

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: PHYC03UF

Übungstitel: Brennweite dünner Linsen

Betreuer: Raphael Dorner

Gruppennummer: 1

Name: PHILIPP Maximilian

Name: STARK Matthias

Mat. Nr.: 11839611

Mat. Nr.: 12004907

Datum der Übung: 12 November

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Grundlagen	4
3	Versuchsanordnung	5
3.1	Laplace'sche Methode	5
3.2	Bessel'sches Verfahren	5
3.3	Zerstreuungslinse	6
3.3.1	Methode 1	6
3.3.2	Methode 2	7
4	Geräte liste	9
5	Versuchsdurchführung & Messergebnisse	9
5.1	Sammellinse	10
5.2	Zerstreuungslinse	11
6	Auswertung	12
6.1	Sammellinse	13
6.1.1	Laplace'sche Methode	13
6.1.2	Bessel'sche Methode	15
6.2	Zerstreuungslinse	16
7	Diskussion	17
7.1	Sammellinse	17
7.2	Zerstreuungslinse	17
7.3	Abbildungsfehler	18
8	Zusammenfassung	19
9	Anmerkungen	19

1 Aufgabenstellung

- Justieren der optischen Anordnung mittels Laser und Lochblende.
- Die Brennweite einer dünnen Sammellinse ist nach (3.1) zu messen (10 verschiedene Messungen!). Linsen werden vom Betreuer ausgegeben. Es ist die volle Länge der optischen Bank auszunutzen, dann den Schirm um jeweils 10 cm in Richtung Objekt verschieben und Bild erneut scharfstellen. Für 10 verschiedene Abstände $f < g < 2f$ ist der zugehörige Bildabstand b im Diagramm $1/b$ als Funktion von $1/g$ aufzutragen. Gleicher, geeigneter Maßstab für x- und y-Achse! Die Ausgleichskurve wird eine zur ersten Mediane senkrechte Gerade, die auf der Ordinaten- und auf der Abszissenachse jeweils gleiche Strecken von der Länge der reziproken Brennweite $1/f$ abschneidet. Die Maßzahl der Brechkraft $D = 1/f$ (in Dioptrien) kann unmittelbar an der Achse abgelesen werden. Die derart erhaltene Brennweite ist mit der aus den Einzelmessungen bestimmten Brennweite zu vergleichen.
- Für 5 verschiedene Gesamtabstände a ist die Brennweite derselben Linse nach dem Bessel'schen Verfahren (3.2) zu kontrollieren.
- Es ist nach (3.3.1) die Brennweite einer Zerstreuungslinse zu messen (10 verschiedene Messungen!). Es sind 10 Messungen für verschiedene g_0 , b durchzuführen. Kontrolle der Brennweite nach (3.3.2).
- Versuchen Sie, ob Sie einige Linsenfehler durch geeignetes Experimentieren darstellen können.

2 Grundlagen

Grundlagen wurden von den Vorlagen entnommen [1].

Eine “ideale“ optische Abbildung besteht darauf, dass ein Teil, der von einem Gegenstandspunkt P (Objektpunkt) ausgehenden Lichtwellenzüge (oft als Lichtwellen bezeichnet) durch ein optisches System (Linsen, Spiegel, Objektive) erfasst und in einem Bildpunkt P' wieder vereinigt wird (siehe Abbildung 1). Das Bild ist dann mit dem Gegenstand konform (winkeltreu). Sind die Abmessungen von Gegenstands- bzw. Bildgröße, Linsen- bzw. Spiegelgröße groß gegenüber der Lichtwellenlänge, so ergibt sich eine Vereinfachung der optischen Abbildung insofern, als die Wellennatur des Lichtes nicht berücksichtigt werden muss. Man gelangt zur sogenannten geometrischen Optik, der das Prinzip von Fermat vorangestellt werden soll:

Jeder Lichtstrahl ausgehend von einem Objektpunkt wählt seinen Weg zu einem anderen Punkt (Bildpunkt) derart, dass die dafür erforderliche Zeit ein Minimum wird.

Mit diesem Prinzip lassen sich die Gesetze der Brechung, der Reflexion und der optischen Abbildung herleiten. Weiters bekommt der Brechungsindex n als “Verzögerungsfaktor der Lichtgeschwindigkeit in dem betreffenden Medium“ eine anschauliche Bedeutung (siehe Demtröder Band 2 Kapitel 8.1). Unter bestimmten Voraussetzungen kann eine Sammellinse einen Gegenstandspunkt in einen Bildpunkt abbilden. Dazu werden die Gegenstandsweite g , die Bildweite b und die Brennweite f benötigt. Der Zusammenhang zwischen g , b und f ist durch die Laplace’sche- und die Newton’sche Abbildungsgleichung gegeben (siehe Demtröder Band 2, Kap. 9).

