

Hier hatten wir ein Bild mit dem Logo der Uni Tübingen.
Allerdings werden das nicht alle Tutor:innen durchgehen lassen,
da Studierende nichts im Namen der Uni veröffentlichen dürfen,
wegen Verantwortlichkeit und so.

Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler an der Universität Tübingen

OA - Optische Abbildungen mit Linsen

Gruppe: 3
Verfasser: Micha Beck
Franziska Trotter
Studiengang: Medizintechnik B.Sc.
Betreuer: Christian Vöhringer
Versuchsdatum: 03.03.2021
Abgabedatum: 03.03.2021

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	2
1.1	Geometrische Optik	2
1.2	Linsentypen	2
1.2.1	Dünne Sammellinsen	2
1.2.2	Dünne Zerstreuungslinsen	2
1.3	Abbildungen	3
1.3.1	Abbildungsgesetze	3
1.3.2	Abbildungsfehler	3
2	Experimenteller Teil	4
2.1	Versuchsaufbau	4
2.2	Versuchsteil 1	4
2.2.1	Aufgabenstellung	4
2.2.2	Auswertung	4
2.3	Versuchsteil 2	4
2.3.1	Aufgabenstellung	4
2.3.2	Durchführung	4
2.3.3	Beobachtung	5
2.3.4	Auswertung	5
2.4	Versuchsteil 3	6
2.4.1	Aufgabenstellung	6
2.4.2	Durchführung	6
2.4.3	Beobachtung	6
2.4.4	Auswertung	6
2.5	Versuchsteil 4	6
2.5.1	Aufgabenstellung	6
2.5.2	Durchführung	7
2.5.3	Beobachtung	7
2.5.4	Auswertung	7
2.6	Versuchsteil 5	8
2.6.1	Aufgabenstellung	8
2.6.2	Durchführung	8
2.6.3	Beobachtung	8
2.6.4	Auswertung	9
2.7	Versuchsteil 6	10
2.7.1	Aufgabenstellung	10
2.7.2	Durchführung	10
2.7.3	Beobachtung	10
2.7.4	Auswertung	10

2.8	Fazit	11
2.9	Messdaten	12

1 Theorie

1.1 Geometrische Optik

Mithilfe der geometrischen Optik werden die Abbildungsgesetze für verschiedene Linsentypen abgeleitet. Dazu wird vorausgesetzt, dass Licht nur beim Übergang zwischen Medien eine Brechung erlebt und sich sonst im homogenen Medium in geradlinigen Lichtstrahlen ausbreitet.

Fällt ein Lichtstrahl nun auf eine Grenzschicht zwischen zwei homogenen Medien können zwei Fälle eintreten, einzeln oder auch beide zugleich: Das Licht kann reflektiert werden, wobei der Einfallswinkel des Lichtstrahls gleich dem negativen Ausfallswinkel oder Reflektionswinkel entspricht ($\phi_1 = \phi_2$). Als Achse wird die Orthogonale zur Reflektionsebene durch den Reflektionspunkt herangezogen.

Der Lichtstrahl breitet sich im Medium ebenfalls weiter aus, dabei widerfährt ihm eine Brechung. Das Brechungsgesetz besagt, dass der Brechungswinkel von den Brechungsindizes n_1 und n_2 abhängt. Hier gilt dann

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

1.2 Linsentypen

Bei einer Linse sind einige Begriffe definiert. So heißt die sagittale Ebene hier optische Achse. Brennpunkt F nennt man den Punkt, auf den alle zur optischen Achse parallel laufenden Lichtstrahlen zulaufen bzw. auf dessen Gerade mit dem Einfallspunkt die Lichtstrahlen nach der Brechung laufen. Der Brennpunkt liegt in der Brennebene, welche parallel zur Hauptebene der Linse liegt. Der Abstand zwischen diesen beiden Ebenen wird Brennweite f genannt. Die Brechkraft wird über $D = \frac{1}{f}$ mit der Einheit Dioptrie berechnet ($[D] = m^{-1}$).

