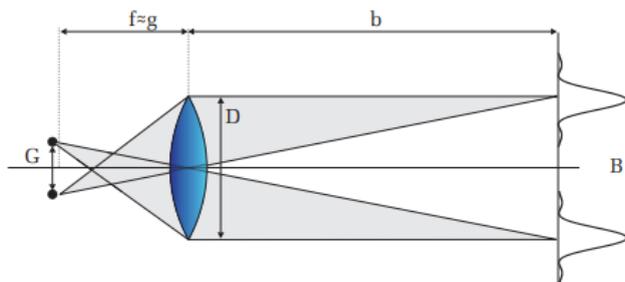


# Versuch 31 - Optische Abbildungen

## PAP 1, [2] [1]

18.09.2024



Teilnehmender Student: **Jonathan Rodemers**

Gruppe des Teilnehmenden: 1

Kurs: Nachmittags

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Messverfahren . . . . .	1
1.3	Grundlagen aus der Physik . . . . .	1
1.3.1	Linsengleichung: . . . . .	1
1.3.2	Vergrößerungsfaktor . . . . .	2
1.3.3	Bessel-Verfahren . . . . .	2
1.3.4	Aberrationen . . . . .	2
1.3.5	Auflösung . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>3</b>
2.1	Messprotokoll . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>8</b>
3.1	Bestimmung der Brennweite der ersten Linse . . . . .	8
3.2	Auswertungstabelle . . . . .	8
3.3	Brennweite nach Besselverfahren . . . . .	8
3.4	Chromatische Abberation . . . . .	8
3.5	Spharische Abberation . . . . .	9
3.5.1	Lochblende . . . . .	9
3.5.2	Ringblende . . . . .	9
3.6	Gitterkonstante . . . . .	9
3.7	Auflösung . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>11</b>
	<b>Quellen- und Literaturverzeichnis</b>	<b>13</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Ziel dieses Experiments ist es, die Prinzipien der optischen Abbildung durch Linsen zu verstehen, einschließlich der Bildung von realen und virtuellen Bildern. Wir wollen die Auswirkungen optischer Aberrationen wie sphärischer und chromatischer Aberrationen untersuchen und verstehen. Linsen sind ein wesentlicher Bestandteil verschiedener optischer Systeme, von einfachen Lupen bis hin zu komplexen Mikroskopen und Kameras. Die Untersuchung dieser Phänomene ist für die Entwicklung eines tieferen Verständnisses der Wechselwirkung zwischen Licht und gekrümmten Oberflächen von entscheidender Bedeutung. Mit diesem Experiment wollen wir Linsenparameter wie die Brennweite messen, den Bildentstehungsprozess untersuchen und die Auswirkungen von Abbildungsfehlern bewerten und so praktische Erfahrungen mit grundlegenden optischen Konzepten sammeln.

## 1.2 Messverfahren

In diesem Experiment bauen wir eine optische Bank auf, die eine Lichtquelle, verstellbare Linsen und Blenden enthält. Wir werden eine Kombination aus bikonvexen und achromatischen Linsen verwenden, um das Bild zu analysieren. Die wichtigsten Schritte sind:

- **Bildentstehung:** Wir stellen die Objekt- und Bildabstände ein, um mit dem Objektiv scharfe Bilder auf einem Bildschirm zu erzeugen. Dabei variieren wir den Objektabstand innerhalb bestimmter Bereiche, um zu beobachten, wie sich das Bild verändert (real vs. virtuell, aufrecht vs. umgedreht).
- **Messung der Brennweite:** Mit Hilfe der Bessel-Methode messen wir die Brennweite einer bikonvexen Linse, indem wir zwei scharfe Bildpositionen ermitteln und die Brennweite aus diesen Messungen berechnen.
- **Aberration** Die chromatische Aberration wird durch das Einsetzen von Farbfilttern (rot und blau) und den Vergleich der Bildpositionen untersucht. Darüber hinaus wird die sphärische Aberration qualitativ beobachtet, indem die Blende variiert wird (mit Hilfe einer Lochblende und einer Ringblende), um zu untersuchen, wie sich Bildschärfe verändert.
- **Bau eines Mikroskops:** Wir werden auch ein einfaches Mikroskop mit Hilfe der optischen Bank konstruieren und die Auflösung des Systems anhand der durch das Mikroskop beobachteten Gitterstruktur bestimmen.

