

Versuch V408

Geometrische Optik

Richard Leven	Joell D. Jones
richard.leven@udo.edu	joell-david.jones@udo.edu

Abgabe: 14.07.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
2.1	Brechung	3
2.2	Linsen	3
2.3	Abbildungsgesetz	4
2.4	Bessel und Abbe	4
3	Durchführung	5
3.1	Aufbau	5
3.2	Teilversuche	5
3.2.1	Überprüfung des Abbildungsgesetzes	5
3.2.2	Bestimmung einer unbekannten Brennweite	5
3.2.3	Bestimmung der Brennweite nach Bessel	5
3.2.4	Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems nach Abbe	5
4	Auswertung	6
4.1	Überprüfung der Linsengleichung	6
4.2	Brennweiten-Bestimmung	7
4.3	Brennweite nach Bessel	8
4.4	Brennweite eines Systems nach Abbe	8
5	Diskussion	11
5.1	Überprüfung der Linsengleichung	11
5.2	Bestimmung der Brennweite	11
5.3	Methode von Bessel	11
5.4	Methode von Abbe	11

1 Ziel

Bestimmung der Brennweite verschiedener Linsen.

2 Theorie

Um einen Brechungsindex zu berechnen benötigt es Linsen, die aus einem anderen Material bestehen als Luft, sodass ein Übergang der Brechungsindizes entsteht.

2.1 Brechung

Das Brechungsgesetz beschreibt den Vorgang, wenn ein Lichtstrahl aus einem Medium in ein Medium einer anderen Beschaffenheit übergeht. Dabei sorgen die Brechungsindizes der Medien für den Grad der Brechung.

Trifft ein Lichtstrahl auf eine Linse, so wird dieser beim Eintritt und Austritt gebrochen. Abhängig davon, ob es eine Sammellinse ist oder eine Zerstreuungslinse, wird der Strahl anders abgelenkt.

Die Gleichung 1 zeigt das Brechungsgesetz, wobei $n_{1,2}$ die Brechungsindizes und $\phi_{1,2}$ die auftretenden Winkel sind.

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \quad (1)$$

2.2 Linsen

Bei Sammellinsen ist die Brennweite f , sowie die Bildweite b positiv, sodass ein reelles Bild des Objektes entsteht. In Abbildung 1 sind die Strahlengänge, sowie die Abstände der Gegenstandsweite g und der Bildweite b dargestellt.

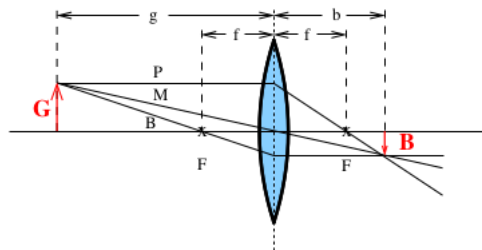


Abbildung 1: Darstellung des Strahlenverlaufs einer dünnen Sammellinse.

Wird eine Zerstreuungslinse betrachtet, ändern sich die Vorzeichen der Brenn- und Bildweite, sodass ein virtuelles Bild entsteht. Zusammen mit den Strahlengängen ist dies in Abbildung 2 dargestellt.

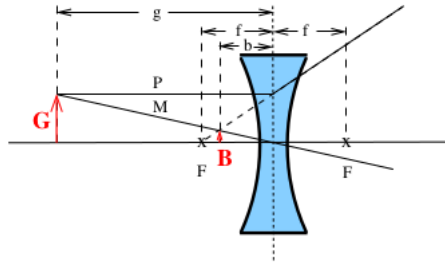


Abbildung 2: Darstellung des Strahlungsverlaufs einer Zerstreuungslinse.

2.3 Abbildungsgesetz

Mittels der Bildkonstruktion der verschiedenen Linsen und den Strahlungssätzen, lässt sich auf das Abbildungsgesetz schließen:

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (2)$$

Mithilfe Gleichung 2 lässt sich für dünne Sammellinsen ein Zusammenhang aus Brennweite f und der Bild- und Gegenstandsweite bestimmen:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \quad (3)$$

Dieser Zusammenhang ist die Linsengleichung.

