

Optische Manipulation von Mikropartikeln in mikro-opto-fluidischen Systemen

A.Oeder *, M. Amberg*, C. Kremin*, A. Grodiran **, M. Hoffmann*, J. Metze,** S. Sinzinger*

*Technische Universität Ilmenau

** Institut für Bioprozess- und Analytentechnik Heiligenstadt

andreas.oeder@tu-ilmenau.de

In mikro-opto-fluidischen Anwendungen werden Anforderungen an die Optik gestellt, die spezifische Systemdesigns notwendig machen. Es werden zwei Verfahren zu optischen Mikromanipulation an einem realen Fluidiksystem demonstriert, mit denen Wechselwirkung über weite Distanzen erreicht werden kann.

1 Einführung

Seit der Vorstellung von optischen Pinzetten durch A. Ashkin im Jahre 1986 [1] wurden viele Varianten des einfachen Fangens von Mikropartikeln mit Licht experimentell erprobt [2] [3]. Die meisten dieser Versuche nutzen den Freiheitsgrad, die experimentelle Umgebung an die optischen Anforderungen anzupassen. In dem hier diskutierten Fall war das Ziel, optische Manipulation in ein bereits bestehendes System zu integrieren. Damit werden geometrische Anforderungen an die Optik gestellt, die eine genaue Untersuchung möglicher Lösungsvarianten nötig macht.

2 Einführung zum verwendeten Fluidikchip

Der eingesetzte Fluidikchip ist eine Entwicklung des IPHT Jena. Zum Einsatz kommt ein System, in dem segmentierte Flüsse erzeugt werden. Bei diesem Verfahren werden Tropfen wässriger Lösung in ein öliges Trägermedium eingebracht, so dass sich ein Fluss einstellt, bei dem separierte Wassertröpfchen in großer Zahl durch den Fluidkanal bewegt werden [4].

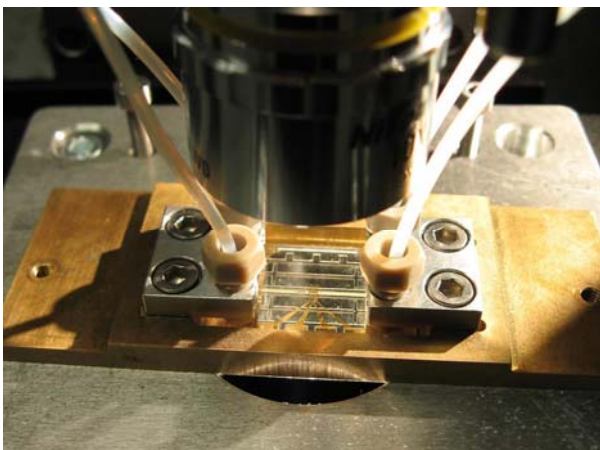


Abb. 1 Fluidikchip in Messinghalterung mit Schlauchanschlüssen und Beobachtungsobjektiv

Solche segmentierten Fluß-Systeme finden z. B. für Isolation und die Zucht seltener Bakterien-

kulturen Anwendung. Dies wird durch die Impfung der Wassertropfen (Kompartimente) mit verdünnten Zellkulturen möglich. Allerdings ist die Erfolgsquote dabei relativ gering, solange die Bestückung der Tröpfchen ein Zufallsprodukt ist. Optische Manipulation ermöglicht die gezielte Selektion und Anreicherung bestimmter Zelltypen in den Kompartimenten und hilft somit den Anteil geeigneter Kulturen zu erhöhen

Der verwendete Chip besteht aus 0,5mm dicken Glaswafern, die strukturiert werden und durch eine Bondschicht verbunden sind. Über 4 Schlauchanschlüsse kann dem öligen Trägermedium (Tetradekan) Wasser zudosiert werden und der segmentierte Fluss einem Lagersystem zugeführt werden.

3 Optische Manipulation

Das Prinzip, durch das es möglich ist, Partikel mit Licht fest zu halten, lässt sich etwas abstrahiert als Konsequenz aus dem Impulserhaltungssatz beschreiben. Im Teilchenmodell des Lichts, wird Photonen ein Impuls zugeordnet. Trifft ein Lichtstrahl auf z.B. ein Mikropartikel, so lassen sich Reflexion, Absorption und Brechung beobachten. Bei allen drei Effekten steht im Ergebnis die Änderung des Impulses des einfallenden Strahls. Nach dem Impulserhaltungssatz entsteht dabei eine Kraftwirkung auf das Teilchen. Bei ausgewählten Lichtverteilungen (z.B. stark fokussierten Gaußstrahlen) lässt sich ein stabiles Kräftegleichgewicht erreichen und damit Teilchen einfangen.

$$\vec{I} = \Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Optische Pinzetten, die mit einzelnen Objektiven mit hoher numerischer Apertur arbeiten, sind durch deren Arbeitsabstände auf wenige 100µm beschränkt. Dies sind deutlich zu geringe Arbeitsabstände um in die mikrofluidischen Kanäle des Fluidikchips zu gelangen. Daher mussten Alternativen gefunden werden, mit denen die notwendigen Lichtverteilungen erzeugt werden können. Die Erfolg versprechenden Konzepte sind eine coun-

terpropagating Pinzette und ein Aufbau mit Talbotgittern

4 Talbot Effekt

Der Talboteffekt ist eine Interferenzerscheinung, die hinter periodischen, beugenden Strukturen auftritt. Im dem Bereich, wo sich die durch Beugung entstehenden Teilwellen noch überlagern, bildet sich in diskreten Abständen (Talbotebenen) durch konstruktive Interferenz die Feldverteilung, die ursprünglich unmittelbar hinter dem Element vorliegt.