## 1.3 Grundlagen aus der Physik

Die Physik, die hinter diesem Experiment steht, beruht auf mehreren wichtigen optischen Prinzipien:

### 1.3.1 Linsengleichung:

Die Beziehung zwischen dem Objektabstand ( $g$ ), Bildabstand ( $b$ ) und Brennweite ( $f$ ) ist durch die Linsengleichung gegeben:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (1.1)$$

Diese Gleichung wird zur Berechnung der Brennweite verwendet, indem die Objekt- und Bildabstände für verschiedene Konfigurationen gemessen werden.

### 1.3.2 Vergrößerungsfaktor

Die Vergrößerung ( $\beta$ ) ist definiert als das Verhältnis der Bildgröße ( $B$ ) zur Objektgröße ( $G$ ) und kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$\beta = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (1.2)$$

So können wir die Bildgröße über die Linsenpositionen mit der Objektgröße in Beziehung setzen.

### 1.3.3 Bessel-Verfahren

Für genauere Brennweitenmessungen verwenden wir die Bessel-Methode, die sich die Tatsache zunutze macht, dass für einen festen Objekt-Bild-Abstand ( $L$ ) zwei Linsenpositionen gibt, die ein scharfes Bild ergeben. Die Brennweite wird dann mit der folgenden Formel bestimmt:

$$f = \frac{L^2 - d^2}{4L} \quad (1.3)$$

wobei  $d$  der Abstand zwischen den beiden Linsenpositionen ist.

### 1.3.4 Aberrationen

**Sphärische Aberration:** Sie tritt auf, wenn Lichtstrahlen, die durch die äußeren Ränder eines Objektivs laufen, nicht am selben Punkt zusammenlaufen wie die, die durch die Mitte laufen, was zu einem unscharfen Bild führt. Durch die Begrenzung der Blendengröße können wir die sphärische Aberration verringern, allerdings auf Kosten der Helligkeit.

**Chromatische Aberration:** Aufgrund der Dispersion werden die verschiedenen Wellenlängen des Lichts (Farben) unterschiedlich stark gebrochen. Dies führt zu Farbsäumen um das Bild herum. Die Brennweite hängt von der Wellenlänge ab ( $\lambda$ ), und bei einer einfachen Linse haben kürzere Wellenlängen (blaues Licht) eine kleinere Brennweite als längere Wellenlängen (rotes Licht)

### 1.3.5 Auflösung

Das Auflösungsvermögen der Apperatur wird durch die Wellenlänge des Lichts bestimmt ( $\lambda$ ) und die numerische Apertur (NA) des Objektivs:

$$G_{\min} = \frac{0.61\lambda}{\text{NA}} \quad (1.4)$$

wobei  $G_{\min}$  die kleinste auflösbare Entfernung ist. Diese Formel spiegelt die durch Beugung bedingten Grenzen der Auflösung optischer Systeme wider.

## 2. Durchführung

### 2.1 Messprotokoll

Messprotokoll

18.09.2024  
09 - 12 Uhr

Theodora Lazarevic, Jonathan Rodmers

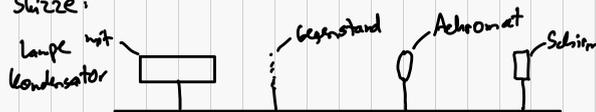
Versuch 31 - Optische Abbildungen

Gerät: - Optische Serie

- Lampe mit Kondensator und verschiebbarem Farbfilter
- 2 bikonvex Linsen, 1 Achromat-Linse
- Loch- & Ringblende
- Fassung zur Aufnahme d. Linsen u. Blenden
- Schirm
- Dias mit Teststrukturen sowie ein Kreuzgitter
- Verstellbarer Messspalt (Spaltbreite ist in mm geeicht)
- Zwischenbild mit mm-Einteilung

Aufgabe 2 - Messung d. Brennweite

(i) Skizze:



Linse bei 67,5 cm  
Schirm 88 cm  
Gegenstand bei 10 cm

$$g = (19,5 \pm 0,2) \text{ cm}$$

$$b = (20,5 \pm 0,2) \text{ cm}$$

$$\text{mit } \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad \frac{1}{f} = \frac{b+g}{bg} \quad f = \frac{bg}{b+g}$$

$$f = (10,00 \pm 0,07) \text{ cm}$$

(ii) Tabelle 1:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{-bg}{(b+g)^2} + \frac{g}{b+g}\right) \Delta b)^2 + \left(\frac{-bg}{(b+g)^2} + \frac{b}{b+g}\right) \Delta g)^2}$$

	g	b	b	B	Art	Richtung
$\infty > g > 2f$	26,0	0,8	16,5	0,5	reell	umgekehrt
	24,0	0,8	17,0	0,5		
	22,0	0,8	18,6	0,7		
$g = 2f$	20,0	0,8	20,7	0,8	reell	umgekehrt
$2f > g > f$	17,0	0,8	24,5	1,2	reell	umgekehrt
	15,0	0,8	23,0	1,5		
	13,0	0,8	33,0	2,8		
$g = f$	10,0	0,8	$\rightarrow \infty$	—	—	umgekehrt
$f > g$	8,0	0,8	—	—	virtuell	aufrecht

alle Angaben in cm  
überall  $\pm 0,14$  cm Ablesefehler (mit  $\Delta d = \sqrt{2 \cdot 0,1^2}$ )

Aufgabe 3 - Besselverfahren

(i) Skizze:

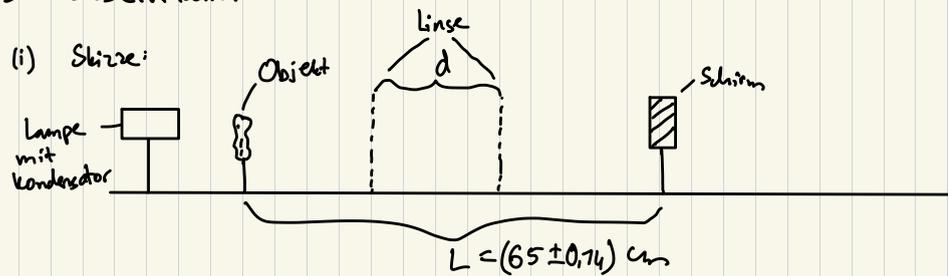


Tabelle 2:

Messung	$d$ [cm]	$\bar{d}$ [cm]
1	34,00	
2	33,70	33,30
3	33,90	
		$\pm 0,14$

Aufgabe 4 - Chromatische- und sphärische Aberration

Tabelle 3:  
(i) Chromatische Aberration

	1	2	3	$\bar{d}$
rot	33,5	33,5	33,6	33,5
blau	34,0	34,1	34,0	34,0
				$\pm 0,14$

(Alle Angaben in cm)

(ii) Sphärische Aberration:

Man beobachtet qualitativ die sphärische Aberration, indem man einmal die Loch- und einmal die Ringblende vor die Linse stellt.

Lochblende: Das Bild ist an d. schärfsten Stelle sehr scharf.

Ringblende: Das Bild ist im Vergleich gelblich.

Verkleinert man  $g$ , so wirds röter und vergrößert man  $g$  nach dem Schärfepunkt, so wirds blau. An der schärfsten Stelle ist das Bild nicht ganz so scharf wie bei d. Lochblende und die chrom. Aberration ist deutlicher zu erkennen.

Aufgabe 5 - Aufbau eines Mikroskops

Vergrößerung bestimmen:  $\beta = \frac{b}{f} - 1$   $f = 4 \text{ cm}$   
 $\beta = 5,58 \pm 0,05$   $b = (26,3 \pm 0,2) \text{ cm}$   
 mit  $\Delta\beta = \frac{\Delta b}{f}$

Strichabstand d. Gitters bestimmen:  $(2 \pm 0,2) \mu\text{m} \approx (1 \pm 0,1) \text{ mm}$  Abwechslung von  $\frac{2}{10}$  (Kästchen wegen Strich-  
 ges:  $B = (0,5 \pm 0,05) \text{ mm} = (0,05 \pm 0,005) \text{ cm}$  dicke)  
 ges:  $g$

$$\frac{b}{g} = \frac{g}{b} = \frac{1}{\beta}$$

$$g = \frac{b}{\beta} = 0,009 \text{ cm} = 0,00009 \text{ m} = (90 \pm 9) \mu\text{m}$$

Tabelle 4:

Mindestspaltbreite damit gebräute Striche verschwinden

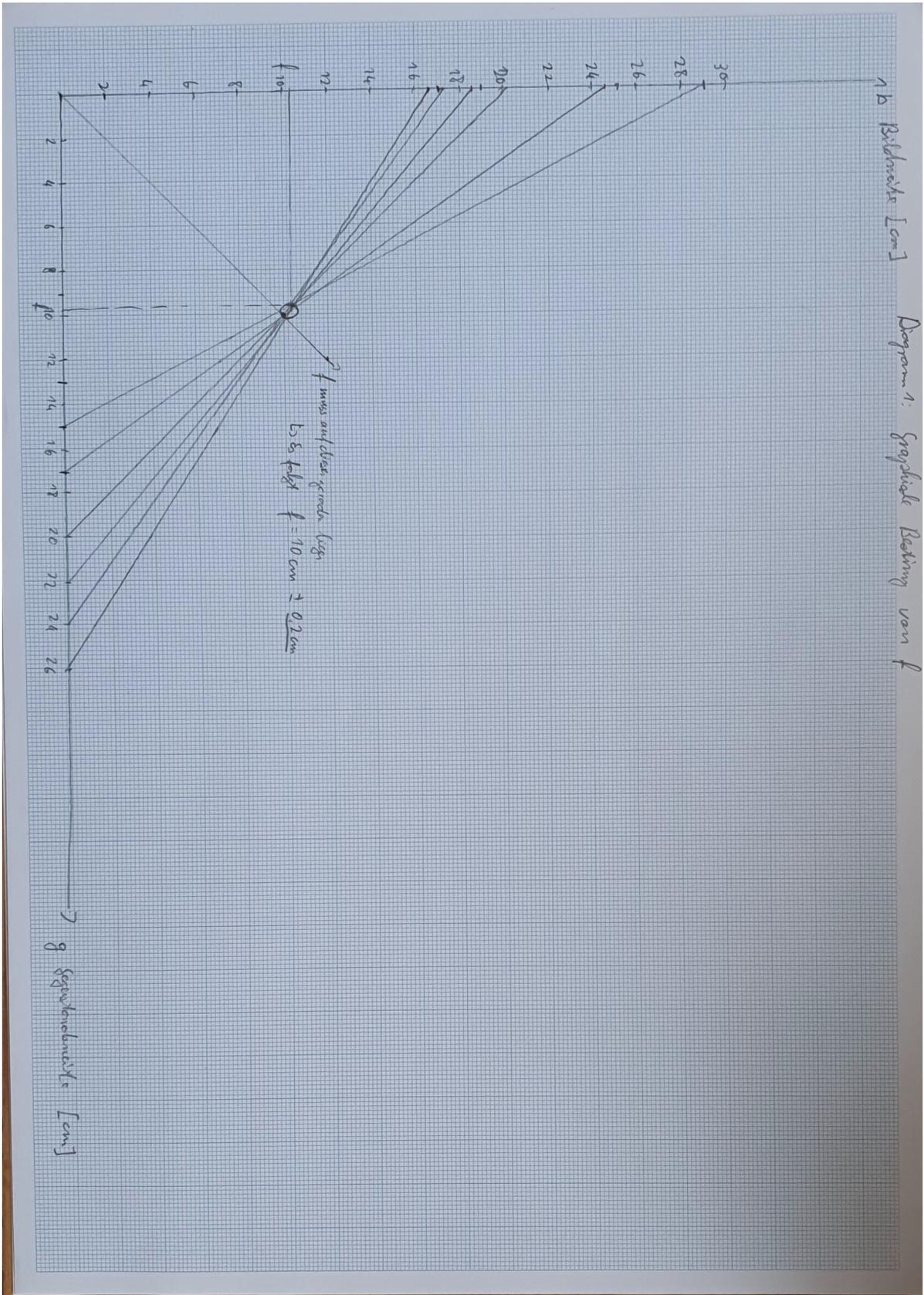
Messung	Spaltbreite (mm)
1	0,2
2	0,2
3	0,2

$\pm 0,1$

Abstand Spalt-Gitter:  $d_{sg} = (3,5 \pm 0,2) \text{ cm}$

geringere Wellenlänge  $\Rightarrow$  größere Spaltbreite

T. Schmidt ☺





### 3. Auswertung

#### 3.1 Bestimmung der Brennweite der ersten Linse

Wir stellen Formel 1.1 nach f um:

$$f = \frac{bg}{b+g} \tag{3.1}$$

Mit den gemessenen Werten und der Fehlerrechnung mittels folgender formel:

$$\Delta f^2 = \left( \left( \frac{-bg}{(b+g)^2} + \frac{g}{b+g} \right) \Delta b \right)^2 + \left( \left( \frac{-bg}{(b+g)^2} + \frac{b}{b+g} \right) \Delta g \right)^2 \tag{3.2}$$

