

Lichtfokussierung durch Mikrokugeln

Johannes Kofler

Institut für Angewandte Physik

Transparente Kugeln – z.B. aus Glas oder Wasser – mit Durchmessern in der Größe einiger Wellenlängen des Lichts wirken als fokussierende Linsen. Mit Hilfe von Lasern ist man in der Lage, durch diesen Fokussierungseffekt feinste Oberflächenstrukturen zu erzeugen. Kugelförmige Partikel spielen aber in vielen weiteren Gebieten der Naturwissenschaft eine wichtige Rolle. Man denke zum Beispiel an Wassertröpfchen in der Luft (Regenbogen), mikroskopisch kleine Verunreinigungen auf sensiblen Oberflächen (Halbleitertechnologie, Mikro- und Nanomechanik, etc.) oder an Aerosole und Kolloide im allgemeinen.

Eine vollständige wellenoptische Berechnung der Verteilung des fokussierten Lichts hinter solchen Mikrokugeln ist zwar möglich, allerdings nur mit hohem numerischen Aufwand, sehr unanschaulich und auf den speziellen Fall einer einzigen Kugel beschränkt.

In der geometrischen Optik betrachtet man das Licht einfach als Strahlen, die von der Kugel gebrochen werden. Die Lichtstrahlen bilden ein bestimmtes „Skelett“ mit axialer Symmetrie. Dabei werden achsenferne Strahlen stärker zur Achse gebrochen als achsennahe („sphärische Aberration“). Es gibt Bereiche, in denen die Strahlendichte unendlich groß wird. Hier muss man den Wellencharakter des Lichts berücksichtigen. Im betrachteten Fall können diese Korrekturen durch Beugungsintegrale dargestellt werden.

Herr Kofler hat in seiner Arbeit das entsprechende Beugungsintegral studiert und konnte das Wellenfeld in einer Weise modifizieren, dass es die Lichtverteilung der geometrischen Optik mit dem entsprechenden Strahlskelett widerspiegelt, aber die Unendlichkeiten beseitigt und die Lage der Helligkeitsmaxima korrigiert. Dieses Verfahren ist auf beliebige Probleme der geometrischen Optik mit axialer Symmetrie und sphärischer Aberration anwendbar, z.B. neben optischen Wellen auch auf die Fokussierung von Schall-, Radio- und quantenmechanischen Materiewellen.

Für Licht in Mikrokugeln ergibt sich ein schmalerer Fokusbereich als er mit konventionellen Linsen erzeugt werden könnte, was von großer Wichtigkeit für praktische Anwendungen ist.