

FAKULTÄT FÜR PHYSIK Praktikum Klassische Physik

Prak.: P1 Semester: WS19/20	Wochentag: Di Gruppennr.: 11
Name: Hohenstein	Vorname: Michael
Name: Michel	Vorname: Alexis
Emailadresse(n): alexis.michel@gmx.de, michael	.hohenstein@gmx.de
Versuch: Geometrische Optik (P1-7) Betreuer: Jan-Phillip Föst) Fehlerrech.:_Nein_ Durchgeführt am: 03.12.19
	n Betreuer ausgefüllt.
1. Abgabe am:	
Rückgabe am: Begri	ündung:
2. Abgabe am:	
	Tablewacherman In / Nain
Ergebnis: + / 0 / - I Datum: Handz	zeichen:
Bemerkungen:	

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabe: Brennweiten bestimmen

	1.1 1.2	Einleitung geometrische Optik	1
		und eines Maßstabes	1
	1.3 1.4	Bestimmen der Brennweite einer Linse mithilfe des Besselschen Verfahrens . Bestimmen der Brennweiten eines Zweilinsensystems mithilfe des Abbéschen	2
		Verfahrens	8
2	Aufg	gabe: Aufbau optischer Instrumente	14
	2.1	Bauen eines Keplerschen und eines Galileischen Fernrohres	14
	2.2	Bauen eines Projektionsapparates	15
	2.3	Bauen eines Mikroskops	16
A	bł	oildungsverzeichnis	
	1.1	Versuchsaufbau: Brennweite mit dem Schirm bestimmen	2
	1.2	Versuchsaufbau: Brennweite mit dem Bessel-Verfahren bestimmen	3
	1.3	Prinzipskizze: Brennweite mit dem Bessel-Verfahren bestimmen	4
	1.4	Versuchsaufbau: Brennweiten eines Zweilinsensystems mit dem Abbé-Verfahren	
		bestimmen	9
	1.5	Regression der Messwerte für den Linsenabstand S1	11
	1.6	Regression der Messwerte für den Linsenabstand S2	11
	1.7		
		Regression für $\frac{1}{f}$ zu $(h_1 + h_2)$	12
	2.1	Versuchsskizze: Kepler- und Galilei-Fernrohr	14
	2.1 2.2	Versuchsskizze: Kepler- und Galilei-Fernrohr	

1

Tabellenverzeichnis

1.1	Messwerte für den Abstand zwischen dem Schirm und der Linse	2
1.2	Messwerte für $e=70\mathrm{cm},$ mit Scheibenblende und blauem Licht	5
1.3	Messwerte für $e=70\mathrm{cm},\mathrm{mit}$ Lochblende und blauem Licht	5
1.4	Messwerte für $e=70\mathrm{cm},\mathrm{mit}$ Lochblende und rotem Licht	5
1.5	Messwerte für $e=70\mathrm{cm},$ mit Scheibenblende und rotem Licht	6
1.6	Messwerte für $e=80\mathrm{cm},$ mit Scheibenblende und rotem Licht	6
1.7	Messwerte für $e=80\mathrm{cm},$ mit Lochblende und rotem Licht	6
1.8	Messwerte für $e=80\mathrm{cm},$ mit Lochblende und blauem Licht	7
1.9	Messwerte für $e=80\mathrm{cm},$ mit Scheibenblende und blauem Licht	7
1.10	Zusammenfassung der Messwerte für f	8
1.11	Messwerte zum Zweilinsensystem mit Linsenabstand S_1	10
1.12	Messwerte zum Zweilinsensystem mit Linsenabstand S_2	10
1.13	Ergebnisse der Regressionen	11
1.14	Ergebnisse der Regressionen	12
1.15	Ergebnisse der Regressionen	13
2.1	Parameter für den Bau der Fernrohre	15
2.2	0 11	16
2.3	Parameter für den Bau des Mikroskops	17

1. Aufgabe: Brennweiten bestimmen

1.1 Einleitung geometrische Optik

Die geometrische Optik befasst sich mit Licht ausschließlich mit dem Strahlenmodell. Der Wellencharakter wird aufgrund geometrischer Faktoren die deutlich größer als dessen Wellenläge ausfallen, vernachlässigt. Licht wird nur auf eine Anhäufung von Lichtstrahlen reduziert. In der geometrischen Optik werden die Strahlengänge des Lichts und die darauf von Linsen und Linsensystemen ausgeübten Veränderungen untersucht. Dabei lassen sich die Vorgänge in der geometrischen Optik durch vier Axiome beschreiben:

Das erste Axiom besagt, dass sich Lichtstrahlen in homogenen Medien gleichmäßig ausbreiten. Medien mit Inhomogenitäten, wie z.B. einer nicht konstanten Brechzahl, wirken sich anders auf Lichtstrahlen aus.

Das zweite Axiom beschreibt, was mit Lichtstrahlen an der Grenzfläche zwischen zwei Materialien geschieht. Ein Teil wird an der Grenzfläche nach dem Reflexionsgesetz reflektiert. Dieses besagt, dass der Einfallswinkel des Lichtstrahls zur Flächennormale identisch zum Ausfallswinkel ist. Weiterhin wird das Licht an der Grenzfläche nach dem Brechungsgesetz gebrochen.

Das dritte Axiom besagt, dass die Richtung des Lichts im Lichtstrahl bedeutungslos ist und dass der Lichtstrahl umkehrbar ist.

Zu guter letzt beschreibt das vierte Axiom, welches auf dem Superpositionsprinzip beruht, dass zwei Lichtstrahlen sich kreuzen, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen. Die Richtung der Lichtstrahlen bleibt dabei unverändert.

