

Prak.: P1 Semester: WS17/18 Wochentag: Mo Gruppennr.: 16

Name: Märkle Vorname: Kerstin

Name: Mockert Vorname: Fabian

Emailadresse(n): fabian.mockert@gmail.com

Versuch: Geometrische Optik (P1-31) Fehlerrech.: Ja

Betreuer: Isabel Haide Durchgeführt am: 06.11.17

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am: \_\_\_\_\_

Rückgabe am: \_\_\_\_\_ Begründung:

2. Abgabe am: \_\_\_\_\_

Ergebnis: + / 0 / - Fehlerrechnung: Ja / Nein

Datum: \_\_\_\_\_ Handzeichen: \_\_\_\_\_

Bemerkungen:



Hier geht es um optischen Versuche, bei denen die geometrischen Abmessungen groß gegen die Wellenlänge sind und deshalb die Wellennatur des Lichts nicht auffällig zum Vorschein kommt.

Bei einigen Teilaufgaben geht es darum, bekannte optische Instrumente modellhaft aufzubauen und dabei das planvolle Einsetzen optischer Bauelemente zu üben. Bei anderen Aufgaben sollen Brennweite von Linsen und Linsensystemen bestimmt werden. Dabei wird deutlich, wie man die Absolutmessung von Größen (hier Gegenstands- und Bildweiten wegen nur ungenau feststellbarer Positionen der Linsenmitten bzw. unbekannter Hauptebenenlagen) vermeidet und stattdessen Verfahren benutzt, die mit einfacheren und genaueren Differenzmessungen auskommen. Im Zusammenhang mit der Brennweitenbestimmung werden auch gleich sphärische und chromatische Aberrationen untersucht.

**Achtung:** Gehen Sie bitte sehr sorgfältig mit dem Zubehör in der abgedunkelten Kabine um. Auch scheinbar simple optische Elemente wie Farbgeläser und Diapositive sind sehr teuer. *Nicht direkt in einen sehr hellen Strahl hineinblicken! Blendungsgefahr!*

Allgemeiner Hinweis: Bei allen Versuchen, bei denen beleuchtete Objekte abgebildet werden, ist eine sorgfältige Justierung aller optischen Elemente, inklusive Beleuchtungssystem, nötig. Deshalb soll bei der Vorbereitung ein Strahlengang gezeichnet werden, in dem das Beleuchtungssystem nicht fehlen darf.

## **Aufgaben:**

### **1.) Brennweiten Bestimmungen**

**1.1 Kontrollieren Sie nur mit Hilfe eines Maßstabes und eines Schirmes die angegebene Brennweite einer dünnen Sammellinse.**

**1.2 Bestimmen Sie die Brennweite dieser Linse genau mit Hilfe des Besselschen Verfahrens. Untersuchen Sie gleichzeitig die sphärische und chromatische Aberration der Linse.**

Hinweise: Bilden Sie einen Gegenstand auf einen Transparenzschirm ab. Für einen festen Abstand  $e > 4f$  gibt es zwei Linsenstellungen, in denen ein scharfes vergrößertes bzw. verkleinertes Bild erscheint. Betrachten Sie das Bild zur Beurteilung der Schärfe nötigenfalls mit einer Lupe. Verwenden Sie die folgenden vier möglichen Versuchsbedingungen: rotes / blaues Licht und inneres / äußeres Linsengebiet. Dafür existieren Farbgeläser sowie auf die Linsenfassung aufsteckbare Loch- und Scheibenblenden. Zur Erhöhung der Messgenauigkeit sind für jede Versuchsbedingung mehrere Messungen auszuführen:

- a) bei festem Abstand  $e$  zwischen Gegenstand und Bild wiederholte unabhängige Scharfeinstellungen
- b) Variationen von  $e$ .

Fragen: Warum muss  $e > 4f$  sein? Warum ist es nachteilig,  $e/f$  zu groß zu wählen?

**1.3 Bestimmen Sie mit Hilfe des Abbéschen Verfahrens die Brennweite eines Zweilinsensystems bei verschiedenen Linsenabständen. Bestimmen Sie bei einem festen Linsenabstand auch die Hauptebenenabstände.**

Hinweise: Bei jedem Linsenabstand sollen mindestens für sechs 'Gegenstand-Marke-Abständen' die Vergrößerungen gemessen werden. Die Marke ist ein beliebiger aber fester Ort am Linsensystem. Als Gegenstand ist eine geeichte Skala vorteilhaft und als Schirm wird Millimeterpapier verwendet. Zur Bestimmung der Hauptebenenabstände müssen Sie auch eine Messreihe mit dem um  $180^\circ$  gedrehten Linsensystem durchführen.

Schließen Sie aus den gemessenen Brennweiten des Systems bei mindestens zwei deutlich unterschiedlichen Linsenabständen auf die Brennweiten der beiden Einzellinsen. Es ist vorteilhaft, bei wesentlich mehr Linsenabständen zu messen und eine Ausgleichsrechnung vorzunehmen.

## 2.) Aufbau optischer Instrumente

**2.1 Bauen Sie ein Keplersches (astronomisches) Fernrohr mit wenigstens sechsfacher Vergrößerung und betrachten Sie damit entfernte Gegenstände.** Bauen Sie die Linsenkombination auf der leicht transportablen 'kleinen optischen Bank' auf. Messen Sie auf einfache Weise die Vergrößerung und vergleichen Sie sie mit dem errechneten Wert. Bauen Sie auch ein Galileisches Fernrohr auf und überprüfen Sie seine Funktion.

**2.2 Bauen Sie einen Projektionsapparat,** der  $24 \times 36 \text{ mm}^2$ -Diapositive ausleuchtet und in etwa 1,5 m Entfernung etwa zehnfache Vergrößerung aufweist. Projizieren Sie Diapositive und vergleichen Sie Ergebnis und Voraussage. Zeichnen Sie den prinzipiellen Strahlengang (mit Konstruktionslinien für die 'Beleuchtung' und für die 'Abbildung' und mit Lichtbündeln).

**2.3 Bauen Sie ein Mikroskop** mit  $>20$ -facher Vergrößerung und vergleichen Sie die näherungsweise gemessene Vergrößerung mit dem berechneten Wert. Skizzieren Sie den Strahlengang.

Frage: Warum hat es keinen Sinn, bei einem Mikroskop die Vergrößerung durch Einsatz von Linsen mit immer kleineren Brennweiten in der Hoffnung zu steigern, dann auch eine immer bessere 'Auflösung' zu erreichen?

### Zubehör:

Optische Bank mit Reitern

Glühlampe (6V;5A) im Gehäuse und mit Netzgerät

Kondensor

Sammellinsen (4 / 5 / 7 / 9 / 10 / 15 / 20 / 30 / 50 / 100cm, evtl. leicht abweichende Zusammenstellung)

Zerstreuungslinsen (-5 / -10cm)

Zweilinsensystem mit einstellbarem Linsenabstand

verstellbarer Spalt

Irisblende

auf die Linsen aufsteckbare Lochblende, dto. Scheibenblende

Rotfilter und Blaufilter

farbiges Testdiapositiv; Demonstrationsdiapositiv

diverse Gitter (20 Striche/cm bis 208 Striche/cm und Kreuzgitter)

Filterhalter; Blendenhalter

Mattscheibenschirm; mm-Papier

kleine optische Bank (gemeinsam für alle Versuche)

Millimeterskala

### Literatur:

Alle Lehrbücher der Optik und alle Optik-Kapitel

Speziell zu Bessel- und Abbéverfahren:

Walcher: *Praktikum der Physik*, 2. Aufl., Par. 4.1.2, 4.1.3

Bergmann, Schaefer: *Experimentalphysik*, Bd. 3, 6. Aufl., S. 99,100

Westphal: *Physikalisches Praktikum*, 13. Aufl., Aufg. 18 und 21

Zu optischen Instrumenten (besonders instruktiv: Projektionsapparat!):

Pohl: *Optik und Atomphysik*, 12. Aufl., §29 - §33

Experiment | 24,7 cm | 24,5 cm | 24,4 cm | 24,5 cm | 24,1 cm  
 -1 | 2 | 3 | 4 | 5