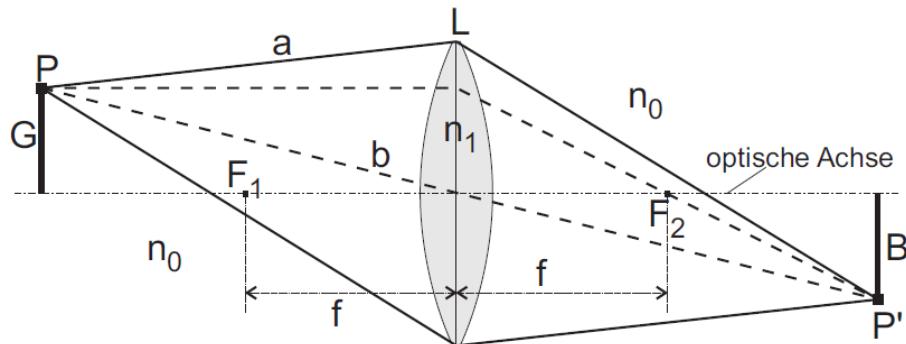


Abbildung 1: Gesamtbündeldarstellung der reellen Abbildung eines Objektpunktes auf den Bildpunkt bei einer Sammellinse. G Gegenstand, B Bild, L Linse, P Objektpunkt, f Brennweite, P' Bildpunkt, F_1, F_2 Brennpunkte, $n_0 = 1$ Brechungsindex Vakuum, n_1 Brechungsindex Linsenmedium, a, b Lichtwege, $c_0 \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ Vakuumlichtgeschwindigkeit, n Brechungsindex, Brechungskoeffizient oder Brechzahl, $c = c_0/n$ Lichtgeschwindigkeit im Medium mit der Brechzahl n , $n_1 = c_0/c_1$ Brechzahl Medium 1 mit Lichtgeschwindigkeit c_1 .

3 Versuchsanordnung

3.1 Laplace'sche Methode

Durch Messen von g und b bei "scharfer" Abbildung kann die Brennweite "f" dünner Sammellinsen aus der Laplace'schen Abbildungsgleichung bestimmt werden:

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

Die Scharfstellung erfolgt bei Beleuchtung des Objektes mit weißem Licht und der Verwendung von unkorrigierten Linsen. Beim Ablesen der Weite auf der Messlatte ist auf mögliche Diskrepanzen der Reitermarken mit den entsprechenden Ebenen zu achten.

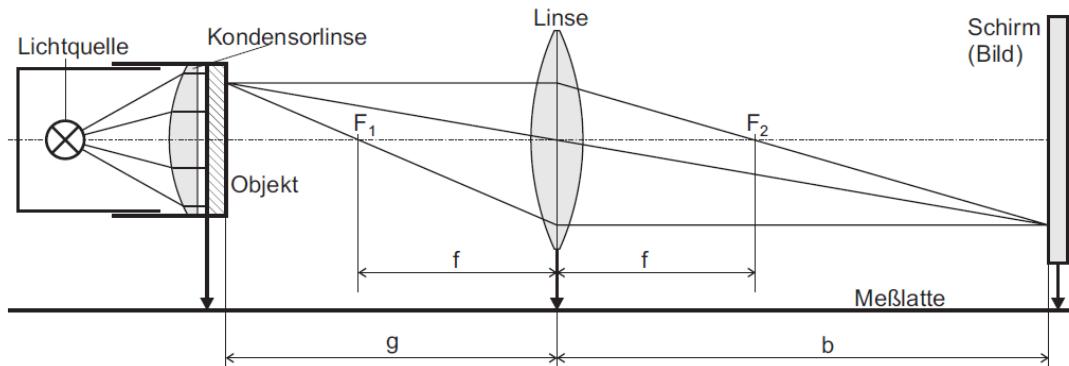


Abbildung 2: Schema des Aufbaues. Bildkonstruktion für einen Objektpunkt nach der geometrischen Optik. g Gegenstandsweite, b Bildweite, f Brennweite.

3.2 Bessel'sches Verfahren

Hier wird der Grundsatz von der Umkehrbarkeit der Lichtwege ausgenutzt. Es gelingt unter der Voraussetzung $g + b > 4f$ für zwei Gegenstands- bzw. Bildweiten je eine reelle Abbildung zu erhalten (Abbildung 3). Die Brennweite steht mit der dazu notwendigen Verschiebung e und dem Gesamtabstand $g + b = a$ in folgendem Zusammenhang:

