

Physikalisches Blockpraktikum für Naturwissenschaftler WS 20/21

Optische Abbildung mit Linsen - OA

Gruppe:	4
Betreuer:	Günter Lang
Verfasser:	Adrian Eisenhardt Nils von Schaper
Versuchsdatum:	04.03.2021
Abgabedatum:	09.03.2021
Abgabe:	Nr. 3

Inhaltsverzeichnis

1.THEORIE	3
2. VERSUCHSAUFBAU	3
3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG.....	4
3.1 BESTIMMUNG DER BRENNWEITE DER BEIDEN SAMMELLINSEN UNTER VERWENDUNG DER ABBILDUNGSGLEICHUNG	4
3.1.1 Aufbau	4
3.1.3 Auswertung	4
3.2 BRENNWEITENBESTIMMUNG MIT AUTOKOLLIMATIONSVERFAHREN.....	5
3.2.1 Aufbau	5
3.2.2 Beobachtung	5
3.2.3 Auswertung	5
3.3 BRENNWEITENBESTIMMUNG MIT BESSEL'SCHEM VERFAHREN	6
3.3.1 Aufbau	6
3.3.2 Beobachtung	6
3.3.3 Auswertung	6
3.4 VERTRAUENSWÜRDIGSTE VERFAHREN	6
3.5 BRENNWEITE DER KOMBINIERTEN SAMMELLINSEN	7
3.5.1 Aufbau	7
3.5.2 Beobachtung	7
3.5.3 Auswertung	7
3.6 BRENNWEITE DER KOMBINIERTEN ZERSTREUUNGS- UND SAMMELLINSE.....	8
3.6.1 Aufbau	8
3.6.2 Beobachtung	8
3.6.3 Auswertung	8
3.7 BRENNWEITE DER LANGBRENNWEITIGE SAMMELLINSE	8
3.7.1 Aufbau	8
3.7.2 Beobachtung	8
3.7.3 Auswertung	8
4. FAZIT.....	9
5. ANHANG	10

1.Theorie

Linsen finden ihre Anwendung in vielen optischen Geräten, wie Mikroskope oder Teleskope. Die Kenntnis der Brennweite spielt hierbei eine wichtige Rolle. Diese kann auf verschiedene Weisen bestimmt werden. Exemplarisch soll dies im Folgenden mittels der Abbildungsgleichung, dem Autokollimationsverfahren und dem Bessel'schen Verfahren an drei verschiedenen Linsen geschehen.

Hierbei spielen jeweils die Bildweite b , die Brennweite f und die Gegenstandsweite g eine wichtige Rolle.

2. Versuchsaufbau

Auf einer optischen Bank wurden am linken Ende eine Experimentierleuchte befestigt, rechts davon ein Schirm und dazwischen verschiedene Linsen. Vor der Experimentierleuchte wurde zudem eine Lochscheibe befestigt, bei der die Löcher in Form eines L angeordnet sind. Es wurden beim Versuch drei Linsen benutzt; zwei Sammellinsen mit unterschiedlichen Brennweiten (Linse A, Linse B) und eine Zerstreuungslinse (Linse C).

3. Versuchsdurchführung

3.1 Bestimmung der Brennweite der beiden Sammellinsen unter Verwendung der Abbildungsgleichung

3.1.1 Aufbau

Linse A wurde auf der optischen Bank montiert, im Aufgabenteil a) so dass gilt $|g| > 2 * |f|$. Dann wurde der Schirm so justiert, dass ein scharfes Bild darauf zu sehen ist. In Aufgabenteil b) wurde die Linse A so montiert, dass gilt $|f| < |g| < 2 * |f|$. Dasselbe Vorgehen wurde bei Linse B verwendet.

3.1.2 Beobachtung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Werte aus Aufgabe 1 dargestellt.

Tabelle 1: Abstände von Gegenstand zu Linse und Linse zu Bild gemäß Aufgabe 1

Linsen Nr.	P_G/mm	P_L/mm	P_B/mm	$\pm\Delta P_B/\text{mm}$
A a)	175	747	1326	6
A b)	175	618	1440	15
B a)	175	300	406	4
B b)	175	260	474	21

3.1.3 Auswertung

Mit Formeln OA.3 und OA.4 ergeben sich damit die folgenden Werte:

Tabelle 2: Brennweiten der Linsen berechnet nach OA.3 und OA.4

Linsen Nr.	g/mm	b/mm	f/mm	β
A a)	572	579	287,73..	-1,01..
A b)	443	822	287,86..	-1,85..
B a)	125	106	57,35..	-0,84..
B b)	85	214	60,83..	-2,51..

Unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten ergeben sich mit Formel GR.23 die folgenden Werte für die Brennweiten der Linsen A und B:

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

Linse A

Aufgabe a) $f = (287,7 \pm 1,5) \text{ mm}$ bzw. $f = 287,7(1 \pm 0,51\%) \text{ mm}$

Aufgabe b) $f = (287,9 \pm 1,8) \text{ mm}$ bzw. $f = 287,9(1 \pm 0,64\%) \text{ mm}$

Linse B

Aufgabe a) $f = (57,4 \pm 1,2) \text{ mm}$ bzw. $f = 57,4(1 \pm 2,0\%) \text{ mm}$

Aufgabe b) $f = (60,8 \pm 1,7) \text{ mm}$ bzw. $f = 60,8(1 \pm 2,8\%) \text{ mm}$

3.2 Brennweitenbestimmung mit Autokollimationsverfahren

3.2.1 Aufbau

Es wird derselbe Versuchsaufbau wie in 3.1.1 verwendet, jedoch wird der Gegenstand – also die Lampe mit Blende – in den Brennpunkt der Linse gestellt außerdem wird statt dem Schirm ein Spiegel in möglichst kleinem Abstand hinter die Linse gestellt, der die darauf fallenden parallelen Strahlen durch die Linse reflektiert und somit zurück auf die Blende wirft.

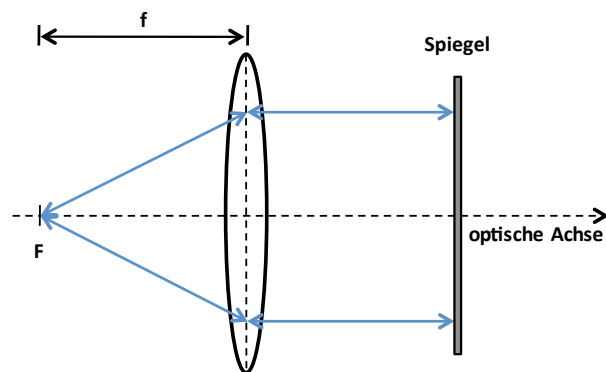


Abbildung 1: OA.5 Versuchsaufbau für Autokollimationsverfahren nach Aufgabenstellung

3.2.2 Beobachtung

Das Bild auf der Blende ist invertiert. Es ist für den Abstand $|f| = |g|$ scharf.

Tabelle 3: Positionen des Gegenstandes und der Linse sowie deren Fehler

Linsen Nr.	P_G/mm	P_L/mm	$\pm \Delta P_B/\text{mm}$
A	175	455	5
B	175	237	3

3.2.3 Auswertung

Auch hier kann mit der Formel OA.4 die Brennweite berechnet werden. Unter Berücksichtigung der Messfehler mittels Formel GR.23 ergeben sich somit die folgenden Werte.

Linse A $f = (280 \pm 5) \text{ mm}$ bzw. $f = 280(1 \pm 0,9\%) \text{ mm}$
 Linse B $f = (62 \pm 3) \text{ mm}$ bzw. $f = 62(1 \pm 2,4\%) \text{ mm}$

3.3 Brennweitenbestimmung mit Bessel'schem Verfahren

3.3.1 Aufbau

Es wird derselbe Versuchsaufbau wie in 3.1.1 verwendet wobei darauf geachtet wird, dass der Schirm in einem Abstand von $d > 4 * f$ aufgebaut ist. Es werden mit den Linsen zwei Positionen gesucht, an denen sich ein scharfes Bild auf dem Schirm ergibt. Der Abstand zwischen den beiden Positionen wird mit e beschrieben

3.3.2 Beobachtung

Es können zwei Positionen gefunden werden, an denen sich ein scharfes Bild auf dem Schirm abzeichnet. Diese sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 4: Messwerte aus Bestimmung mit Bessel'schem Verfahren

		Linsenposition 1		Linsenposition 2		
Linsenr.	P_G/mm	P_L/mm	$\pm\Delta P_L/\text{mm}$	P_L/mm	$\pm\Delta P_L/\text{mm}$	P_B/mm
A	175	638	5	943	3	1400
B	175	256	3	394	1	480

3.3.3 Auswertung

Nach Bestimmung des Abstandes e der beiden Linsenpositionen und des Abstandes des Gegenstandes zum Schirm d kann mit der Formel OA.10 die Brennweite f berechnet werden.