1.2. Maßstab: Millimeter Fehler:  $\frac{1}{2}$  Millimeter 2.

Abstand e: 0,9m

| rot innen                           | $P_1 x_1$ | $P_2 x_2$ | $d =  x_2 - x_1 $ | $P_1$ | $P_2$ |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-------|-------|
| 1                                   | 28,6      | 61,4      | 6                 | 28,4  | 61,6  |
| 2                                   | 28,5      | 61,8      | 8                 | 28,7  | 61,4  |
| 3                                   | 28,5      | 61,5      | 8                 | 28,3  | 61,5  |
| 4                                   | 28,6      | 61,7      | 9                 | 28,6  | 61,4  |
| 5                                   | 28,8      | 61,4      | 10                | 28,6  |       |
| <hr/>                               |           |           |                   |       |       |
| blau innen                          | 1         |           |                   |       |       |
|                                     | 2         |           |                   |       |       |
|                                     | 3         |           |                   |       |       |
|                                     | 4         |           |                   |       |       |
|                                     | 5         |           |                   |       |       |
| <hr/>                               |           |           |                   |       |       |
| <del>weiß außen</del><br>rot außen  | 1         |           |                   |       |       |
|                                     | 2         |           |                   |       |       |
|                                     | 3         |           |                   |       |       |
|                                     | 4         |           |                   |       |       |
|                                     | 5         |           |                   |       |       |
| <hr/>                               |           |           |                   |       |       |
| <del>weiß innen</del><br>blau außen | 1         |           |                   |       |       |
|                                     | 2         |           |                   |       |       |
|                                     | 3         |           |                   |       |       |
|                                     | 4         |           |                   |       |       |
|                                     | 5         |           |                   |       |       |

1000

Experiment | 24,7 cm | 24,5 cm | 24,4 cm | 24,5 cm | 24,1 cm  
 1 | 2 | 3 | 4 | 5

1.2. Maßstab: Millimeter Fehler:  $\frac{1}{2}$  Millimeter 2.

Abstand e: 0,9m

| rot innen                           | $P_1 x_1$ | $P_2 x_2$ | $d =  x_2 - x_1 $ | $P_1$ | $P_2$ |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-------|-------|
| 1                                   | 28,6      | 61,4      | 6                 | 28,4  | 61,6  |
| 2                                   | 28,5      | 61,8      | 7                 | 28,7  | 61,4  |
| 3                                   | 28,5      | 61,5      | 8                 | 28,3  | 61,5  |
| 4                                   | 28,6      | 61,7      | 9                 | 28,6  | 61,4  |
| 5                                   | 28,8      | 61,4      | 10                | 28,6  |       |
| <hr/>                               |           |           |                   |       |       |
| blau innen                          | 1         |           |                   |       |       |
|                                     | 2         |           |                   |       |       |
|                                     | 3         |           |                   |       |       |
|                                     | 4         |           |                   |       |       |
|                                     | 5         |           |                   |       |       |
| <hr/>                               |           |           |                   |       |       |
| <del>weiß außen</del><br>rot außen  | 1         |           |                   |       |       |
|                                     | 2         |           |                   |       |       |
|                                     | 3         |           |                   |       |       |
|                                     | 4         |           |                   |       |       |
|                                     | 5         |           |                   |       |       |
| <hr/>                               |           |           |                   |       |       |
| <del>weiß innen</del><br>blau außen | 1         |           |                   |       |       |
|                                     | 2         |           |                   |       |       |
|                                     | 3         |           |                   |       |       |
|                                     | 4         |           |                   |       |       |
|                                     | 5         |           |                   |       |       |

1/10/20

rot  
~~weiß~~ blau  
weiß außen  
weiß innen

$P_1 \times 1$        $P_2 \times 2$        $d$

Abstände:

$P_1 \times 1$        $P_2 \times 2$        $d$

rot  
blau  
weiß außen  
weiß innen

Abstände:

$P_1 \times 1$        $P_2 \times 2$        $d$

rot  
blau  
weiß außen  
weiß innen

Abstände:

$P_1 \times 1$        $P_2 \times 2$        $d$

rot  
blau  
weiß außen  
weiß innen

| blau außen | $x_1$ | $x_2$ | $d$ | $x_1$ | $x_2$ | $d$ |
|------------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|
| 1          | 28,9  | 61,4  |     | 28,4  | 61,7  |     |
| 2          | 28,8  | 61,4  |     | 28,7  | 61,7  |     |
| 3          | 28,4  | 61,6  |     | 28,5  | 61,4  |     |
| 4          | 28,5  | 61,7  |     | 28,6  | 61,6  |     |
| 5          | 28,6  | 61,5  |     | 28,7  | 61,4  |     |

### blau innen

|   |      |      |  |      |      |  |
|---|------|------|--|------|------|--|
| 1 | 28,8 | 61,3 |  | 28,5 | 61,3 |  |
| 2 | 28,7 | 60,7 |  | 27,9 | 61,4 |  |
| 3 | 28,5 | 61,0 |  | 29,1 | 61,6 |  |
| 4 | 29,0 | 61,1 |  | 28,9 | 61,0 |  |
| 5 | 29,0 | 60,9 |  | 29,4 | 61,6 |  |

### rot außen

|   |      |      |  |      |      |  |
|---|------|------|--|------|------|--|
| 1 | 29,3 | 60,7 |  | 29,1 | 61,0 |  |
| 2 | 29,1 | 60,6 |  | 29,3 | 60,5 |  |
| 3 | 29,2 | 60,9 |  | 29,3 | 60,8 |  |
| 4 | 29,1 | 60,9 |  | 29,0 | 60,8 |  |
| 5 | 29,3 | 60,9 |  | 29,3 | 60,8 |  |

### rot innen

|   |      |      |  |      |      |  |
|---|------|------|--|------|------|--|
| 1 | 29,3 | 60,4 |  | 29,2 | 60,6 |  |
| 2 | 29,7 | 60,2 |  | 29,1 | 60,7 |  |
| 3 | 29,7 | 60,7 |  | 29,1 | 60,5 |  |
| 4 | 29,2 | 60,4 |  | 29,2 | 60,6 |  |
| 5 | 29,5 | 60,5 |  | 29,2 | 60,2 |  |

Hand

Linsenabstand d:  
Linse normal

|   | x             | B    |
|---|---------------|------|
| 1 | 0,20m<br>20cm | 16mm |
| 2 | 21cm          | 14mm |
| 3 | 22cm          | 13mm |
| 4 | 19cm          | 18mm |
| 5 | 18cm          | 20mm |
| 6 | 17cm          | 24mm |

$h_1$ :  
gedrehte Linse

|  | x    | B    |
|--|------|------|
|  | 17cm | 9mm  |
|  | 18cm | 8mm  |
|  | 19cm | 8mm  |
|  | 20cm | 7mm  |
|  | 16cm | 9mm  |
|  | 15cm | 10mm |

$h_2$ :

Linsenabstand d:

|   | x                   | B    |
|---|---------------------|------|
| 1 | 0,15 <sup>4</sup> m | 19mm |
| 2 | 0,15m               | 16mm |
| 3 | 0,16m               | 14mm |
| 4 | 0,17m               | 12mm |
| 5 | 0,18m               | 11mm |
| 6 | 0,19m               | 10mm |

$h_1$ :

|  | x     | B    |
|--|-------|------|
|  | 0,19m | 9mm  |
|  | 0,18m | 10mm |
|  | 0,17m | 11mm |
|  | 0,16m | 12mm |
|  | 0,15m | 14mm |
|  | 0,14m | 16mm |

$h_2$ :

Linsenabstand d

|   | x      | B    |
|---|--------|------|
| 1 | 0,14m  | 19mm |
| 2 | 0,145m | 17mm |
| 3 | 0,15m  | 15mm |
| 4 | 0,155m | 14mm |
| 5 | 0,16m  | 13mm |
| 6 | 0,165m | 12mm |

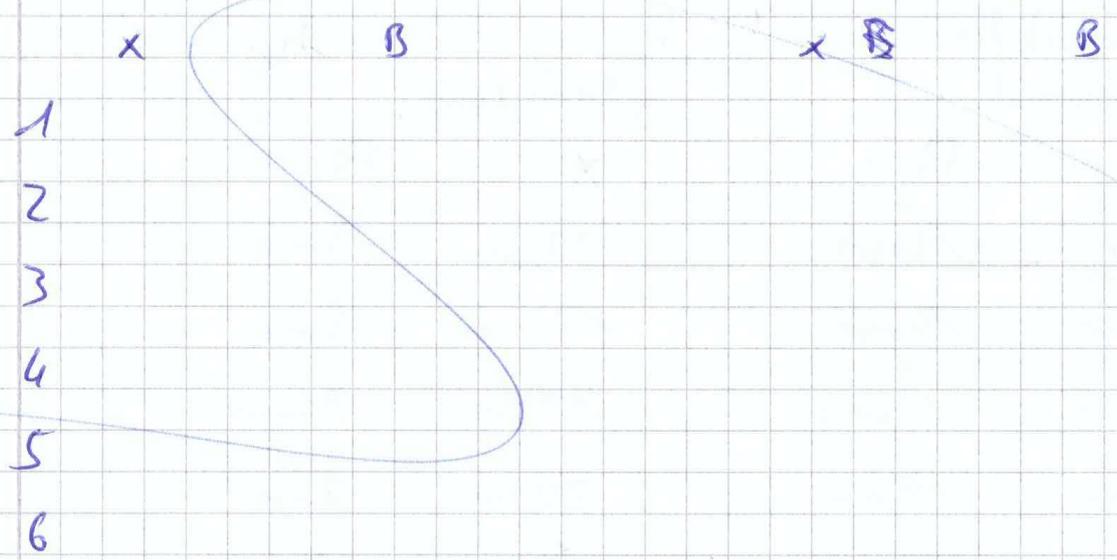
$h_1$ :

|  | x      | B    |
|--|--------|------|
|  | 0,165m | 9mm  |
|  | 0,16m  | 10mm |
|  | 0,155m | 11mm |
|  | 0,15m  | 12mm |
|  | 0,145m | 12mm |
|  | 0,14m  | 13mm |