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

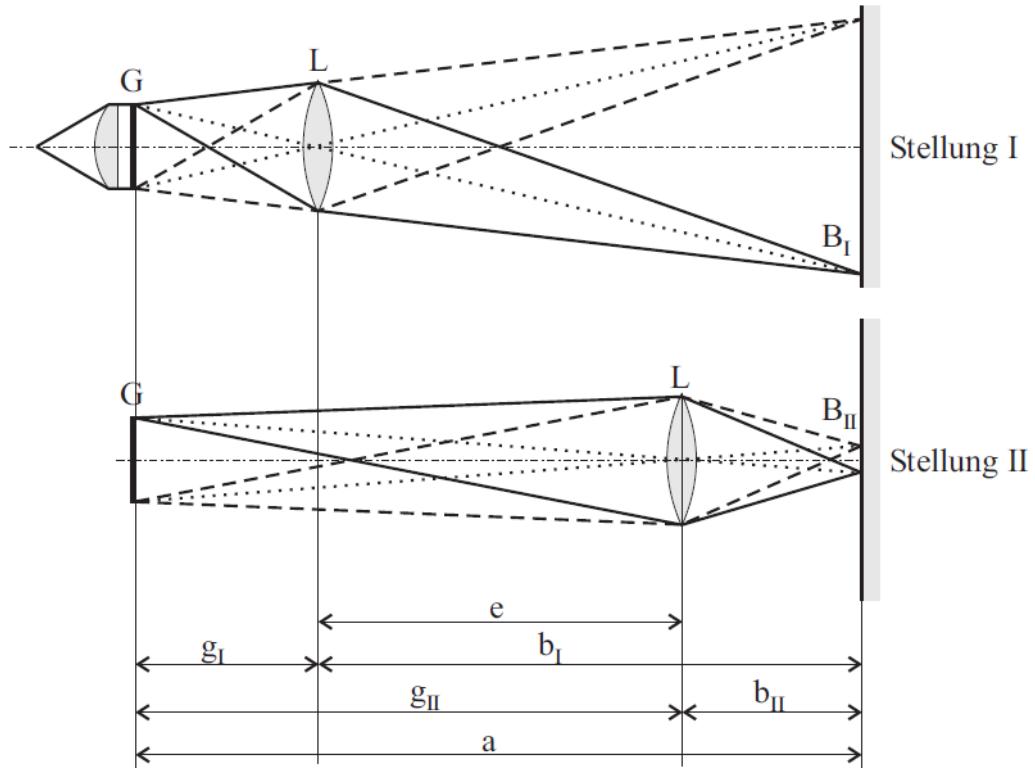


Abbildung 3: Die Bessel'sche Anordnung zur Messung der Brennweite. G Gegenstand, L Linse, e Verschiebung, a Gesamtabstand, g_I , g_{II} Gegenstandsweiten, b_I , b_{II} Bildweiten.

3.3 Zerstreuungslinse

3.3.1 Methode 1

Veränderung des Bildabstandes einer reellen Abbildung durch eine Zerstreuungslinse (Abbildung 4). Eine Sammellinse L_1 erzeugt von G im Abstand b' ein reelles Bild B' , das als "Gegenstand" für die Abbildung mit der nachträglich eingebrachten Zerstreuungslinse L_2 dient. Man erhält ganz analog aus der Abbildungsgleichung:

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

also eine negativ zu zählende Brennweite f_2 .

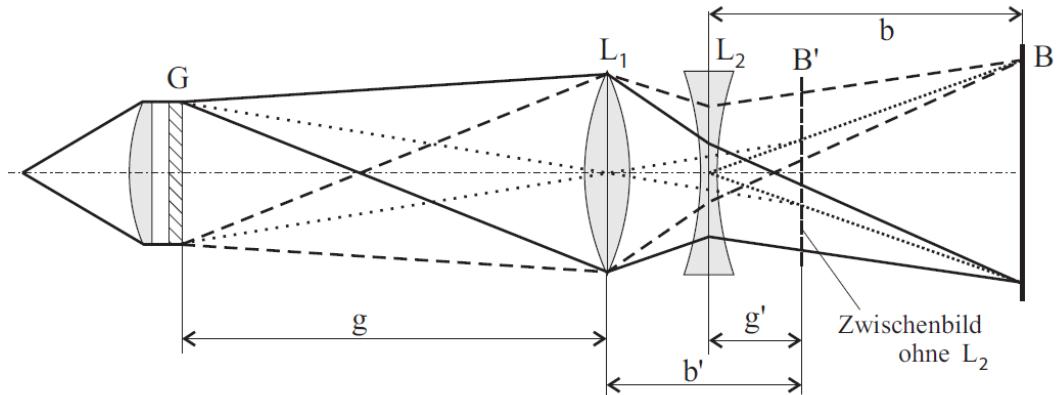


Abbildung 4: Kombination einer Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse. G Gegenstand, L_1 Sammellinse, L_2 Zerstreuungslinse, B' Bild mit L_1 ohne L_2 , B Bild mit L_1 und L_2 , g , g' Gegenstandsweite, b , b' Bildweite.

3.3.2 Methode 2

Verändert man den Abstand der Zerstreuungslinse L_2 von B' derart, dass $g' = -f_2$ wird (Abbildung 5), so rückt das Bild B ins Unendliche, was mit einem auf “unendlich” justierten Fernrohr festgestellt werden kann, und eine direkte Brennweitenbestimmung leicht ermöglicht. Die Justierung des Fernrohrs auf “unendlich” erfolgt durch Anvisieren eines sehr weit entfernten Gegenstandes hohen Kontrastes. Dies ergibt in sehr guter Näherung Unendlichstellung.

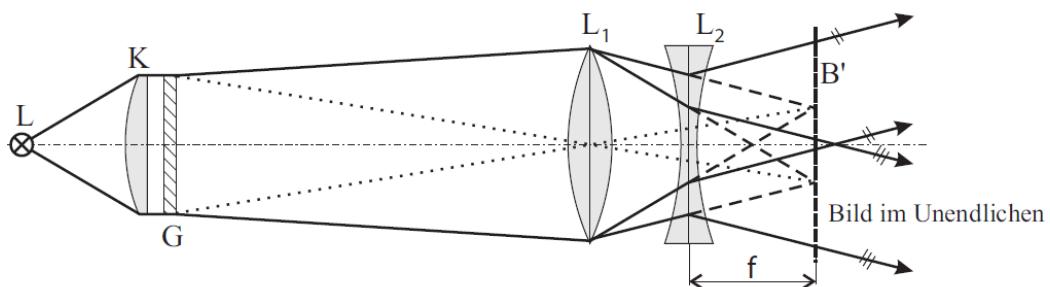


Abbildung 5: Kombination einer Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse. G Gegenstand, L_1 Sammellinse, L_2 Zerstreuungslinse, B' Bild nur durch Sammellinse, B Bild im Unendlichen, L Lichtquelle, K Kondensor, f_2 Brennweite der Zerstreuungslinse.

Der tatsächliche Versuchsaufbau ist in folgender Abbildung ersichtlich.



Abbildung 6: Versuchsaufbau, 1 bezeichnet dabei die Lichtquelle, 2 den Gegenstand, 3 die Sammellinse, 4 die Zerstreuungslinse und 5 den Schirm

Der Gegenstand, welcher vor die Lichtquelle geklemmt wird ist in folgender Abbildung 7 sichtbar.



