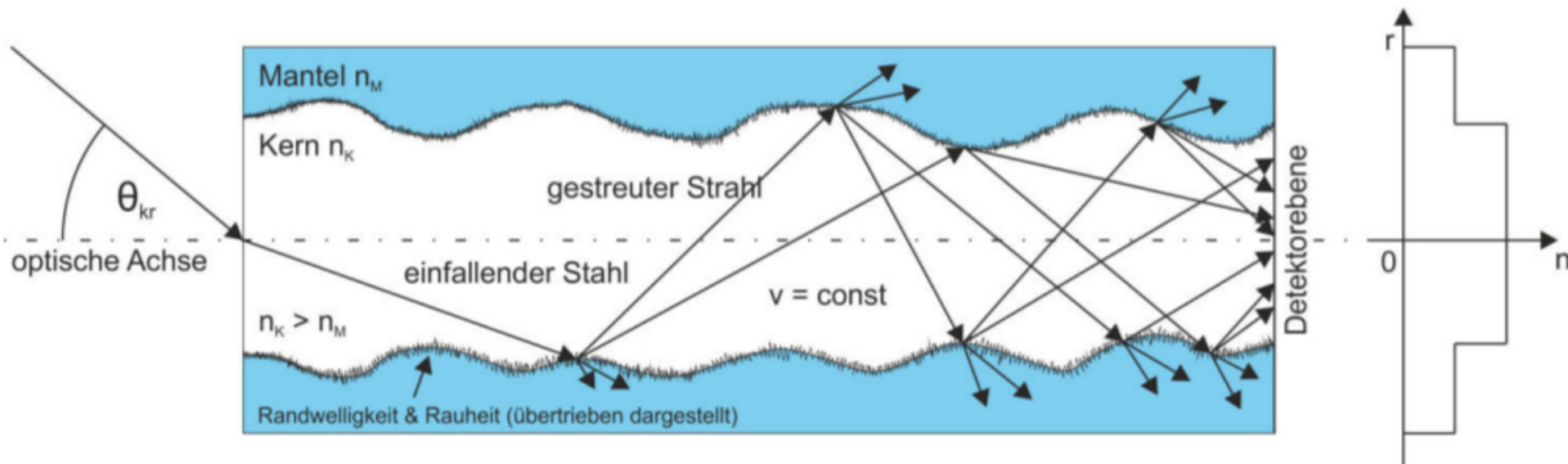


Abbildung 2: Prinzipskizze der Propagation im Wellenleiter (Streuung an der Grenzfläche zwischen Kern & Mantel).

DESIGN & SIMULATION

Die hier vorgestellten Design- und Simulationsergebnisse sind vor allem grundlagenorientierte Ergebnisse und dienen der Verifikation der Simulationemethodik im Hinblick auf experimentelle Messungen gedruckter POWs. Dabei spielt neben den Oberflächenparametern, welche hauptsächlich für die Streuung im Wellenleiter verantwortlich sind, die Geometrie der Wellenleiter eine wichtige Rolle. Außerdem weisen die Wellenleiter unterschiedliche Krümmungen bezüglich der Platzierung (d.h. der Verlegung des Pfades) auf einem 3D-Strukturbauteil auf. Es wurden „halbkreisförmige“ Wellenleiter (Kreissegmente) durch die Simulationemethode untersucht und nachfolgend abgebildet. Ein vollkommen dreidimensionaler Wellenleiter wird zum Beispiel durch verschiedene Torusfunktionen ermöglicht.

KREISSEGMENTE

Simulation mit der durch den additiven Druckprozess verursachten Kreissegment-Geometrie des Wellenleiters (Abb. 3).