$h_2$ :

1/100





2.1. Kepler  $d = f_1 + f_2$

$$g = \frac{f_1}{f_2} \geq 6$$

Vergrößerung Messen:

Galilei:  $d = f_1 - |f_2|$

$$g = \frac{f_1}{f_2}$$

Vergrößerung Messen

2.2. Errechnete Vergrößerung:

Gemessene Vergrößerung:

|                              | durch Kepler | ohne          | Galilei | ohne          |
|------------------------------|--------------|---------------|---------|---------------|
| 3 Reihen <del>4 Sterne</del> |              | 20            | 3       | 20            |
| 9                            |              | <del>80</del> | 3       | 30            |
| 7                            |              | 50            | 3       | <del>17</del> |
| 6                            |              | 35            | 3       | 22            |

2.3.

$s_0:$

$f_1: 5$

$f_2: 30$

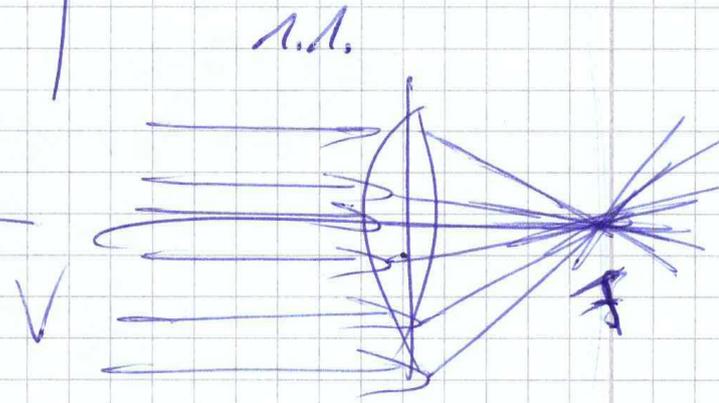
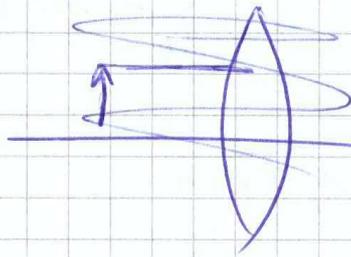
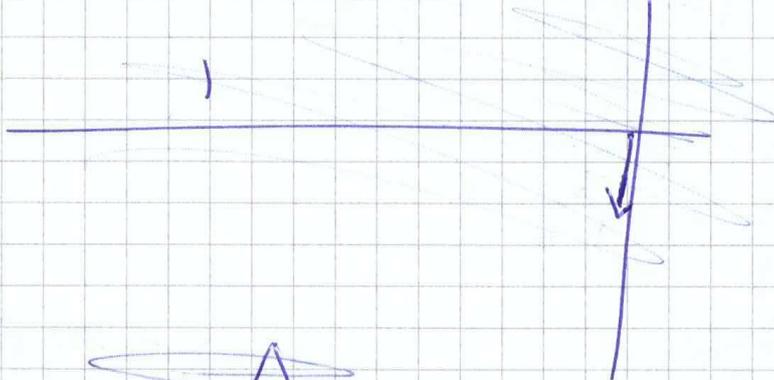
$d: 35 / 25$

Mikroskop:  $f_1 15$   $f_2 5$

$d = 0,65m$

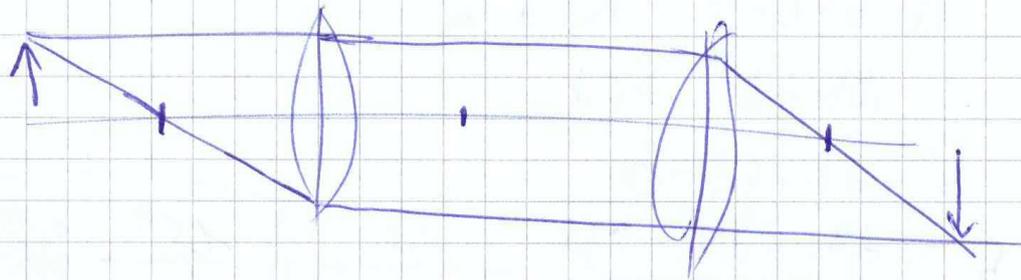
|            |     |    |    |
|------------|-----|----|----|
| $4 \times$ | 2,5 | 4  | 4  |
| 50         | 55  | 80 | 70 |

1.1.



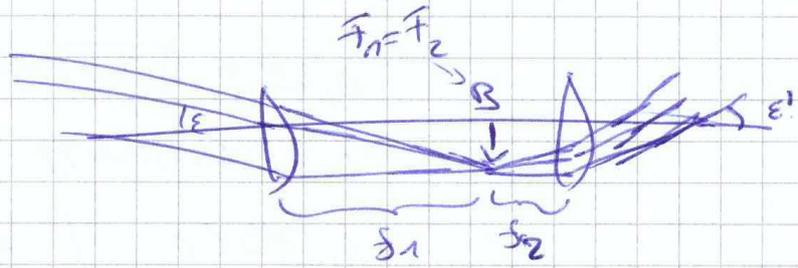
1.2. eventuell sphärische / chromatische Aberration  
 Brennpunkt verschoben V V

1.3.

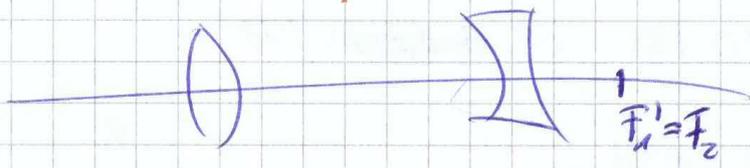


2.1.

Kepler



Galilei



2.2. Linse  $f = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$$d = g + b = 1,5 \text{ m}$$

~~$$y = \frac{b}{g} = \frac{b}{d-b}$$~~

~~$$\frac{1}{10} b = d - b$$~~

~~$$d = \frac{11}{10} b$$~~

~~$$b = \frac{10}{11} d = 1,36 \text{ m}$$~~

~~$$g = 0,136$$~~

$$\gamma = 12,8$$

$$f = \frac{1}{\frac{1}{g} + \frac{1}{b}} = \frac{1}{\frac{1}{d-b} + \frac{1}{b}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d-b} + \frac{1}{b}$$

~~$$(d-b) \cdot \frac{1}{f} = 1 + \frac{d-b}{b}$$~~

~~$$(d-b)b \cdot \frac{1}{f} = b + d - b$$~~

~~$$db - b^2 = fd$$~~

~~$$b^2 - db + fd = 0$$~~

~~$$b_{1/2} = \frac{db \pm \sqrt{d^2 b^2 - 4fd}}{2}$$~~

~~$$= \frac{1,5}{2} \pm \sqrt{\frac{1,5^2}{4} - \frac{0,15}{10}}$$~~

~~$$0,75 \pm \sqrt{0,5625 - 0,015}$$~~

~~$$0,75 \pm \sqrt{0,5475}$$~~

~~$$0,75 \pm 0,6422$$~~

~~$$1,3922 \quad | \quad 0,1078$$~~

$$b = 1,3922 \approx 1,392$$

$$g = 0,1078 \approx 0,108$$

$$B = 0,31 \text{ m}$$

$$G = 0,024 \text{ m}$$

$$\rightarrow \gamma = \frac{B}{G} = \frac{31}{2,4} = 12,91\bar{6}$$

12,9

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Brennweiten Bestimmungen</b>                                    | <b>1</b>  |
| 1.1      | Brennweitenbestimmung mit Schirm und Maßstab. . . . .              | 1         |
| 1.2      | Brennweitenbestimmung mit Hilfe des Besselschen Verfahren. . . . . | 2         |
| 1.3      | Brennweitenbestimmung mit Hilfe des Abbéschen Verfahrens. . . . .  | 6         |
| 1.3.1    | Fehlerrechnung zur Aufgabe 1.3. . . . .                            | 12        |
| <b>2</b> | <b>Aufbau optischer Instrumente</b>                                | <b>13</b> |
| 2.1      | Bauen Sie ein Keplersches Fernrohr . . . . .                       | 13        |
| 2.1.1    | Keplersches Fernrohr . . . . .                                     | 13        |
| 2.1.2    | Galileisches Fernrohr . . . . .                                    | 14        |
| 2.2      | Bauen Sie einen Projektionsapparat . . . . .                       | 14        |
| 2.3      | Bauen Sie ein Mikroskop . . . . .                                  | 15        |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>17</b> |

# Abbildungsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.1 | Versuchsaufbau zur Bestimmung der Brennweite mit Maßstab und Schirm.                                    | 1  |
| 1.2 | Versuchsaufbau Besselsches Verfahren. . . . .   | 2  |
| 1.3 | Chromatische Aberration an einer Konvexlinse im paraxialen Bereich. . . .                               | 4  |
| 1.4 | Sphärische Aberration an einer Konvexlinse im achsenfernen Bereich. . . . .                             | 4  |
| 1.5 | Versuchsaufbau Abbé Verfahren. . . . .  | 6  |
| 1.6 | Lineare Regression für den ersten Linsenabstand $L$ . . . . .   | 7  |
| 1.7 | Lineare Regression für den zweiten Linsenabstand $L$ . . . . .  | 8  |
| 1.8 | Lineare Regression für den dritten Linsenabstand $L$ . . . . .  | 9  |
| 1.9 | Lineare Regression zur Bestimmung der Brennweiten der beiden Linse mit dem Abbéschen Verfahren. . . . . | 10 |
| 2.1 | Strahlengang eines Keplerschen Fernrohrs. . . . .   | 13 |
| 2.2 | Strahlengang eines Galileischen Fernrohrs. . . . .  | 14 |
| 2.3 | Strahlengang eines Diaprojektors. . . . .   | 15 |

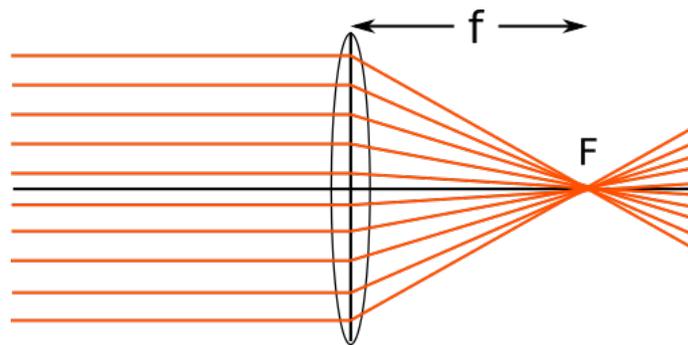
|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.4 | Strahlengang eines Mikroskops. . . . . | 16 |
|-----|--|----|

## Tabellenverzeichnis

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.1 | Messung der Brennweite mit Hilfe eines Maßstabes und eines Schirmes. . . | 2  |
| 1.2 | Aus Messdaten errechnete Werte für das Bessel Verfahren. . . . .         | 5  |
| 1.3 | Berechnete Werte des Abbéschen Verfahren. . . . .                        | 10 |
| 2.1 | Messwerte für das Keplersche Fernrohr. . . . .                           | 13 |
| 2.2 | Messwerte für das Galileische Fernrohr. . . . .                          | 15 |
| 2.3 | Gemessene Vergrößerung am Mikroskop. . . . .                             | 16 |

# 1. Brennweiten Bestimmungen

## 1.1 Kontrollieren der angegebenen Brennweite einer dünnen Sammellinse anhand eines Maßstabes und einem Schirm.

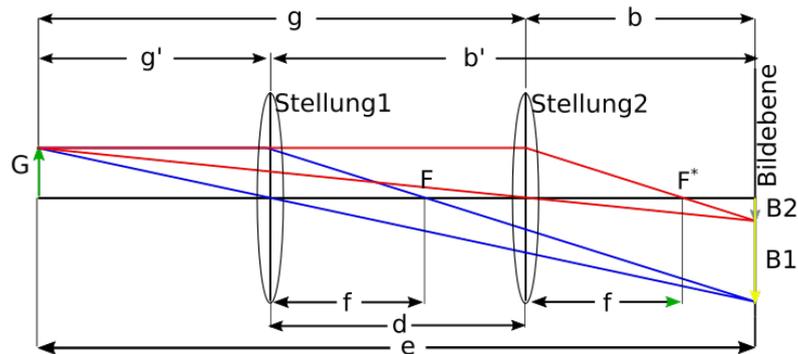


**Abbildung 1.1:** Versuchsaufbau zur Bestimmung der Brennweite einer Konvexlinse mit einem Maßstab und Schirm.

Es soll die Brennweite einer dünnen Sammellinse mit der angegebenen Brennweite von  $f = 20$  cm mit Hilfe eines Maßstabes und eines Schirmes kontrolliert werden. Dafür wird die Sammellinse mit Hilfe eines Reiters auf einer optischen Bank befestigt. Vor der Sammellinse befindet sich eine Lampe, diese soll paralleles Licht auf die Linse strahlen. Das kann erreicht werden, indem man einen Kondensator verwendet oder der Abstand zwischen der Lampe und der Linse sehr groß gewählt wird. Hinter der Linse befindet sich ein Schirm, der mit einem Reiter beweglich auf der optischen Bank befestigt ist. Nun wird der Schirm verschoben, bis das Licht auf einen möglichst kleinen Punkt fokussiert wird. Der Abstand zwischen Schirm und Linse entspricht nun der Brennweite. Dieser wird nun mit einem Maßstab gemessen. Durch die Messung ergeben sich die Werte von der Tabelle 1.1. Der gemessene Mittelwert beträgt somit  $f = 24.44$  cm. Die Abweichung von dem angegebenen Wert beträgt damit 22.2%. Diese große Abweichung kann daher kommen, dass dies ein sehr ungenaues Messverfahren ist. Jedoch haben wir fünf ähnliche Werte gemessen, was darauf schließen lässt, dass der wirkliche Brennwert stark von dem angegebenen Brennwert abweicht. In den folgenden Aufgaben wird mit Hilfe des Besselschen Verfahrens und des Abbéschen Verfahrens die Brennweite genauer bestimmt.

## 1.2 Bestimmen der Brennweite mit Hilfe des Besselschen Verfahrens und Untersuchen der sphärischen und chromatischen Aberration der Linse

Zur Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse mit Hilfe des Besselschen Verfahrens wird auf einer optischen Bank eine Lampe, Reiter mit Farbglas, Dia, Blende, Linse so wie ein Reiter mit einem Schirm wie in Abbildung 1.2 befestigt.



**Abbildung 1.2:** Versuchsaufbau für das Besselsche Verfahren zur Bestimmung der Brennweite einer dünnen Linse.

Der Abstand  $e$  vom Gegenstand (Dia) zum Bild (Schirm) soll größer als die vierfache Brennweite sein ( $e > 4f$ ). Durch Verschieben der Linse werden die zwei Linsenstellungen mit scharfen Abbildungen, vergrößertes Bild und verkleinertes Bild, auf dem Schirm ermittelt. Die Ermittlung soll unter folgenden Versuchsbedingungen durchgeführt werden: rotes / blaues Licht und inneres / äußeres Linsengebiet. Dafür existieren Farbgläser sowie auf die Linsenfassung aufsteckbare Loch- und Scheibenblenden. Zur Erhöhung der Messgenauigkeit werden 10 unabhängige Scharfeinstellungen für jede Versuchsbedingung durchgeführt. Zur Bestimmung der Brennweite anhand der Messdaten wird die Abbildungsgleichung

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

und die geometrischen Zusammenhänge

$$e = b + g, \quad (1.2)$$

$$d = |g_1 - g_2| \quad (1.3)$$

**Tabelle 1.1:** Die Brennweite einer dünnen Sammellinse wird mit Hilfe eines Maßstabes und eines Schirmes zur Kontrolle gemessen.