Der Ausdruck $\frac{1}{f}$ wird definiert als die Brechkraft D . Bei mehreren Sammellinsen hintereinander kann dann die gesamte Brechkraft als Summe aller einzelnen Brechkräfte errechnet werden:

$$D_{ges} = \sum_i^N D_i \quad (4)$$

2.4 Bessel und Abbe

Die Bestimmung der Brennweite über die Methode von Bessel basiert auf zwei Linsenpositionen und dessen Bild- und Gegenstandsweite. In beiden Positionen ergibt sich ein klares Bild.

Zur Berechnung gilt $e = g_1 + b_1 = g_2 + b_2$ und $d = g_1 - b_1 = g_2 - b_2$.

$$f = \frac{e^2 + d^2}{4e} \quad (5)$$

Die Methode von Abbe beinhaltet ein Linsensystem, dessen genaue Streuebenen nicht erkennbar sind. Über einen Referenzpunkt A können jedoch die Bildweite b' und die Gegenstandsweite g' gemessen werden. b' und g' sind Funktionen der Brennweite und über die Terme:

$$b' = f \cdot (1 + V) + h' \quad (6)$$

$$g' = f \cdot \left(1 + \frac{1}{V}\right) + h$$

definiert.

3 Durchführung

3.1 Aufbau

Zum Aufbau gehört eine nicht-monochromatische Lampe, dessen Lichtstrahlen durch eine Lochkarte scheinen. Die Löcher auf der Karte stellen ein L dar.

Entlang der Strahlungsrichtung sind ein oder mehrere Linsen aufgebaut, sowie am Ende des Aufbaus ein weißer Schirm.

3.2 Teilversuche

3.2.1 Überprüfung des Abbildungsgesetzes

Um die Gleichung 2 sowie die Gleichung 3 zu überprüfen, wird eine Sammellinse bekannter Brennweite verwendet. Mittels Variation der Bild- und Gegenstandsweite sollen so neun Messungen gemacht werden, um die Brennweite zu überprüfen.

3.2.2 Bestimmung einer unbekannten Brennweite

Die Messungen werden nun wie in 3.2.1 für eine Linse unbekannter Brennweite durchgeführt.

3.2.3 Bestimmung der Brennweite nach Bessel

Zur Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse nach Bessel, muss der Abstand von der Lochkarte zum Schirm gleich bleiben. Um ein scharfes Bild auf dem Schirm zu erhalten, können demnach nur zwei Positionen der Linse existieren. Für diese Positionen gilt: $b_1 = g_2$ und $g_1 = b_2$. Es sollen je fünf Positionspaare gemessen werden und damit die bekannte Brennweite der Linse überprüft werden.

3.2.4 Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems nach Abbe

Mittels des Abbildungsgesetzes wird die Brennweite des Linsensystems aus einer Zerstreuungslinse und einer Sammellinse bestimmt. Dazu werden die Gegenstandsweite g' und die Bildweite b' gemessen, sowie die Größe des Bildes auf dem Schirm B und die Größe des L auf der Lochkarte. Es soll über 2 Messreihen die Brennweite des Linsensystems errechnet werden.

4 Auswertung

4.1 Überprüfung der Linsengleichung

In Tabelle 1 sind die Messdaten für die Überprüfung der Linsengleichung aus Gleichung 3 gelistet.

Tabelle 1: Daten der Gegenstandsweite und Bildweite einer Sammellinse in cm.

Bildweite b	Gegenstandsweite g
60,9	5,2
15,4	6,9
10,9	8,6
14,1	7,2
9,0	10,6
6,6	18,9
5,7	44,4
5,4	58,3
5,5	76,2

Nach Gleichung 3 ergibt sich die durchschnittliche Brennweite:

$$\bar{f} = 4.89 \pm 0.13\text{cm}$$

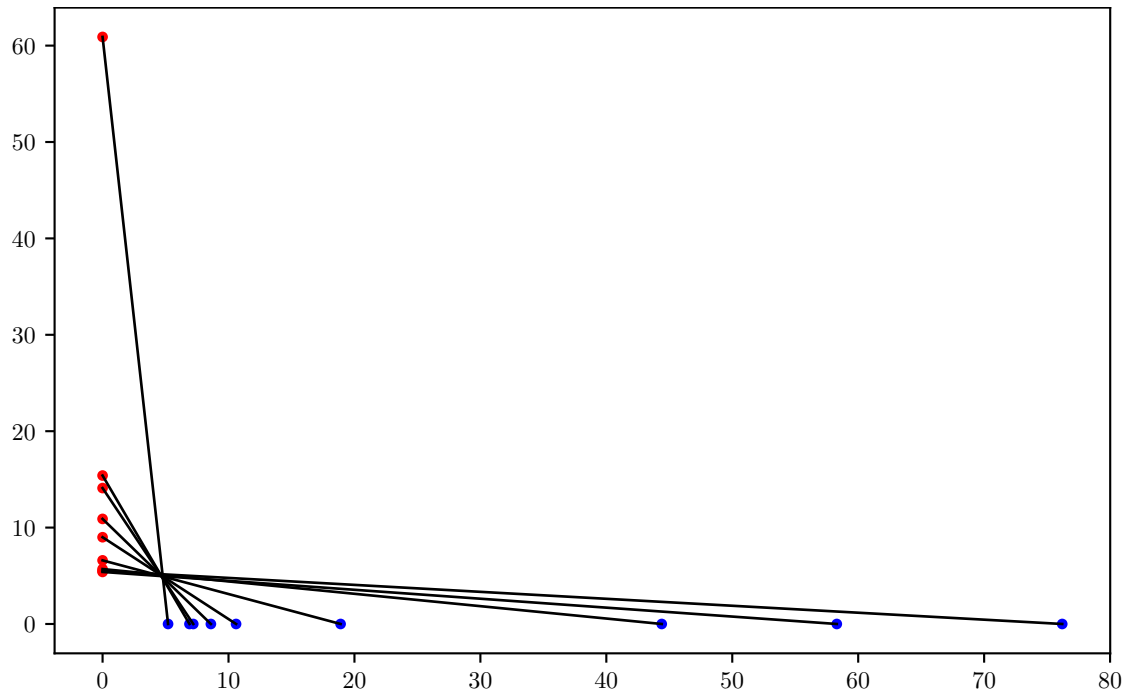


Abbildung 3: Bildweite und Gegenstandsweite als Referenz für die Genauigkeit der Brennweite.

4.2 Brennweiten-Bestimmung

Für die Sammellinse unbestimmter Brennweite wurden die Messwerte in Tabelle 2 aufgenommen.

Daraus ergibt sich die Brennweite:

$$\bar{f} = 9.77 \pm 0.12 \text{cm}$$

Tabelle 2: Daten der Gegenstandsweite und Bildweite einer Sammellinse unbekannter Brennweite in cm.

Bildweite b	Gegenstandsweite g
45,3	12,2
85,0	10,9
78,9	11,3
75,5	11,3
69,1	11,6
61,2	11,7
52,0	12,0
28,8	14,9
15,5	25,3

4.3 Brennweite nach Bessel

Die Messwerte für die Bestimmung der Brennweite nach Bessel sind in Tabelle 3 eingetragen.

Tabelle 3: Daten der beiden Gegenstandsweiten und Bildweiten einer Sammellinse unbekannter Brennweite in cm.

Bildweite b_1	Gegenstandsweite g_1	Bildweite b_2	Gegenstandsweite g_2
20,2	19,2	17,7	21,6
45,3	12,4	12,8	44,9
53,0	11,8	12,3	52,5
59,6	11,6	12,0	59,2
74,4	11,0	11,7	73,7

Nach Gleichung 5 ergeben sich für den Abstand Gegenstand-Bild e und die Differenz der Weiten d die gemittelten Werte:

$$\bar{e} = 64 \pm 17 \text{ cm}$$

$$\bar{d} = 37 \pm 16 \text{ cm}$$

Hieraus berechnet sich eine Brennweite von:

$$f = 11 \pm 10 \text{ cm}$$

4.4 Brennweite eines Systems nach Abbe

Die Messwerte für die Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems nach Abbe stehen in Tabelle 4.

Nach Gleichung 6 wird nun die Brennweite bestimmt. Hierfür kann der Abbildungsmaßstab V durch $\frac{B}{G}$ ersetzt werden.

In Abbildung 4 sind die Weiten je gegen $(1 + \frac{B}{G})$ und $(1 + \frac{G}{B})$ aufgetragen.