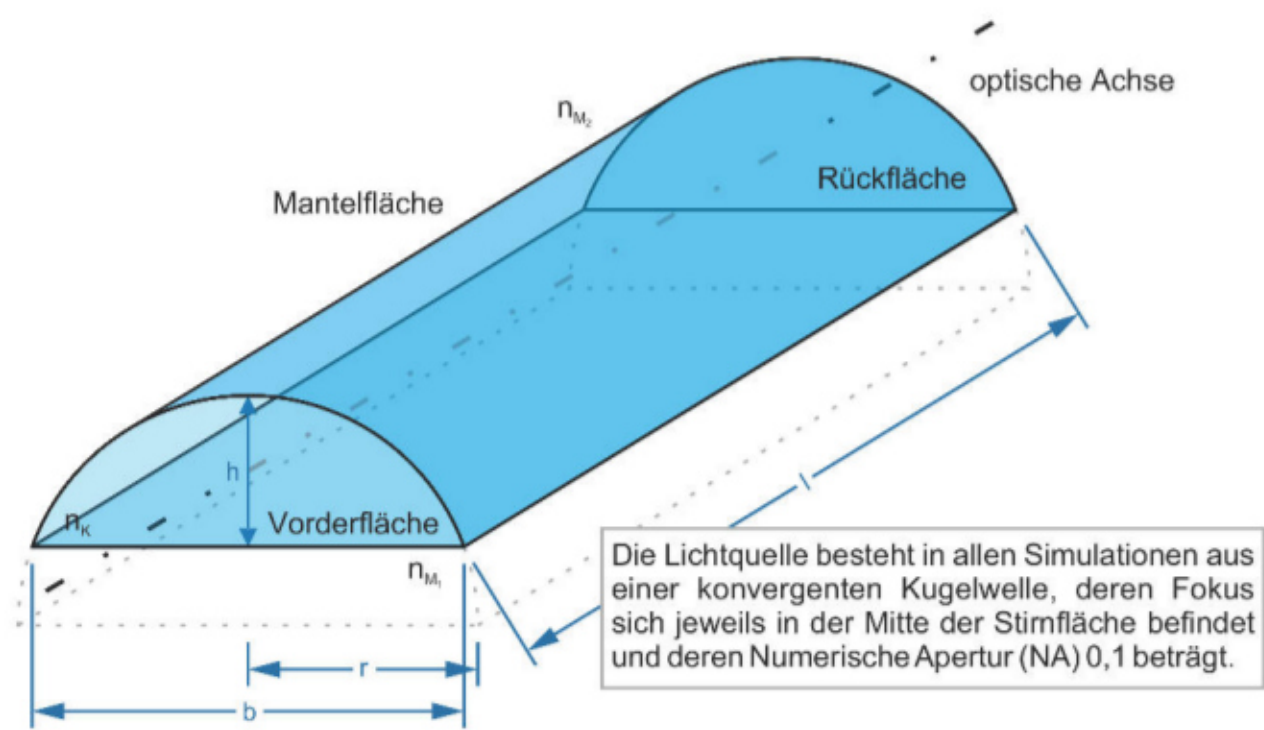


Abbildung 3: Wellenleiter-Querschnitt des Kreissegments

Die wichtigsten Designparameter, resultierend aus den Prozessparametern und den verwendeten Materialien, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

λ [nm]	b [μ m]	h [μ m]	r [μ m]	n_K [μ m]	n_{M1} [μ m]	n_{M2} [μ m]
850	300	45	274	1,59 (EpoCore)	1,49 (PMMA)	1 (Air)

Die Einkoppel-NA in den Wellenleiter beträgt bei den Simulationen 0,1.

Tabelle 1: Designparameter der POW-Geometrie.

Die Korrelationslänge (KL) und der RMS-Wert der Grenzfläche (Kern–Mantel) der Wellenleiter betragen für Abbildung 4 und 5 18 μ m und 200 nm.

