

Sven Buhl, Burkhard Neumann, Alexander Grote
Fachhochschule Südwestfalen, Frauenstuhlgweg 31, 58644 Iserlohn
E-Mail: {Buhl, Neumann.B, Grote}@fh-swf.de

Mit optischen Pinzetten können kleinste Kräfte in flüssiger Umgebung gemessen sowie Kräfte auf Partikel ausgeübt werden. Mit einem Objektiv hoher numerischer Apertur wird ein Laserstrahl möglichst gut fokussiert. Die Intensitätsverteilung im Brennpunkt bewirkt, dass Kügelchen von der Größe eines Mikrometers und mit Brechungsindizes höher als die der umgebenden Flüssigkeit (z.B. Wasser) im Fokus gefangen sind. Aufgrund der Brownschen Molekularbewegung sind sie ständig in zitterartiger Bewegung. Die Auslenkungen dieser Zitterbewegung stellen ein Maß für die Fallenstärke dar.[1] Optische Pinzetten werden heute insbesondere in der Biomedizinischen Forschung eingesetzt. Dabei können Zellen gezielt verschoben, Oberflächen abgetastet und die Viskosität von Flüssigkeiten bestimmt werden.

Die Bestimmung der Kraftkonstanten mit der Brownschen Molekularbewegung:

Wir bestimmen c analog zu einem klassischen Experiment von Eugen Kappler[2]. Die mittlere potentielle Energie E_{pot} eines in der optischen Pinzette gefangenen Partikels beträgt

$$E_{pot} = \frac{1}{2} c \cdot r^2.$$

r^2 hat hier die Bedeutung der mittleren quadratischen Abweichung vom Pinzettenmittelpunkt und wird im Versuch mit Hilfe der Bildverarbeitung bestimmt.

E_{pot} ist gleich der mittleren Wärmeenergie der Partikel

$$E_{th} = \frac{3}{2} k \cdot T.$$

Daraus erhalten wir für die Federkonstante

$$c = \frac{3kT}{r^2} \quad (1)$$

Typische Werte für c bei Zimmertemperatur und der eingekoppelten Laserleistung 10mW:

$$c = 50 \text{ pN}/\mu\text{m}$$

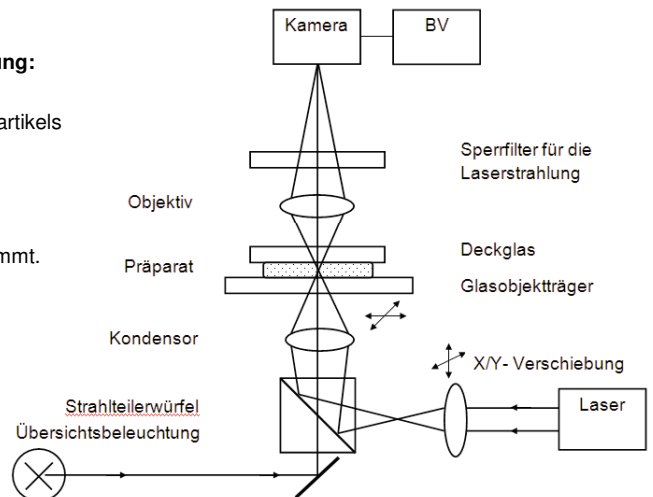


Bild A: Schema der Einspiegelung des Laserstrahls in ein Durchlichtmikroskop

Beschreibung des Bildverarbeitungs-Programms zur Bestimmung von r^2

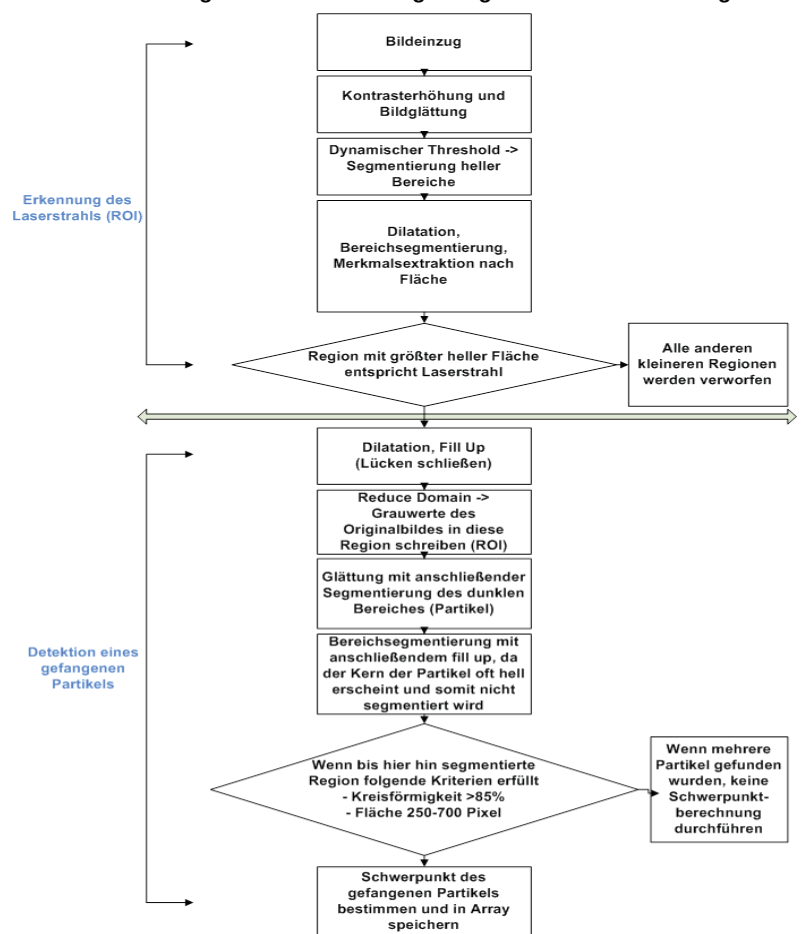


Bild D: Programmablauf der digitalen Bildverarbeitung

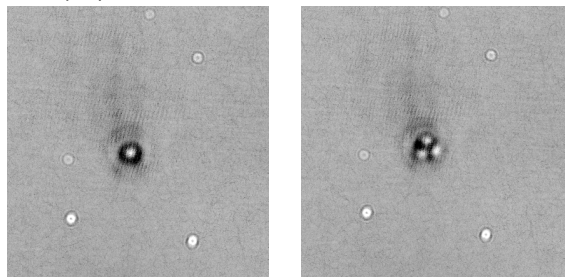


Bild B: Ein gefangenes Partikel

Bild C: Drei gefangene Partikel

Der Versuch wird im Praktikum zum Modul „Physikalische Effekte an Nanostrukturen“ angeboten. Die Studenten befinden sich im 4. Semester. Zum Versuch haben sie u.a. die folgenden Aufgaben zu erfüllen:

Aufgaben

1. Stellen Sie eine sehr verdünnte Lösung von 1 μm Latex-Kugeln in Wasser her (Verdünnung 1:50 oder 1:100 von der Startlösung).
2. Beschicken Sie mit einem kleinen Tropfen dieser Lösung einen Glasobjektträger und decken Sie die Probe mit einem Deckgläschen ab (es dürfen unter dem Deckgläschen keine Luftblasen entstehen, Deckglas mit einer Pinzette vorsichtig andrücken, damit die Flüssigkeitsschicht nicht zu dick ist)
3. In den ersten Minuten nach der Präparation sind die Teilchen in großer Unruhe. Machen Sie Aufnahmen, wie die optische Pinzette die Latexkügelchen in größerer Anzahl fängt. Es entstehen dabei die unterschiedlichsten Kugelkonfigurationen (Abb.C).
4. Versuchen Sie ein Teilchen zu fangen (Abb.B)
5. Bestimmen Sie mit Hilfe des Bildverarbeitungsprogramms für N (typisch $N \approx 20$ bis 100) Bilder die Lageveränderungen einer eingefangenen Partikel mit der Varianz r^2 (s.o.) und daraus die Federkonstante c nach Gl. (1)

Literatur: [1] Smith S.P. Bhalotra S. R. Brody A.L. Brown B.L. Boyda E.K. Prentiss M. inexpensive optical tweezers for undergraduate laboratories, Am J. Phys. 67 (1999)
[2] Kappler E.: Die Brownsche Molekularbewegung. Naturwissenschaften 27, 649 (1939)