1.2 Bestimmen der Brennweite einer dünnen Sammellinse mithilfe eines Schirms und eines Maßstabes

Das Zeil des ersten Versuches ist es, den Brennpunkt einer optischen Linse zu bestimmen. Der Brennpunkt einer Sammellinse ist der Ort, an dem alle durch die Sammellinse fallenden Lichtstrahlen sich kreuzen. Positioniert man hinter einer Sammellinse an deren Brennpunkt einen Schirm, so sollte die beleuchtete Fläche möglichst klein werden. Andersherum lässt sich der Brennpunkt einer Sammellinse bestimmen, indem mit einer Lampe Licht durch die Linse geschickt wird und der Schirm so positioniert wird, dass die beleuchtete Fläche möglichst klein wird. An dieser Stelle befindet sich der Schirm im Brennpunkt der Linse. Abbildung 1.1 skizziert den Versuchsaufbau.

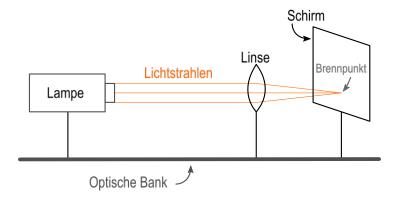


Abbildung 1.1: Versuchsaufbau: Brennweite mit dem Schirm bestimmen

Mithilfe der Millimeterskala auf der optischen Bank, auf der Schirm, Lampe und Linse befestigt wurden, ist es möglich, den Abstand zwischen Linsenmitte und Schirm abzulesen. Dieser Versuch wurde für eine Linse fünf mal hintereinander durchgeführt. Damit ist gemeint, dass der Schirm an einer festen Position von 140 cm auf der Skala befestigt war, während die Linse fünf mal auf der optischen Bank repositioniert wurde, an der die auf dem Schirm beleuchtete Fläche minimal wurde. Dabei wurden aber nur die absoluten Werte von der Position der Linse und der des Schirms auf der Skala notiert. Aus diesen Messwerten wurde dann die Differenz gebildet, um die Abstände zwischen Linse und Schirm zu erhalten. Die Abstände und deren Mittelwert sind in Tabelle 1.1 zu sehen.

Tabelle 1.1: Messwerte für den Abstand zwischen dem Schirm und der Linse

Messreihe	Abstand in cm
1	16,1
2	16,5
3	16,1
4	15,3
5	15,6
Mittelwert	15,92

Aus einem Vergleich mit dem für diese Linse bekannten Brennwert von 15 cm ergibt sich eine Abweichung von 6,13 %. Diese lässt sich dadurch erklären, dass es nicht sehr einfach war, den Punkt zu ermitteln, an dem die Fläche minimal war. Es ist sehr wahrscheinlich, dass man dabei immer wieder um einige Millimeter daneben lag. Außerdem handelte es sich bei dem verwendeten Licht um weißes Licht, welches bekanntlich aus mehreren Farben besteht. Daher können Fehler, verursacht durch chromatische Aberrationen in diesen Messungen nicht ausgeschlossen werden.

1.3 Bestimmen der Brennweite einer Linse mithilfe des Besselschen Verfahrens

Ein präziseres Verfahren zur Bestimmung der Brennweite ist das Besselsche Verfahren. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 1.2 dargestellt. Der Strahlengang ist in Abbildung 1.3 dargestellt.

Nennt man die Bildweite b und die Gegenstandsweite g, dann ist die Distanz zwischen Dia und Schirm e = b + g.

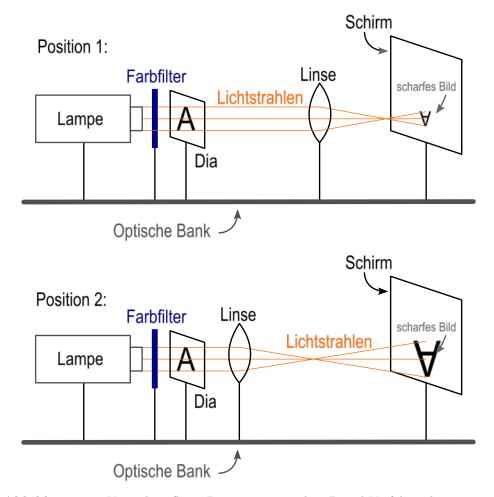


Abbildung 1.2: Versuchsaufbau: Brennweite mit dem Bessel-Verfahren bestimmen

Da der Strahlengang umkehrbar ist und der Aufbau für beide Linsenpositionen symmetrisch ist, gilt zudem für den Abstand beider Linsenpositionen s = e - 2b.

Da das Objekt scharf abgebildet wird, gilt zudem die Linsengleichen:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \tag{1.1}$$

Über Einsetzen der bekannten Größen in die Linsengleichung erhält man so:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{e-s}{2}} + \frac{1}{e - \frac{e-s}{2}} = \frac{2}{e-s} + \frac{2}{e+s} = \frac{4e}{e^2 - s^2}$$
 (1.2)

Durch Bilden des Kehrwerts erhält man f:

$$f = \frac{e^2 - s^2}{4e} \tag{1.3}$$

Für e < 4f gibt es keine Stellung für die Linse, in der das Bild scharf abgebildet wird. Für e > 4f gibt es zwei Stellungen der Linse, in denen diese das Bild scharf darstellt. Eine, bei

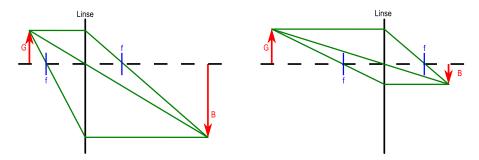


Abbildung 1.3: Prinzipskizze: Brennweite mit dem Bessel-Verfahren bestimmen

denen die Linse weiter vom Schirm entfernt ist und das Bild vergrößert, und eine, in der die Linse nahe am Schirm ist und das Bild verkleinert. Für e=4f fallen die beiden Punkte zusammen und es gibt nur eine Stellung, in der die Linse scharf stellt; die Vergrößerung ist in diesem Fall auch 1.