Bei dünnen Linsen wird die Brechung vereinfacht. Es wird lediglich eine Brechung an der Hauptachse angenommen, und nicht je eine beim Ein-/Austritt.

1.2.1 Dünne Sammellinsen

Eine Sammellinse ist eine konvexe Linse. Hier werden alle parallel zur optischen Achse laufenden Lichtstrahlen tatsächlich auf den Brennpunkt projiziert. Gegenstände, die weiter von der Linse entfernt liegen als der Brennpunkt, werden dort scharf abgebildet, wo sich die ausgehenden Lichtstrahlen eines Punktes wieder treffen, dem Bildpunkt. Dabei entsteht hinter der Linse ein invertiertes, reelles Bild.

Befindet sich ein Gegenstand näher an der Linse, als der Brennpunkt, so divergieren die Lichtstrahlen nach der Brechung. Verlängert man die gebrochenen Lichtstrahlen jedoch wieder vor die Linse, treffen sie sich dort in einem Bildpunkt. Dadurch entsteht ein vergrößertes, aufrechtes, virtuelles Bild. Es wirkt, als kämen alle Strahlen von diesem virtuellen Punkt.

1.2.2 Dünne Zerstreulinsen

Streulinsen sind konkav und parallel einlaufende Strahlen werden gestreut statt gebündelt. Auch hier treffen sich die rückwärtigen Verlängerungen der Strahlen in einem Bildpunkt, der sich hier aber noch näher an der Linse befindet, als der Gegenstand. Das Bild ist virtuell und aufrecht, aber verkleinert. Für Streulinsen gilt $f < 0$.

1.3 Abbildungen

1.3.1 Abbildungsgesetze

Durch Strahlensätze lassen sich Verhältnisse zwischen Bild-, Gegenstands- und Brennweite ermitteln. Das Verhältnis von Bildgröße B und Gegenstandsgröße G wird Abbildungsmaßstab/Lateralvergrößerung $\beta = \frac{B}{G} = -\frac{b}{g}$, wobei b und g Bild- und Gegenstandsweite beschreiben. Es ergibt sich außerdem die Abbildungs- oder Linsengleichung:

$$\frac{g-f}{G} = -\frac{f}{B} \quad \Longleftrightarrow \quad \frac{g-f}{g} = -\frac{f}{b} \quad \Longleftrightarrow \quad \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \quad (2)$$

b ist dabei negativ, wenn das Bild virtuell ist und positiv, wenn das Bild reell ist. B ist negativ, wenn das Bild invertiert und damit reell ist und positiv, wenn das Bild aufrecht und virtuell ist. Die Brennweite ist für Sammellinsen stets positiv, für Zerstreuungslinsen negativ. Die Bildweite lässt sich berechnen mit

$$b = \frac{g \cdot f}{g - f} \quad (3)$$

Dünne Linsen können auch mit parallelen Hauptachsen in Reihe mit dem Abstand l angeordnet sein. Dafür ergibt sich eine resultierende Brennweite f_{ges} :

$$\frac{1}{f_{ges}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{1}{f_1 f_2} \Rightarrow f_{ges} = \frac{f_1 f_2}{f_2 + f_1 - l} \quad (4)$$

$$D_{ges} = D_1 + D_2 - L \cdot D_1 D_2 \quad (5)$$

1.3.2 Abbildungsfehler

Abbildungsfehler können verschiedene Ursachen haben. Die Wirkung jedoch ist immer gleich: Punkte des Gegenstandes sind nicht mehr scharf auf der Bildebene abgebildet. Die wichtigsten sind Farb- oder Öffnungsfehler.

Die chromatische Abberation oder auch Farbfehler entsteht durch die Abhängigkeit des Brechungsindex von der Wellenlänge des Lichts. Kurzwelliges Licht wird stärker gebrochen als langwelliges; dadurch verschieben sich auch die Brennpunkte der verschiedenen elektromagnetischen Wellen. Die Brennweite f für langwelliges Licht ist größer.