Abbildung 7: Gegenstand

Die Lichtquelle und der verwendete “Power Supply“ sind in folgenden Abbildungen ersichtlich.



Abbildung 8: verwendete Lampe



Abbildung 9: “Power Supply“

4 Geräteliste

Für die Messungen wurden folgende Geräte verwendet:

Tabelle 1: Verwendete Geräte

Gerät	Typ	Anmerkung
Lichtquelle	V / 744 / 5	6 V, 25 W
“Power Supply“	SI 1 AT	230 V, 50 Az
Sammellinse	V / 275	
Zerstreuungslinse	V / 275 (G20)	
Schirm	V / 539 / 37	
Gegenstand		
Optische Bank		
Maßband		

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

Zunächst muss die optische Anordnung mithilfe eines Lasers justiert werden. Dies wurde freundlicherweise schon erledigt, sodass der Aufbau bereits justiert vorgefunden wurde. Bei der Justierung ist sicherzustellen, dass alle Linsen auf einer optischen Achse liegen.

Weil eine Verschiebung des Schirms schon mit bloßem Auge festgestellt werden konnte, wurde diese unter Zuhilfenahme eines Zweckentfremdeten Holzbretts, welches auf Anschlag gehalten wurde, mithilfe eines Geodreiecks der Offset des Schirm bestimmt, was einen Wert von (6 ± 2) mm liefert.

Für die Unsicherheit der Linse wurde ein Wert von 5 mm angenommen, der sich aus dessen Dicke ergibt.

Weil das Maßband nicht vollständig am Tisch befestigt war, wurde dieses mithilfe eines zusätzlichen Gewichts beschwert.

5.1 Sammellinse

Zunächst wird nur die Sammellinse auf der optischen Bank verwendet. Die Lichtquelle wird im gesamten Versuch nicht verschoben, weshalb die entsprechende Position des Gegenstands am Maßband abgelesen wird, was einen Wert von $(195,8 \pm 0,1)$ cm ergibt. Um die gesamte Länge der optischen Bank zu nutzen wird der Schirm zunächst nach ganz hinten verschoben und der entsprechende Wert am Maßband abgelesen. Nun wird die Linse in der optischen Anordnung so verschoben, dass das Bild scharf am Schirm erscheint und auch diese Position ermittelt. Da dies sehr subjektiv wahrgenommen wird wird hier besonders auf die zentralen Linien des Gegenstands, aufgrund der später erwähnten Abbildungsfehler, und die 0 geachtet. Ein scharfes Bild ist beispielhaft in Abbildung 10 sichtbar.

Nun wird der Schirm um $(10,0 \pm 0,1)$ cm näher an den Gegenstand geschoben und das Bild erneut scharfgestellt. Dies wird insgesamt 10 mal wiederholt. Die so abgelesenen Werte sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 2: gemessene Werte

L_a ... gemessene Position der Lampe

L ... gemessene Position der Linse

S ... gemessene Position des Schirms

L' ... 2. gemessene Position der Linse für das Bessel Verfahren

Δ ... entsprechende Unsicherheit

L_a / cm	L / cm	S / cm	L' / cm	ΔL_a / cm	ΔL / cm	ΔS / cm	$\Delta L'$ / cm	
0	195.8	167.2	10.0	40.1	0.1	0.6	0.1	0.6
1	195.8	167.1	20.0	50.9	0.1	0.6	0.1	0.6
2	195.8	166.5	30.0	61.4	0.1	0.6	0.1	0.6
3	195.8	165.9	40.0	72.6	0.1	0.6	0.1	0.6
4	195.8	165.1	50.0	83.1	0.1	0.6	0.1	0.6
5	195.8	164.0	60.0	94.1	0.1	0.6	0.1	0.6
6	195.8	162.6	70.0	105.3	0.1	0.6	0.1	0.6
7	195.8	161.0	80.0	117.1	0.1	0.6	0.1	0.6
8	195.8	157.4	90.0	131.2	0.1	0.6	0.1	0.6
9	195.8	151.0	100.0	151.0	0.1	0.6	0.1	0.6

Um die Brennweite nach dem Bessel'schen Verfahren bestimmen zu können, muss ein zweites kleineres scharfes Bild durch eine andere Position der Linse erzeugt werden, wie in Abbildung 11 ersichtlich. Die entschiedene Größe ist dabei die Differenz zwischen den beiden Positionen, an denen der Gegenstand scharf erscheint. Weil die erste Position der Linse den bereits zuvor bestimmten Werten entspricht, wird die zweite Position der Linse gleich im Zuge des ersten Versuchs mitbestimmt, was in obiger Tabelle 2 bereits hinzugefügt wurde. Dabei ist anzumerken, dass die Distanz zwischen den beiden

Linsenpunkten vor allem bei einem nahen Schirm immer kleiner wurde, wobei bei der letzten Messung gar nicht mehr zwischen den Positionen unterschieden werden konnte.



Abbildung 10: sichtbares Bild des Gegenstands
Abbildung 11: kleines Bild des Gegenstands für den “Bessel-aufbau”

5.2 Zerstreuungslinse

Um die Brennweite der Zerstreuungslinse zu bestimmen, wird zunächst die Sammellinse in die Mitte der optischen Bank, auf die Position von $(100,0 \pm 0,1)$ cm geschoben und mithilfe der Schirms die Position des entsprechenden Bild bestimmt, was im konkreten Fall einen Wert von $(65,4 \pm 0,1)$ cm entspricht. Nun wird die Zerstreuungslinse in den Strahlengang gestellt und mithilfe des Schirms die Position des neuen Bilds bestimmt. Wichtig dabei ist, dass die Sammellinse nicht mehr verschoben wird. Dieser Vorgang wird für 10 verschiedene Positionen der Zerstreuungslinse wiederholt, was folgende Werte liefert.

