

# Optische Manipulation sphärischer Partikel in Luft

Ronald Kampmann, Roman Kleindienst, Annemiek Chall, Stefan Sinzinger

*Institut für Mikro- und Nanotechnologien, Technische Universität Ilmenau*

*mailto:ronald.kampmann@tu-ilmenau.de*

Die völlige Abwesenheit von Adhäsionskräften zwischen Objekt und optischer Pinzette stellt einen immensen Vorteil gegenüber mechanischen Halte-Werkzeugen dar. Für Anwendungen im Micro-Assembly Bereich wird ein optisches System vorgestellt, welches mikroskopische Partikel in einer gasförmigen Umgebung berührungslos fangen, halten und loslassen kann.

## 1 Einführung

Optische Pinzetten sind seit mehr als 4 Dekaden ein Forschungsschwerpunkt und werden gerade in biologischen Anwendungen, beispielsweise in der Zellmanipulation, häufig als Greif- und Haltewerkzeug genutzt. [1]

Zur Erzeugung optischer Haltkräfte ist eine hohe Fokussierung einer elektromagnetischen Welle mit ausreichender Leistungsdichte notwendig. Die Realisierung dieser Fokussierung kann mit hochaperturigen Mikroskop-Objektiven umgesetzt werden. Das ist einer der Gründe für die Verbreitung dieses Werkzeuges in der Biologie. Ein bestehendes Mikroskop kann durch eine zusätzliche Laserquelle sowie einen Strahlteiler um die Funktion einer optischen Pinzette erweitert werden. Der Nachteil objektivbasierter Pinzettensysteme hingegen besteht in einem begrenzten Arbeitsabstand was oft den Einsatzbereich stark limitiert. Durch speziell an die Anwendung angepasste optische Systeme kann dieser Nachteil umgangen werden [2].

Das Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines optischen Systems, welches als Haltewerkzeug für Micro-Assembly Anwendungen in einer Standard-Luft- und Vakuumatmosphäre genutzt werden kann.

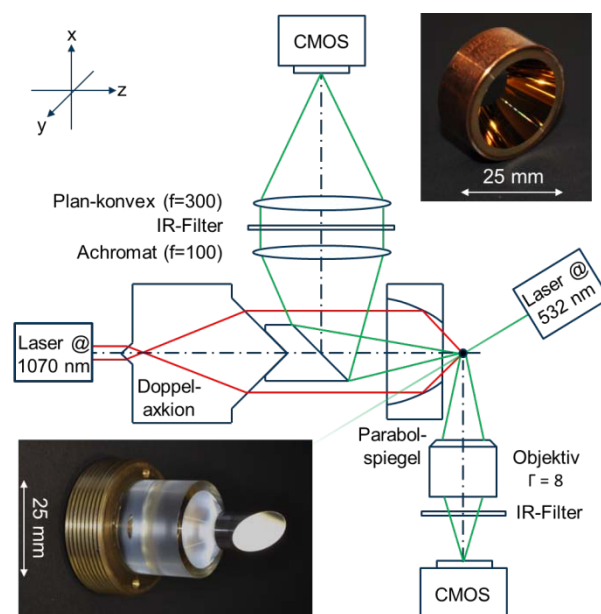
## 2 Entwicklungsprozess

Basierend auf den Randbedingungen (Umgebungsmedium, Systemgröße) und Anforderungen (Arbeitsabstand, paralleles Fangen und Beobachten) an das optische System wurde ein Konzept und daraus ein Start-Design für einen iterativen Designprozess erarbeitet [3]. Die Kombination von klassischer Optik-Designsoftware und optischer Kraftsimulation gewährleistet dabei die Entwicklung einer effizienten Fangoptik. Hierbei werden die Strahlen am Ausgang des optischen Systems als Eingangsgrößen für die Kraftsimulation genutzt.

Eine gaußförmige Intensitätsverteilung wird zunächst von einem refraktiven Doppellaxikon zu

einer kollimierten off-axis Intensitätsverteilung umgeformt. Die hohe Fokussierung wird durch einen ringförmigen Parabolspiegel realisiert. Beide Elemente wurden durch einen Ultrapräzisions-Drehprozess gefertigt.

Für die Beobachtung eines im Fokus gefangenen mikroskopischen Objektes wird das an ihm gestreute Licht über einen in das System integrierten 45°-Spiegel aus dem System in eine zusätzliche Abbildungsoptik reflektiert, wie in Abbildung 1 dargestellt.



**Abb. 1** Schematischer Aufbau des optischen Systems.

Um eine Beobachtung unabhängig von Laserleistungsänderungen des Fanglasers (1070 nm) zu gewährleisten, wird ein zusätzlicher Beobachtungslaser (532 nm) verwendet. Die Beobachtung in lateraler Richtung, realisiert mit einem Objektiv, dient der Justage und wird im finalen Aufbau nicht benötigt. In axialer Richtung wird die Abbildung über ein Zweilinsensystem durchgeführt.