Sphärische Abberation oder Öffnungsfehler entstehen durch verschiedene Abstände der parallel zur optischen Achse laufenden Strahlen von dieser. Nur Strahlen, welche nah an der optischen Achse verlaufen, kreuzen sich hinter der Linse auch in einem Punkt. Je weiter entfernt ein Strahl von der optischen Achse verläuft, desto näher rückt sein Schnittpunkt mit der optischen Achse an die Linse.

2 Experimenteller Teil

2.1 Versuchsaufbau

Auf einer optischen Bank wird die Experimentierleuchte randständig mit einem Reiter montiert. Damit diese möglichst paralleles Licht abstrahlt, wurde das Bild der Glühwendel auf eine entfernte Wand fokussiert und so eingestellt, dass ein scharfes Bild der Glühwendel zu sehen ist. In Strahlungsrichtung des Lichts wird an dem anderen Ende der optischen Bank ebenfalls mittels Reiter ein Schirm montiert. Der Schirm lässt sich um 180° drehen, wodurch der auf der Rückseite montierte Spiegel einsetzbar ist. Dieser wird für das Autokollimationsverfahren benötigt. Zwischen Lichtquelle und Schirm lassen sich abhängig der jeweiligen Anforderung verschiedene Linsen und Farbfilter montieren. Vor der Experimentierleuchte wird eine Lochblende installiert.

2.2 Versuchsteil 1

2.2.1 Aufgabenstellung

Im ersten Schritt soll der Abbildungstyp der verschiedenen Linsen bestimmt werden und als sammelnd, beziehungsweise zerstreuend eingeordnet werden.

2.2.2 Auswertung

Alle Linsen wurden zwischen Experimentierleuchte und Schirm gespannt und vor und zurück bewegt. Bei den Sammellinsen konnte irgendwann eine scharfe Abbildung des L erreicht werden, bei der Zerstreuungslinse wird beim Entfernen des Schirms von der Linse das Licht dahinter immer stärker gestreut. So konnten die Abbildungstypen der Linsen schnell erkannt werden.

Tabelle 1: Abbildungstypen verschiedener Linsen und deren Nummer zugeordnet

Linse	Abbildungstyp
A	Sammellinse, größere Brennweite
B	Sammellinse, kleinere Brennweite
C	Zerstreuungslinse

2.3 Versuchsteil 2

2.3.1 Aufgabenstellung

Nun soll unter Verwendung der Abbildungsgleichung (2) die Brennweite f der beiden im Teil 1 als Sammellinsen erkannten Linsen bestimmt werden.

2.3.2 Durchführung

Zuerst soll die Linse einen Abstand vom Schirm haben, sodass $g > 2f$ gilt. Das Bild auf dem Schirm sollte invertiert und verkleinert sein. Die Positionen der Linse und des Schirms werden dann festgehalten, genauso wie ein Ungenauigkeitsbereich, in welchem die Abbildung immer noch scharf zu erkennen ist.

Nun wird das Ganze wiederholt, allerdings wird jetzt ein Abstand zwischen Linse und Schirm gefordert, welcher $f < g < 2f$ erfüllt ist. Dabei sollte das reelle Bild diesmal invertiert und vergrößert sein. Auch hier werden alle Werte notiert.

2.3.3 Beobachtung

Abbildung 1: Messwerte für zwei Sammellinsen bei der Bestimmung der Brennweite mithilfe der Abbildungsgleichung

Linse Nr.	p_G /mm	p_L /mm	p_B /mm	$\pm \Delta p_B$ /mm	g /mm	b /mm	f /mm	β
A	200	1571	1923,5	2	1371	352,5	280,4047	-0,2571116
A	200	572	1807,5	10,5	372	1235,5	285,91353	-3,32123656
B	200	577	647	1	377	70	59,0380313	-0,18567639
B	200	283	635,5	5,5	93	342,5	73,1400689	-3,6827957

2.3.4 Auswertung

Nach Gleichung (2) gilt:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (6)$$

und darüber hinaus kann f in Abhängigkeit von g und b als

$$f(g, b) = \frac{b \cdot g}{b + g} \quad (7)$$

angegeben werden. Die Werte sind oben bereits in der Tabelle ausgerechnet. Zudem ist $\beta = -\frac{b}{g}$ bereits berechnet und angegeben. Die Messunsicherheit Δf ergibt sich aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz als

$$\Delta f(g, b) = \left| \frac{\partial f(g, b)}{\partial b} \cdot \Delta b_i \right| = \frac{g^2}{(b + g)^2} \cdot |\Delta b_i| \quad (8)$$

