

Ziel:

Mit verschiedenen Methoden soll die Brennweite von dünnen und dicken Linsen wie auch von Linsensystemen bestimmt werden.

Methoden:

Als Methoden werden die Autokollimation und die Bestimmung der Brennweite mit der Linsengleichung aus Gegenstandsweite und Bildweite (Besselverfahren) verwendet.

Erläuterungen:

Bei dünnen Linsen kann auf die Einführung von Hauptebenen verzichtet werden. Bei dicken Linsen und auch bei Linsensystemen ist dies jedoch nicht mehr möglich. In den Experimenten mit dicken Linsen und Linsensystemen werden deshalb auch die Lagen der Hauptebenen bestimmt.

Theorie:

Optik: Reflexion und Brechung, Abbildung durch Linsen, Linsenfehler

Literatur:

Lehrbuch: Metzler S. 288 ff., Westphal S. 446 ff., Pohl: Optik und Atomphysik, Hering S. 402 ff.
Physikalisches Praktikum: Walcher S. 144 ff., Westphal S. 110 ff., Becker S. 120 ff.

Geräte:

- 1 optische Bank (Zeissprofil)
- 1 Lampe
- 1 Satz Linsen (mit Fassung auf Stiel)
- 1 Objektiv (Diaprojektor)
- 1 Planspiegel

Name: Klasse: **TC 2** Datum:

Beurteilung:

Genauigkeit

Fehlerrechnung

Fehlerdiskussion

Protokoll

Summe

Grundlagen:

Lichtbrechung

Beim Übergang eines Lichtstrahls von einem Medium in ein anderes wird der Lichtstrahl gebrochen, und zwar vom dünneren Medium in das dichtere zum Lot hin. Beim Übergang vom dichteren Medium in das dünnere kommt es bei Überschreitung des Grenzwinkels zur Totalreflexion. Den Zusammenhang zwischen den Winkeln und den Eigenschaften der optischen Medien wird durch das Brechungsgesetz von Snellius

$$(1) \quad \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = n_{12}$$

c_1, c_2 Lichtgeschwindigkeit im jeweiligen Medium

n_{12} Brechungsindex für den Übergang von Medium 1 zum Medium 2

Dünne Linsen

Linsen haben brechende Flächen (in der Regel Teile einer Kugelfläche), an denen der Lichtstrahl einmal beim Eintritt und ein zweites Mal beim Austritt gebrochen wird. Für geometrische Konstruktionen ist dies umständlich, weshalb zur Vereinfachung diese zweimalige Brechung durch eine an der Mittelebene der Linse ersetzt wird. Diese Vereinfachung lässt sich bei hinreichend dünnen Linsen rechtfertigen.

Nach den Strahlensätzen kann die Abbildungsgleichung für Linsen aus der Abbildung 1 abgeleitet werden. Es gilt:

$$(2) \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad f = \text{Brennweite, } g = \text{Gegenstandsweite, } b = \text{Bildweite}$$

Ferner gilt die Beziehung zu den Krümmungsradien und dem Brechungsindex:

$$(3) \quad \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$n =$ Brechungsindex, r_1, r_2 Krümmungsradien der brechenden Kugelflächen

Bei konvexer Fläche wird der Krümmungsradius positiv, bei konkaver Fläche wird er negativ gemessen.

Dicke Linsen und Linsensysteme

Bei dicken Linsen und bei Linsensystemen kann man die Vereinfachung mit der Mittelebene nicht mehr machen. Hier werden zwei Hauptebenen H und H' senkrecht zur optischen Achse eingeführt, an denen die Ablenkung des Lichtstrahls eingezeichnet wird. Die Lage der Hauptebene H ist so festgelegt, dass ein durch den Brennpunkt F einfallender Strahl an H in die Richtung parallel zur optischen Achse abgelenkt wird. An H' wird ein zur optischen Achse parallel einfallender Strahl durch den Brennpunkt F' abgelenkt. Bei dem vereinfachten Strahlengang wird wieder zugrunde gelegt, dass nur eine Brechung stattfinden soll. In Wirklichkeit verlaufen die Strahlen im Inneren der Linse nach der gestrichelten Linie in der Abbildung.