Tabelle 3: gemessene Werte

S ... gemessene Position des Schirms

L_z ... gemessene Position der Zerstreuungslinse

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	S / cm	L_z / cm	ΔS / cm	ΔL_z / cm
0	4.0	78.0	0.1	0.5
1	29.4	77.0	0.1	0.5
2	42.1	76.0	0.1	0.5
3	50.3	75.0	0.1	0.5
4	55.2	74.0	0.1	0.5
5	57.9	73.0	0.1	0.5
6	37.2	76.5	0.1	0.5
7	45.4	75.5	0.1	0.5
8	53.4	74.5	0.1	0.5
9	56.4	73.5	0.1	0.5

Weil der Aufbau mit dem im unendlichen fokussierten Fernrohr mit den zur Verfügung stehenden Mitteln leider nicht gut durchführbar ist, wurde dieser unter Absprache mit dem Betreuer weggelassen.

6 Auswertung

Um zu sehen wie sich die Unsicherheit der Messungen bis in die Ergebnisse fortplanzt, ist Gleichung 4 verwendet worden. Die Grundlagen dieser Gleichung stammen von den Powerpointfolien von GUM.[4] Die Verallgemeinerung ist von Wikipedia entnommen worden [3]. Für die Auswertung ist die Programmiersprache Python im speziellen das Packet `scipy`, zur Hilfe genommen worden.

$$V_y = J(\mathbf{x}) \cdot V_x \cdot J^T(\mathbf{x}) \quad (4)$$

Wobei V_y und V_x die Kovarianzmatrizen von den Vektoren \mathbf{y} und \mathbf{x} sind. \mathbf{x} ist der Vektor der Eingangsvariablen und \mathbf{y} ist der Vektor der Ausgangsvariablen. J ist die Jakobimatrix der vektorwertigen Funktion $\mathbf{y} = \vec{F}(\mathbf{x})$. So lassen sich die Komponenten der Matrix relativ einfach anschreiben $J_{ij}(x) = \frac{\partial y_i}{\partial x_j}(x)$. Damit man die Unsicherheit der einzelnen Variablen y_i bekommt, muss nur die Quadratwurzel des i-ten Diagonalelementes der \mathbf{y} -Kovarianzmatrix genommen werden $u_i = \sqrt{\text{diag}(V_y)_i}$. Da in diesem Experiment meistens nur skalare Funktionen untersucht werden, vereinfacht sich die Gleichung 4 dramatisch und die Unsicherheit der Variable y lässt sich einfach so berechnen:

$$u_y = \sqrt{\text{grady}^T \cdot V_x \cdot \text{grady}} \quad (5)$$

Bei den Messwerten ist angenommen worden, dass diese normalverteilt gemessen werden, weshalb bei der Mittelwertbildung der Student t Korrekturfaktor für ein 3σ Intervall bei 10 Messwerten genommen wurde.

$$t = 4.09$$

6.1 Sammellinse

6.1.1 Laplace'sche Methode

Zunächst werden anhand der gemessenen Daten aus Tabelle 2 die gesuchten Distanzen bestimmt, was in folgender Tabelle sichtbar ist. Dabei ist auch der Offset des Schirms zu berücksichtigen.

Tabelle 4: gemessene Werte

b ... errechnete Distanz für die Bildweite

g ... errechnete Distanz für die Gegenstandsweite

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	b / cm	g / cm	Δb / cm	Δg / cm
0	156.6	28.6	0.9	0.7
1	146.5	28.7	0.9	0.7
2	135.9	29.3	0.9	0.7
3	125.3	29.9	0.9	0.7
4	114.5	30.7	0.9	0.7
5	103.4	31.8	0.9	0.7
6	92.0	33.2	0.9	0.7
7	80.4	34.8	0.9	0.7
8	66.8	38.4	0.9	0.7
9	50.4	44.8	0.9	0.7

Nun werden anhand dieser Werte und Gleichung 1 wie Werte für die Brennweiten bestimmt, was in folgender Tabelle sichtbar ist.

Tabelle 5: gemessene Werte

f ... errechnete Werte für die Brennweiten der Sammellinse nach der Laplace'schen Methode

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	f / cm	Δf / cm
0	24.2	0.6
1	24.0	0.6
2	24.1	0.6
3	24.1	0.5
4	24.2	0.5
5	24.3	0.5
6	24.4	0.5
7	24.3	0.5
8	24.4	0.5
9	23.7	0.4

Bildet man daraus den Mittelwert, so ergibt sich (24.2 ± 0.8) cm.

Die Werte werden auch in folgende Grafik eingezeichnet, wodurch die Brennweite anhand der Fitgeraden bestimmt werden kann.