Hier entspricht Δb_i dem in der Tabelle angegebenen $\pm \Delta p_B$.
Wir rechnen also für Linse A und Position 1

$$\begin{aligned} \Delta f(g, b) &= \frac{g^2}{(b + g)^2} \cdot |\Delta b_i| \\ &= \frac{1371^2 \text{ mm}^2}{(1371 \text{ mm} + 352,5 \text{ mm})^2} \cdot 2 = 1,265558805 \text{ mm} \end{aligned} \quad (9)$$

Dies wird analog so für die zweite Position von Linse A und beide Positionen von Linse B berechnet. Und daraus ergeben sich folgende Brennweiten:

Linse	Position	Brennweite f [mm]
A	1	$280,4 \pm 1,3$
A	2	$285,9 \pm 0,6$
B	1	$59,0 \pm 0,8$
B	2	$73,14 \pm 0,26$

Diese großen Unterschiede der ermittelten Brennweite vor allem bei der Linse B sind auf diverse Messungenauigkeiten zurückzuführen. Die Linsen können leicht um kleine Winkel verdreht sein oder der Schirm nicht ganz im Lot stehen. Zudem ist das Abpassen der scharfen Abbildungen und der Grenzen der Schärfe in dieser Methode recht schwierig.

2.4 Versuchsteil 3

2.4.1 Aufgabenstellung

Hier wird abermals die Brennweite f der beiden Sammellinsen bestimmt. Dies geschieht hier unter Verwendung des sogenannten Autokollimationsverfahren.

2.4.2 Durchführung

Dazu wird der Schirm umgedreht, sodass der Spiegel zur Linse zeigt. Linse und Spiegel werden nun so dicht zusammen geschoben wie möglich. Beide werden nun auf der optischen Bank solange vor und zurück geschoben, bis die Stelle gefunden ist, an welcher das L auf dem abgeschirmten Teil der Experimentierleuchte scharf und gleich groß wie das Original zu sehen ist. Nun wird noch der Abstand zwischen Linse und Leuchte gemessen.

2.4.3 Beobachtung

Aus der Versuchsdurchführung ergab sich folgender Datensatz:

Abbildung 2: Messergebnisse zur Brennweitenbestimmung mit dem Autokollimationsverfahren

Linse Nr.	P_G /mm	P_L /mm	$\pm \Delta P_L$ /mm
A	200	478	2
B	200	275,5	5,5

2.4.4 Auswertung

An der Position der Linse, an der auf der Lochblende der Lichtquelle ein scharfes und gleichgroßes Bild des Gegenstandes (hier ein großes L aus 9 Punkten) zu sehen ist, gilt:

$$\text{Gegenstandsweite } g = \text{Brennweite } f \quad (10)$$

Die Brennweite inklusive Messunsicherheit ist also anzugeben als:

$$f = f_{\text{experimentell}} \pm \Delta P_L \quad (11)$$

Damit ergibt sich für Linse A eine Brennweite $f = (278 \pm 2)$ mm und $f = (75,5 \pm 5,5)$ mm für Linse B. Diese Werte sind relativ nah an den Werten der ersten Messung und Bestimmung der Brennweite mithilfe der Abbildungsgleichung, liegen jedoch jeweils noch außerhalb des bereits aufgespannten Intervalls.

2.5 Versuchsteil 4

2.5.1 Aufgabenstellung

Im vierten Versuchsteil wird nun nochmals die Brennweite der beiden Sammellinsen experimentell bestimmt, diesmal allerdings durch Anwendung des Bessel'schen Verfahren.

