

# Simulative Entwicklung eines polymerbasierten, spritzgießfähigen Arrayed Waveguide Grating für den Einsatz in der optischen Kurzstreckenkommunikation

Katharina Strathmann\*, Sebastian Smarzyk\*, Matthias Haupt\*

\*Jade Hochschule, Friedrich-Paffrath-Str. 101, 26389 Wilhelmshaven

[katharina.strathmann@jade-hs.de](mailto:katharina.strathmann@jade-hs.de)

Die Bandbreite schneller optischer Datenübertragungen wird durch simultane Verwendung mehrerer Kanäle signifikant erhöht. Aufgrund gravierender Unterschiede der optischen Eigenschaften von Glas und Polymeren ist ein solches Verfahren bislang nicht für die polymerbasierte Kommunikation verfügbar. An der Jade Hochschule wird ein entsprechendes Bauteil entwickelt.

## 1 Einführung

Für die optische Langstreckenkommunikation via optische Glasfaser (glas optical fiber, GOF) sind die Komponenten für optische Netzwerke bestens erforscht und kommerziell erhältlich. Hingegen mangelt es in der optischen Kurzstreckenkommunikation via optischer Polymerfaser (polymer optical fiber, POF) an diesen Komponenten. Hierdurch steht derzeit nur ein einziger Kanal (entsprechend einer einzigen Wellenlänge) zur Datenübertragung zur Verfügung, wodurch die Datenrate stark eingeschränkt ist. Eine Komponente zur Erhöhung dieser Datenrate ist ein Wellenlängenmultiplexer (WDM), beispielsweise auf Basis eines Arrayed Waveguide Grating (AWG) [1,2]. Diese sind Stand der Technik für GOF, um mehrere Kanäle gleichzeitig über eine einzelne Faser zu übertragen. Aufgrund unterschiedlicher Materialeigenschaften ergeben sich für ein polymerbasiertes AWG völlig neue Herausforderungen im Vergleich zur glasfaserbasierten Kommunikation.

## 2 Wellenlängenmultiplexing (WDM)

Wellenlängenmultiplexing (Wavelength Division Multiplexing, WDM) beschreibt ein Verfahren, bei dem mehrere Wellenlängen auf einer Faser vereint bzw. getrennt werden. Jede Wellenlänge entspricht hierbei einem Datenkanal.

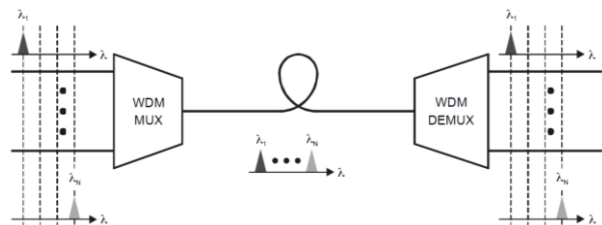


Abb. 1 Prinzip des WDM-Verfahrens anhand einer einfachen Übertragungsstrecke [3]

Abb. 1 stellt von links nach rechts das Prinzip anhand einer einfachen Übertragungsstrecke mit Eingangsfasern monochromatischem Lichts, vereinigendem WDM-Element, Faser mit polychromatischem

Licht, trennendem WDM-Element sowie Ausgangsfasern monochromatischem Lichts dar.

Je mehr Datenkanäle auf diese Art realisiert werden können, je größer ist die erreichbare Datenrate.

## 3 Arrayed Waveguide Grating (AWG)

Ein in Kapitel 2 beschriebenes trennendes WDM-Element kann mittels eines AWG realisiert werden.

Abb. 2 skizziert das Funktionsprinzip eines AWG: Durch Einsatz einer Strahlaufweitung (2) treffen identische Anteile polychromatischen Lichts einer Eingangsfaser (1) auf ein Wellenleiterarray (3). Dessen einzelne Fasern weisen einen definierten Längenunterschied und damit eine definierte Phasenverschiebung auf, wodurch in der Interferenzregion (4) die einzelnen Wellenlängen an unterschiedlichen Positionen positiv interferieren und in passend platzierten Ausgangsfasern (5) weitergeführt werden können.

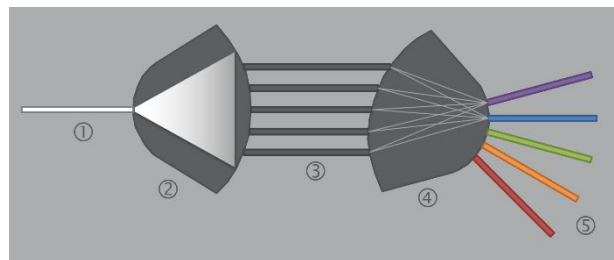


Abb. 2 Prinzip eines AWG mit den Teilbereichen 1) Eingangsfaser, 2) Strahlaufweitung, 3) Wellenleiterarray, 4) Interferenzregion und 5) Ausgangsfasern [4]

## 4 Herausforderung

Während WDM-Verfahren für GOF etabliert sind, kommt es bei Einsatz von POF zu verschiedenen Herausforderungen.

