

Dielektrophoretische Herstellung von Mikrolinsen

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

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

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

Die Dielektrophorese ermöglicht die individuelle Formung von Mikrolinsen durch die Manipulation von flüssigen Polymertropfen mittels elektrischer Felder. Die Autoren präsentieren einen Versuchsaufbau zur Deformation der Tropfen und diskutieren den Zusammenhang zwischen Elektrodenabstand, elektrischer Feldverteilung, Tropfenvolumen und Deformation.

1 Einführung

Die Tendenz in der Photonik geht zu immer kleineren Systemen. Ein wichtiger Teil davon sind z.B. Mikrolinsen, die verwendet werden können um das Licht in die gewünschte Lichtverteilung zu formen. Gewünscht wären dafür Freiformoptiken.

Ein neuartiges Verfahren dazu wird in diesem Paper vorgestellt. Die Grundlage für dieses begründet die Beobachtung, dass sich ein flüssiger Polymertropfen in einem starken elektrischen Feld deformiert, wie in Abb. 1 dargestellt.

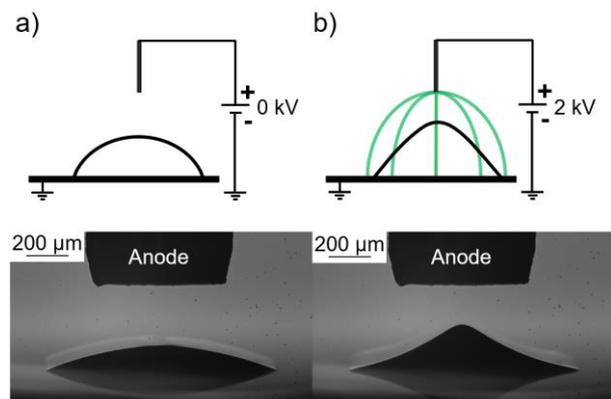


Abb. 1 a) Undeformierter Tropfen ohne elektrisches Feld; b) Deformierter Tropfen mit elektrischem Feld

2 Kräftebetrachtung

Aus dieser Beobachtung ergibt sich die Schlussfolgerung, dass zusätzlich zu den auf den Tropfen im Gleichgewicht wirkenden Kräften eine weitere Kraft wirken muss, die durch das Elektrische Feld induziert wird. Für einen Tropfen im Gleichgewicht gilt:

$$F_g + F_\sigma - F_{atm} = 0 \quad (1)$$

Mit F_g als Gravitationskraft, F_σ als Oberflächenspannungskraft und F_{atm} als Kraft durch den Druckunterschied zwischen dem Tropfeninneren und der Umgebung. Wird nun ein elektrisches Feld angelegt, so wird wie in Abb. 2 zu sehen ist eine weitere Kraft induziert:

$$F_g + F_\sigma - F_{atm} + F_e = 0 \quad (2)$$

Mit F_e als durch das E-Feld induzierte Kraft.

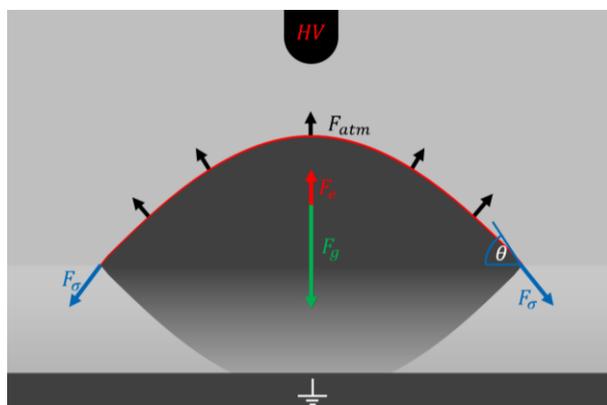


Abb. 2 Kräfte auf dem Tropfen mit elektrischem Feld

Diese Kraft F_e kann durch den Maxwell'schen Spannungstensor beschrieben werden, indem dieser über die Tropfenfläche integriert wird:

$$\vec{F}_e = \int_S T_{ik} n_k dS \quad (3)$$

$$T_{ik} = \epsilon_0 * \epsilon \left(E_i E_k - \frac{1}{2} \delta_{ik} |E|^2 \right) \quad (4)$$

Mit T_{ik} als Maxwell'scher Spannungstensor, ϵ_0 als elektrische Feldkonstante, ϵ als Permittivität des Tropfens, E als elektrisches Feld und δ als Kronecker Delta. Zur Untersuchung dieses Zusammenhangs wird zum einen ein Aufbau benötigt, der ein kontrolliertes Elektrisches Feld mit Datenaufnahme erzeugen kann und zum anderen eine Analysemöglichkeit um das Elektrische Feld an der Oberfläche des Tropfens während der Deformation zu berechnen. [1]

3 Aufbau

Der Aufbau besteht in der Versuchskammer aus einer Anode, einer Kathode und einem Substrat auf dem der Polymertropfen liegt. Diese Konfiguration ist in Abb. 3 zu sehen.