2.5.2 Durchführung

Für das Bessel'sche Verfahren ist es wichtig, dass der Abstand d zwischen Gegenstand und Bild/Schirm vierfach größer sein muss, als die Brennweite ($d > 4 \cdot f$). So gibt es dazwischen zwei Orte für die Linse, wodurch ein scharfes Bild zustande kommt. Zudem ist das Identifizieren eines scharfen Bildes auf dem Schirm durch die Helligkeit des Bildes erschwert. Hier kann mit einer Graublende nachjustiert werden, welche die Lichtintensität reduziert.

Hier müssen lediglich der Abstand d zwischen Gegenstand und Schirm, sowie der Abstand e notiert werden. Der Abstand e beschreibt hierbei die Differenz zwischen den zwei Punkten, an welchen sich die Linse eine scharfe Abbildung auf den Schirm projiziert. Die Linse wird also so lange auf der optischen Bank entlang geschoben, bis beide Stellen identifiziert sind.

2.5.3 Beobachtung

Der experimentell bestimmte Datensatz war der Folgende:

Abbildung 3: Messergebnisse zur Brennweitenbestimmung mit dem Bessel'schen Verfahren

Linse Nr	P_G /mm	Linsenposition 1		Linsenposition 2		P_B /mm
		P_L /mm	ΔP_L /mm	P_L /mm	ΔP_L /mm	
A	200	623,75	1,75	1081,5	1,5	1500
B	200	299	2	397,5	1,5	500

2.5.4 Auswertung

Nach OA. 10 kann die Brennweite beim Verfahren nach Bessel mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$f = \frac{b_i \cdot g_i}{b_i + g_i} = \frac{d^2 - e^2}{4 \cdot d} \quad (12)$$

wobei durch zweitere Gleichheit die Kenntnis über den Abstand e der beiden Fokuspunkte und den Abstand d von Lichtquelle zu Schirm genügt, um die Brennweite f zu bestimmen. Dabei ist $d = P_B - P_G = 1300 \text{ mm}$ und e errechnet sich durch $P_{L1} - P_{L2}$.

Für Linse A erhält man dadurch

$$f = \frac{d^2 - e^2}{4 \cdot d} = \frac{1300^2 \text{ mm}^2 - 457,75^2 \text{ mm}^2}{4 \cdot 1300 \text{ mm}} = 284,7047957 \text{ mm} \quad (13)$$

und Linse B erhält durch die gleiche Rechnung eine Brennweite $f = 66,91479167 \text{ mm}$. Da der Abstand e zwischen den Linsenpositionen jedoch fehlerbehaftet ist muss dieser Fehler berücksichtigt werden. Die Messunsicherheit ergibt sich ebenfalls über das Fehlerfortpflanzungsgesetz nach Gauß zu:

$$\Delta f = \left| \frac{e}{2 \cdot d} \cdot \Delta e \right| \quad \text{wobei} \quad \Delta e = \Delta P_{L1} + \Delta P_{L2} \quad (14)$$

Für die Linsen ergeben sich dadurch folgende Brennweiten mit absoluten Fehlern:

Linse	Brennweite f [mm]
A	$284,7 \pm 0,6$
B	$66,9 \pm 0,6$

An dieser Stelle sollen die hier angewendeten Verfahren zur Brennweitenbestimmung, konkret das Ausnutzen der Linsen-/Abbildungsgleichung (Gleichung 2), Bessel'sche Verfahren und das Autokollimationsverfahren verglichen werden.

Nach unserer Überlegung ist das Autokollimationsverfahren in der Theorie als etwas genauer und damit vertrauenswürdiger als die Brennweitenbestimmung über die Linsengleichung einzustufen. Dies ist damit zu erklären, dass beim Autokollimationsverfahren „eine einzige“ Messung direkt das Ergebnis liefert, wohingegen beim Verfahren über die Linsengleichung mehrere Messgrößen aufgenommen werden müssen und diese wiederum verrechnet werden, um die Brennweite zu ermitteln. Dies führt zu einer Vielzahl an Fehlerquellen, welche das Ergebniss negativ beeinflussen können. Hier ist allerdings noch anzumerken, dass das Autokollimationsverfahren im konkreten Versuch recht mühsam durchzuführen war, da der Spiegel nicht nur schief, sondern auch noch fleckig und angelaufen war, wodurch das Aufnehmen korrekter Messwerte erschwert wurde.