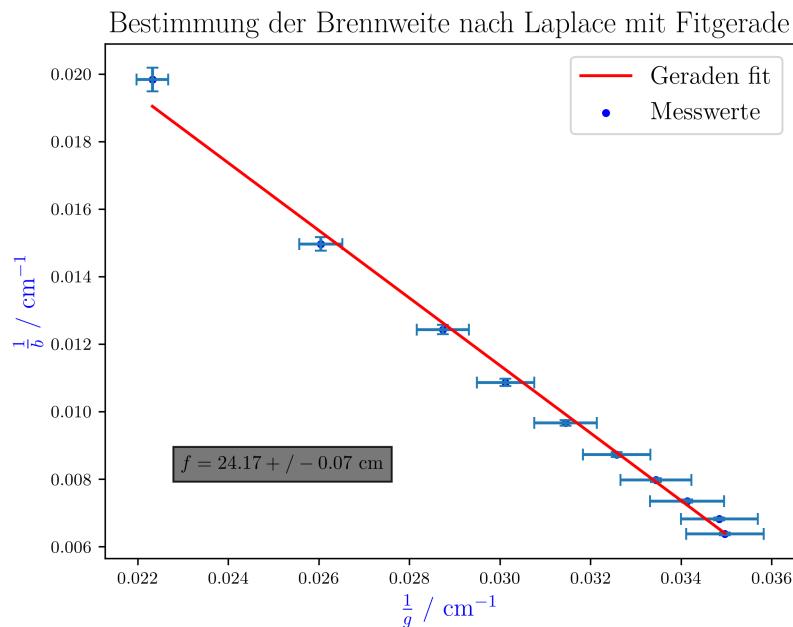


Abbildung 12: Bestimmung der Brennweite nach der Laplace Methode mit Fitgeraden

Auch daraus ergibt sich wieder der selbe Wert für die gemittelte Brennweite.

6.1.2 Bessel'sche Methode

Anhand der Daten aus Tabelle 2 werden nun die Werte für die entsprechenden Daten bestimmt, was in folgender Tabelle sichtbar ist. Auch hier ist wieder der Offset des Schirms zu berücksichtigen.

Tabelle 6: gemessene Werte

a ... errechnete Distanz für den Gesamtabstand

e ... errechnete Distanz für die Verschiebung

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	a	Δa	e	Δe
0	186.4	0.4	127.1	1.2
1	176.4	0.4	116.2	1.2
2	166.4	0.4	105.1	1.2
3	156.4	0.4	93.3	1.2
4	146.4	0.4	82.0	1.2
5	136.4	0.4	69.9	1.2
6	126.4	0.4	57.3	1.2
7	116.4	0.4	43.9	1.2
8	106.4	0.4	26.2	1.2
9	96.4	0.4	0.0	1.2

Verwendet man diese Werte zusammen mit Formel 2 erhält man für die Brennweiten folgende Werte.

Tabelle 7: gemessene Werte

f ... errechnete Werte für die Brennweiten der Sammellinse nach der Bessel'schen Methode

Δ ... entsprechende Unsicherheit

	f / cm	Δf / cm
0	24.9	0.5
1	25.0	0.5
2	25.0	0.4
3	25.2	0.4
4	25.1	0.4
5	25.1	0.4
6	25.1	0.3
7	25.0	0.3
8	25.0	0.2
9	24.10	0.05

Bildet man daraus den Mittelwert, so ergibt sich $(25,0 \pm 1,3)$ cm.

6.2 Zerstreuungslinse

Zunächst werden die Werte aus Tabelle 3 verwendet und die Werte für die Parameter für b und g' zu bestimmen, was folgende Werte liefert.

Tabelle 8: gemessene Werte

b ... errechnete Distanz für die Bildweite nach der Zerstreuungslinse
 g' ... errechnete Distanz für die Gegenstandsweite der Zerstreuungslinse
 Δ ... entsprechende Unsicherheit

	b / cm	g' / cm	Δb / cm	$\Delta g'$ / cm
0	73.4	-12.0	0.8	0.8
1	47.0	-11.0	0.8	0.8
2	33.3	-10.0	0.8	0.8
3	24.1	-9.0	0.8	0.8
4	18.2	-8.0	0.8	0.8
5	14.5	-7.0	0.8	0.8
6	38.7	-10.5	0.8	0.8
7	29.5	-9.5	0.8	0.8
8	20.5	-8.5	0.8	0.8
9	16.5	-7.5	0.8	0.8

Anhand dieser Werte kann nun nach Gleichung 2 die Brennweite bestimmt werden, was folgende Werte für die Brennweite ergibt.

Tabelle 9: gemessene Werte

f ... errechnete Werte für die Brennweiten der Zerstreuungslinse
 Δ ... entsprechende Unsicherheit

	f / cm	Δf / cm
0	-14.3	1.1
1	-14.4	1.3
2	-14.3	1.5
3	-14.4	1.8
4	-14	3
5	-14	3
6	-14.4	1.4
7	-14.0	1.6
8	-15	3
9	-14	3

Bildet man daraus den Mittelwert, so ergibt sich (-14.2 ± 1.3) cm.

7 Diskussion

Der Aufbau ist instabil, wodurch schon durch leichte Erschütterungen die Schärfe des Bildes verändert werden kann. Auch ist das Maßband, wie bereits erwähnt, nicht fix angeordnet, wodurch leichte Verschiebungen zu Stande kommen können. Ein weiteres Problem, welches auftritt ist, dass die Schärfe des Bilds sehr subjektiv wahrgenommen wird und so keine allgemeine Aussage getroffen werden kann. Auch entstehen bei optischen Anordnungen immer Abbildungsfehler, worauf später noch genauer eingegangen wird. Aus diesem Grund wurde bei der Beurteilung der Schärfe besonders auf die mittig liegenden Nummern und Striche geachtet.

Die Bestimmung des Offsets des Schirms mithilfe des Bretts war ebenfalls nicht sehr genau.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag wäre die genaue Justierung der Anordnung, da nicht genau bekannt ist, wie lange diese schon zurückliegt. Diese konnte "leider" nicht durchgeführt werden weil kein Laser vorhanden war.