Tabelle 4: Daten der Gegenstandsgröße, der Bildgröße, sowie der Gegenstandsweite und Bildweite eines Linsensystems in cm.

Bildgröße B	Gegenstandsgröße G	Bildweite b'	Gegenstandsweite g'
4,7	2,9	109,9	19,4
1,8	2,9	92,6	36,7

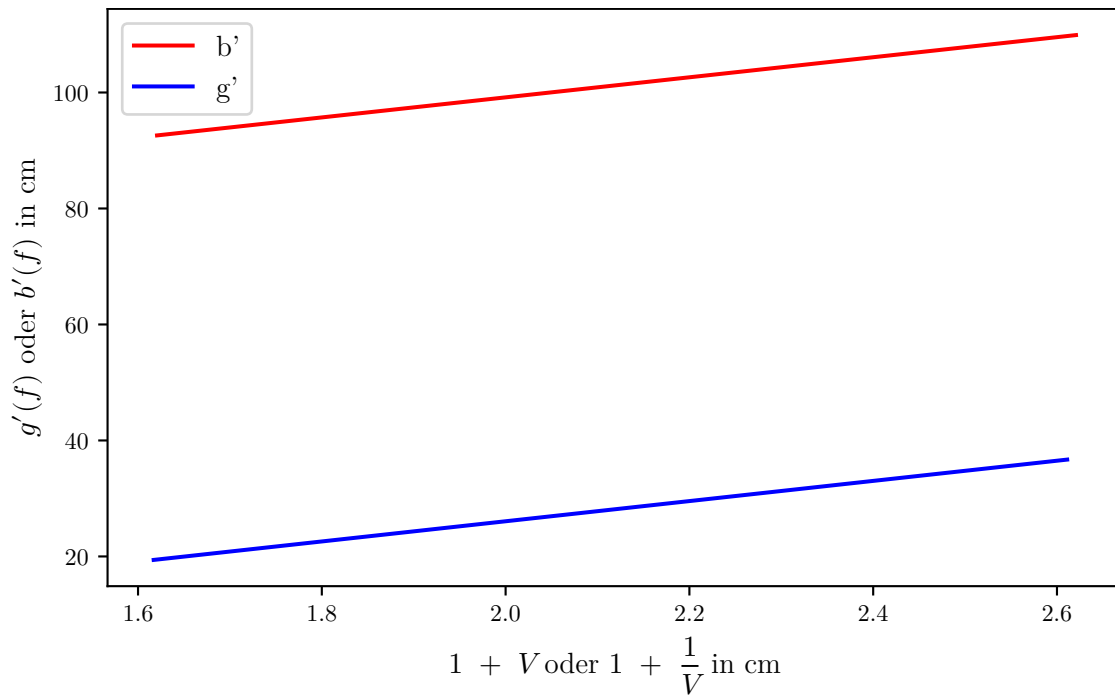


Abbildung 4: Bildweite und Gegenstandsweite sind hier mit der Funktion der Brennweite aufgetragen.

Die Steigung der Geraden ergibt die Brennweite.

Steigung von b': $f_b = 17.3\text{cm}$

Steigung von g': $f_g = 17.4\text{cm}$

5 Diskussion

5.1 Überprüfung der Linsengleichung

Der berechnete Wert für die Brennweite der Sammellinse beträgt $\bar{f} = 4.89 \pm 0.13 \text{ cm}$. Die tatsächliche Brennweite liegt bei 5 cm. Das entspricht einer Abweichung von ca. 2.2%, wenn die Standardabweichung ignoriert wird.

5.2 Bestimmung der Brennweite

Der berechnete Wert der Brennweite für die unbestimmte Linse liegt bei $\bar{f} = 9.77 \pm 0.12 \text{ cm}$, sodass anzunehmen ist, dass diese Linse eine Brennweite von 10 cm haben muss.

5.3 Methode von Bessel

Es ergab sich eine ungenaue Brennweite von $f = 11 \pm 10 \text{ cm}$. Diese ist nur korrekt, wenn der Fall $11 - 10$ betrachtet wird. Denn die Linse hat eine tatsächliche Brennweite von 0,5 cm.

5.4 Methode von Abbe

Für die Brennweite des Linsensystems ergab sich ca. $f = 17,35 \text{ cm}$.