Als das am genauesten einzustufende Messverfahren ist jedoch das Bessel'sche Verfahren, da hier lediglich die Differenz der Linsenpositionen und der Abstand d von Bild und Gegenstand für die Brennweitenbestimmung relevant ist. Dies führt dazu, dass eine Abweichung der angenommenen Hauptebene von der wahren Hauptebene der Linse das Ergebnis nur minimal, wenn nicht sogar überhaupt nicht beeinflussen, da eine nicht wie angenommen liegende Hauptebene stets gleichermaßen verrückt ist und sich so entstehende Fehler aufheben.

2.6 Versuchsteil 5

2.6.1 Aufgabenstellung

Hier soll nun eine experimentelle Bestimmung der resultierenden Brennweite f_{ges} eines Linsensystems durchgeführt werden. Dies geschieht auf Grundlage des Bessel'schen Verfahrens. Hierbei werden die Linsensysteme zu a) die beiden Sammellinsen und b) der kurzbrennweitigeren Sammellinse und der Zerstreuungslinse in Betracht gezogen.

2.6.2 Durchführung

a) Die beiden Sammellinsen werden auf dem Reiter, welcher einen festen Abstand l zwischen den Linsen definiert, befestigt. Nun werden wieder beide Punkte gesucht, an welchen scharfe Abbildungen auf dem Schirm zu sehen sind. Abgemessen und notiert werden hier nun beide Linsenpositionen. Hier wird zudem noch der Bereich $\pm\Delta P_L$ bestimmt.

b) Hier wird analog zum Teil a) gearbeitet mit der kurzbrennweitigeren Sammellinse und der Zerstreuungslinse. Eine Bestimmung von $\pm\Delta P_L$ ist hier nicht nötig.

2.6.3 Beobachtung

Abbildung 4: Messergebnisse zur Gesamtbrennweite f_{ges} nach dem Bessel'schen Verfahren

Aufgabe	P_G / mm	Linsenposition 1		Linsenposition 2		P_B / mm	Abstand l / mm	Anordnung
		P_L / mm	$\Delta P_L / \text{mm}$	P_L / mm	$\Delta P_L / \text{mm}$			
(a)	200	265,5	1,5	499,5	0,5	575	22	BA
(b)	200	405	-	733	-	905	22	BC

2.6.4 Auswertung

Über das Besselverfahren wird der Wert der Gesamtbrennweite ermittelt, indem man f_{ges} mit Gleichung OA.10 berechnet. Im Versuchsteil a) wurden die beiden Sammellinsen in Reihe installiert. Deren Einzelbrennweiten sind durch die vorangegangenen Versuche bereits experimentell bestimmt und die kombinierte Brennweite ergibt sich durch (4):

$$\begin{aligned} f_{ges} &= \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - l} \\ &= \frac{284,7 \text{ mm} \cdot 66,9 \text{ mm}}{284,7 \text{ mm} + 66,9 \text{ mm} - 22 \text{ mm}} \\ &= 57,78649879 \text{ mm} \end{aligned} \quad (15)$$

Da jedoch auch die durch das Besselverfahren Brennweiten Unsicherheiten haben, muss hier eine Fehlerrechnung nach Gauß durchgeführt werden.

$$\begin{aligned} \Delta f_{ges} &= \sqrt{\left(\frac{\partial f_{ges}(f_1, f_2, l)}{\partial f_1} \cdot \Delta f_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f_{ges}(f_1, f_2, l)}{\partial f_2} \cdot \Delta f_2\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{f_2^2 - f_2 l}{(f_1 + f_2 + l)^2} \cdot \Delta f_1\right)^2 + \left(\frac{f_1^2 - f_1 l}{(f_1 + f_2 + l)^2} \cdot \Delta f_2\right)^2} \\ &= \sqrt{(0,027650186 \cdot 0,6 \text{ mm})^2 + (0,688451157 \cdot 0,6 \text{ mm})^2} \\ &= 0,413403713 \text{ mm} \end{aligned} \quad (16)$$