7.1 Sammellinse

Vergleicht man die erhaltenen Werte mit dem angegebenen Wert auf der Linse, welcher 25 cm war, so stellt man fest, dass dieser Wert im erhaltenen Unsicherheitsintervall enthalten ist. Weiters erkennt man deutlich, dass anhand des Besselverfahrens deutlich genauere Aussagen getroffen werden können.

7.2 Zerstreuungslinse

Die genaue Brennweite der Zerstreuungslinse ist leider nicht bekannt weshalb hier kein Vergleich gemacht werden kann. Grundsätzlich ist die relative Unsicherheit mit 10 % in einer angemessenen Größenordnung für einen 3σ Standardfehler.

7.3 Abbildungsfehler

In der Realität sind mit dem Arbeiten von Linsen immer Abbildungsfehler verbunden. In folgenden Abschnitt wird etwas genauer darauf eingegangen.

Sofern es sich beim Licht nicht um monochromatische Strahlen handelt, ist ein zu berücksichtigender Faktor immer die chromatische Aberration. Dies ist aufgrund der unterschiedlichen Wellenlängen zu erklären. Da beim Versuch keine Unterschiedlichen Farben sichtbar wurden, konnte dieser Abbildungsfehler auch nicht sichtbar werden.

Da auf die Linse nicht nur achsnahe Strahlen treffen, muss auch der Fehler der sphärischen Aberration und der Bildfeldwölbung berücksichtigt werden. Diese besagen, dass die Achsfernen Strahlen nicht auf der gleichen Ebene scharf abgebildet werden, was auch in Abbildung 13 sichtbar ist.

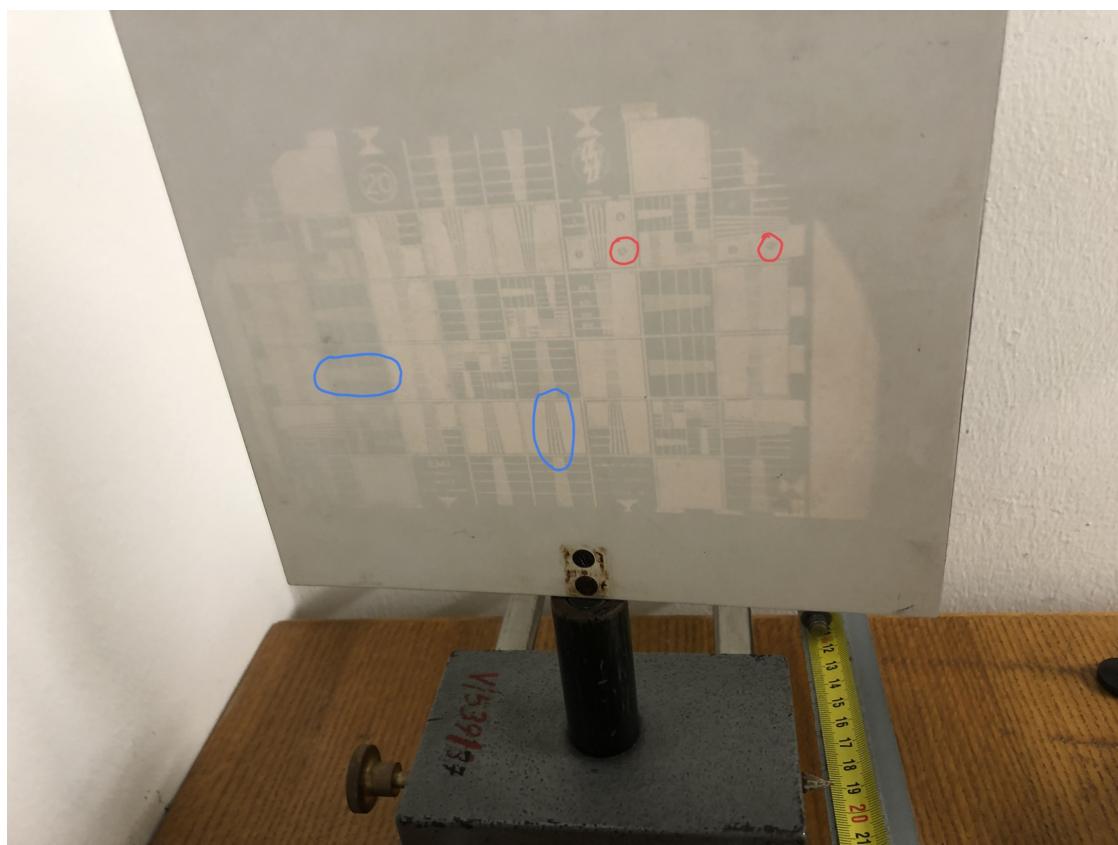


Abbildung 13: sichtbarer Fehler der spärischen Abberation und der Bildfeldwölbung

Vergleicht man hier beispielsweise außenliegendere Striche mit denen in der Mitte (in blau markiert), so stellt man fest, dass diese nicht so deutlich voneinander zu unterscheiden sind. Dies ist auch an den 0 zu erkennen (rot markiert).