Bei diesem Versuch soll die Differenz zwischen den beiden Linsenstellungen betrachtet werden, weshalb nur der Fall e > 4f relevant ist.

Allerdings ist es auch schlecht, $e \gg f$ zu wählen, da die Linsenstellungen im Verhältnis zu e immer weiter nach außen wandern, bis diese sehr nah am Dia bzw. am Schirm sind, was auch schwierig zu messen ist.

Hier wird auf der optischen Bank der folgende Aufbau realisiert: Der Lampenfuß wird bei 40 cm befestigt und der Schirm wird bei 140 cm befestigt. Ein Diapositiv wird bei 70 cm befestigt, wobei dieses auf dem Kopf stehend eingebaut wurde, um richtig herum projiziert zu werden. Es ergibt sich so $e=70\,\mathrm{cm}$. Da weiterhin dieselbe Linse mit einem Brennpunkt von $f=15\,\mathrm{cm}$ verwendet wurde, war so $e>4\cdot f$ gewährleistet.

Die Linse wurde beweglich zwischen Schirm und Dia auf der optischen Bank angebracht. Gemessen wurden dann die beiden Positionen der Linse, in denen ein scharfes Bild auf dem Schirm zu sehen ist. Es wurden jeweils die Stellungen der Linse auf der optischen Bank aufgeschrieben.

Bei der Durchführung können sphärische und chromatische Aberration hinderlich sein. Dabei handelt es sich um Abbildungsfehler der Linsen. chromatische Aberrationen kommen zustande, da Licht unterschiedlicher Wellenlänge unterschiedlich gebrochen wird. Besonders zu sehen ist dies bei einem Prisma, welches weißes Licht in unterschiedliche Farben aufspaltet. Sphärische Aberrationen treten bei stark gekrümmten Linsen auf. Dabei trifft das Licht in der Nähe der optischen Achse der Linse früher auf der Linse auf als Licht, welches weiter von der optischen Achse entfernt ist. Das Licht in der Nähe der optischen Achse wird somit früher gebrochen und das Bild hinter der Linse erscheint unscharf.

Um diese Effekte bei der Linse zu untersuchen, wurde der Versuch für 4 unterschiedliche Konfigurationen durchgeführt. Für unterschiedliche Farben wurde direkt nach die Lampe ein Farbfilter gesetzt, der entweder blaues oder rotes Licht passieren lässt. Für die Untersuchung der sphärischen Aberration wurde entweder eine Scheibenblende (Verdeckt die Mitte) oder eine Lochblende (Verdeckt den Rand) vor die Linse gesteckt. Das Bild wurde dann jeweils am Rand in der Mitte scharf gestellt.

Der Versuch wurde für jede der genannten 4 Konfiguration 5-fach wiederholt, um diese Werte zu mitteln, um den statistischen Fehler zu reduzieren.

Die Brennweite kann it Formel 1.3 bestimmt werden:

$$f = \frac{e^2 - s^2}{4e},\tag{1.4}$$

Wobei e, wie eben bereits beschrieben, der Abstand zwischen Dia und Schirm ist, und s der Abstand zwischen den beiden scharfen Linsenpositionen ist.

Für die Messreihe mit der Scheibenblende und blauem Licht haben sich die in Tabelle 1.2 notierten Messwerte ergeben.

Tabelle 1.2: Messwerte für $e = 70 \,\mathrm{cm}$, mit Scheibenblende und blauem Licht

Messung	Linsenposition L_1 in mm	Linsenposition L_2 in mm
1	915	1189
2	916	1187
3	918	1190
4	919	1189
5	918	1188

Ausgehend von diesen Messwerten müssen zunächst die Mittelwerte bestimmt werden. Diese lauten $\overline{L_1} = 917.2 \, \text{mm}$ und $\overline{L_2} = 1188.6 \, \text{mm}$. Die Differenz s beträgt also $s = 27.14 \, \text{cm}$. Zusammen mit dem Wert für $e = 70 \, \text{cm}$ lässt sich jetzt f bestimmen:

$$f = \frac{e^2 - s^2}{4e} \approx 14,87 \,\text{cm}$$
 (1.5)

Der so bestimmte Wert hat eine Abweichung von $0.86\,\%$ vom Literaturwert von $15\,\mathrm{cm}$, der auf der Linse angegeben war.

Bei der nächsten Konfiguration wurde die Scheibenblende durch eine Lochblende ausgetauscht. Das blaue Licht wurde beibehalten. Die Messwerte sind in Tabelle 1.3 zu sehen.

Tabelle 1.3: Messwerte für $e=70\,\mathrm{cm},\,\mathrm{mit}$ Lochblende und blauem Licht

Messung	Linsenposition L_1 in mm	Linsenposition L_2 in mm
1	925	1185
2	923	1184
3	921	1186
4	922	1184
5	921	1180

Hier ergeben sich die Mittelwerte zu $\overline{L_1} = 922.4 \,\mathrm{mm}$ und $\overline{L_2} = 1183.8 \,\mathrm{mm}$. Daraus lässt sich die Differenz $s = 26.14 \,\mathrm{cm}$ und die Brennweite $f \approx 15.06 \,\mathrm{cm}$ berechnen.

Für die nächste Konfiguration wurde der blaue Farbfilter gegen einen roten ausgetauscht, die Lochblende wurde beibehalten. Die Messwerte sind in Tabelle 1.4 dargestellt.

Tabelle 1.4: Messwerte für $e=70\,\mathrm{cm},$ mit Lochblende und rotem Licht

Messung	Linsenposition L_1 in mm	Linsenposition L_2 in mm
1	923	1180
2	924	1178
3	924	1180
4	923	1179
5	925	1178

Hier ergeben sich die Mittelwerte zu $\overline{L_1} = 923.8 \,\mathrm{mm}$ und $\overline{L_2} = 1179 \,\mathrm{mm}$. Daraus lässt sich die Differenz $s = 25.52 \,\mathrm{cm}$ und die Brennweite $f \approx 15.17 \,\mathrm{cm}$ berechnen.