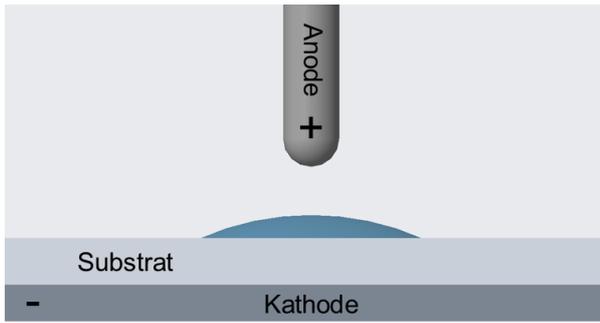


Abb. 3 Konzept des Versuchsaufbaus

Da das elektrische Feld veränderbar sein soll, muss die Anode beweglich sein sowie wechselbar um andere Anoden Geometrien zu integrieren. Dies wird mit Linearachsen und einem Wechselsystem realisiert. Zur Datenaufnahme der Tropfen während der Deformation wird auf die Schattenprojektion zurückgegriffen. Dabei wird durch ein Objekt das sich zwischen einer Lichtquelle und einem Kamerasystem befindet, das Licht abgeschattet. Dieser Schatten beschreibt die Form des Objekts und kann durch Kanten Erkennung mathematisch angenähert werden. Zur Fokussierung sind noch weitere Linear Achsen implementiert. Eine schematische Darstellung des Aufbaus ist in Abb. 4 gezeigt.

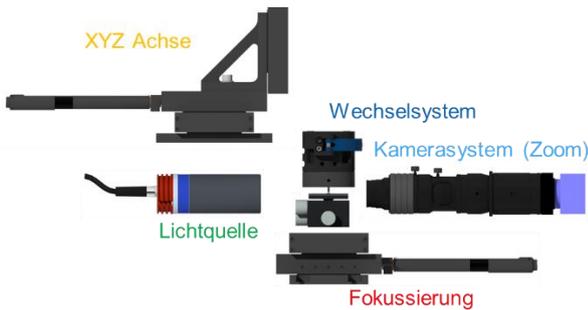


Abb. 4 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Mit diesem Aufbau können nun Tropfen gezielt deformiert werden.

4 Analyse

Die im Versuch aufgezeichneten Daten in Form von Bildern des Tropfens, Spannungen und Positionen der Anode können verwendet werden, um das elektrische Feld während des Versuchs Numerisch zu berechnen. Mit der aus den Bildverarbeitung gewonnenen Anoden- und Tropfenkontur sowie der Anodenposition P_{Anode} kann die Geometrie für ein Finite Elemente Modell aufgebaut werden. Zur Lösung desselben müssen noch die Materialparameter in Form der Permittivität des Tropfens ϵ_{liquid} und der Luft ϵ_{air} bekannt sein, sowie die Spannung U_{Anode} die im Moment der Bildaufnahme anlag. Dieses Modell wird dann vernetzt und gelöst. Das vernetzte Modell ist in Abb. 5 FEM Modell des Versuchs zu sehen.

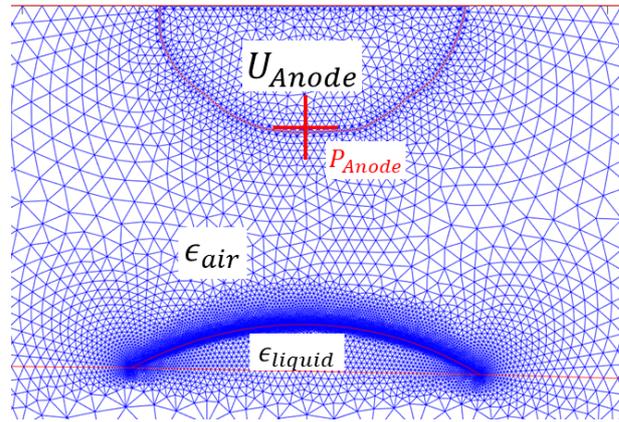


Abb. 5 FEM Modell des Versuchs

Die Lösung liefert die Spannung und das Feld an jedem Knotenpunkt.

5 Fokusverschiebung

Diese Feldverteilung kann verwendet werden, um z.B. die Fokusverschiebung durch das elektrische Feld zu beschreiben. Dafür wird der Tropfen als Linse betrachtet, bei dem die Optische Achse in der Mitte liegt. Zur Fokusberechnung wird die paraxiale Näherung betrachtet, bei der nur die Strahlen nah an der Optischen Achse beachtet werden:

$$f = \frac{n_{air}}{(n_{drop} - n_{air}) * k} \quad (5)$$

Mit f als Brennweite, n_{air} und n_{drop} als Brechungsindizes für Luft und Tropfen und mit k als Krümmung im Scheitel. [2] Der Brennpunkt und die Optische Achse im Versuchsbild ist in Abb. 6 a) dargestellt. Bei Erhöhung des elektrischen Felds sinkt die Brennweite, dies ist in Abb. 6 b) gezeigt.

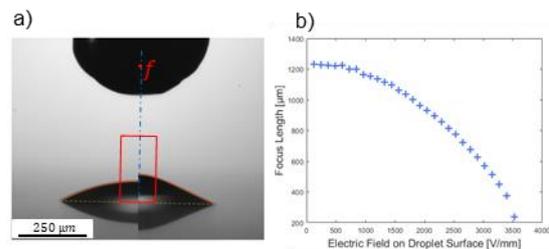


Abb. 6 a) Betrachteter Tropfen; Brennweite in Abhängigkeit des elektrischen Felds

6 Fazit

In diesem Paper wurde die Theorie, der Aufbau, Simulation und eine Anwendung der dielektrophoretischen Linsenherstellung vorgestellt.

Literatur

- [1] V. V. P. D. M. David Brutin, „Chapter 27 - Electric Forces,“ in *Droplet Wetting and Evaporation*, Elsevier, 2015, pp. 413-425
- [2] E. Hecht, *Optik*, De Gruyter, 2018.