ergibt sich ein Wert für f von:

$$(10,00 \pm 0,07)\text{cm}$$

#### 3.2 Auswertungstabelle

Tabelle 1: Auswertungstabelle

Nr.	g	b	Art	Richtung	$\beta$
<b>I</b>	$\infty > g > 2f$	$2f > g > f$	reell	umgekehrt	0,63-0,85
<b>II</b>	$g = 2f$	$b = 2f$	reell	umgekehrt	1
<b>III</b>	$2f > g > f$	$\infty > b > 2f$	reell	umgekehrt	1,44-3,00
<b>IV</b>	$g = f$	$b \rightarrow \infty$	N/A	umgekehrt	N/A
<b>V</b>	$f > g$	N/A	virtuell	aufrecht	N/A

Dabei wurde  $\beta$  wie in Formel ?? ausgerechnet und der Fehler wie folgt bestimmt:

$$\Delta \beta^2 = \left( \frac{1}{g} \Delta b \right)^2 + \left( \frac{-b}{g^2} \Delta g \right)^2 \tag{3.3}$$

#### 3.3 Brennweite nach Besselverfahren

Für die Berechnung der Brennweite der Linse  $L_1$  benötigen wir Formel 1.3 und der dazugehörigen Fehlerrechnung:

$$\Delta f^2 = \left( \left( \frac{1}{2} - \frac{L^2 - d^2}{4L^2} \right) \Delta L \right)^2 + \left( \frac{-d}{2L} \Delta d \right)^2 \tag{3.4}$$

Es ergibt sich ein Wert von:

$$f_{\text{weiß}}(11,82 \pm 0,05)\text{cm}$$

#### 3.4 Chromatische Abberation

Wir rechnen auf gleiche Weise wie im vorherigen Abschnitt die jeweilige Brennweite aus und erhalten:

$$f_{\text{rot}} = (11,93 \pm 0,05)\text{cm}$$

und

$$f_{\text{blau}} = (11,80 \pm 0,05)\text{cm}$$

### 3.5 Sphärische Abberation

Bei der Untersuchung der sphärischen Abberation fällt folgendes auf:

#### 3.5.1 Lochblende

Bei der Lochblende war das Bild äußerst scharf und klar zu erkennen. Da hier nur Licht im Zentrum auf die Linse treffen kann, verringern sich die Effekte der sphärischen Abberation, allerdings sinkt damit auch die Lichtintensität.

#### 3.5.2 Ringblende

Bei der Ringblende konnte man beobachten, dass das Bild selbst nicht so scharf einstellbar war, wie bei der Lochblende. Zudem ergab sich ein farblich nicht ganz sauberes Bild.

Interessant war ebenfalls zu beobachten, wie bei einer Verringerung von  $g$  die Kanten des Bildes rötlich verschwommen wurden, und bei einer Vergrößerung von  $g$  dies mit blauen Verschwimmungen erkennbar war.

### 3.6 Gitterkonstante

Wir bestimmen die Gitterkonstante wie bereits im Messprotokoll angedeutet. Dabei berechnen wir zunächst die Vergrößerung des Mikroskops:

$$\beta = \frac{b}{f} - 1 \quad (3.5)$$

Da  $f$  angegeben war und als nicht fehlerbehaftet gehandhabt wird ergibt sich für den Fehler:

$$\Delta\beta = \frac{\delta b}{f} \quad (3.6)$$

damit erhalten wir:

$$\beta = 5,6 \pm 0,05$$

Den Strichabstand und somit die Gitterkonstante  $G$  bestimmen wir mit:

$$G = \frac{B}{\beta} \quad (3.7)$$

Dabei ist  $B$  wieder die Bildgröße, die wir mittels der mm Skala ablesen konnten.

Den Fehler von  $G$  berechnen wir dabei mit:

$$\Delta G = \sqrt{\left(\left(\frac{1}{\beta}\Delta B\right)\right)^2 + \left(\left(\frac{-B}{\beta^2}\Delta\beta\right)\right)^2} \quad (3.8)$$

Es ergibt sich:

$$G = (90 \pm 9)\mu\text{m}$$

### 3.7 Auflösung

Die Auflösung unseres Aufbaus kann mithilfe dieser Formel berechnet werden:

$$G_{\min} = 1,22 \frac{\lambda f}{D} \quad (3.9)$$

Dabei ist  $D$ , der eingestellte Spaltabstand und  $f$  die Brennweite des Objektivs.  $\lambda$  soll einen exakten Wert von 550nm haben. Dabei ist:

$$\Delta G_{\min} = \left( \left( \frac{-1.22f\lambda}{D^2} \Delta D \right) \right) \quad (3.10)$$