Für die letzte Konfiguration wurde die Lochblende wieder gegen die Scheibenblende ausgetauscht, das rote Licht wurde beibehalten. Die Messwerte sind in Tabelle 1.5 dargestellt.

10	Tabelle 1.5. Messwerte für e – 70 cm, mit Scheibenbiehde und 10tem Elch				
	Messung	Linsenposition L_1 in mm	Linsenposition L_2 in mm		
	1	922	1183		
	2	918	1182		
	3	918	1186		
	4	919	1186		
	5	918	1185		

Tabelle 1.5: Messwerte für e = 70 cm, mit Scheibenblende und rotem Licht

Hier ergeben sich die Mittelwerte zu $\overline{L_1} = 919 \,\mathrm{mm}$ und $\overline{L_2} = 1184,4 \,\mathrm{mm}$. Daraus lässt sich die Differenz $s = 26,54 \,\mathrm{cm}$ und die Brennweite $f \approx 14,98 \,\mathrm{cm}$ berechnen.

Alle diese Messungen wurden nochmals mit einem verschobenen Dia durchgeführt. Das Dia wurde dieses Mal bei 60 cm auf der optischen Bank fixiert. Daraus ergibt sich ein neuer Wert für die Distanz e von e=80 cm. Auch dieser Wert erfüllt die Bedingung e>4f. Um möglichst wenig umbauen zu müssen, wurde dieses Mal mit der Konfiguration mit der Scheibenblende und rotem Licht weitergemacht. Die Messwerte stehen in Tabelle 1.6.

Tabelle 1.6: Messwerte für $e = 80 \,\mathrm{cm}$, mit Scheibenblende und rotem Licht

Messung	Linsenposition L_1 in mm	Linsenposition L_2 in mm
1	802	1204
2	802	1204
3	802	1204
4	803	1205
5	803	1204

Hier ergeben sich die Mittelwerte zu $\overline{L_1} = 802,4\,\mathrm{mm}$ und $\overline{L_2} = 1204,2\,\mathrm{mm}$. Daraus lässt sich die Differenz $s = 40,18\,\mathrm{cm}$ und die Brennweite $f \approx 14,95\,\mathrm{cm}$ berechnen. Zu beachten ist, dass jetzt bei der Berechnung von f der neue Wert für e eingesetzt werden muss.

Auch beim neuen Abstand e werden alle Konfigurationen gemessen. Die nächste Konfiguration ergibt sich wieder durch das Austauschen der Scheibenblende durch die Lochblende, mit weiterhin rotem Licht. Die Messwerte stehen in Tabelle 1.7.

Tabelle 1.7: Messwerte für $e = 80 \,\mathrm{cm}$, mit Lochblende und rotem Licht

Messung	Linsenposition L_1 in mm	Linsenposition L_2 in mm
1	803	1199
2	803	1201
3	804	1201
4	804	1204
5	804	1200

Hier ergeben sich die Mittelwerte zu $\overline{L_1} = 803,6\,\mathrm{mm}$ und $\overline{L_2} = 1201\,\mathrm{mm}$. Daraus lässt sich die Differenz $s = 39,74\,\mathrm{cm}$ und die Brennweite $f \approx 15,06\,\mathrm{cm}$ berechnen.

Für die nächste Konfiguration wird der rote Farbfilter wieder gegen einen blauen getauscht, die Lochblende bleibt erhalten. Die Messwerte sind in Tabelle 1.8 dargestellt.

Tabelle 1.8: Messwerte für $e=80\,\mathrm{cm}$, mit Lochblende und blauem Licht

Messung	Linsenposition L_1 in mm	Linsenposition L_2 in mm
1	803	1204
2	806	1201
3	803	1202
4	804	1204
5	804	1203

Hier ergeben sich die Mittelwerte zu $\overline{L_1}=804\,\mathrm{mm}$ und $\overline{L_2}=1202,8\,\mathrm{mm}$. Daraus lässt sich die Differenz $s=39,88\,\mathrm{cm}$ und die Brennweite $f\approx15,03\,\mathrm{cm}$ berechnen.

Für die letzte Konfiguration wurde die Lochblende wieder gegen eine Scheibenblende ausgetauscht. Der blaue Filter wurde beibehalten. Die Messwerte sind in Tabelle 1.9 dargestellt.

Tabelle 1.9: Messwerte für $e = 80 \,\mathrm{cm}$, mit Scheibenblende und blauem Licht

Messung	Linsenposition L_1 in mm	Linsenposition L_2 in mm
1	802	1207
2	798	1204
3	799	1208
4	801	1209
5	802	1208

Hier ergeben sich die Mittelwerte zu $\overline{L_1} = 800,4\,\mathrm{mm}$ und $\overline{L_2} = 1207,2\,\mathrm{mm}$. Daraus lässt sich die Differenz $s = 40,68\,\mathrm{cm}$ und die Brennweite $f \approx 14,83\,\mathrm{cm}$ berechnen.

Nachdem alle Messreihen ausgewertet wurden, lässt sich ein Mittelwert für f bestimmen, indem die einzelnen Ergebnisse von allen 8 Messungen gemittelt werden. So ergibt sich daraus ein finaler Wert von $f=14,96\,\mathrm{cm}$. Dieser Wert liegt extrem nah am Literaturwert und zeigt, dass das Besselsche Verfahren zur präzisen Bestimmung der Brennweite viel besser geeignet ist als das primitive Verfahren aus Aufgabe 1.1, bei dem einfach versucht wird, parallele Strahlen im Brennpunkt zu bündeln und dann die Distanz zwischen Linse und Schirm misst.