Tabelle 5: Brennweite abhängig von e und d

Linsen Nr.	e/mm	d/mm	f/mm
A	305	1225	287,26..
B	138	305	60,64..

Unter Berücksichtigung des Messfehlers kann mittels Formel GR.23 die Brennweite korrekt angegeben werden.

$$\Delta f = \frac{e}{2 * d} * \Delta e \text{ mit } \Delta e = \Delta P_{L1} + \Delta P_{L2}$$

Es ergeben sich die folgenden Werte:

Linse A $f = (287,3 \pm 1,0) \text{ mm}$ bzw. $f = 287,3(1 \pm 0,3\%) \text{ mm}$
 Linse B $f = (60,6 \pm 1,0) \text{ mm}$ bzw. $f = 60,6(1 \pm 1,7\%) \text{ mm}$

3.4 Vertrauenswürdigste Verfahren

Das Bessel'sche Verfahren wirkt in diesem Fall als am vertrauenswürdigsten. Es liefert die kleinsten Messunsicherheiten im Vergleich mit den anderen beiden Verfahren.

3.5 Brennweite der kombinierten Sammellinsen

3.5.1 Aufbau

Es wird derselbe Versuchsaufbau wie in 3.1.1 verwendet. In diesem Versuchsteil werden jedoch zwei Linsen auf einem Reiter in definiertem Abstand ($l = 22 \text{ mm}$) voneinander auf der optischen Bank montiert. Mit Hilfe des Bessel'schen wird die Gesamtbrennweite der Linsenkombination ermittelt.

3.5.2 Beobachtung

Es finden sich zwei Positionen der Linsenkombination bei denen ein scharfes Bild auf den Schirm abgebildet wird.

Tabelle 6: Ergebnisse des Bessel'schen Verfahrens mit beiden Linsenkombinationen

		Linsenposition 1		Linsenposition 2		
Aufgabe	P_G/mm	P_L/mm	$\pm\Delta P_L/\text{mm}$	P_L/mm	$\pm\Delta P_L/\text{mm}$	P_B/mm
(a)	175	239	2	318	2	410
(b)	175	255	—	638	—	777

3.5.3 Auswertung

Es kann mittels der Formel OA.10 die Brennweite der Linsenkombinationen berechnet werden.

Tabelle 7: Brennweiten der Linsenkombinationen

Aufgabe	e/mm	d/mm	f/mm
(a)	79	235	52,11..
(b)	383	602	89,58..

Unter Berücksichtigung des Messfehlers kann mittels Formel GR.23 die Brennweite korrekt angegeben werden.

$$\Delta f = \frac{e}{2 * d} * \Delta e \text{ mit } \Delta e = \Delta P_{L1} + \Delta P_{L2}$$

Es ergibt sich der folgende Wert:

$$(a) \quad f_{ges} = (52,1 \pm 0,7) \text{ mm} \quad \text{bzw.} \quad f = 52,1(1 \pm 1,3\%) \text{ mm}$$

Die Gesamtbrennweite der Linsenkombination kann außerdem berechnet werden mittels der Formel OA.6. Die Messunsicherheit wird über die folgende Formel errechnet

$$\Delta f_{ges} = \sqrt{\left(\frac{\partial f_{ges}}{\partial f_1} * \Delta f_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f_{ges}}{\partial f_2} * \Delta f_2\right)^2}$$

Es ergibt sich damit für die Brennweite in vollständiger Darstellung

$$f_{ges} = (53,5 \pm 0,7) \text{ mm} \quad \text{bzw.} \quad f = 53,5(1 \pm 0,9\%) \text{ mm}$$

3.6 Brennweite der kombinierten Zerstreuungs- und Sammellinse

3.6.1 Aufbau

Siehe 3.5.1

3.6.2 Beobachtung

Siehe 3.5.2

3.6.3 Auswertung

Die Brennweite der Zerstreuungslinse wird mit Hilfe der Formel OA.6 berechnet, wobei die Gesamtbrennweite f_{ges} in 3.5.3 ermittelt wurde und die Brennweite f_1 der Sammellinse (Sammellinse B) in 3.3.3.

