

# Innovative Produktionsverfahren zur drucktechnischen Herstellung 3D-geführter optischer Wellenleiter

Michael Dumke\*, Daniel Craiovan\*\*, Prof. Jörg Franke\*\*, Prof. Ludger Overmeyer\*, Dr. Ralf Rieske\*\*\*, Prof. Klaus-Jürgen Wolter\*\*\*

\* *Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, Leibniz Universität Hannover*

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

\*\*\* *Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Technische Universität Dresden*

[mailto: michael.dumke@ita.uni-hannover.de](mailto:michael.dumke@ita.uni-hannover.de)

Zur Erschließung neuer Anwendungen im Bereich dreidimensionaler optischer Sensornetze sind innovative Fertigungsprozesse für Wellenleiter inklusive der optischen Signalkopplung gefordert. In der vorliegenden Arbeit werden der Hochdruck auf flexiblen Substraten zur Erzeugung großflächiger und auch dreidimensionaler optischer Systeme sowie der Aerosoldruck zur Herstellung optischer Wellenleiter auf starren räumlichen Substraten in ihren prinzipiellen Verfahrensabläufen erläutert. Erste experimentelle Ergebnisse werden zusammen mit der zugehörigen Messmethodik vorgestellt. Neben den typischen optischen Eigenschaften der Wellenleiter werden Schichtdicke, Formstabilität und Oberflächenrauheiten in Abhängigkeit der Prozessparameter diskutiert.

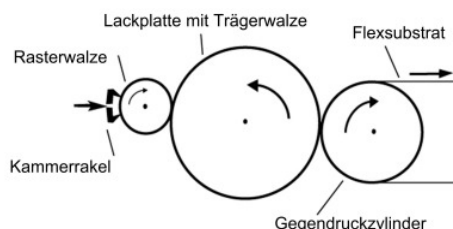
## 1 Einführung

Die Anwendung optischer Technologien in der Signalleitung und Sensorik gewinnt zunehmend an Bedeutung. Optische Wellenleiter bieten gegenüber elektrischen Leitern u. a. den Vorteil der Störunanfälligkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern sowie die Möglichkeit des Einsatzes in explosionsgefährdeten Bereichen [1]. Polymere Wellenleiter bieten im Vergleich zu ihrem Äquivalent aus Glas eine ausreichende Bandbreite, eine hohe Beständigkeit gegenüber mechanischen Belastungen und ein geringes Gewicht. Diese Arbeit stellt zwei neue Produktionsmethoden zur Herstellung polymerer Wellenleiter sowie erste experimentelle Ergebnisse vor. Die Produktion von Wellenleitern auf flexiblen Substraten erfolgt mittels Flexodruck und auf starren Bauteilträgern mittels Aerosoldruck.

## 2 Druckverfahren zur Produktion optischer Wellenleiter

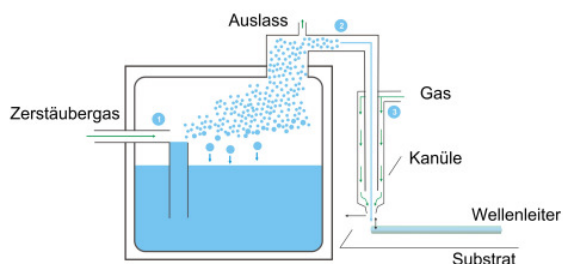
Der Flexodruck gehört zu den Rollenrotationsdruckverfahren. Kavitäten auf der Oberfläche einer Rasterwalze geben im Prozess das zu verarbeitende Material an die erhabenen Strukturen einer Lackplatte ab. Diese erzeugen auf dem Flexsubstrat das Druckbild (vgl. Abb. 1). Zur Fertigung integrierter Stufenindexwellenleiter sind drei Arbeitsgänge notwendig [2]. Zuerst muss ein optisches Polymer geringer optischer Dichte auf das Substrat aufgebracht werden. Im Folgenden wird der optische Kern einer höheren optischen Dichte

auf die erste Mantellage gedruckt. Abschließend wird die Struktur mit einer zweiten Mantellage versehen, um Totalreflexion an der Kern-Mantel-Grenzfläche zu bewirken.



**Abb. 1** Schematische Darstellung des Flexodruckverfahrens

Nach dem Prinzip des Aerosoldrucks (Abb. 2) wird das optische Polymer durch die Zuführung von Gas zerstäubt. Das Aerosol hat eine typische Tropfengröße kleiner  $5\ \mu\text{m}$ . Diese werden über eine Kanüle auf das Substrat aufgebracht.



**Abb. 2** Prinzip Aerosoldruck

Vorteilhaft an diesem Verfahren ist die Einsetzbarkeit von Aerosolanlagen in Verbindung mit CNC-gesteuerten Portalsystemen. Hierdurch wird die Applikation optischer Wellenleiter auf 3D-Bauteilen ermöglicht.