Aber auch die Abweichungen, die in der Messung aufgetreten sind, haben System bzw. eine physikalische Begründung. Das lässt sich am besten erkennen, wenn man die für f erhaltenen Werte alle zusammen betrachtet. Das wird in Tabelle 1.10 gemacht.

Tabelle 1:10. Zasammemassang der Messwerte für j				
Konfiguration	f in cm für $e = 70 \mathrm{cm}$	f in cm für $e = 80 \mathrm{cm}$		
Scheibenblende / blau	14,87	14,83		
Lochblende / blau	$15,\!06$	$15,\!03$		
Lochblende / rot	$15,\!17$	15,06		
Scheibenblende / rot	14,98	14,95		

Tabelle 1.10: Zusammenfassung der Messwerte für f

Die erste Erkenntnis ist, dass unter sonst identischen Bedingungen die Brennweite f für blaues Licht immer kleiner ist als für rotes Licht. Der Grund hierfür ist die Dispersion. Blaues, kurzwelliges Licht, wird an der Linse stärker gebrochen als das rote, langwellige Licht. Das ist auch der Grund für die chromatische Aberration der Linse, die durch diese Beobachtung bestätigt wurde.

Die andere Erkenntnis ist, dass unter sonst identischen Bedingungen die Brennweite f mit der Scheibenblende immer kleiner war als mit der Lochblende. Diese Beobachtung deckt sich mit der sphärischen Aberration. Durch die Form der Linse werden achsparallele Strahlen nicht alle genau in einem Punkt gebündelt, sondern näher an der Linse, wenn die Strahlen weiter außen auf die Linse treffen, wie es bei der Scheibenblende der Fall ist, die das innere Linsengebiet verdeckt.

Dadurch, dass die Messung bei mehrere Konfigurationen durchgeführt wurde, gleichen sich durch die Mittelwertbildung die durch diese Effekte entstandenen Abweichungen aus und der für f bestimmte Wert wird von diesen Abbildungsfehlern unabhängig.

Zusammenfassend konnte bei dieser sehr präzisen Messmethode nicht nur die Brennweite f zu $f=14,994\,\mathrm{cm}$ bestimmt werden, sonder sowohl die sphärische als auch die chromatische Aberration beobachtet werden.

1.4 Bestimmen der Brennweiten eines Zweilinsensystems mithilfe des Abbéschen Verfahrens

In diesem Versuch wird das Abbé-Verfahren verwendet, um die Brennweiten von zwei Linsen in einem Zweilinsensystem zu bestimmen. Diese Linsen befinden sich in einem Hohlzylinder. Dieser ist so gebaut, dass die Mitte des Zylinders auf der Optischen Achse positioniert werden kann. Die Zylindermitte wurde als Markierung auf der Optischen Achse gewählt und einmal eingestellt, sodass sie für alle Messreihen dieselbe Position hat. Zwischen Lampe und den zwei Linsen wird ein Dia mit einer Millimeterskala positioniert und hinter dem Zylinder befindet ich ein Schirm mit Millimeterpapier, auf den das Dia projiziert wird. Bei diesem Versuch wird das Dia auf unterschiedliche Positionen gebracht und der Schirm daraufhin so ausgerichtet, dass das Bild scharf ist. Gemessen werden dabei die Position des Dias, die Position des Schirms und die Vergrößerung. Danach wurde der Zylinder um 180° gedreht um eine zweite Messreihe zu erhalten. Die Drehung um 180° ist möglich, da sich durch den Aufbau der Röhre der für die Positionierung auf der optischen Achse benötigte Stift mittig zwischen den Linsen befinden sollte. Abbildung 1.4 skizziert den Aufbau des Versuchsapparates.

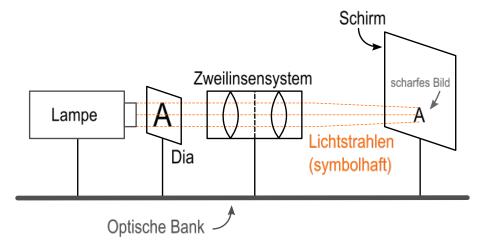


Abbildung 1.4: Versuchsaufbau: Brennweiten eines Zweilinsensystems mit dem Abbé-Verfahren bestimmen

In diesem Versuch wird der Abstand zwischen dem Dia und der sich direkt dahinter befindenden Linse als g bezeichnet. Der Abstand von der ersten Linse L_1 zur Markierung ist h_1 und der Abstand von der zweiten Linse L_2 zur Markierung ist h_2 . Für den Abstand g gilt:

$$g = g = f \cdot (1 + \frac{1}{V}). \tag{1.6}$$

Dabei ist f die Brennweite des Zweilinsensystems. Diese setzt sich aus den Brennweiten der zwei einzelnen Linsen zusammen durch

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{h_1 + h_2}{f_1 \cdot f_2} \tag{1.7}$$

In diesem Versuch konnte aber der Abstand von dem Dia zur ersten sich dahinter befindenden Linse nicht gemessen werden. Stattdessen wurde der Abstand zur Markierung gemessen. Der Abstand zur Markierung lässt sich aber durch den Abstand g ausdrücken:

$$x = g + h_i = f \cdot (1 + \frac{1}{V}) + h_i.$$
 (1.8)

Dabei ist V die Vergrößerung des auf dem Schirm abgebildeten Dias und h_i ist der Abstand von der Linse hinter dem Dia zur Markierung. Wenn der Zylinder um 180° gedreht wird, gilt diese Formel äquivalent auch für die andere Linse.

Bei diesem Versuch wurde das Dia an unterschiedliche Stellen positioniert, der Schirm so positioniert dass die Abbildung scharf war und die dazugehörige Vergrößerung gemessen. Die Vergrößerung konnte bestimmt werden, indem auf dem Dia eine Millimeterskala aufgetragen war und der Schirm aus Millimeterpapier bestand.

