

Physikalisches Blockpraktikum für Naturwissenschaftler

Optische Abbildung

Betreuerin: Lena Neuffer

Gruppe 3
20.02.2019

Einleitung

In vielen medizinischen Geräten und auch Mikroskopen werden Linsen angewendet. Die folgenden Versuche dienen dem Verständnis der Funktion von Linsen. Hierbei sind die wichtigsten Kenngrößen die Brennweite f , Bildweite b und Gegenstandsweite g . Das Ziel dieses Versuches ist es, die Brennweite zu bestimmen. Zur experimentellen Bestimmung der Brennweite wurden die Abbildungsgleichung, das Autokollimationsverfahren und das Bessel'sche Verfahren angewendet.

1. Bestimmung der Brennweite der beiden Sammellinsen unter Verwendung der Abbildungsgleichung

Linse	P_G in mm	P_L in mm	P_B in mm	$\pm \Delta P_B$ in mm	g in mm	b in mm	f in mm	β
A	165	600	1485	3	435	885	291.647727	-2.03448276
A	165	1065	1485	3	900	420	286.363636	-0.46666667
B	165	549	648	1	384	99	78.7080745	-0.2578125
B	165	288	648	1	123	360	91.6770186	-2.92682927

Tabelle 1: Messergebnisse für die Bestimmung der der Brennweite

Mithilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes kann die Messunsicherheit Δf dieser Methode berechnet werden. Dazu verwendet man folgende Formel:

$$f(g, b) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial b} \cdot \Delta b_i\right)^2} \text{ wobei } \Delta b_i = \Delta P_{b_i}$$

Aufgelöst ergibt das:

$$f(g, b) = \frac{g^2}{(g + b)^2} \cdot \Delta b$$

Somit ergeben sich folgende Werte für die Messunsicherheit Δf für Linse A:

Position 1: $f = (292 \pm 1)\text{mm}$

Position 2: $f = (286 \pm 2)\text{mm}$

Somit ergeben sich folgende Werte für die Messunsicherheit Δf für Linse B:

Position 1: $f = (79 \pm 1)\text{mm}$

Position 2: $f = (92 \pm 1) \text{ mm}$

2. Brennweitenmessung mithilfe des Autokollimationsverfahren

Linse	P_G in mm	P_L in mm	$\pm \Delta P_L$ in mm	f in mm
A	165	479	1	314
B	165	263	2	98

Tabelle 2: Die Brennweite entspricht dem Abstand vom Gegenstand zur Linse

Dadurch ergeben sich die Messunsicherheiten der beiden Sammellinsen:

Linse A: $f = (314 \pm 1) \text{ mm}$

Linse B: $f = (98 \pm 2) \text{ mm}$

3. Brennweitenmessung mithilfe des Bessel'schen Verfahrens

Linse	P_G in mm	P_{L1} in mm	$\pm \Delta P_{L1}$ in mm	P_{L2} in mm	$\pm \Delta P_{L2}$ in mm	P_B in mm
A	165	599	1	1071	2	1485
B	165	289	1	593	1	648
d in mm	e in mm	f in mm	Δe in mm	Δf in mm		
1320	472	287.806061	3	0.536364		
483	304	72.9156315	2	0.629399		

Tabelle 3: Brennweitenmessung mithilfe des Bessel'schen Verfahrens

Die Brennweite lässt sich mithilfe von OA.10 wie folgt berechnen:

$$f = \frac{d^2 - e^2}{4 \cdot d}$$

Mit

$$e = 2. \text{ Position der Linse} - 1. \text{ Position der Linse}$$

$$d = \text{Abstand vom Gegenstand und Bild}$$

Daraus folgt:

Linse A: $f = 288 \text{ mm}$

Linse B: $f = 73 \text{ mm}$

Mithilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes lässt sich die Unsicherheit für dieses Messverfahren berechnen:

$$\Delta f = \frac{e}{2 \cdot d} \cdot \Delta e$$

Mit

$$\Delta e = \Delta P_{L1} + \Delta P_{L2}$$

Daraus folgt:

Linse A: $f = (288 \pm 1) \text{ mm}$

Linse B: $f = (73 \pm 1) \text{ mm}$

4. Genauigkeitsbewertung der Messverfahren

Für alle Verfahren wurde eine Fehlerrechnung durchgeführt, wodurch man sagen kann, dass die Genauigkeit der Messung der Brennweite mit dem Bessel'schen Verfahren am höchsten ist. Das liegt daran, dass beim Besselverfahren immer mit zwei Messwerten (zwei Positionen der Sammellinse) gerechnet wird und bei den anderen beiden Verfahren nur mit einem (eine Position). Dadurch, dass nur die Differenz der beiden Positionen eine Rolle spielt und die Hauptebene der Linse keine mehr, löschen sich die Fehler in Bezug auf beide Richtungen aus.

5. Brennweite der Kombinierten Sammellinsen

Linse	P_G in mm	P_{L1} in mm	P_{L2} in mm	P_B in mm	l in mm	d in mm
A+B	165	253	387	510	22	345
C+B	165	444	1293	1485	22	1320

Tabelle 4: Messergebnisse für die Linsenkombination

Die resultierende Brennweite des Liniensystems lässt sich durch die Formel OA.10 berechnen:

Linse A+B: $f = 73 \text{ mm}$

Die Gesamtbrennweite des Liniensystems, wie er sich aus der Theorie ergibt, berechnet sich durch der Gleichung OA.6:

$$\frac{1}{f_{ges}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{l}{f_1 \cdot f_2}$$

Dafür werden die Messergebnisse aus 1. der ersten Position genommen, da diese die Werte mit der geringsten Messunsicherheit sind. Es ergibt sich daraus:

$$f_{ges} = 62 \text{ mm}$$

Die Werte haben eine Abweichung von ca. 15%, die sich durch verschiedene Messfehler erklären lässt.

6. Brennweite der Kombinierten Sammel- und Zerstreuungslinse

Die resultierende Brennweite des Liniensystems lässt sich durch die Formel OA.10 berechnen:

Linse C+B: $f = 194\text{mm}$

Aus diesem Wert soll nun die Brennweite der Zerstreuungslinse berechnet werden, mithilfe der Gleichungen aus OA.6. Als f_{SL} wird der Wert $f_{SL} = 73\text{mm}$ aus 3. genommen, da das Besselverfahren am zuverlässigsten ist. Durch Umstellen der Gleichung OA.6 ergibt sich der Wert für die Brennweite der Zerstreuungslinse f_{ZL} mit $f_{ges} = 194\text{mm}$:

$$\frac{1}{f_{ges}} = \frac{1}{f_{SL}} + \frac{1}{f_{ZL}} - \frac{l}{f_{SL} \cdot f_{ZL}} \Leftrightarrow f_{ZL} = \left(1 - \frac{l}{f_{SL}}\right) \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{f_{ges}} - \frac{1}{f_{SL}}}\right)$$

$$f_{ZL} = \left(1 - \frac{22}{73}\right) \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{194} - \frac{1}{73}}\right) = -82\text{mm}$$

Die Brechkraft der Zerstreuungslinse berechnet sich folgendermaßen:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{-0,082\text{m}} = -12\text{dpt}$$

7. Berechnung der Brennweite der langbrennweitigen Sammellinse in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ

Farbfilter	P_G in mm	P_{L1} in mm	P_{L2} in mm	P_B in mm	λ in nm	e in mm	d in mm
rot	165	603	1066	1485	623	463	1320
blau	165	589	1082	1485	436	493	1320

Tabelle 5: Messergebnisse für die langbrennwertigen Sammellinsen in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ .

Je kleiner die Wellenlänge des Lichtes, umso stärker wird es gebrochen. Da blaues Licht eine kleinere Wellenlänge als rotes hat, solltest auch die Brennweite des blauen Lichts kleiner als die des roten sein.

Die Brennweite lässt sich wieder mit der Formel aus OA.10 berechnen. Daraus folgt:

$$f_{rot} = 289\text{mm}$$

$$f_{blau} = 284\text{mm}$$

Dieses Messergebnis stimmt qualitativ mit der obigen Überlegung ein, da $f_{blau} < f_{rot}$ ist.