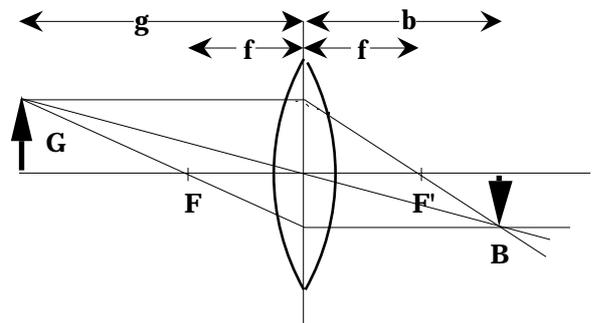


Abb. 1

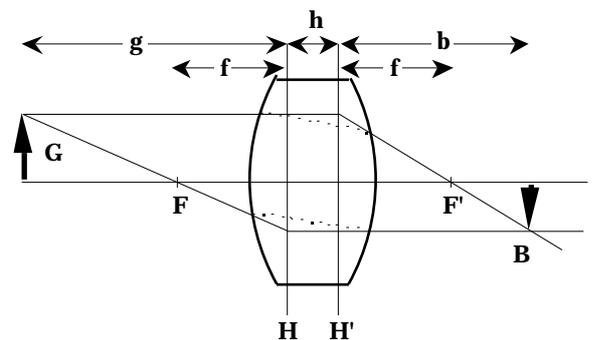


Abb. 2

Mit den Strahlensätzen kann man den Ansatz (4) gewinnen:

$$(4) \quad \frac{f}{g-f} = \frac{b-f}{b}$$

Daraus erhält man durch Umformung:

$$(5) \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad f = \text{Brennweite, } g = \text{Gegenstandsweite, } b = \text{Bildweite}$$

Diese Gleichung ist schon von den dünnen Linsen bekannt. Hier ist darauf zu achten, dass die Brennweite f jeweils bis zur zugehörigen Hauptebene zu messen ist. Ebenso sind g und b bis zur zugehörigen Hauptebene zu messen.

Linsenfehler

Nach den Aussagen der geometrischen Optik sollen sich achsenparallele Strahlen in einem Punkt, dem Brennpunkt schneiden. Für achsennahe Strahlen ist dies recht gut erfüllt. Bei achsenfernen Strahlen ist dies aber nicht mehr der Fall. Es kommt zur Abweichung, zur sogenannten sphärischen Aberration. Chromatische Aberration tritt auf, weil Licht von verschiedener Farbe einen unterschiedlichen Brechungsindex hat. Weitere Linsenfehler sind Astigmatismus, Koma, Bildwölbung und Verzeichnung. Für weitere Informationen wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

Messmethoden und Messgeräte:

Autokollimation

Ein Lichtfleck, z.B: eine beleuchtete Lochblende oder ein beleuchteter Spalt wird in den Brennpunkt der Linse gebracht. Man kann dies sehr gut einstellen, wenn die vom Lichtfleck ausgehenden Strahlen durch die Linse gebrochen werden, dann an einem Planspiegel reflektiert werden und wieder zurück kommen. Dann sollten sie am Ort des Lichtflecks ein Bild von ihm erzeugen. Mit Vorteil stellt man den Planspiegel so ein, dass das Bild knapp neben dem Lichtfleck zu liegen kommt. Es ist auch praktisch, vor die Blende eine Mattscheibe zu stellen, damit das Bild des Lichtflecks gut aufgefangen werden kann. Wird also das Bild scharf gestellt, so befindet sich der Lichtfleck tatsächlich im Brennpunkt. Gemessen wird der Abstand vom Brennpunkt bis zu einer Marke M an der Linse (s_1). Jetzt wird die Linse umgekehrt und dieselbe Einstellung nochmals vorgenommen. Nun misst man bis zur Marke M den neuen Abstand s_2 . Es gilt dann:

$$(6) \quad s = s_1 + s_2 = 2f + h$$

Bei dünnen Linse ($h \rightarrow 0$) kann f direkt berechnet werden. Bei dicken Linsen und Linsensystemen kommt man mit diesen Daten noch nicht zum Ziel.