Die Versuche wurden für zwei verschiedene Abstände der Linsen von der Markierung durchgeführt. Dabei wurde versucht, die beiden Linsen möglichst gleich weit von der Markierung zu entfernen, sodass $h_1 \approx h_2$.

Wenn man den Wert für den gemessenen Abstand X in Abhängigkeit von $(1 + \frac{1}{V})$ plottet und eine lineare Regression auf die Messwerte anwendet, erhält man aus der Steigung die Brennweite f des Zweilinsensystems und aus dem Y-Achsen Abschnitt den Wert für h_i

Die Messwerte für den Linsenabstand S_1 sind in Tabelle 1.11 zu finden. Die Messwerte für den Linsenabstand S_2 befinden sich in Tabelle 1.12

1,0

0,9

Rotation	Abstand X in cm	Vergrößerung V
	33,7	1,9
	34,2	1,7
0°	34,7	1,5
U	35,2	1,3
	35,7	1,2
	36,2	1,1
	33,7	1,3
	34,2	1,2
1000	34,7	1,1
180°	35 2	1.0

35,7

36,2

Tabelle 1.11: Messwerte zum Zweilinsensystem mit Linsenabstand S_1

Tabelle 1.12: Messwerte zum Zweilinsensystem mit Linsenabstand S_2

Rotation	Abstand X in cm	Vergrößerung V
	33,7	3,0
	34,2	2,6
0°	34,7	2,2
U	35,2	2,0
	35,7	1,9
	36,2	1,8
	33,7	1,2
	34,2	1,2
180°	34,7	1,1
180	35,2	1,05
	35,7	1,0
	36,2	0,95

In Abbildung 1.5 wurden die Messwerte für den Linsenabstand S_1 und in Abbildung 1.6 für den Linsenabstand S_2 geplottet. Zusätzlich wurde eine lineare Regression durchgeführt. Beide Messreihen wurde mit einer Funktion der Form

$$f(x) = m \cdot x + c \tag{1.9}$$

approximiert.

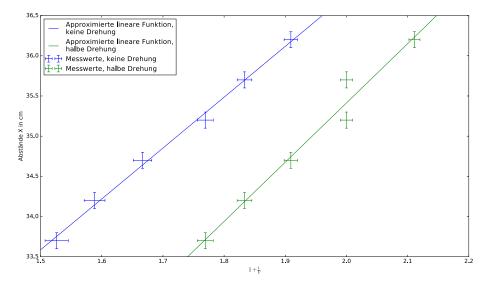


Abbildung 1.5: Regression der Messwerte für den Linsenabstand S1

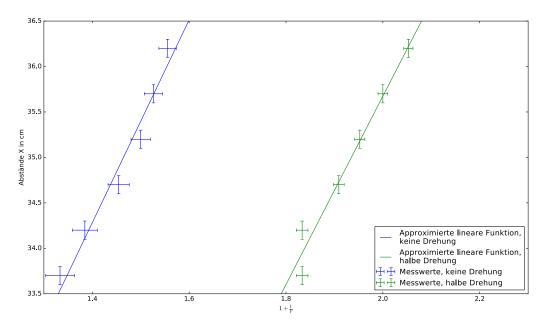


Abbildung 1.6: Regression der Messwerte für den Linsenabstand S2

Die Ergebnisse der Regressionen sind in Tabelle 1.13 zu sehen.

Tabelle 1.13: Ergebnisse der Regressionen

Linsenabstand	Rotation	Steigung m in cm	Y-Achsen Abschnitt c in cm
C	0°	6.3 ± 0.4	$24,0 \pm 0,7$
\mathcal{S}_1	180°	7.3 ± 0.4	$20,6 \pm 0,9$
	0°	$11,1 \pm 1,5$	$18,6 \pm 2,2$
S_2	180°	$10,3 \pm 0,7$	14.9 ± 1.4

Die aus der Regression gewonnenen Daten lassen sich als

$$X = f \cdot (1 + \frac{1}{V}) + h_i = m \cdot (1 + \frac{1}{V}) + c \tag{1.10}$$

interpretieren. Der Y-Achsen Abschnitt in der Regression entspricht dem Linsenabstand h_i von der Markierung. Der Y Dabei gilt $h = h_1$ im System ohne Drehung und $h = h_2$ im System mit Drehung. Tabelle 1.14 verdeutlicht, welche Werte aus der Regression gewonnen wurden.

Tabelle 1.14:	Ergebnisse	der Regressioner	1
---------------	------------	------------------	---

Linsenabstand	Rotation	f in cm	$\frac{1}{2}$ in $\frac{1}{2}$	Abstand h_i in cm
C.	0°	6,3	0,15	$h_1: 24$
\mathcal{S}_1	180°	7,3	0,15	$h_2:20$
<u> </u>	0°	11,1	0,09	$h_1:18$
S_2	180°	10,3	0,09	$h_2: 14$

Über die lineare Regression lassen sich nun die Brennweiten der einzelnen Linsen berechnen:

$$m = -\frac{1}{f_1 \cdot f_2} = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - (h_1 + h_2)} \tag{1.11}$$

Um aus dieser Gleichung die Brennweiten der Einzellinsen zu bestimmen, wird erneut eine Regression für $\frac{1}{f}$ zu $(h_1 + h_2)$ durchgeführt. Der dazugehörige Plot ist in Abbildung 1.7 zu sehen.

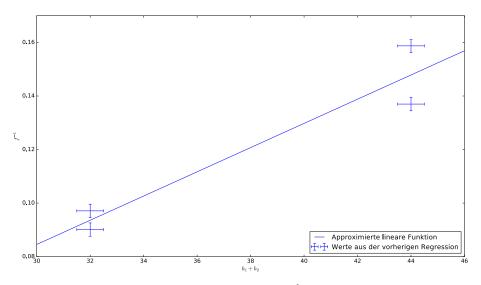


Abbildung 1.7: Regression für $\frac{1}{f}$ zu $(h_1 + h_2)$

Diese Regression wurde mit einer linearen Funktion der Form

$$f(x) = a \cdot x + b \tag{1.12}$$

durchgeführt. Die daraus resultierenden Parameter sind in Tabelle 1.15 zu sehen.