Ein weiterer Abbildungsfehler ist das sogenannte Koma, welches beispielsweise durch Neigen der Linse erreicht werden kann. [2]

8 Zusammenfassung

Im folgenden sind nochmals die wichtigsten Ergebnisse aufgelistet:

Für die Brennweite der Sammellinse nach der Laplace'schen Methode f_{SL} ergibt sich folgender Wert:

$$f_{SL} = (24,2 \pm 0,8) \text{ cm}$$

Für die Brennweite der Sammellinse anhand des Plots f_{SP} ergibt sich folgender Wert:

$$f_{SP} = (24,17 \pm 0,07) \text{ cm}$$

Für die Brennweite der Sammellinse nach der Bessel'schen Methode f_{SB} ergibt sich folgender Wert:

$$f_{SB} = (25,0 \pm 1,3) \text{ cm}$$

Für die Brennweite der Zertreuungslinse f_Z ergibt sich folgender Wert:

$$f_Z = (-14,2 \pm 1,3) \text{ cm}$$

9 Anmerkungen

Die ersten 3 Kapitel, sowie die dazugehörigen Abbildungen, wurden nicht von den Autoren persönlich erstellt, sondern sind schon im Zuge der Aufgabenstellung, in Form einer PDF, bereitgestellt und davon entnommen worden. [1]

Literatur

- [1] *Brennweite dünner Linsen.* de. Version 11. Oktober 2021. Petersgasse 16, 8010 Graz, Institut fur Experimentalphysik Technische Universität Graz, 2020.
- [2] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 2.* Springer-Verlag GmbH, 23. März 2018. ISBN: 978-3-662-55789-1. URL: https://www.ebook.de/de/product/31029958/wolfgang_demtroeder_experimentalphysik_2.html.
- [3] *Fehlerfortpflanzung.* de. Page Version ID: 205827844. Nov. 2020. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fehlerfortpflanzung&oldid=205827844> (besucht am 08.05.2021).
- [4] Braunschweig Wolfgang Kessel. *Die ISO/BIPM-GUM Sicht:Schätzwert & Messunsicherheit.* 2004.

Abbildungsverzeichnis

1	Gesamtbündeldarstellung der reellen Abbildung eines Objektpunktes auf den Bildpunkt bei einer Sammellinse. G Gegenstand, B Bild, L Linse, P Objektpunkt, f Brennweite, P' Bildpunkt, F_1, F_2 Brennpunkte, $n_0 = 1$ Brechungsindex Vakuum, n_1 Brechungsindex Linsenmedium, a, b Lichtwege, $c_0 \approx 3 \times 10^8$ m/s Vakuumlichtgeschwindigkeit, n Brechungsindex, Brechkoeffizient oder Brechzahl, $c = c_0/n$ Lichtgeschwindigkeit im Medium mit der Brechzahl n , $n_1 = c_0/c_1$ Brechzahl Medium 1 mit Lichtgeschwindigkeit c_1	4
2	Schema des Aufbaues. Bildkonstruktion für einen Objektpunkt nach der geometrischen Optik. g Gegenstandsweite, b Bildweite, f Brennweite.	5
3	Die Bessel'sche Anordnung zur Messung der Brennweite. G Gegenstand, L Linse, e Verschiebung, a Gesamtabstand, g_I, g_{II} Gegenstandsweiten, b_I, b_{II} Bildweiten.	6
4	Kombination einer Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse. G Gegenstand, L_1 Sammellinse, L_2 Zerstreuungslinse, B' Bild mit L_1 ohne L_2 , B Bild mit L_1 und L_2 , g, g' Gegenstandsweite, b, b' Bildweite.	7
5	Kombination einer Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse. G Gegenstand, L_1 Sammellinse, L_2 Zerstreuungslinse, B' Bild nur durch Sammellinse, B Bild im Unendlichen, L Lichtquelle, K Kondensor, f_2 Brennweite der Zerstreuungslinse.	7
6	Versuchsaufbau, 1 bezeichnet dabei die Lichtquelle, 2 den Gegenstand, 3 die Sammellinse, 4 die Zerstreuungslinse und 5 den Schirm.	8
7	Gegenstand	8
8	verwendete Lampe	9
9	“Power Supply“	9
10	sichtbares Bild des Gegenstands	11
11	kleines Bild des Gegenstands für den “Bessel-aufbau“	11
12	Bestimmung der Brennweite nach der Laplace Methode mit Fitgeraden . .	14
13	sichtbarer Fehler der spärischen Abberation und der Bildfeldwölbung . .	18

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte	9
2	gemessene Werte L_a gemessene Position der Lampe L gemessene Position der Linse S gemessene Position des Schirms L' 2. gemessene Position der Linse für das Bessel Verfahren Δ entsprechende Unsicherheit	10
3	gemessene Werte S gemessene Position des Schirms L_z gemessene Position der Zerstreuungslinse Δ entsprechende Unsicherheit	11
4	gemessene Werte b errechnete Distanz für die Bildweite g errechnete Distanz für die Gegenstandsweite Δ entsprechende Unsicherheit	13
5	gemessene Werte f errechnete Werte für die Brennweiten der Sammellinse nach der Laplace'schen Methode Δ entsprechende Unsicherheit	13
6	gemessene Werte a errechnete Distanz für den Gesamtabstand e errechnete Distanz für die Verschiebung Δ entsprechende Unsicherheit	15
7	gemessene Werte f errechnete Werte für die Brennweiten der Sammellinse nach der Bessel'schen Methode Δ entsprechende Unsicherheit	15
8	gemessene Werte b errechnete Distanz für die Bildweite nach der Zerstreuungslinse g' errechnete Distanz für die Gegenstandsweite der Zerstreuungslinse Δ entsprechende Unsicherheit	16
9	gemessene Werte f errechnete Werte für die Brennweiten der Zerstreuungslinse Δ entsprechende Unsicherheit	16