Der Arbeitsabstand der optischen Pinzette beträgt 2.05 mm wobei das Systemvolumen (Fangoptik und 45°-Spiegel) mit einem Mikroskopobjektiv vergleichbar ist. In eine direkt hinter dem Parabol-

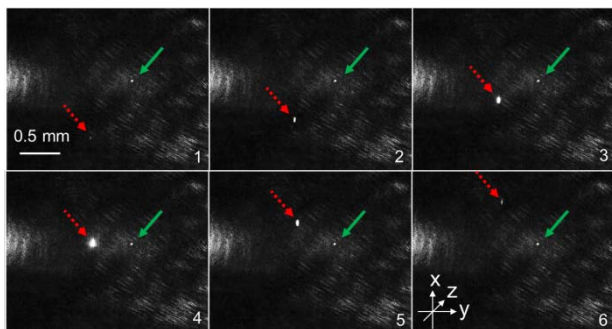
spiegel positionierte Probenkammer eingebrachte Partikel, können im Fokus optisch gefangen und beobachtet werden. Die Partikel bestehen aus Quarzglas und besitzen eine sphärische Form mit einem Durchmesser von 10  $\mu\text{m}$ .

### 3 Ergebnisse

Eine große Herausforderung des optischen Fangens von mikroskopischen Objekten in Luft besteht in der Vereinzelung und Zuführung der Partikel zum Ort der Falle. In vielen Arbeiten werden dazu Ultraschall-Geber für die Überwindung von Adhäsionskräften zwischen einem Aufnehmer und den an ihm haftenden Partikeln genutzt. Die abgelösten Partikel fallen zum Ort der Falle und werden dort gefangen. Hierbei handelt es sich um ein rein statistisches Fangen da das zu fangende Objekt im Vorfeld nicht ausgewählt werden kann.

Die Partikelvereinzelung wird in unserem Aufbau mit Hilfe einer Spritze und einem direkt über der Position der Falle endenden Rohr realisiert. Wird das Volumen in der Spritze komprimiert, verlassen die Partikel das Rohrende und können optisch gefangen werden.

Folgende Sequenz (12 fps) in Abbildung 2 zeigt das optische Halten eines 10  $\mu\text{m}$  durchmessenden  $\text{SiO}_2$ -Partikels (grüner Pfeil) bei einer Laserleistung von ca. 40 mW.



**Abb. 2** Beobachtung eines optisch gehaltenen Partikels in Luft aus axialer Richtung.

Das Partikel wurde zunächst bei einer Laserleistung von 1.2 Watt gefangen. Nach der Reduzierung der Leistung auf ca. 40 mW konnte noch ein stabiles optisches Halten nachgewiesen werden. Der rote Pfeil in obiger Abbildung markiert ein vorbei schwebendes, freies Partikel.

Damit ist der experimentelle Nachweis der Funktionalität des optischen Systems sowie des iterativen Designprozesses erbracht. Es konnte reproduzierbar nachgewiesen werden, dass  $\text{SiO}_2$ -Kugeln mit einem Durchmesser von 10  $\mu\text{m}$  stabil mit dem optischen System gehalten und wieder losgelassen werden können. [4]

### 4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein optisches System zur dreidimensionalen Manipulation von sphärischen Partikeln ( $\text{SiO}_2$ ,  $\varnothing=10 \mu\text{m}$ ) in einer gasförmigen

Umgebung vorgestellt. Experimentelle Ergebnisse zeigen das stabile optische Halten von  $\text{SiO}_2$ -Kugeln bei einer Laserleistung von 40 mW.

Das System wurde in einem iterativen Designprozess, in welchem klassisches Optikdesign mit optischen Kraftsimulationen kombiniert wird, optimiert. Durch die Integration eines 45°-Spiegels sowie einer Abbildungsoptik wird die Beobachtung eines Objektes im Bereich um den Fokus der Falle gewährleistet.

Derzeitige Arbeiten konzentrieren sich auf die Klärung der Fallengeometrie, da mit dem System oft mehrere Partikel an unterschiedlichen Positionen gefangen werden. Für die Gewährleistung eines minimalen Justageaufwandes des finalen Fangsystems werden alle Komponenten der optischen Falle in einer Fassung gehalten.

Ein weiterer Schwerpunkt stellt die Entwicklung einer geeigneteren Partikelzuführung dar. Hierzu werden Studien verfolgt, Oberflächen gezielt durch Kurzpuls Laserablationsprozesse hinsichtlich einer deutlichen Minimierung der Adhäsionskräfte zu verändern [5].

### 5 Danksagung

Diese Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG innerhalb des Teilprojektes B7 (Nanotools für NPM-Maschinen) des Sonderforschungsbereiches SFB 622 (Nanopositionier- und Nanomessmaschinen, FKZ: INST273/43-1) sowie mit dem Projekt SACCA (System for Automated Cell Cultivation and Analysis) der Zeiss Stiftung finanziert.

### Literatur

- [1] I. Verdeny, A. Farre, J. Mas, C. Lopez-Quesada, E. Martin-Badosa, M. Montes-Usategui: "Optical Trapping: A review of essential concepts", in: *Opt. Pura Apl.* 44(3) 527-551 (2011)
- [2] A. Oeder, S. Stoebenau, and S. Sinzinger: "Optimized free-form optical trapping systems" in: *Opt. Lett.* 37, 274-276 (2012)
- [3] R. Kampmann, S. Sinzinger: "Analyses of the influence of manufacturing and adjustment related errors on an optical tweezer system" in: *Proc. SPIE - IODC* (2014) (submitted)
- [4] R. Kampmann, A. K. Chall, R. Kleindienst, S. Sinzinger: "Optical system for trapping particles in air" in: *Appl. Opt.* 53 (4), 777-784 (2014).
- [5] M. Michihata, et al.: "New technique of single-beam gradient-force laser trapping in air condition" in: *International Symposium on Optomechatronic Technologies* (ISOT, 2012)