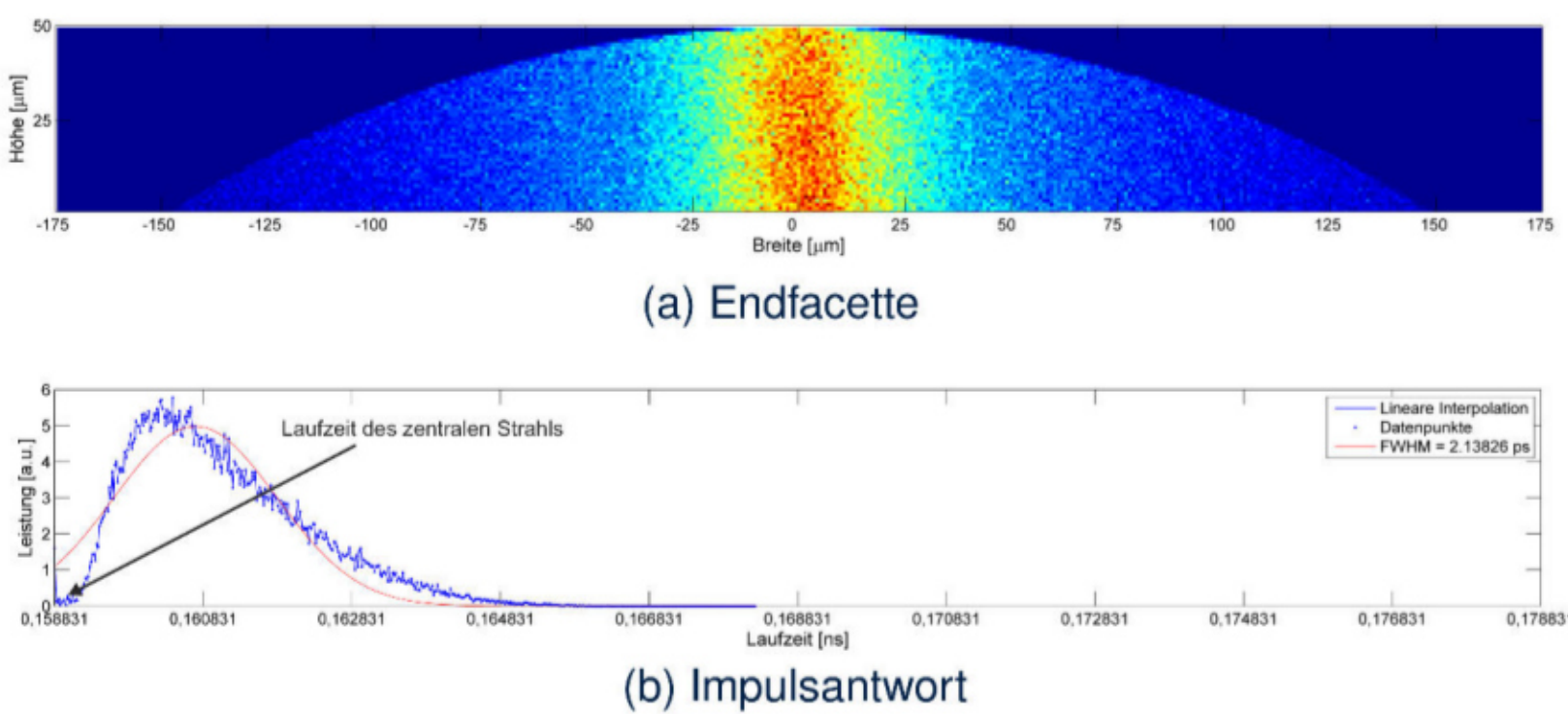


Abbildung 4: Wellenleiterergebnisse nach 3 cm Ausbreitung.