Tabelle 1.15: Ergebnisse der Regressionen

Parameter	Steigung a in cm ⁻¹	Y-Achsen Abschnitt b in cm ⁻¹
	0.04 ± 0.02	-0.05 ± 0.08

Daraus lassen sich nun die Brennweiten der einzelnen Linsen bestimmen:

$$f_1 = -\frac{b}{2 \cdot a} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4 \cdot a^2} + \frac{1}{a}} \tag{1.13}$$

$$f_2 = -\frac{1}{a \cdot f_1} \tag{1.14}$$

Nach Einsetzen der Werte erhält man folgende Ergebnisse:

$$f_{11} = 5,72 \,\mathrm{cm} \tag{1.15}$$

$$f_{12} = -4,55 \,\mathrm{cm} \tag{1.16}$$

$$f_{21} = -4.38 \,\mathrm{cm} \tag{1.17}$$

$$f_{22} = 5,49 \,\mathrm{cm}$$
 (1.18)

(1.19)

Diese Werte werden noch gemittelt.

$$\frac{f_{11} + f_{22}}{2} = 5,605 \,\mathrm{cm} \tag{1.20}$$

$$\frac{f_{11} + f_{22}}{2} = 5,605 \,\text{cm}$$

$$\frac{f_{12} + f_{21}}{2} = -4,465 \,\text{cm}$$
(1.20)

Somit ist in diesem System eine Konvexlinse mit einer Brennweite von 5,605 cm und eine Konkavlinse mit einer Brennweite von $-4,465\,\mathrm{cm}$.

2. Aufgabe: Aufbau optischer Instrumente

2.1 Bauen eines Keplerschen und eines Galileischen Fernrohres

Ein Kepler- und ein Galilei-Fernrohr bestehen beide aus zwei hintereinander befindlichen Linsen. Diese beiden Fernrohre sollten in diesem Versuch nachgebaut werden. Die dazugehörige Skizze ist in Abbildung 2.1 zu sehen. Die in dieser Skizze eingezeichneten Lichtstrahlen repräsentieren den Weg des Lichts zwischen den Linsen nicht eindeutig und dienen nur zur Darstellung des Lichtweges vor und hinter den Linsen.

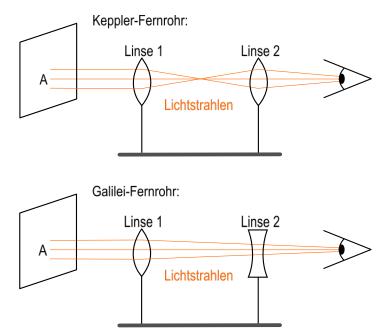


Abbildung 2.1: Versuchsskizze: Kepler- und Galilei-Fernrohr

Die Fernrohre unterscheiden sich darin, dass die zweite Linse entweder eine Konvex- oder Konkav-Linse ist. Dies führt dazu, dass das Bild beim Kepler-Fernrohr spiegelverkehrt ist, während dies beim Galilei-Fernrohr nicht der Fall ist.

Bei dem Aufbau des Kepler-Fernrohres muss beachtet werden, dass der Abstand zwischen den beiden Linsen der Summe der Brennweiten dieser Linsen beträgt. Die Aufbauten in dem Versuch wurden mit den Parametern in Tabelle 2.1 durchgeführt.

Tabelle 2.1. I arameter für den Dat der Termonie			
Parameter	Kepler-Teleskop	Galilei-Teleskop	
Brennweite erste Linse	$500\mathrm{mm}$	$500\mathrm{mm}$	
Brennweite zweite Linse	$50\mathrm{mm}$	$-50\mathrm{mm}$	
Abstand zwischen den Linsen	$550\mathrm{mm}$	$450\mathrm{mm}$	

Tabelle 2.1: Parameter für den Bau der Fernrohre

Die Vergrößerung dieser Fernrohre lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$V = \frac{\text{Bildgröße ohne Fernrohr}}{\text{Bildgröße mit Fernrohr}} = \frac{|\text{Brennweite zweite Linse}|}{|\text{Brennweite zweite Linse}|}$$
(2.1)

Dabei ergibt sich für beide Fernrohre eine theoretische Vergrößerung von V=10. Dieser Wert sollte aber noch einmal experimentell bestätigt werden. Dazu wurde an das Ende des jeweiligen Fernrohres, welches aich nicht am Auge befand, auf eine Wand gerichtet und mit einer Lochblende abgedeckt. Die Lochblende dient zur Einschränkung des sichtbaren Bereiches des Fernrohres. Danach wurde die Sicht durch das Fernrohr auf der zu beobachtenden Wand über die Position des kopfes des Beobachters so eingestellt, dass aich von der Wand genau ein Ziegelstein in der Höhe im sichtbaren Bereich befand. Danach wurde die lochblende abgenommen und neben die Linse des Fernrohres gehalten, sodass der Beobachter immer noch in der Lage war, durch diese Lochblende zu schauen, ohne die Position seines Kopfes verändern zu müssen. In diesem Zustand wurde die Anzahl der Sichtbaren Ziegelstein-Höhen gezählt. Die Vergrößerung ergibt sich aus dem Quotienten der ohne und dem der mit Fernrohr sichtbaren Ziegelsteinhöhen. Da die Anzahl an mit Fernrohr sichtbaren Ziegelsteinhöhen in diesem Versuch auf eins eingestellt wird, ergibt sich die Vergrößerung aus der Anzahl der Ziegelsteinhöhen, die man ohne Fernrohr durch die Lochblende sieht.