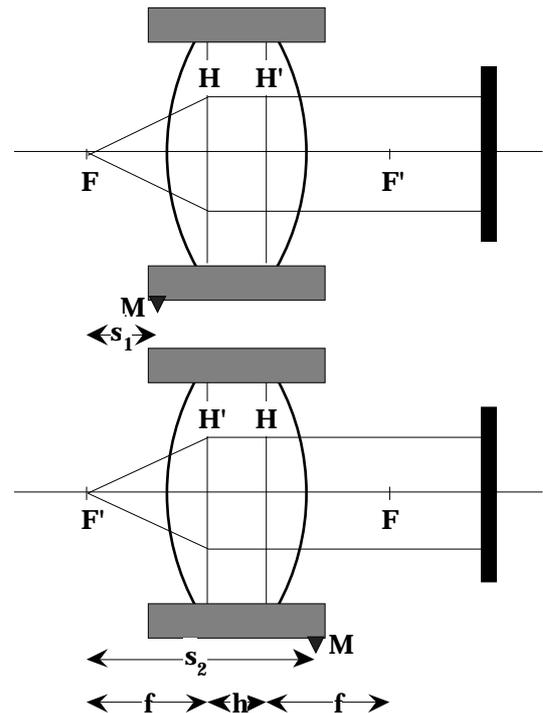


Abb. 3

Besselverfahren

Eine andere Methode der Brennweitenbestimmung besteht darin, dass mit der Linse ein Gegenstand auf einen Schirm abgebildet wird. Wählt man den Abstand zwischen Gegenstand und Schirm fix mit d , wobei d genügend gross sein muss, erhält man zwei Einstellungen der Linse, bei denen ein scharfes Bild entsteht. Nach Abbildung 2 gilt:

$$(7) \quad d = g + h + b$$

Gleichzeitig gilt aber auch die Linsengleichung (5). Gleichung (6) wird auf g gelöst und g wird in (5) eliminiert. Nach einigem Umformen erhält man die quadratische Gleichung in b :

$$(8) \quad b^2 - b(d - h) + f(d - h) = 0$$

Die Lösungen sind:

$$(9) \quad b_{1/2} = \frac{d-h}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4f}{d-h}} \right)$$

Durch Einsetzen in (7) erhält man für $g_1 = b_2$ und für $g_2 = b_1$.

Aus (9) kann die Differenz $b_1 - b_2$ aus den Bildweiten der beiden Einstellungen berechnet werden:

$$(10) \quad b_1 - b_2 = (d - h) \sqrt{1 - \frac{4f}{d-h}}$$

Auf f gelöst erhält man:

$$(11) \quad f = \frac{1}{4} \left(d - h - \frac{(b_1 - b_2)^2}{d - h} \right)$$

Die Differenz $b_1 - b_2$ kann aus der Verschiebung einer Marke M auf dem Gehäuse der Linse beim Umstellen von der ersten auf die zweite Einstellung direkt gemessen werden. Der Abstand d zwischen Gegenstandsebene und Bildebene ist bekannt. Für dünne Linsen ($h \rightarrow 0$) kann somit die Brennweite f direkt berechnet werden. Für dicke Linsen und Linsensysteme kann mit der Gleichung (6) aus dem Autokollimationsverfahren das h eliminiert werden. Setzt man in (11) ein ergibt sich für die Brennweite f :

$$(12) \quad f = \frac{1}{2} \sqrt{(d - s)^2 - (b_1 - b_2)^2}$$

Durchführung des Experiments:

Brennweite einer dünnen Linse

Bestimmen Sie die Brennweite einer dünnen Linse mit dem Autokollimationsverfahren und mit dem Besselverfahren und vergleichen Sie die erhaltenen Werte. Beim Besselverfahren sind mehrere Einstellungen mit verschiedenen d -Werten vorzunehmen.