Die theoretisch errechnete Gesamtbrennweite beträgt damit $f_{ges} = (57,8 \pm 0,5) \text{ mm}$. Durch das Besselverfahren mit den kombinierten Linsen ergibt sich dagegen

$$\begin{aligned} f_{ges} &= \frac{d^2 - e^2}{4 \cdot d} \\ &= \frac{375^2 \text{ mm}^2 - 234^2 \text{ mm}^2}{4 \cdot 375 \text{ mm}} \\ &= 57,246 \text{ mm} \end{aligned} \quad (17)$$

Nun wird Δf_{ges} nach Gleichung (14) berechnet und ergibt sich zu $\Delta f_{ges} = 0,624 \text{ mm}$. Damit ist die durch das Besselverfahren mit Messunsicherheit bestimmte Gesamtbrennweite $f_{ges} = (57,2 \pm 0,7) \text{ mm}$.

Die Werte unterliegen einer Abweichung von etwa 1%. Verschiedene Messfehler in den Methoden können solche Abweichungen hervorrufen, jedoch ist die hier errechnete sehr gering.

Die resultierende Brennweite f_{ges} für das Linsensystem b) aus Sammel- und Zerstreuungslinse ergibt sich rechnerisch nach OA. 10 zu $f_{ges} = 138,0996... \text{ mm}$.

Daraus soll jetzt die Brennweite der Zerstreuungslinse f_2 unter Verwendung der Gleichung (4) bestimmt werden. Es wurden die Werte $l = 22 \text{ mm}$, $f_{ges} = 138,1 \text{ mm}$ und $f_1 = 66,91 \text{ mm}$ angenommen und verwendet:

$$\frac{1}{f_{ges}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{l}{f_1 \cdot f_2} \iff f_2 = \frac{f_1 - l}{\left(\frac{f_1}{f_{ges}} - 1\right)} \quad (18)$$

Nach einsetzen der Zahlenwerte ist die Brennweite der Zerstreuungslinse also als $f_2 = -87,12 \text{ mm}$ anzugeben.

Daraus kann auch die Brechkraft D der Zerstreuungslinse berechnet werden. Nach der Theorie zu dünnen Sammellinsen in 2.1 OA ist die Brechkraft D der Kehrwert der Brennweite.

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{(-87,12 \cdot 10^{-3}) \text{ m}} \approx -11,48 \text{ dpt}$$

2.7 Versuchsteil 6

2.7.1 Aufgabenstellung

Abschließend wird nun die Brennweite $f(\lambda)$ einer sphärischen Sammellinse in Abhängigkeit von Licht verschiedener Wellenlängen λ bestimmt werden. Dies geschieht nach dem Bessel'schen Verfahren und soll die chromatischen Abberationen verdeutlichen.

2.7.2 Durchführung

Hier wird die Sammellinse mit größerer Brennweite verwendet. Zudem wird ein Farbfilter (blau/rot) in den Strahlengang eingebracht.

Wie zuvor auch wird die Brennweite bestimmt, indem die Positionen der Linse mit scharfer Abbildung auf den Schirm bestimmt wird. Die geschieht unabhängig für die verschiedenen Farbfilter. Zudem muss die Wellenlänge λ notiert werden.

2.7.3 Beobachtung

Für die verschiedenen Farbfilter ergaben sich folgende Versuchsdaten:

Abbildung 5: Messergebnisse zur Brennweitenbestimmung mit dem Autokollimationsverfahren

Farbfilter	P_G / mm	Pos.1: P_L / mm	Pos.2: P_L / mm	P_B / mm	λ / nm
rot	200	624	1087	1500	623
blau	200	618	1095	1500	450

2.7.4 Auswertung

Nach der grundlegenden Überlegung, das kürzerwelliges Licht an Linsen stärker gebrochen wird, ist zu erwarten, das die Brennweite f für den roten Farbfilter ($\lambda=623 \text{ nm}$) größer sein wird, als für das kürzerwellige blaue Licht ($\lambda=450 \text{ nm}$). Die Brennweiten wurden mit der Gleichung OA. 10 als folgende (bereits gerundet) bestimmt:

$$f_{\text{rot}} = 283,78 \text{ mm}$$

$$f_{\text{blau}} = 281,24 \text{ mm}$$

Dieses Ergebnis stimmt qualitativ mit dem nach der Vorüberlegung erwarteten Wert überein. Brechungsverhalten des farbigen Lichts und Brennweiten verhalten sich wie überlegt.