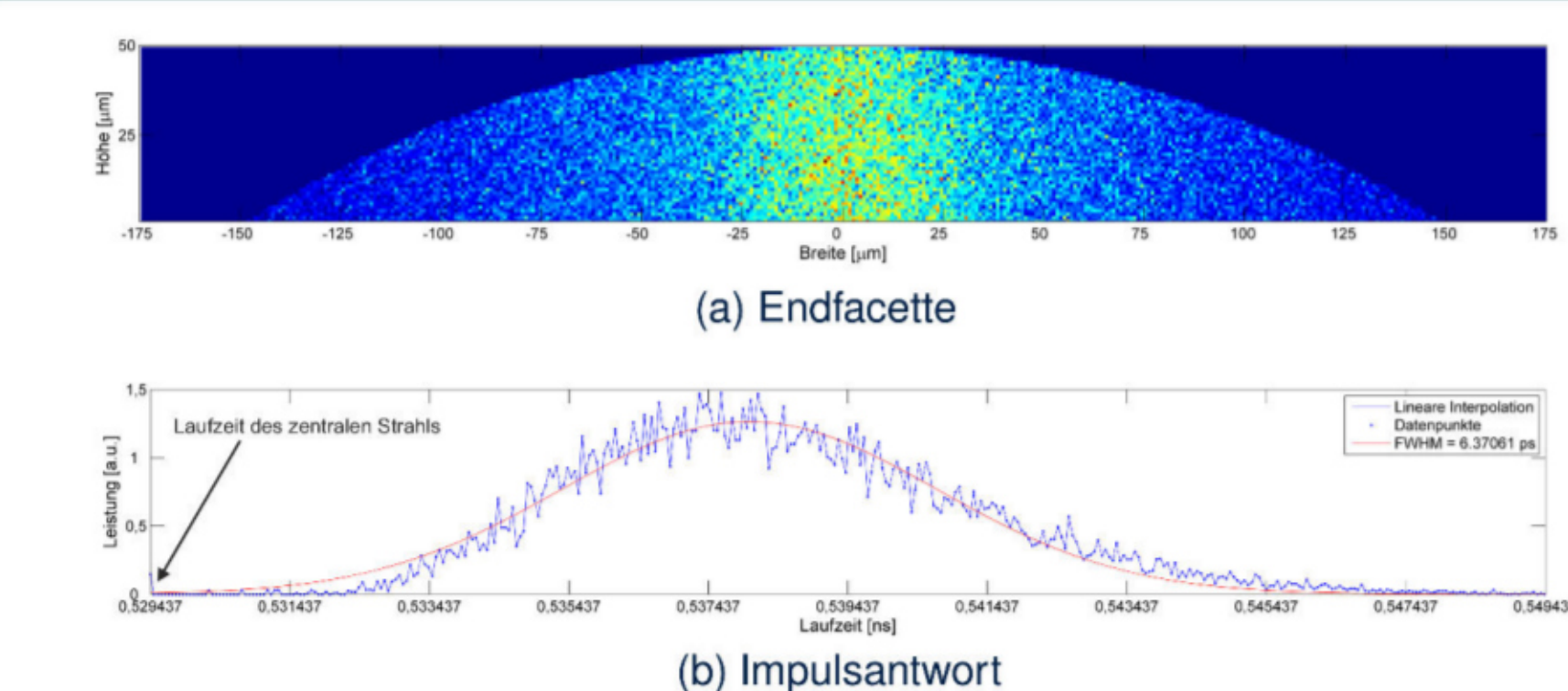


Abbildung 5: Wellenleiterergebnisse nach 10 cm Ausbreitung.

Abbildung 6 zeigt die Dämpfungswerte sowie die Impulsantworten bei Variation von KL und RMS-Wert, d.h. den Oberflächenparametern der Grenzfläche, für verschiedene Wellenleiterlängen zwischen 1 cm und 10 cm.

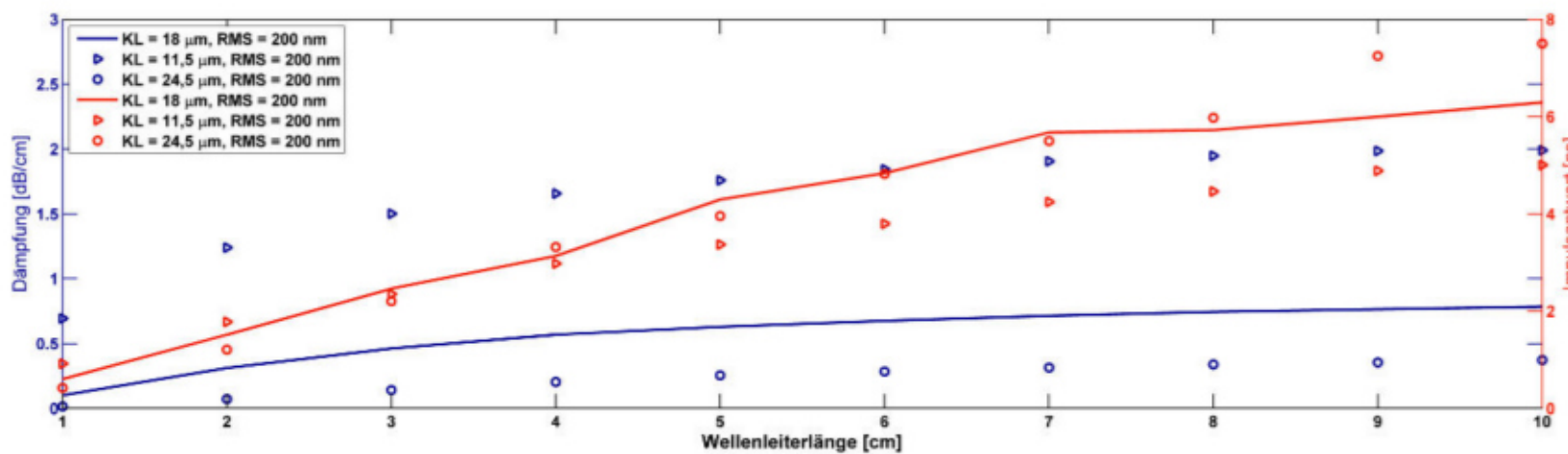


Abbildung 6: Dämpfungs- und Impulsantwortwerte bis 10 cm.