Damit erhalten wir einen Wert von:

$$G_{\min} = (134 \pm 7) \mu\text{m}$$

## 4. Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Experiment wurden mehrere Schlüsselgrößen bestimmt/berechnet, darunter die Brennweiten der verschiedenen Linsen, die Vergrößerung und die Auflösung eines optischen Mikroskops. Zunächst konnten wir durch Messung der Bild- und Gegenstandsweite die Brennweite der Achromatischen Linse bestimmen, diese beläuft sich auf:

$$(10,00 \pm 0,07)\text{cm}$$

Die gemessenen Vergrößerungen verdeutlichen das Verhältnis zwischen Objektabstand und Bildgröße. Erwartungsgemäß ist die Vergrößerung umso größer, je näher sich das Objekt am Objektiv befindet (aber noch außerhalb der Brennweite). Wenn sich das Objekt jedoch näher an oder innerhalb der Brennweite befindet, beginnt das System, virtuelle Bilder zu erzeugen, wodurch sich die Ausrichtung umkehrt. Diese Beobachtungen stimmen gut mit der Theorie der Linsenvergrößerung überein.

Weiternoch konnten wir die Brennweite einer Bikonvexen Linse mithilfe des Bessel-verfahrens berechnen. Dazu haben wir die Brennweite einmal für weißes Licht, dann Blaues und schlussendlich für rotes Licht errechnet.

$$f_{\text{weiß}} = (11,82 \pm 0,05)\text{cm}$$

$$f_{\text{blau}} = (11,80 \pm 0,05)\text{cm}$$

$$f_{\text{rot}} = (11,93 \pm 0,05)\text{cm}$$

Anhand dieser Werte kann man schön die chromatische Abberation erkennen, da die verschiedenen Wellenlängen für messbar unterschiedliche Brennpunkte gesorgt haben.

Desweiteren kann man die errechnete Brennweite mit der Herstellerangabe von 120mm vergleichen und erhält eine Abweichung von  $3,6 \sigma$ , welches für eine signifikante Abweichung spricht. Es ist also davon auszugehen, dass wir unsere Messungen, vorallem die Angaben der Fehler nicht exakt genug durchgeführt haben, oder der Hersteller normalerweise Toleranzen für die Brennweite angibt, uns diese innerhalb des Versuches aber nicht zugänglich gemacht worden sind.

Im weiteren haben wir eine optisches Mikroskop aufgebaut, und damit ein optisches Gitter vermessen. Wir konnten die Gitterkonstante des Gitters und die Auflösung des Mikroskops ermitteln und haben hierfür folgende Werte verrechnet:

$$G = (90 \pm 9)\mu\text{m}$$

und die Auflösung

$$G_{\text{min}} = (134 \pm 7)\mu\text{m}$$

Die Diskrepanz dieser Messungen lässt sich über die recht ungenaue Bestimmen von  $G_{\text{min}}$  erklären, da hierfür ein D angegeben werden musste, welches nur sehr ungenau von der Skala abgelesen werden konnte.

Insgesamt war der Versuch also erfolgreich und konnte uns einen guten Einblick in die Welt der Optischen Aufbauten geben. Dabei muss aber gesagt werden, dass viele Messungen hier darauf

beruhen, dass der Beobachter "findet" sei scharf eingestellt. In vielen Fällen wurde nur eine Messung durchgeführt und ansonsten aber auch nur bis zu 3. Dabei ist ein  $n$  von 3 allerdings noch nicht ausreichend, um einen klaren Mittelwert zu ergeben. Also müssen wir auch bei jeder Messung von einem größeren Fehler ausgehen, als der eigentliche Ablesefehler der Skala.

Desweiteren sind alle Messmöglichkeiten beschränkt auf das Ablesen von Skalen, eine präzisere Methode würde hier sicherlich auch für kleinere Fehler sorgen.

## Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] CAPTAIN JONI: *pap1-tex-vorlage*. <https://github.com/captain-joni/pap1-tex-vorlage>. – [Online; Stand 28.08.2024]
- [2] DR. J. WAGNER: *Physikalisches Praktikum 1 für Studierende der Physik B.Sc.* <https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/PAP1.pdf>. – [Online; Stand 01/2014]