2.8 Fazit

Im Versuch 'Optische Abbildungen' wurden Brennweiten und Brechkraft verschiedener Linsen und Linsensystemen bestimmt. Dabei wurden die in der Auswertung bereits abgehandelten Verfahren verwendet. Nicht nur als das vertrauenswürdigste, weil genaueste, sondern auch als das am angenehmsten durchzuführende Verfahren ist laut unserer Einschätzung das Bessel'sche Verfahren.

Es sei noch anzumerken, dass es uns teilweise sehr schwer viel, ein Bild als scharf einzustufen und es insbesondere bezüglich des Übergangs von „scharf“ zu „unscharf“ auch teamintern zu Unstimmigkeiten kam. Dies könnte an der Subjektivität der visuellen Wahrnehmung beim Menschen liegen. Dies gelang jedoch im Laufe der Versuchsreihe immer besser, wodurch die ersten Messdaten auch als die ungenauesten Ergebnisse einzuschätzen sind.

2.9 Messdaten

Fehler, die hier bei Rechnungen (v.a. Aufgabe 2) während der Versuchszeit gemacht wurden, wurden im Protokoll behoben.

Messwerte - Versuch Optische Abbildung

1. Aufgabe Abbildungstyp

Linsen Nr.	Abbildungstyp
A	Sammellinse große Brennweite
B	Sammellinse kleine Brennweite
C	Zerstreuungslinse

Datum des Versuchstags: 3. März 2021

Gruppennummer: 3

Teilnehmer: Trotter

Beck

Unterschrift Assistent/-in: M. Vöring

Höhe Lampe: 21.6 cm

2. Aufgabe Abbildungsformel

Linsen Nr.	P_g / mm	P_l / mm	P_g / mm	$\pm \Delta P_g / \text{mm}$	g / mm	b / mm	f / mm	β
A	50 200	1571	1923,5	4,2	1371	352,5	280,404	-0,25711
A	50 200	572	1807,5	10,5	372	1235,5	294,148	-0,30100
B	50 200	572	647	1	372	70	53,0584	-0,19568
B	50 200	293	635,5	5,5	93	342,5	73,14068	-0,27155

3. Aufgabe Autokollimationsverfahren

Linsen Nr.	P_g / mm	P_l / mm	$\pm \Delta P_l / \text{mm}$
A	50 200	478	± 2
B	50 200	827,5	$\pm 5,5$

Spiegel kann + flecting

4. Aufgabe Besselverfahren Für beide Sammellinsen

Linsen Nr.	P_g / mm	Linsenposition 1		Linsenposition 2		P_g / mm	
		P_l / mm	$\Delta P_l / \text{mm}$	P_l / mm	$\Delta P_l / \text{mm}$		
A	50 200	623,75	$\pm 1,75$	1081,5	$\pm 1,5$	1500	$f = 284,7048 \dots \text{mm}$
B	50 200	293	± 2	397,5	$\pm 1,5$	500	$f = 66,914792 \dots \text{mm}$

5. Aufgabe Besselverfahren Linsenkombinationen

Aufgabe	P_g / mm	Linsenposition 1		Linsenposition 2		P_g / mm	Abstand l / mm
		P_l / mm	$\Delta P_l / \text{mm}$	P_l / mm	$\Delta P_l / \text{mm}$		
a	50 200	265,5	$\pm 1,5$	499,5	$\pm 0,5$	575	22
b	50 200	405	—	733	—	905	22

6. Aufgabe Besselverfahren Bestimmung chrom. Abberation

Farbfilter	P_g / mm	Pos. 1: P_l / mm	Pos. 2: P_l / mm	P_g / mm	Wellenlänge λ / nm
rot	50 200	624	1087	1500	623 nm
blau	50 200	618	1035	1500	450 nm