

# Elektrisch deformierte Linsen für optimierte optische Faserkopplung

Mike Dohmen\*, Andreas Heinrich\*, Cornelius Neumann\*\*

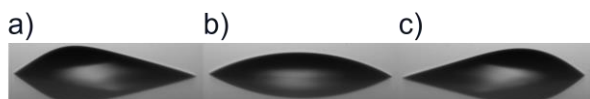
\*Zentrum für Optische Technologien, Hochschule Aalen  
\*\*Lichttechnisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie

<mailto:mike.dohmen@hs-aalen.de>

Es wird eine Methode zur Herstellung von Mikrolinsen auf Faserenden vorgestellt, bei der ein flüssiges Polymer durch elektrische Felder geformt und UV ausgehärtet wird. Die Linsenformen ergeben sich durch die elektrische Feldverteilung. Experimente und Modellierung zeigen den Zusammenhang zwischen optischer Leistung und Leistung und elektrischer Feldcharakteristik.

## 1 Einführung

Glasfasern sind heute nicht zu ersetzen und werden in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt, von der Medizin bis zur Datenübertragung. Ein wichtiger Parameter ist dabei die Übertragung (Kopplung) von Licht von einer Faser zur anderen. In der Literatur gibt es Hinweise, dass die Effizienz der Kopplung durch eine Linse am Faserende verbessert werden kann. Beispielsweise durch refraktive oder diffraktive Linsen [1]. Hier stellen wir einen Rapid-Prototyping-Ansatz für die Herstellung von Freiformlinsen vor, die auf einer optischen Faser angebracht sind. Der Ansatz basiert auf der Beobachtung, dass sich ein flüssiger Polymertropfen in einem starken elektrischen Feld verformt, wie in Abbildung 1 dargestellt. Die dargestellten Tropfen sind mit Spiegelung des Glassubstrats dargestellt. In Abbildung 1 a) und c) ist die Anode nach links bzw. rechts vom Tropfen verschoben, was zu einer asymmetrischen Verformung des Tropfens nach links und rechts führt. In Abbildung 1 b) ist die Anode über dem Tropfen zentriert, was zu einer symmetrischen Deformation führt.



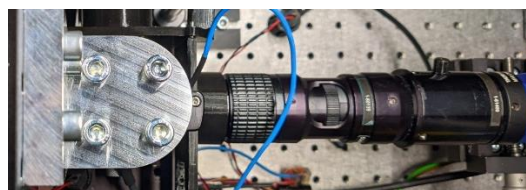
**Abb. 1** a) Deformierter Tropfen mit elektrischem Feld; b) Undeformierter Tropfen ohne elektrisches Feld; c) Deformierter Tropfen mit elektrischem Feld

Ein ähnlicher Ansatz für den achsensymmetrischen Fall wurde von Wu et al. untersucht, die eine Verbesserung der Kopplung mit deformierten Tröpfchen am Ende einer optischen Faser zeigten. [2]

## 2 Aufbau

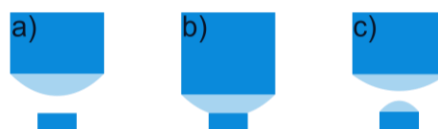
Für die wiederholbare Verformung eines Tropfens ist der Grundaufbau aus Anode, Kathode und einer Hochspannungsversorgung erforderlich. Die Bildaufnahmen der Tropfen im Experiment wird durch einen Schattenprojektionsaufbau bestehend aus einer LED, Kamera und Kameraobjektiv, realisiert.

Dieses Teilsystem ist zweimal im Aufbau vorhanden, um das Experiment in zwei orthogonalen Achsen zu betrachten. Das Substrat, in diesem Fall eine optische Faser, wird in einem Spannhalter gehalten, das auf einer XY-Achse montiert, um den Tropfen auf den Kamerachip zu fokussieren. In dieser Spannvorrichtung befindet sich auch die Kathode. Die Anode ist durch eine XYZ Achse bewegbar. Die Kamera und die Befestigung in der Draufsicht sind in Abbildung 2 zu sehen.



**Abb. 2** Draufsicht des Aufbaus

Für das Aufbringen von flüssigen Linsen auf eine optische Faser muss die Positionierung mit einer Präzision im Submikrometerbereich erfolgen [3]. Die hier verwendete Methode zum Auftragen von Harz für die Verwendung als Linse vermeidet diese Positionierungsschwierigkeiten. Dieser Vorgang hinterlässt ein definiertes, wiederholbares Tropfenvolumen auf der Faser. Diese Abfolge ist in Abbildung 3 zu sehen. Márquez-Cruz et al. haben bereits gezeigt, dass dieses Vorgehen funktioniert [4]. Dabei hängt ein Tröpfchen an einer stiftförmigen Geometrie über der Faser (a) und wird abgesenkt, bis die Flüssigkeit die Faser berührt (b). Dadurch wird die Flüssigkeit durch Kapillarkräfte einige Mikrometer unter die obere Oberfläche der Faser gezogen. Anschließend wird die obere Geometrie mit konstanter Geschwindigkeit nach oben bewegt, bis die Verbindung zwischen dem Tropfen auf der Faser und dem Tropfen auf dem Stift abreißt (c).