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

Durch Einsetzen ergibt sich eine Brennweite von $f_2 = -119,6mm$

Die Brechkraft ergibt sich aus der Formel OA.7

$$D = \frac{1}{f_{ges}} = -8,4dpt$$

3.7 Brennweite der langbrennweitige Sammellinse

3.7.1 Aufbau

Es wird derselbe Versuchsaufbau wie in 3.1.1 verwendet. Zusätzlich wird nun ein Farbfilter zwischen Blende und Linse montiert, sodass nur Licht einer bestimmten Wellenlänge die Linse passiert. Es wird entsprechend dem Bessel'schen Verfahren vorgegangen.

3.7.2 Beobachtung

Wie zu erwarten sind zwei Linsenpositionen zu finden bei denen das Bild auf dem Schirm scharf abgebildet wird.

Tabelle 8: Linsenpositionen für Messung mit Farbfilter

Farbfilter	P_G/mm	Pos. 1: P_L/mm	Pos. 2: P_L/mm	P_B	Wellenlänge λ/nm
rot	175	650	930	1400	623
blau	175	630	954	1400	450

3.7.3 Auswertung

Unter Verwendung der Formel OA.6 ergeben sich die folgenden Brennweiten:

$$f_{rot} = 290,25 \text{ mm}$$

$$f_{blau} = 284,82.. \text{ mm}$$

Zu erkennen ist, dass rotes Licht eine geringere Brechkraft also eine größere Brennweite hat als blaues Licht ($f_{rot} > f_{blau}$). Dies stimmt mit den theoretischen Überlegungen überein und bestätigt somit die Theorie

4. Fazit

Es wurden die Brennweiten dreier unterschiedlicher Linsen bestimmt mittels verschiedener Verfahren.

Bei allen Verfahren musste zwischen „scharfen“ und „unscharfen“ Bildern unterschieden werden. Dies ist mit den verfügbaren Mitteln jedoch nicht objektiv bewertbar, sodass es hier ein großes Fehlerpotential gibt, dass subjektiv entschieden wurde. Um weitere Störgrößen zu minimieren ist auf eine dunkle Arbeitsumgebung, einen sauberen Schirm, eine saubere Linse sowie eine saubere Lichtquelle beziehungsweise saubere Blende zu achten. Den Versuch wiederholt durchzuführen würde ebenfalls Störfaktoren minimieren.

5. Anhang

Messwerte - Versuch Optische Abbildung

1. Aufgabe	Abbildungstyp
Linse Nr.	Abbildungstyp
A	Erstreckungsbrennpunkt
B	Sammellinse
C	Sammellinse Zerstreuung

Abstand: 17,5 cm

Lupen L = 0,1 m, P₀ mit Skizze

Datum des Versuchstags: 4.03.2024

Gruppennummer: 4

Teilnehmer: _____

Unterschrift Assistent/-in: _____

2. Aufgabe	Abbildungsformel						
Linse Nr.	P ₀ / mm	P ₁ / mm	P ₂ / mm	ΔP ₀ / mm	g / mm	b / mm	f / mm
A	175	747	1326	±6	572	575	287
B	175	618	1140	±5	443	822	287
Ba)	175	300	406	±4	125	106	75,359
Bb)	175	260	474	±21	85	214	69,836

3. Aufgabe	Autokalibrationsverfahren		
Linse Nr.	P ₀ / mm	P ₁ / mm	ΔP ₀ / mm
A	175	455	±5
B	175	237	±3

4. Aufgabe	Besselverfahren			für beide Sammellinsen		
Linse Nr.	P ₀ / mm	Linseposition 1		Linseposition 2		P ₀ / mm
		P ₁ / mm	ΔP ₁ / mm	P ₂ / mm	ΔP ₂ / mm	
A	175	638	±5	945	±3	1400
B	175	756	±3	334	±1	480

5. Aufgabe	Besselverfahren			Linsenkombinationen			
Aufgabe	P ₀ / mm	Linseposition 1		Linseposition 2		P ₀ / mm	Abstand l / mm
		P ₁ / mm	ΔP ₁ / mm	P ₂ / mm	ΔP ₂ / mm		
a	175	239	±2	318	±2	410	22
b	175	255	—	638	—	777	22

6. Aufgabe	Besselverfahren			Bestimmung chrom. Aberration	
Farbfilter	P ₀ / mm	Pos. 1: P ₁ / mm	Pos. 2: P ₂ / mm	P ₀ / mm	Wellenlänge λ / nm
rot	175	650	930	1400	623
blau	175	630	954	1400	450