| Messung | Brennweite (cm) |
|---------|-----------------|
| 1       | 24.7            |
| 2       | 24.5            |
| 3       | 24.4            |
| 4       | 24.5            |
| 5       | 24.1            |

verwendet. Nach Einsetzen der Formel 1.2 in die Abbildungsgleichung 1.1 und lösen der quadratischen Gleichung für  $g$  erhält man:

$$g_{1,2} = \frac{e}{2} \pm \sqrt{\frac{e^2}{4} - ef}. \quad (1.4)$$

Durch Einsetzen der Formel 1.4 in den Linsenabstand 1.3 und umformen erhält man

$$f = \frac{e^2 - d^2}{4e} \quad (1.5)$$

für die Brennweite der dünnen Linse. Es wird ein Abstand von  $e = 0.9 \text{ m}$  gewählt und eine Linse mit einer angegebenen Brennweite von  $f = 20 \text{ cm}$ , wie bereits in Aufgabe 1.1. Es ist wichtig, dass  $e > 4f$  gewählt wird, da ansonsten die Diskriminante in der Formel 1.4 negativ wäre und es somit kein reelles Ergebnis für die Gegenstandsweite gäbe. Wird das Verhältnis von  $\frac{e}{f}$  zu groß gewählt, so ergibt die Formel 1.4 die Gegenstandsweiten  $g_1 \rightarrow e$  und  $g_2 \rightarrow 0$  was zur Folge hat, dass das Bild nicht scharf gestellt werden kann. Die Messdaten für die Gegenstandsweite können dem Anhang entnommen werden. Mit dem Abstand  $e$  und den Gegenstandsweiten  $g_1$  und  $g_2$  kann man über die Formel 1.5 die Brennweite der benutzten Linse berechnen (siehe Abbildung 1.2). Bei der Messung der Gegenstandsweiten und des Abstands  $e$  wird ein Fehler von  $\sigma_e = 0.5 \text{ mm}$  angenommen, da mit einem Maßstab mit Millimeterangaben gemessen wird. Die Mittelwerte für die Gegenstandsweiten werden über das arithmetische Mittel  $\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N x_n$  ermittelt. Der Fehler auf den Mittelwert wird mit der Gleichung für die Standardabweichung des Mittelwerts

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N \cdot (N-1)} \cdot \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2} \quad (1.6)$$

bestimmt. Für den Fehler auf den Abstand und den Fehler auf die Brennweite wird die gaußsche Fehlerfortpflanzung

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot \sigma_{x_j}^2} \quad (1.7)$$

verwendet. Im Speziellen hat diese für den Abstand die Form:

$$\sigma_d = \sqrt{\left( \frac{\partial d}{\partial g_1} \right)^2 \cdot \sigma_{g_1}^2 + \left( \frac{\partial d}{\partial g_2} \right)^2 \cdot \sigma_{g_2}^2} = \sqrt{\sigma_{g_1}^2 + \sigma_{g_2}^2}$$

und für die Brennweite die Form:

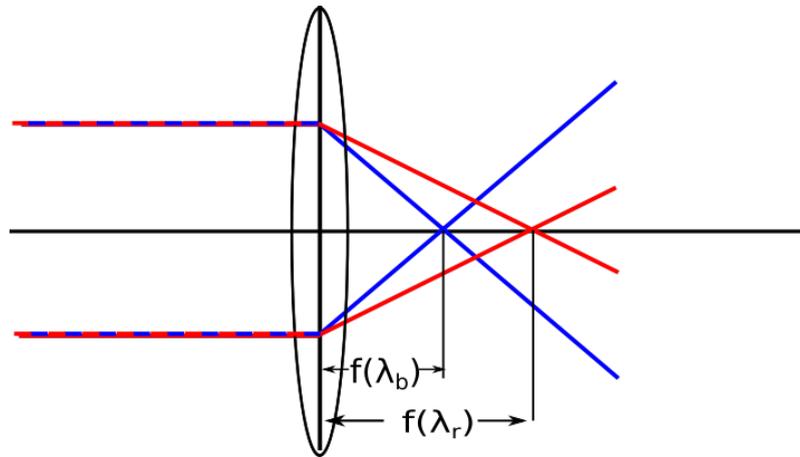
$$\sigma_f = \sqrt{\left( \frac{\partial f}{\partial e} \right)^2 \cdot \sigma_e^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial d} \right)^2 \cdot \sigma_d^2} = \sqrt{\left( \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \left( \frac{d}{e} \right)^2 \right)^2 \cdot \sigma_e^2 + \left( \frac{-d}{2e} \right)^2 \cdot \sigma_d^2}$$

Der Fehler auf die Brennweite wird über die Formel der Standardabweichung des Mittelwertes vom wahren Wert bestimmt:

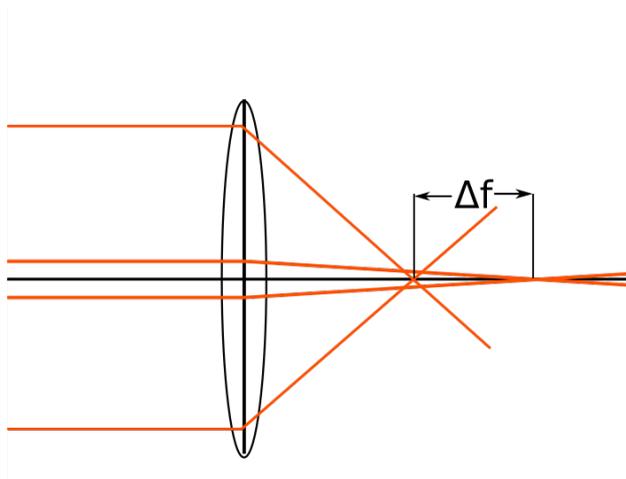
Fällt Licht parallel zur Linsenachse durch eine Linse, so gibt es Linsenfehler welche die Position des Brennpunkts verändern. Es wird die chromatische und sphärische Aberration betrachtet.

Die sphärische Aberration entsteht durch die unterschiedlichen Einfallswinkel des parallelen Lichts auf die konvexe Linse. Der Einfallswinkel ist bei paraxialen (achsennahen) Strahlen





**Abbildung 1.3:** Chromatische Aberration an einer Konvexlinse im paraxialen Bereich.



**Abbildung 1.4:** Sphärische Aberration an einer Konvexlinse im achsenfernen Bereich.

**Tabelle 1.2:** Errechnete Werte anhand der Messdaten aus dem Anhang für das Bessel Verfahren.

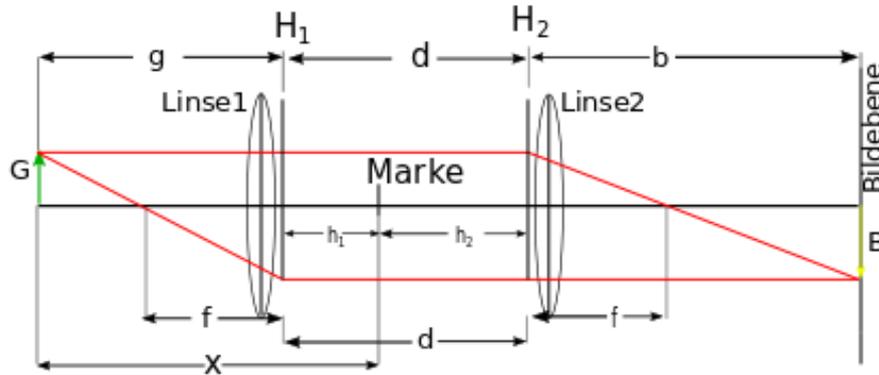
|                                  | blaues Licht<br>Scheibenblende | blaues Licht<br>Lochblende | rotes Licht<br>Scheibenblende | rotes Licht<br>Lochblende |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Mittelwert von $g_1$ (cm)        | 28.61                          | 28.78                      | 29.20                         | 29.32                     |
| Mittelwert von $g_2$ (cm)        | 61.54                          | 61.19                      | 60.79                         | 60.48                     |
| Fehler auf Mittelwert $g_1$ (cm) | 0.05                           | 0.13                       | 0.04                          | 0.07                      |
| Fehler auf Mittelwert $g_2$ (cm) | 0.04                           | 0.09                       | 0.05                          | 0.06                      |
| Abstand $d$ (cm)                 | 32.93                          | 32.41                      | 31.59                         | 31.16                     |
| Fehler auf $d$ (cm)              | 0.07                           | 0.16                       | 0.06                          | 0.09                      |
| Brennweite $f$ (cm)              | 19.49                          | 19.58                      | 19.73                         | 19.80                     |
| Fehler auf $f$ (cm)              | 0.02                           | 0.03                       | 0.02                          | 0.02                      |

kleiner als bei achsenfernen Strahlen. Durch den größeren Einfallswinkel der achsenfernen Strahlen werden diese stärker gebrochen und der Brennpunkt befindet sich näher an der Linse als bei achsennahen Strahlen. Dies ist bei den Daten in Tabelle 1.2 für das rote und das blaue Licht sichtbar. Die Brennweite für blaues paraxiales Licht beträgt  $f_{b,nah} = 0.1958 \pm 0.0012$  m und für achsenfernes blaues Licht  $f_{b,fern} = 0.1949 \pm 0.0005$  m. Gleiches wird bei rotem paraxialen  $f_{r,nah} = 0.1980 \pm 0.0007$  m und achsenfernen  $f_{r,fern} = 0.1973 \pm 0.0005$  m Licht beobachtet.