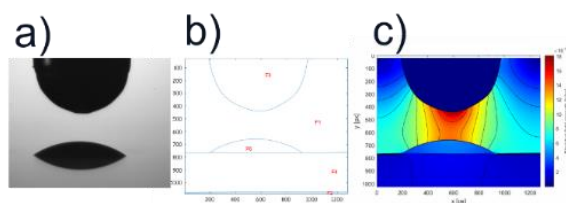


**Abb. 3** a) Hängender Tropfen an Stift; b) Stift und Faser verbunden; c) Tropfen auf Faser

### 3 Simulation

#### 3.1 Elektrisches Feld

Um die Verformung des Tropfens in Abhängigkeit des elektrischen Feldes zu analysieren, wird die Verteilung des elektrischen Feldes durch die Finite-Elemente Methode in *MATLAB* mit der *Partial Differential Equation Toolbox* berechnet. Die Geometrie, die Materialparameter und die aufgezeichnete Spannung dienen als Eingaben für die Simulation, die für jedes Bild von einem quasistatischen Problem ausgeht. In Abbildung 4 a) ist das aufgenommene Bild zu sehen, das mittels Bildverarbeitung in b) zu einem FEM Modell überführt wird. In c) ist die simulierte Feldstärke zu sehen.

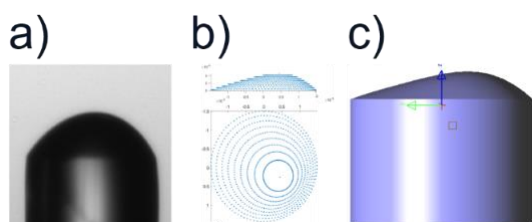


**Abb. 4** a) Aufgenommenes Bild; b) FEM Modell; c) Simuliertes elektrisches Feld

Aus der simulierten Feldstärke kann die Feldstärke auf der Tropfenoberfläche extrahiert werden.

#### 3.2 Optische Simulation

Die optische Simulation der Linsen erfordert ein 3D Modell, da die Linsen Geometrien nicht nur achssymmetrisch sind. Dafür wird die Geometrie aus einem Bild mithilfe von Interpolation rekonstruiert. Diese 3D Geometrie wird dann in das Raytracing Programm *Lighttools* importiert. In Abbildung 5 a) ist das aufgenommene Bild, in b) die extrahierte 3D Geometrie und in c) die in *Lighttools* eingefügte Geometrie abgebildet.



**Abb. 5** a) Aufgenommenes Bild; b) Rekonstruierte 3D Geometrie; c) Geometrie in *Lighttools*

### 4 Experiment

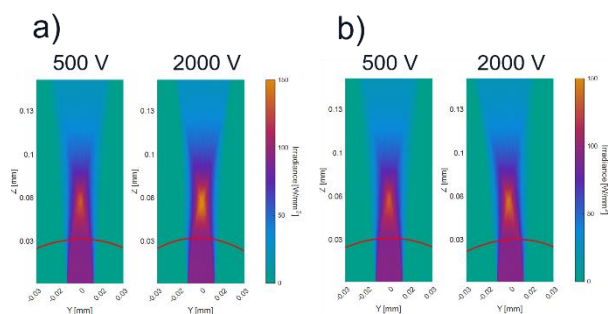
Insgesamt wurden 21 Experimente mit drei Anoden Positionen mit je sieben Spannungslevel von 500 V bis 2000 V gemacht.

### 5 Ergebnisse

Die Analyse konzentriert sich auf zwei Fälle. Im ersten Fall war die Anode direkt über dem Tropfen. Beim Vergleich der Lichtverteilung bei 500 V gegenüber 2000 V fällt auf, dass die Bestrahlungsstärke im Fokuspunkt erhöht ist, während sich die Position

des Fokuspunktes nicht verändert. Daraus kann geschlossen werden, dass die Effizienz im Fokuspunkt steigt. In Abbildung 6 a) sind die Bestrahlungsstärken zu sehen.

Bei einer exzentrischen Anode deformiert sich der Tropfen asymmetrisch, wie an der roten Kontur in Abbildung 6 b) zu sehen ist. Dabei wird das Licht in die entgegengesetzte Richtung gebrochen, was zu einer Umlenkung des aus der Faser kommenden Lichts führt.



**Abb. 6** Bestrahlungsstärke bei 500 und 2000 V bei a) Achssymmetrischer Deformation; b) Nicht-Achssymmetrischer Deformation

Dieser Effekt könnte verwendet werden, um mehrere Fasern in eine zu fokussieren.

### 6 Fazit

In diesem Paper wurde das Potenzial von elektrisch deformierten Linsen auf Glasfasern gezeigt. Die Ergebnisse deuten darauf, dass durch das vorgestellte Verfahren die Faserkopplung verbessert werden könnte. Da es sich bei den Bestrahlungsstärkenwerten um Simulierte Werte handelt, müssen diese noch in Messungen verifiziert werden.

### Literatur

- [1] M. G. A. R. Federica Piccirillo, "(INVITED) Miniaturized lenses integrated on optical fibers: Towards a new," *Results in Optics*, vol. 6, 2021.
- [2] Y.-D. T. S.-M. K. a. C.-H. L. Chun-Ching Wu, "Fabrication of aspherical lensed optical fibers with an electro-static pulling of SU-8 photoresist," *Optics Express*, vol. 19, no. 23, 2011.
- [3] Y. X. a. F. Xu, "Multifunctional integration on optical fiber tips:," *Advanced Photonics*, vol. 2, no. 6, 2020.
- [4] V. A. M.-C. a. J. A. Hernández-Cordero, "Fiber optic Fabry-Perot sensor for surface tension analysis," *Optics Express*, vol. 22, no. 3, pp. 3028-3038, 2014.