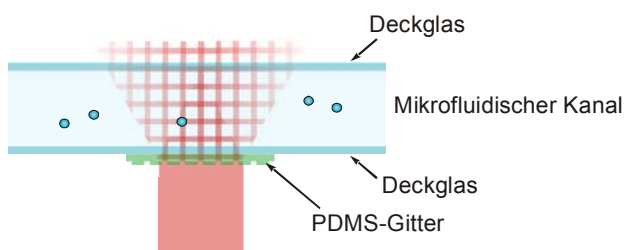


Abb. 2 Entstehung eines dreidimensionalen Intensitätsmusters hinter einem periodischen mikrooptischen Gitter (Talboteffekt)

Man spricht auch von Selbstabbildung. Die Abstände der Talbotebenen lassen sich so einstellen, dass mehrere Ebenen im Fluidkanal liegen und so eine massiv parallele Manipulation möglich wird. [5]. Ein zusätzlicher Vorteil für die Anwendung in der optischen Mikromanipulation bildet die Tatsache, dass die periodische Talbotmuster potentiell in allen drei Dimensionen stark fokussierte Potentialtöpfe ausbildet [6].

5 Counterpropagating Pinzetten

Dreidimensionales Fangen kann mit zwei Objektiven mit verhältnismäßig geringer numerischer Apertur erreicht werden, mit denen ein Partikel um 180° entgegengesetzt beleuchtet wird. Damit schieben sich die beiden Teilpinzetten das Teilchen gegenseitig zu und es stellt sich auf diesem Weg ein stabiler Fangpunkt ein.

6 Ergebnisse

Mit dem Talboteffekt konnte die Ablenkung eines Stroms von $3\mu\text{m}$ Polystyren-Partikeln um 6° von der ursprünglichen Laserleistung realisiert werden.

Dabei kam ein schachbrettartiges Phasenelement aus PDMS zum Einsatz. Die Strukturbreite betrug $6\mu\text{m}$ und die Stufenhöhe war für eine Phasenverzögerung von $\lambda/2$ bei einer Wellenlänge von 1064 nm berechnet [6]. Da die seitlichen Kräfte bei diesem Element noch relativ klein waren, mussten vergleichsweise hohe Laserleistungen (mehrere Watt) verwendet werden

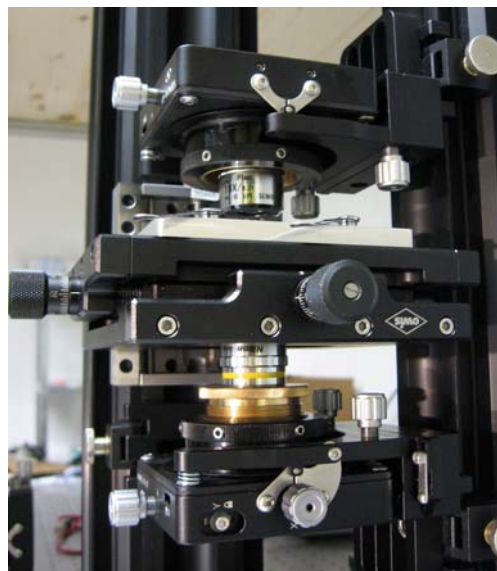


Abb. 3 Ausschnitt einer Counterpropagating Pinzette. In der Bildmitte befindet sich ein xy-Tisch. Darüber und darunter befinden sich die Objektive, die die Falle formen.

Die geometrischen Anforderungen des Fluidikchips und vor allem die Halterung mit den Schlauchanschlüssen machten den Einsatz von Objektiven mit extrem langem Arbeitsabstand nötig. Das erste Counterpropagating Experiment wurde mit zwei Nikon 10x SLWD Objektiven mit einem Arbeitsabstand von $20,3\text{ mm}$ durchgeführt.

Mit den beiden Experimenten ist es gelungen, sowohl in laminaren Wasserströmungen als auch in Fluidsegmenten dreidimensional zu fangen. [7]

Referenzen:

- [1] A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm and S. Chu, Opt. Lett. **11**, 288-290 (1986).
- [2] D. G. Grier, Nature **810-816** (2003).
- [3] Z. W. J. Hu and J. Liang, Opt. Express **12**, 4123-4128 (2004).
- [4] K. Martin, T. Henkel, V. Baier, A. Grodrian, T. Schön, M. Roth, J. M. Köhler and J. Metzger, Lab on a Chip **3**, 2002-2007 (2003).
- [5] J. Fournier, J. Rohner, P. Jacquot, R. Johann, S. Mias and R. Salathé, Trapping and Optical Micromanipulation II/ San Diego (2005).
- [6] A. W. Lohmann and J. A. Thomas, Appl. Opt. **29**, 4337-4340 (1990).
- [7] A. Oeder et al., Nonlinear Microscopy and Optical Control, Münster, 19.2 - 21.2. (2008)