Die chromatische Aberration entsteht dadurch, dass beim Durchdringen von Licht durch eine Linse die Ablenkung abhängig von der Wellenlänge des Lichts ist. Die Brennweite lässt sich mit  $f(\lambda) = \frac{1}{n(\lambda)-1} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 - R_1}$  bestimmen. Dabei ist  $n$  die Brechzahl in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$  und  $R_1, R_2$  sind die Krümmungsradien der Linse. Die Brechzahl nimmt mit zunehmender Wellenlänge ab und die Brennweite nimmt mit zunehmender Wellenlänge zu. Daraus lässt sich schließen, dass die Brennweite von blauem Licht kleiner als die von rotem Licht ist. Werden die Brennweiten für rotes und blaues Licht mit einer Lochscheibe in der Tabelle 1.2 betrachtet, wird das postulierte Ergebnis für die Brennweiten beobachtet. Die Brennweite für blaues Licht beträgt hier  $f_{b,nah} = 0.1958 \pm 0.0012$  m und für rotes Licht  $f_{r,nah} = 0.1980 \pm 0.0007$  m. Es werden nur die Daten für die Lochblende betrachtet, da so sichergestellt werden kann, dass die sphärische Aberration keinen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Wird abschließend der aufgedruckte Wert der Brennweite auf der Linse ( $f = 20$  cm) mit dem gemessenen Wert durch das Bessel Verfahren verglichen, so erhält man sehr ähnliche Werte. Der Fehler auf die Linse ist nicht angegeben. Es wird auch deutlich sichtbar, dass das Ergebnis aus Aufgabe 1.1 ( $f = 24.44$  cm) sehr ungenau ist.

### 1.3 Bestimmen der Brennweite mit Hilfe des Abbéschen Verfahrens. Bestimmen Sie die Hauptebenenabstände



**Abbildung 1.5:** Versuchsaufbau zur Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems mit dem Abbé-Verfahren.

Das Abbé-Verfahren ist eine Methode zur Bestimmung der Brennweite eines Zweilinsensystems. Es sollen die Hauptebenen und die Gesamtbrennweite bestimmt werden. Daraus sollen dann die Brennweiten der einzelnen Linsen bestimmt werden. Dafür werden zwei Linsen hintereinander in drei verschiedenen Abständen befestigt. Es wird eine Marke bei dem Linsensystem festgelegt und von dieser wird ein Gegenstand  $G$  im Abstand  $x$  befestigt und mit Licht bestrahlt. Nun verschiebt man den Schirm auf der gegenüberliegenden Seite, bis das Bild scharf ist und misst die Bildgröße  $B$ . Der Gegenstand ist ein Dia mit einem 1 cm großen Strich. Die Größe des Bildes  $B$  wird mit Millimeterpapier gemessen. Für jeden Abstand der Linsen werden 6 Messungen mit verschiedenen Abständen  $x$  durchgeführt und das Linsensystem um  $180^\circ$  gedreht und wieder 6 Messungen durchgeführt.

Die Vergrößerung wird mit der Formel

$$\gamma = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (1.8)$$

berechnet. Nach der Skizze gilt

$$g = x - h. \quad (1.9)$$

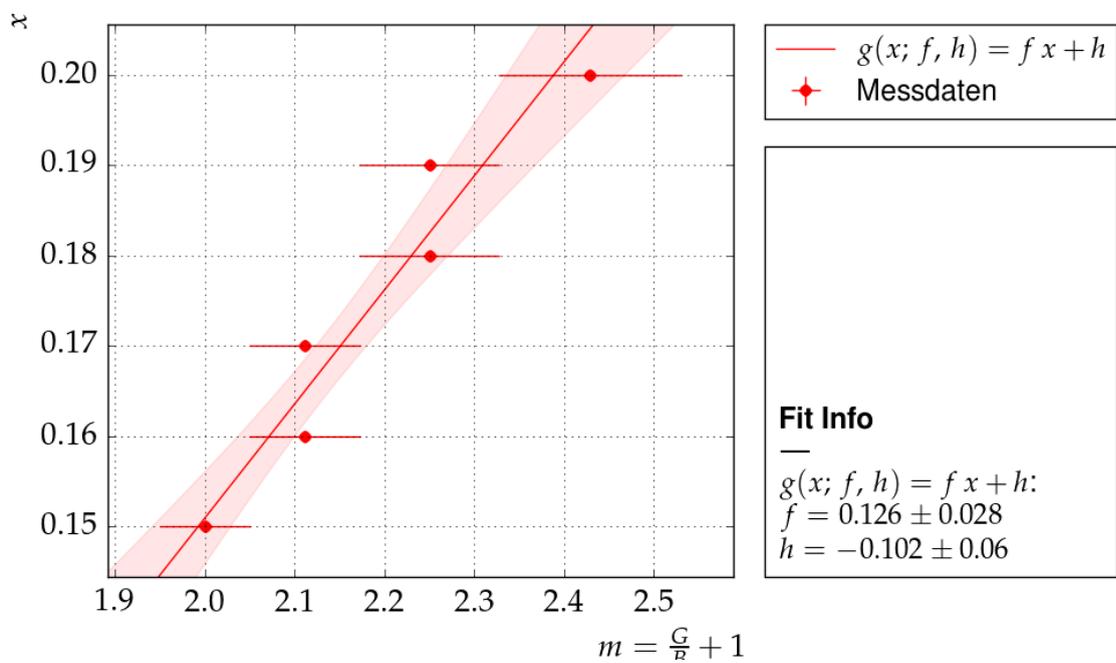
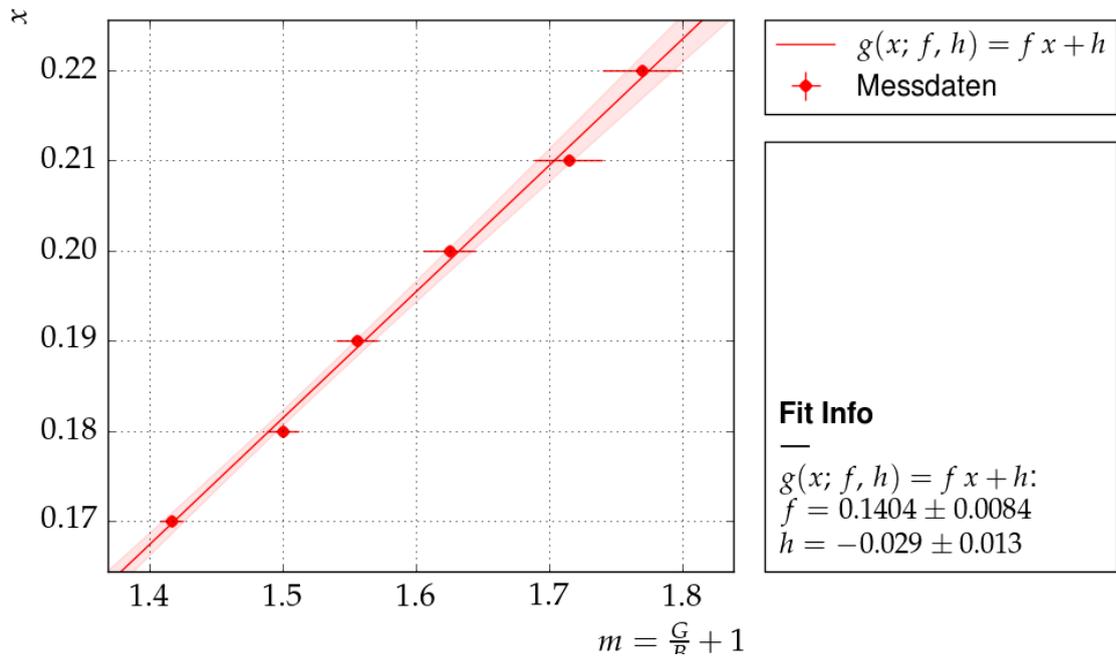
Die Brennweite lässt sich mit der Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (1.10)$$

