

BL Brennweite von Linsen

1. Motivation

Bei nahezu allen optischen Anwendungen werden Linsen und Spiegel eingesetzt. Im Versuch sollen einige grundlegende Eigenschaften von Linsen und ihren Abbildungen untersucht werden. Insbesondere werden verschiedene Techniken zur Bestimmung von Brennweiten angewandt und die einfachsten Abbildungsfehler untersucht.

2. Grundlagen/Theorie

- Unterschied geometrische Optik/Wellenoptik
(Staudt Skript II, Kap. 8.1 oder E. Hecht, Optik, Kap. 4.2.3, 5.1)
- Snelliussches Brechungsgesetz
(Staudt Skript II, Kap. 8.2.1 oder E. Hecht, Optik, Kap. 4.2)
- Abbildung durch Linsen
(Staudt Skript II, Kap. 8.2.3 oder E. Hecht, Optik, Kap. 5.2, 5.7)
- Linsenfehler
(Staudt Skript II, Kap. 8.2.3 oder E. Hecht, Optik, Kap. 6.3)
- Dicke Linsen
(Demtröder, Experimentalphysik 2, Kap. 9.5.3 und Anhang oder E. Hecht, Optik, Kap. 6.1)

Fragen:

- Wann können optische Phänomene mit geometrischer Optik beschrieben werden? Wann wird die Welleneigenschaft des Lichts zur Erklärung benötigt?
- Wie lautet das Snelliussche Brechungsgesetz?
- Welche vereinfachenden Näherungen können bei dünnen Linsen gemacht werden? Welche drei ausgezeichnete Strahlen sind für die Konstruktion von Abbildungen wichtig?
- Wie lautet die Abbildungsgleichung für dünne Linsen? Wie lässt sie sich herleiten?
- Wie ist die Brechkraft definiert? Wie ergibt sich die resultierende Brechkraft einer Kombination von mehreren dünnen Linsen?
- Wie sehen die Bilder einer dünnen Sammellinse und einer dünnen Zerstreuungslinse aus, wenn der Gegenstand

1. außerhalb der doppelten Brennweite

2. zwischen einfacher und doppelter Brennweite
3. innerhalb der einfachen Brennweite

steht? Zeichnen Sie die 6 Strahlengänge!

- Was versteht man unter sphärischer Aberration?
- Wie sind die Hauptebenen einer Linse definiert?
- Wie kann man die Brennweite einer dicken Linse experimentell bestimmen?

3. Beschreibung des Versuchs

Auf der optischen Bank wird ein beleuchteter Gegenstand durch eine oder mehrere Linsen auf einen Schirm abgebildet. Durch Messung der Abstände zwischen Gegenstand, Linse und Schirm lassen sich die Brennweiten verschiedener Linsen bestimmen.

4. Messungen

1. Mit der kleinen Sammellinse sind folgende Messungen durchzuführen:
 - (a) Der Gegenstand soll außerhalb der doppelten Brennweite stehen. Bestimmen Sie Bild- und Gegenstandsweite für 5 verschiedene Stellungen des Gegenstandes.
 - (b) Der Gegenstand soll zwischen einfacher und doppelter Brennweite stehen. Bestimmen Sie wieder Bild- und Gegenstandsweite für 5 verschiedene Stellungen des Gegenstandes.
2. Bestimmen Sie für die große Sammellinse die Brennweite nach der Methode von Bessel. Messen Sie dazu für 5 verschiedene Werte von e (Abstand von Gegenstand und Schirm) wie im Anhang beschrieben den Abstand a (Abstand zwischen den zwei Linsenpositionen mit scharfem Bild).
3. Bestimmen Sie für eine Kombination einer Zerstreuungslinse und der Sammellinse aus Aufgabe 2 die Brennweite der resultierenden Linsenordnung nach der Methode von Bessel. Gehen Sie dabei wie in der vorigen Messung beschrieben vor.
4. Bestimmen Sie die sphärische Aberration einer Sammellinse. Messen Sie dazu nach der Methode von Bessel zwei Mal für 5 verschiedene Werte von e die Abstände a , wobei Sie das erste Mal nur die Randstrahlen und das zweite Mal nur die Zentralstrahlen verwenden. Benutzen Sie dazu die entsprechenden Blenden.