In Abbildung 7 variiert die Kreissegmentkrümmung des Wellenleiters und dementsprechend die Höhe von 75 μ m zu 25 μ m (b : 150 μ m) bei gleichbleibenden Materialien bei einer Ausbreitungslänge von 5 cm.

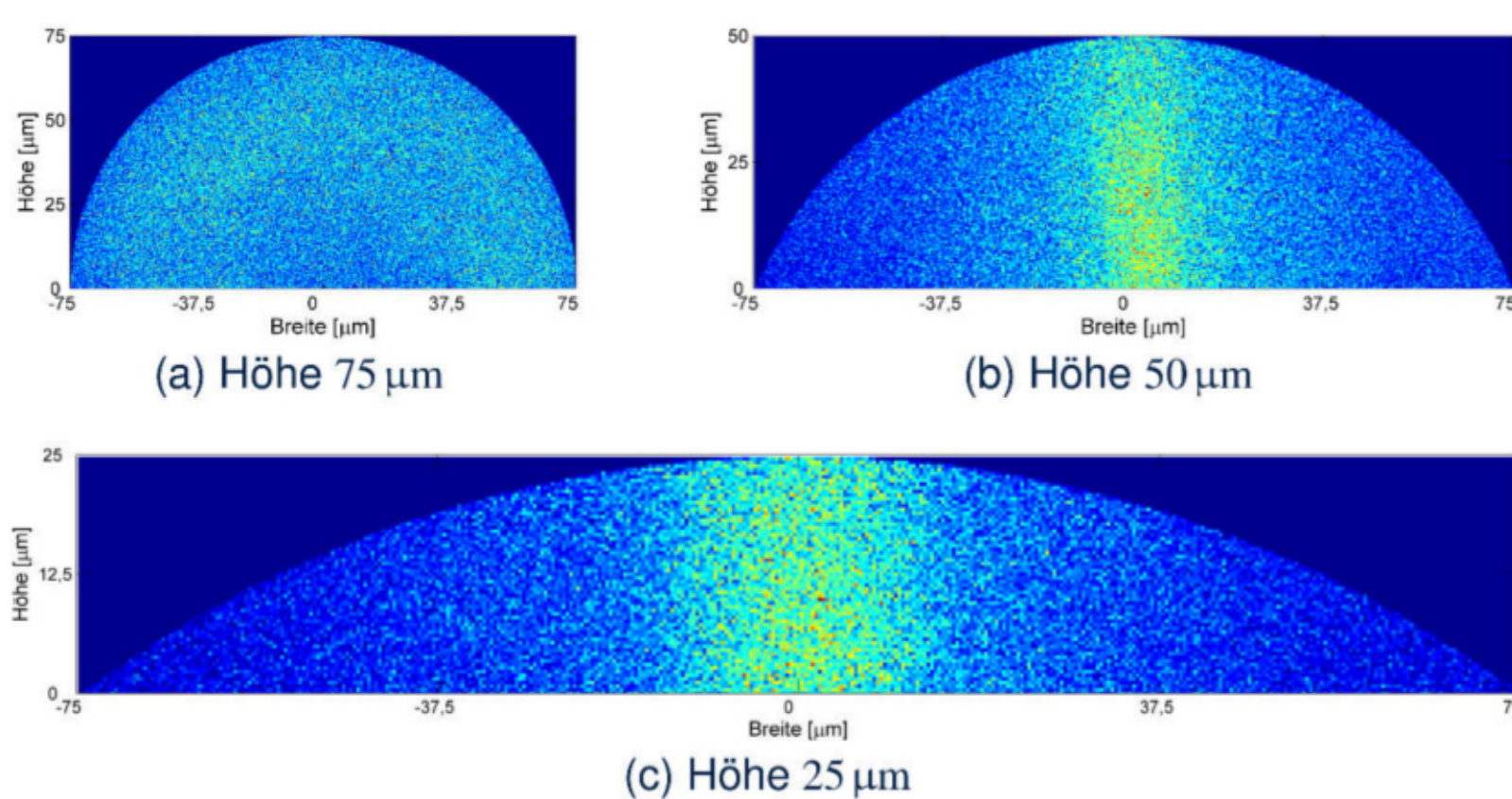


Abbildung 7: Wellenleiterergebnisse nach 5 cm Ausbreitung.