Eine dieser Herausforderungen liegt im Dämpfungsverhalten von POF, welches sich grundlegend vom Dämpfungsverhalten von GOF unterscheidet [5]. Zum einen weichen die jeweiligen Dämpfungsminima voneinander ab: Für POF liegt dies im sichtbaren Wellenlängenbereich um 550 nm, für GOF

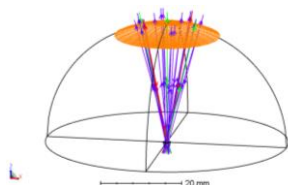
hingegen im infraroten Wellenlängenbereich um 1500 nm. Hieraus folgt für POF die Nutzung des sichtbaren Spektrums, während für GOF Infrarotwellenlängen verwendet werden. Zum anderen ist die Dämpfung von POF generell weitaus größer als die von GOF. Daher muss die Einfügedämpfung ins Polymerbauteil so gering wie möglich gehalten werden.

Eine weitere Herausforderung stellt der typische Durchmesser einer POF von 1 mm dar: Ein größerer Abstand benachbarter Ausgangsfasern als bei GOF und damit einhergehend eine deutlich von GOF-AWG abweichende Bauteildimensionen sind die Folge.

Aufgrund der unterschiedlichen optischen Eigenschaften von GOF und POF ist ein Neudesign aller Kernkomponenten des AWG notwendig.

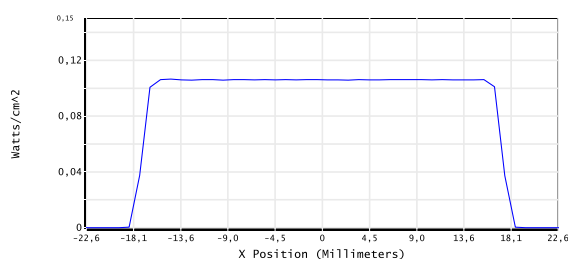
## 5 Simulation

Die Strahlaufweitung wird mittels Raytracing in *Ansys ZEMAX OpticStudio* simuliert. Die Quelle wird analog zum Verhalten einer POF und mit den Wellenlängen 405 nm, 450 nm, 520 nm und 660 nm gewählt. Als Bauteilmaterial wird entsprechend einer Standard-POF Polymethylmethacrylat (PMMA) eingesetzt. In [4] wird die Simulation detailliert beschrieben. Um sowohl interne Reflexionen auszuschließen als auch eine identische optische Weglänge aller Teilstrahlen zu erzielen wird eine gewölbte Austrittsfläche mit Ursprung in der Quelle gewählt.



**Abb. 3** Bauteilgeometrie mit Strahlen verschiedener Wellenlängen und virtuellem Detektor

Abb. 3 zeigt die Bauteilgeometrie, dargestellt als Halbkugel, mit den Strahlen farblich entsprechend ihrer Wellenlänge gekennzeichnet. Die orange Kuppel stellt einen virtuellen Detektor dar. Erste Ergebnisse zeigen hier ein zentral eingesunkenes Intensitätsprofil, dessen Zentrum auf der optischen Achse liegt. Dies steht der Erwartung eines flachen Intensitätsprofils wie in Abb. 4 dargestellt gegenüber.



**Abb. 4** Erwartetes Intensitätsprofil

Die Simulation des Wellenleiterarrays erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt ebenfalls via Raytracing. Hier sind Herausforderungen aufgrund der bei Multimode Fasern auftretenden Modendispersion zu erwarten.

Im Bereich der Interferenzregion treten wellenoptische Phänomene auf, so dass eine reine Raytracing-Simulation nicht in Frage kommt. Die erforderlichen Bauteildimensionen und Wellenlängen stellen hier eine weitere Herausforderung dar.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Da in der polymerbasierten Kurzstreckenkommunikation bislang keine Komponenten zur Erhöhung der Datenrate verfügbar sind, wird an der Jade Hochschule ein AWG-basiertes WDM für POF entwickelt. Herausforderungen finden sich hier in den Bereichen Materialdämpfung, Bauteilgröße und Multimodalität der POF. Die simulative Entwicklung zeigt erste Ergebnisse im Abschnitt der Strahlaufweitung, die jedoch noch nicht vollständig mit der Erwartung übereinstimmen. Die Simulation von Wellenleiterarray und Interferenzregion lässt weitere Herausforderungen bezüglich Modendispersion, Bauteildimension und Wellenlänge erwarten. Insbesondere im Bereich der Interferenzregion wird nach einem geeigneten Simulationsansatz gesucht.

## 7 Förderung

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

## Literatur

- [1] Smit, M. K. (1988): New focusing and dispersive planar component based on an optical phased array. In: *Electron. Lett.* 24 (7), S. 385. <https://doi.org/10.1049/el:19880260>
- [2] Smit, M. K.; van Dam, C. (1996): PHASAR-based WDM-devices: Principles, design and applications. In: *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.* 2 (2), S. 236–250. <https://doi.org/10.1109/2944.577370>
- [3] Fischer, U. (2002): *Optoelectronic Packaging: Optische Netze. Komponenten, Aufbautechniken. Faser-Chip-Kopplung*, 1. Aufl., Berlin, Offenbach: VDE Verlag.
- [4] Strathmann, K.; Smarzyk, S.; Haupt, M. (2024): "Challenges in the simulation of a multimode arrayed waveguide grating", *Proc. SPIE 12995, 3D Printed Optics and Additive Photonic Manufacturing IV*, 129950E (18 June 2024); <https://doi.org/10.1117/12.3022225>
- [5] Lee, S. C. J. (2009): Discrete multitone modulation for short-range optical communications, Phd Thesis, Electrical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR656509>