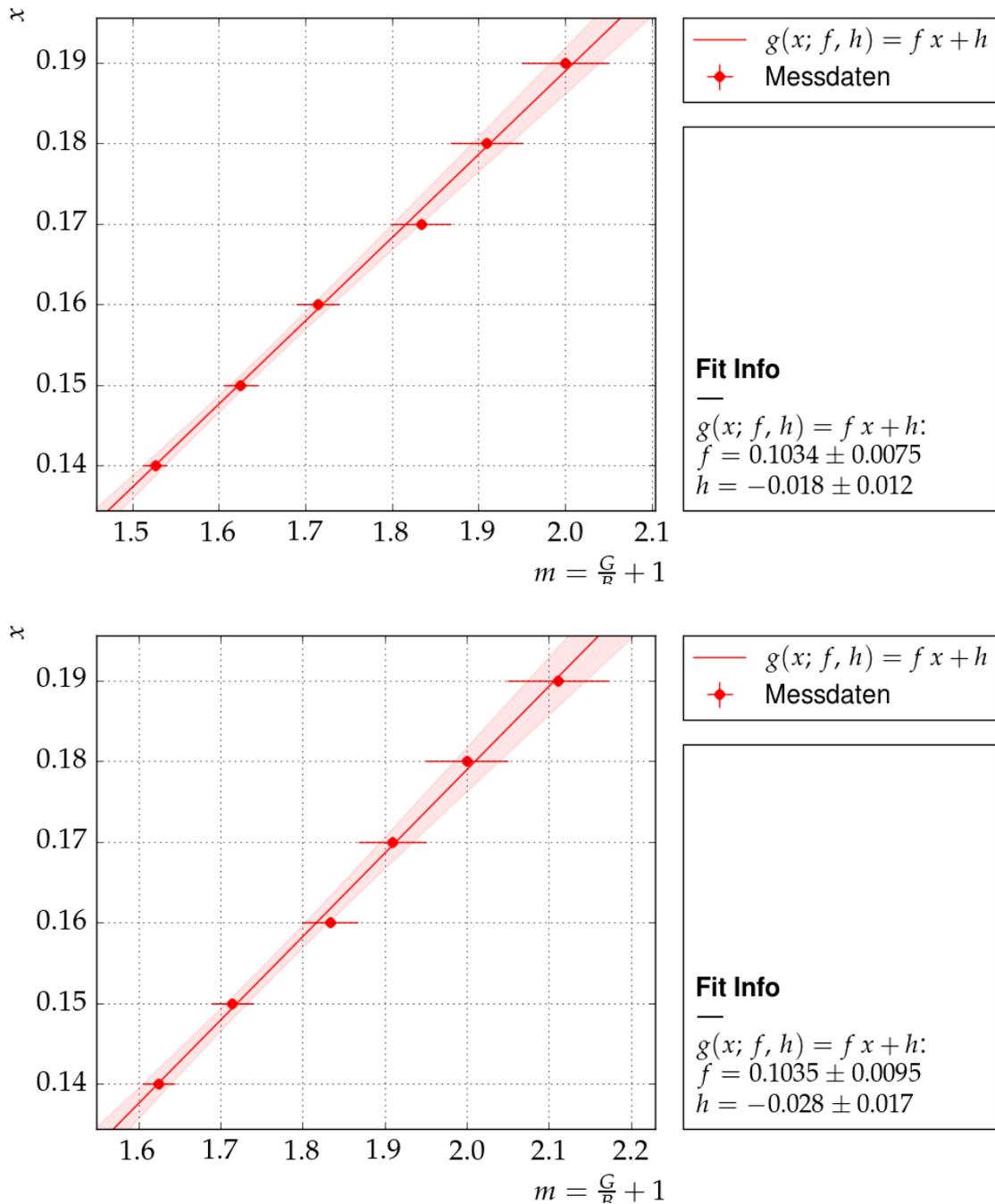
bestimmen. Wenn man nun die Formel 1.8 und die Formel 1.9 in die Abbildungsgleichung (Gleichung 1.10) einsetzt ergibt sich

$$x = f \cdot \left( \frac{G}{B} + 1 \right) + h. \quad (1.11)$$

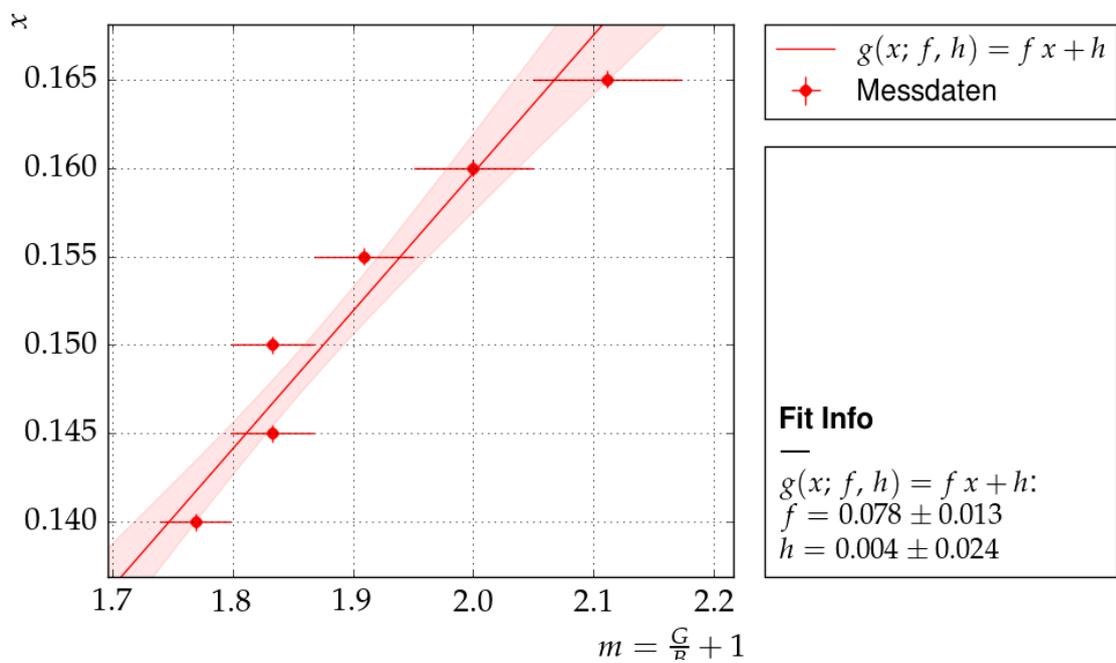
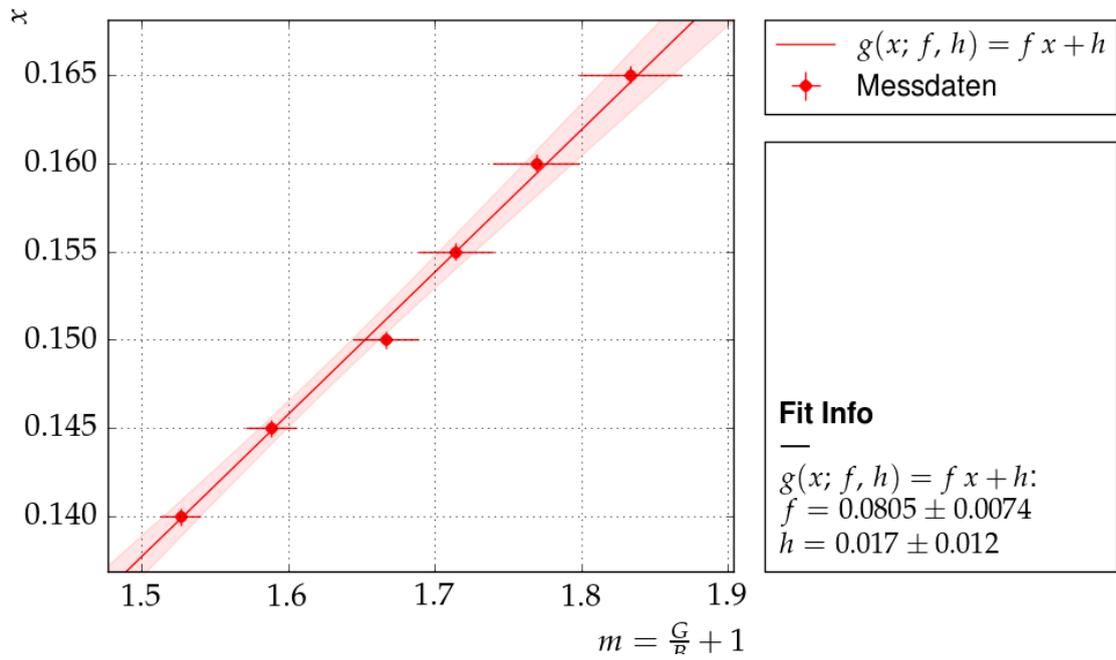
Für das nicht-gedrehte Linsensystem gilt:  $x = x_1$  und  $h = h_1$ . Und für das um  $180^\circ$  gedrehte System gilt:  $x = x_2$  und  $h = h_2$ . Mit Hilfe einer linearen Regression ergeben sich für die drei verschiedenen Linsenabstände die Werte in der Tabelle 1.3. Die linearen Regressionen sind in den Grafiken 1.6 bis 1.8 dargestellt. Die Steigung in den Grafiken ergibt den Wert für  $f$  und der Schnittpunkt mit der y-Achse ergibt den Wert für  $h$ .