TORUSFUNKTION

3D-Wellenleiter zusammengesetzt aus verschiedenen Torusfunktionen (wobei nur ein gekrümmtes Stück zur Simulation verwendet wurde – Abb. 9).

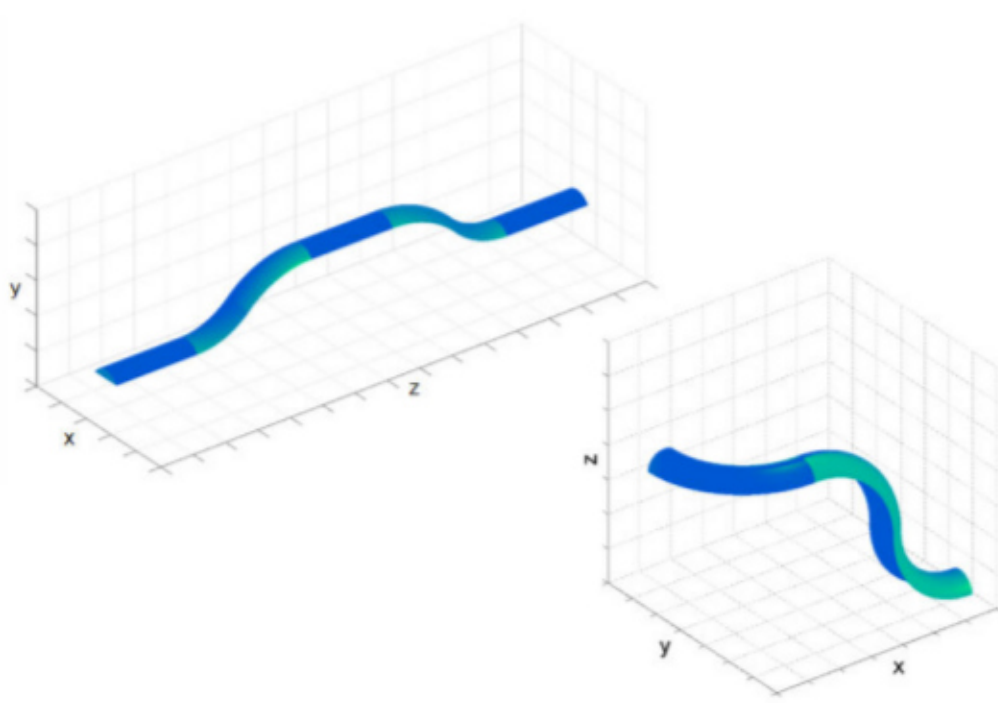


Abbildung 8: Skizzen zweier torusförmig geformter 3D-Wellenleiter.