### 3 Methoden zur Prozessentwicklung und -optimierung

Der Materialauftrag bei der drucktechnischen Herstellung optischer Wellenleiter muss sich widersprechenden Anforderungen genügen. So wird eine sehr gute Haftung bei hoher Kantenstabilität mit vorzugsweise 1:1 Aspektverhältnis gefordert. Der Materialauswahl und -fortentwicklung kommt daher schon während der Auslegungsphase besondere Aufmerksamkeit zu. Für die Prozessevaluation und -optimierung, z.B. durch gezielte Oberflächenmodifikation, werden sowohl Verfahren zur Materialcharakterisierung eingesetzt als auch die resultierenden Wellenleiter bewertet.

Die rheologischen Eigenschaften der optischen Polymere wie ihr Fließverhalten aber auch das Benetzungsverhalten des vorbereiteten Substrates bestimmen die Topographie (Geometrie, Homogenität, Rauheit) des gedruckten Wellenleiters.

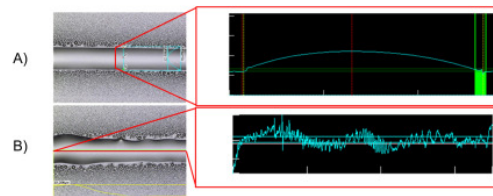
Material	Flexo UV 391620	Flexo UV 390119	Flexo UV 390120
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,1229	1,1021	1,0904
Oberflächen- spannung [N/m]	34,97±0,22	35,23±1,56	20,03±0,23
Grenzflächen- spannung zu Wasser [N/m]	2,96±0,06	1,64±0,01	1,50±0,18

**Abb. 3** ausgewählte Benetzungsparameter speziell entwickelter UV Lacke zum Flexo-Druck

Die Wellenleitercharakterisierung dient letztlich dem Funktionsnachweis und gibt unter Einbeziehung der Wellenleiterdämpfung als auch der Kopplerverluste entsprechender Endflächenpräparation eine Überlagerung aller Technologieparameter an. Anhand dieser Messung kann sowohl eine Technologiebewertung als auch Zuverlässigkeitsanalyse vorgenommen werden.

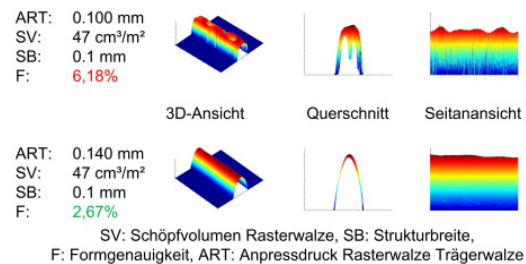
### 4 Strukturanalyse gedruckter Wellenleiter

Ein wesentliches Merkmal für eine effiziente Lichtführung in optischen Wellenleitern ist eine hohe Formgenauigkeit des Wellenleiterquerschnittes über seine Länge. Abbildung 4 zeigt Beispiele gedruckter Wellenleiter gegeben. Die Wahl der Prozessparameter beeinflusst hier qualitativ dargestellt die Formgenauigkeit  $F$  und somit die Güte der optischen Signalleitung. Zur quantitativen Bewertung der Formgenauigkeit werden gedruckte Wellenleiter mikroskopiert und die Strukturdaten in einer Matlabroutine verrechnet. Der Wellenleiter wird über seine Länge in einem Abstand  $\Delta z$  in einzelnen Querschnitten dargestellt.



**Abb. 4** Durch Aerosoldruck erzeugte Wellenleiter A) Wellenleiterquerschnitt B) Formgenauigkeit über die Wellenleiterlänge

Als Formgenauigkeit ist die relative Standardabweichung der jeweiligen Flächeninhalte definiert. Strebt diese gegen ein Minimum kann die Formgenauigkeit als hoch angenommen werden (vgl. Abb. 5). In weiteren Strukturanalysen werden die minimal erreichbaren Schichtdicken im Druckprozess bewertet. Der Flexodruck bietet die Möglichkeit die Schichtdicke über die Rasterwalzengravur zu bestimmen. Im Allgemeinen gilt, dass eine Rastergravur ca. 30% und eine Haschurengravur ca. 40% Materialübertrag ermöglichen.



**Abb. 5** Beeinflussung der Formgenauigkeit durch Variation des Anpressdruckes zwischen der Raster- und Trägerwalze

Zudem bestimmt das Schöpfvolumen sowie die Geometrie der Kavitäten maßgeblich die Schichtdicke im Flexodruck. Versuche mit einer 5-Zonen-rasterwalze zeigen, dass Schichtdicken bis zu 5  $\mu\text{m}$  bei einmaligen Drucken und ca. 12  $\mu\text{m}$  bei zweimaligen Drucken erzielt werden. Das maximale Schöpfvolumen beträgt in diesem Fall 17  $\text{cm}^3/\text{m}^2$ .

### 5 Ausblick

Erste experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass die drucktechnische Herstellung optischer Wellenleiter möglich ist. Zukünftige Arbeiten werden über die Strukturanalyse hinaus die optischen Eigenschaften gedruckter Wellenleiter bewerten und optimieren.

### Literatur

- [1] A. Basanskaya: „Electricity over Glas“ IEEE, Vol. 40, No. 10, S. 18, (2005)
- [2] T. Fahlbusch: Dispensieren polymerer Wellenleiter“ Dissertationsschrift, Berichte aus dem ITA, Band 01/2007