Bei beiden Fernrohren konnten ohne Lochblende sieben Ziegelsteinhöhen gezählt werden. Die experimentell bestimmte Vergrößerung beider Fernrohre beträgt also V = 7.

Die Abweichung zur berechneten Vergrößerung von 30 % lässt sich dadurch erklären, dass die Messung "ohne Verschieben des Kopfes bei Schwenken des Blickes von der Linse des Fernrohrs zur Lochblende" nicht sehr fehlerfrei durchgeführt werden kann. Wenn sich der Kopf dabei nur um kleine Distanzen bewegt, kann das Ergebnis deutlich verfälscht werden. Ähnliches gilt für die Positionierung des Kopfes, sodass durch das Fernrohr "genau eine Ziegelsteinhöhe" gesehen werden kann. Kleine Bruchstücke von den Ziegelsteinen darüber und darunter können nicht mitberücksichtigt werden. Ein drittes Problem ergibt sich aus der Struktur der Wand, da die Höhe des Mörtels zwischen den Ziegelsteinen nicht mitberücksichtigt werden kann. Zu guter letzt kann auch ein Fehler im Aufbau der Fernrohre vorgefallen sein, da diese trotz einer Millimeterskala nicht perfekt positioniert werden können.

2.2 Bauen eines Projektionsapparates

Ein Projektionsapparat soll ein kleines Dia vergrößert auf einen Schirm projizieren. Dazu wurde ein Versuchsaufbau wie in Abbildung 2.2 untersucht. Anstelle eines Schirmes wurde die Wand in dem Raum verwendet, in dem der Versuch durchgeführt wurde.

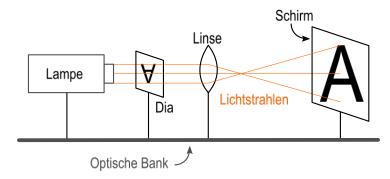


Abbildung 2.2: Versuchsaufbau: Projektionsapparat

Der Projektionsapparat wurde mit den Parametern in Tabelle 2.2 aufgebaut.

Tabelle 2.2: Parameter für den Bau des Projektionsapparates

Parameter	Wert
Abstand Dia - Linse	$78\mathrm{mm}$
Abstand Linse - Wand	$142,3\mathrm{cm}$
Brennweite Linse	$15\mathrm{cm}$
Breite Dia	$24\mathrm{mm}$

Nach dem Aufbau des Projektionsapparates wurde die Breite des auf der Wand Abgebildeten Bildes gemessen. Diese betrug 40 cm. Die Höhe der Projektion auf der Wand konnte nicht gemessen werden, da deren oberes und unteres Ende nicht so beleuchtet werden konnten, dass beide Konturen ausreichend sichtbar waren. Somit wurde ein Projektionsapparat mit einer Vergrößerung von

$$V = \frac{\text{Breite Projektion}}{\text{Breite Dia}} = \frac{400 \,\text{mm}}{24 \,\text{mm}} \approx 16.6 \tag{2.2}$$

gebaut.

2.3 Bauen eines Mikroskops

Das Mikroskop ist ähnlich wie der Projektionsapparat aufgebaut, mit dem Unterschied, dass eine weitere Linse eingesetzt wird, um die Vergrößerung deutlich größer ausfallen zu lassen. Abbildung 2.3 skizziert dabei den Aufbau.

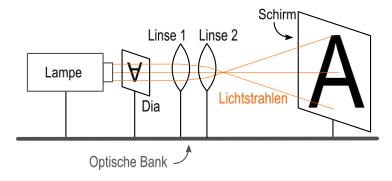


Abbildung 2.3: Versuchsaufbau: Mikroskop

Die Parameter des im Versuch aufgebauten Mikroskops sind Tabelle 2.3 zu entnehmen.

Some 2.0. I arameter far den Baa	ace minicon
Parameter	Wert
Brennweite erste Linse	$40\mathrm{mm}$
Brennweite zweite Linse	$500\mathrm{mm}$
Abstand Dia - erste Linse	$51\mathrm{mm}$
Abstand zwischen den Linsen	$121\mathrm{mm}$
Abstand erste Linse - Schirm	$89\mathrm{cm}$

Tabelle 2.3: Parameter für den Bau des Mikroskops

Die Vergrößerung lässt sich für einen solchen Aufbau mittels

$$V = \left| \frac{((\text{Abstand Linsen}) - f_2) \cdot (\text{Abstand zweite Linse - Schirm})}{f_1 \cdot f_2} \right|$$

$$= \left| \frac{(121 \,\text{mm} - 500 \,\text{mm}) \cdot 890 \,\text{mm}}{40 \,\text{mm} \cdot 500 \,\text{mm}} \right|$$

$$= 16,8655$$

berechnen.

Auf dem verwendeten Dia war eine Millimeter-Skala abgebildet. Die Projektion dieser Millimeterskala war auf dem Schirm 20 mal so groß. Somit wurde ein Mikroskop mit einer Vergrößerung von V=20 gebaut.

Der Fehler von 15,6% lässt sich dadurch erklären, dass bei dem geringen Abstand zwischen den Linsen oder der ersten Linse und dem Dia ein geringer Messfehler dafür verantwortlich sein kann, dass große Abweichungen entstehen. Außerdem verfügte der verwendete Schirm nicht über eine starre Oberfläche sondern war nur leicht bespannt und befand sich somit während der Durchführung nicht in konstantem Abstand zu der zweiten Linse. Bei der Messung dieses Abstandes kann auch ein Fehler hereingekommen sein.

Es ist nicht sinnvoll, Linsen mit immer kleineren Brennweiten zu verwenden, in der Hoffnung, eine "bessere" Auflösung zu erhalten, da die Auflösung durch die Wellenlänge des Lichts beschränkt ist. Weiterhin würde dies zu zusätzlichen Interferenzen führen, welche eine "schlechtere" Auflösung zur Folge hätten.