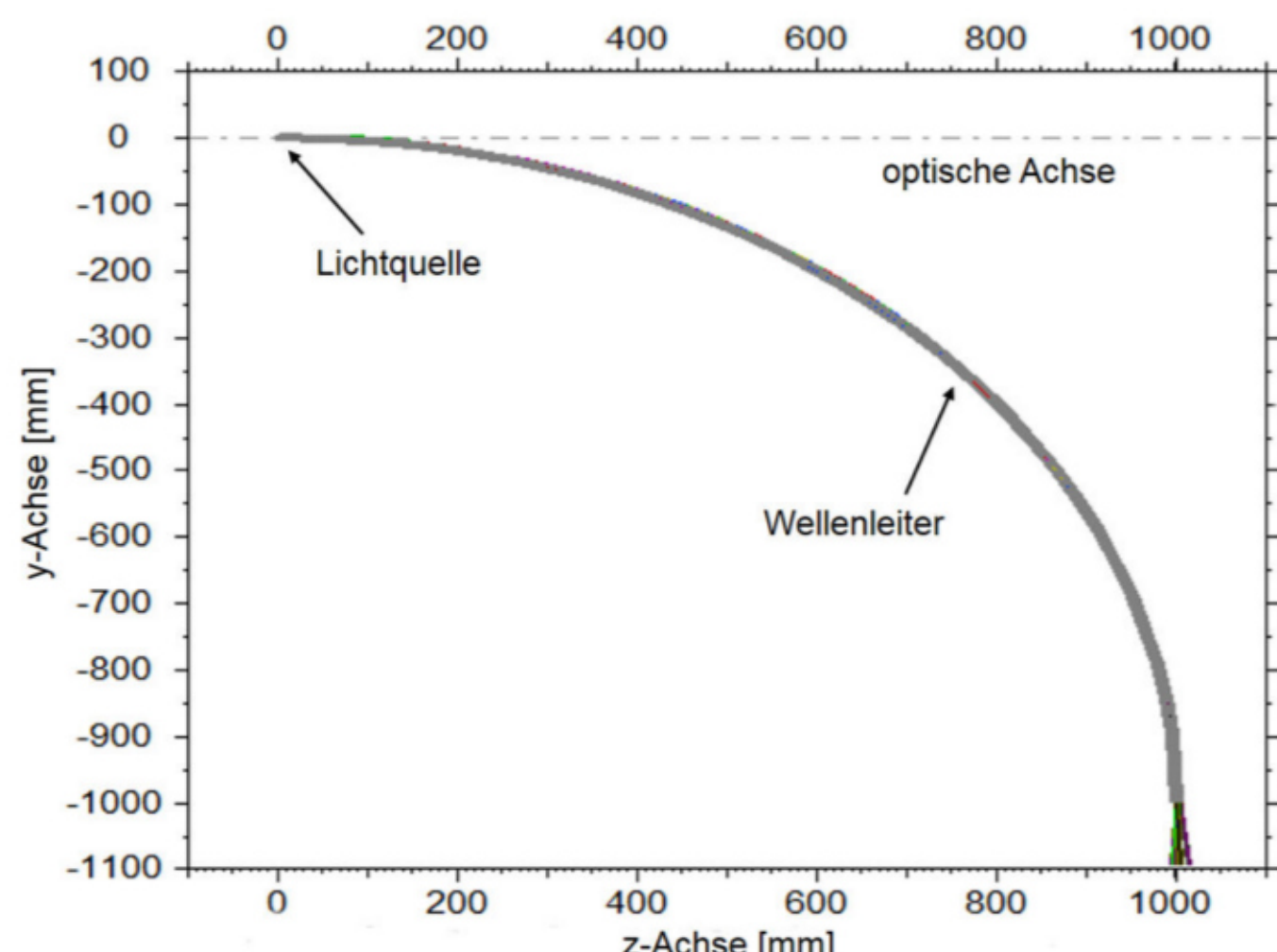


Abbildung 9: yz-Schnittebene eines zur Simulation verwendeten Torus.

FAZIT

Der additive Fertigungsprozess zieht auch im Bereich der optischen Datenübertragung ein. Dementsprechend werden vorgelagerte Design- und Simulationsprozesse immer wichtiger, um POWs im Hinblick auf effiziente Datenübertragung auf Strukturbauteilen zu ermöglichen. Die erwähnten Simulationen stellen erweiterte Ergebnisse der aktuellen Forschung der Forschergruppe dar.

[1] F. Loosen, C. Backhaus, N. Lindlein, J. Zeitler und J. Franke, *Design and simulation rules for printed optical waveguides with implemented scattering methods in CAD and raytracing software*, Proceeding (117. DGaO-Jahrestagung, Hannover, 2016)
[2] C. Backhaus, F. Loosen und N. Lindlein, *Effiziente Berechnung der Impulsantwort zeitabhängiger Signale in gedruckten Polymer Optischen Wellenleitern (POWs)*, Proceeding (118. DGaO-Jahrestagung, Dresden, 2017)
[3] F. Loosen et al., *Approach for the production chain of printed polymer optical waveguides—an overview*, Research Article (Appl. Opt., 56(31), S. 8607–8617, DOI: 10.1364/AO.56.008607, 2017)
[4] F. Loosen et al., *Implementation of a Scattering Method for Rough Surfaces in a Raytracing Software linked with a CAD (Computer-Aided Design) Toolbox*, Proceeding (FIO (Frontiers in Optics) 2016 - 100th OSA Annual Meeting, Rochester, 2016)