5. Aufgaben zur Auswertung

- Zu Messung 1: Berechnen Sie aus den Messungen die Brennweite und die Brechkraft der kleinen Sammellinse (jeweils mit Fehler).
- Zu Messung 1: Zeichnen Sie für die kleine Sammellinse den Verlauf der Funktion $v = \frac{f}{g-f}$ in Abhängigkeit der Gegenstandsweite g , wobei für f der oben berechnete Wert einzusetzen ist.
Berechnen Sie dann die Vergrößerung $v = \frac{b}{g}$ und zeichnen Sie diese ebenfalls in das obige Schaubild ein.
- Zu Messung 2: Berechnen Sie aus den Messungen die Brennweite und die Brechzahl für die große Sammellinse (jeweils mit Fehler).
- Zu Messung 3: Berechnen Sie aus den Messungen die Brennweite für die Linsenkom-
bination (mit Fehler). Berechnen Sie daraus mit der zuvor berechneten Brennweite der
großen Sammellinse die Brennweite der Zerstreuungslinse (ebenfalls mit Fehler).
- Zu Messung 4: Berechnen Sie aus den Messungen die unterschiedlichen Brennweiten
der Sammellinse für Randstrahlen und der Zentralstrahlen. Berechnen Sie daraus die
sphärische Aberration $\Delta = f_{\text{Rand}} - f_{\text{Zentral}}$ (mit Fehler).
- Konstruieren Sie den Strahlengang im Galileischen Fernrohr und im Astronomischen
Fernrohr für den Fall $g = \infty$. Die einfallenden Strahlen sollen dabei nicht parallel zur
optischen Achse verlaufen.

6. Anhang A: Methode von Bessel zur Bestimmung der Brennweite

Bei dicken Linsen und Linsensystemen ist die Bestimmung der Brennweite nach der Lin-
sengleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ nur möglich wenn bekannt ist, wo in der Linse g aufhört und wo b
anfängt. Dazu werden bei dicken Linsen die Hauptebenen H_1 und H_2 eingeführt, deren Lage
aber oft nicht bekannt ist.

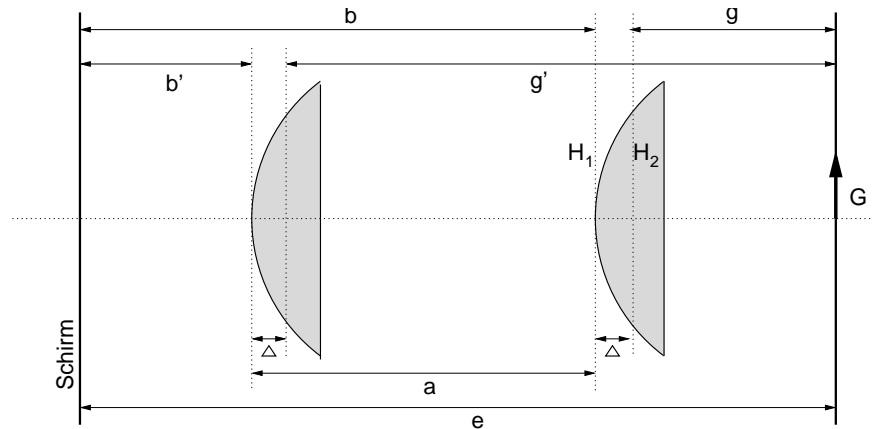
Um das Problem der Bestimmung der genauen Lage der Hauptebenen zu umgehen, kann
die Methode von Bessel verwendet werden. Dazu werden Gegenstand und Schirm im festen
Abstand e zueinander aufgestellt. Dann gibt es bei zwei Linsenstellungen ein scharfes Bild
auf dem Schirm, wobei einmal ein verkleinertes und einmal ein vergrößertes Bild zu sehen
ist.

Der Abstand dieser zwei Positionen sei a , außerdem gilt mit den Bezeichnungen der Zeich-
nung $b' = g$. Aus der Zeichnung lässt sich dann folgendes ablesen:

$$b + g + \Delta = e \quad \Longleftrightarrow \quad e' := e - \Delta = b + g$$

und mit $b' = g$

$$b - b' = a \quad \Longleftrightarrow \quad b - g = a$$



Durch Subtraktion und Addition dieser zwei Ausdrücke erhält man

$$b = \frac{1}{2}(e' + a) \quad \text{und} \quad g = \frac{1}{2}(e' - a)$$

Setzt man dies in die übliche Linsengleichung ein, so folgt

$$f = \frac{1}{4} \cdot \frac{e'^2 - a^2}{e'}$$

Wenn man e groß genug wählt, so ist Δ im Rahmen der Messgenauigkeit zu vernachlässigen und damit $e' \approx e$. Damit ergibt sich

$$f = \frac{1}{4} \cdot \left(e - \frac{a^2}{e} \right)$$

Mit dieser Methode lässt sich also die Brennweite bestimmen, ohne dass die Lage der Hauptebenen bekannt ist.