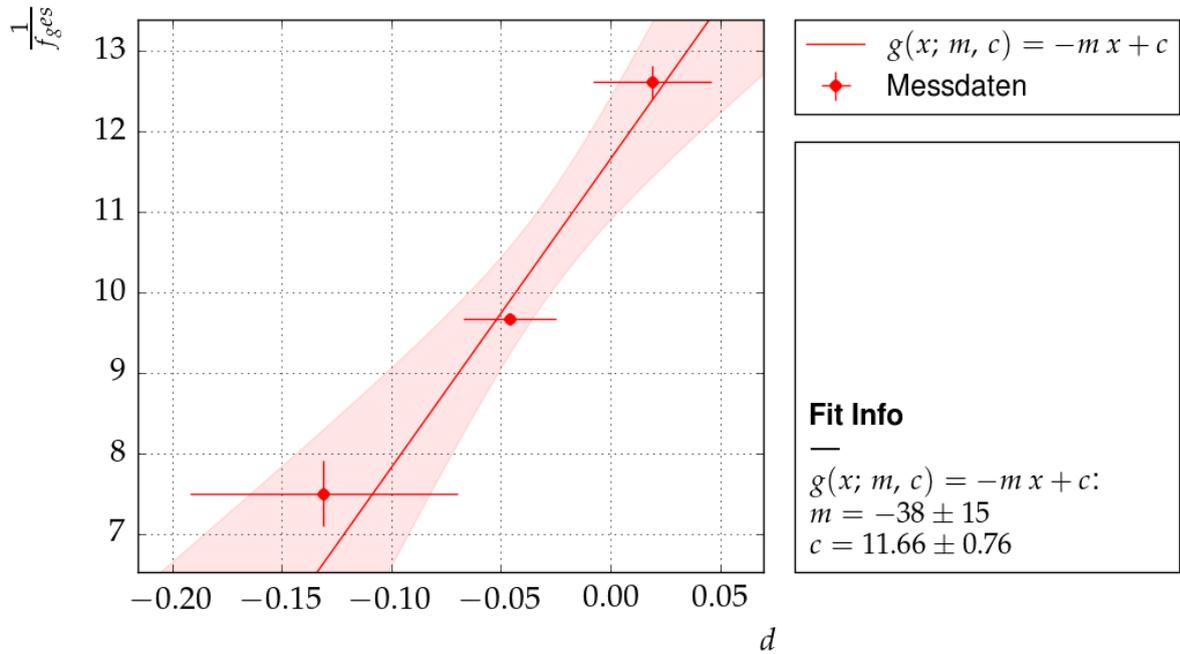
**Abbildung 1.6:** Messwerte und lineare Regression für den ersten Linsenabstand  $L$  für das um  $0^\circ$  (oben) und um  $180^\circ$  (unten) gedrehte Linsensystem.



**Abbildung 1.7:** Messwerte und lineare Regression für den zweiten Linsenabstand  $L$  für das um  $0^\circ$  (oben) und um  $180^\circ$  (unten) gedrehte Linsensystem.



**Abbildung 1.8:** Messwerte und lineare Regression für den dritten Linsenabstand  $L$  für das um  $0^\circ$  (oben) und um  $180^\circ$  (unten) gedrehte Linsensystem.



**Abbildung 1.9:** Zweite lineare Regression um die Brennweiten der beiden Linse mit dem Abbéschen Verfahren zu bestimmen, mit der Steigung  $m = \frac{1}{f_1 \cdot f_2}$  und  $c = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ .

Nun muss noch die Brennweite der einzelnen Linsen berechnet werden. Hierbei gilt die folgende Beziehung zwischen den einzelnen Brennweiten  $f_1$  und  $f_2$  und der gesamten Brennweite  $f_{ges}$ :

$$\frac{1}{f_{ges}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2}. \quad (1.12)$$

Der Abstand  $d$  der Hauptebene ergibt sich aus  $d = h_1 + h_2$ . Die Gesamtbrennweite wird mit einer Mittelung von den Werten für  $f$  bei  $0^\circ$  und  $180^\circ$  bestimmt. Somit ergibt sich  $f_{ges} = \frac{f_0 + f_{180}}{2}$ .

Diese Werte lassen sich aus der Tabelle 1.3 herauslesen.

Da man nun mehrere Messungen mit verschiedenen Gesamtbrennweiten und verschiedenen Abständen  $d$  der Hauptebenen hat, kann man nun wieder eine lineare Regression machen. Dabei wurde die Formel

$$y = -m \cdot x + c \quad (1.13)$$

verwendet. Die lineare Regression wird in der Abbildung 1.9 dargestellt. Der negative Wert der Steigung  $m$  entspricht somit  $\frac{1}{f_1 \cdot f_2}$  und der Schnittpunkt mit der y-Achse  $c$  entspricht  $\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ . Für die  $x$ -Werte wird der Hauptebenenabstand  $d$  verwendet und für  $y$  wurde der Kehrwert der gemittelten Gesamtbrennweite verwendet.

**Tabelle 1.3:** Werte, die mit Hilfe der linearen Regression ermittelt werden bei dem Abbéschen Verfahren.

| Messung | $d$ (cm) | $\sigma_d$ (cm) | $f_{ges}$ (cm) | $\sigma_{f_{ges}}$ (cm) |
|---------|----------|-----------------|----------------|-------------------------|
| 1       | -13.1    | 6.1             | 13.32          | 0.72                    |
| 2       | -4.6     | 2.1             | 10.35          | 0.01                    |
| 3       | 1.9      | 2.7             | 7.93           | 0.13                    |

Mit diesen Werten lässt sich nun die Formel

$$f_{1,2} = \frac{c \pm \sqrt{c^2 - 4 \cdot m}}{2 \cdot m} \quad (1.14)$$

herleiten. Für die einzelnen Brennweiten ergeben sich somit folgende Werte:

$$f_1 = 6.99 \text{ cm},$$

$$f_2 = -37.67 \text{ cm}.$$



### 1.3.1 Fehlerrechnung zur Aufgabe 1.3 Bestimmen der Brennweite mit Hilfe des Abbéschen Verfahrens.

Für die Fehler auf die gemessenen Anfangswerte für den Abstand  $x$  und für die Bildgröße  $B$  haben wir jeweils einen Fehler von 0.5 mm angenommen, da wir auf einen mm genau messen konnten. Um den Fehler auf die Steigung  $m$  bei der ersten linearen Regression zu berechnen, muss man die gaußsche Fehlerfortpflanzung verwenden. Es gilt somit:

$$\sigma_m = \frac{G}{B^2} \cdot 0.5 \text{ mm.} \quad (1.15)$$

Diese beiden Fehler wurden für die lineare Regression verwendet. Für  $\sigma_d$  gilt auch die gaußsche Fehlerfortpflanzung, da die beiden Werte für  $h_1$  und  $h_2$  nicht korreliert sind. Somit ergibt sich für den Fehler auf  $d$ :

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2}. \quad (1.16)$$

Der Fehler an den gemittelten Werten für  $f_{ges}$  ergibt sich aus der Standardabweichung:

$$\sigma_{f_{ges}} = \sqrt{\frac{(f_0 - f_{ges})^2 + (f_{180} - f_{ges})^2}{2}} \quad (1.17)$$

Die errechneten Fehler stehen in der Tabelle 1.3. Da für die zweite lineare Regression der Kehrwert von  $f_{ges}$  benötigt wird, muss man diesen (auch wieder) mit der gaußschen Fehlerfortpflanzung wie bei der Gleichung 1.15 berechnen:

$$\sigma_y = \frac{1}{f_{ges}^2} \cdot 0.5 \text{ mm.} \quad (1.18)$$

Den Fehler für  $m$  und  $c$  kann man bei der linearen Regression ablesen. Um den Fehler auf die einzelnen Brennweiten der Linsen zu berechnen muss man nun die Größtfehlerabschätzung verwenden, da die Fehler auf  $c$  und auf  $m$  korreliert sind. Es ergibt sich somit für die Fehler der Brennweiten:

$$\sigma_{f_{1,2}} = \frac{\partial f_{1,2}}{\partial m} \cdot \sigma_m + \frac{\partial f_{1,2}}{\partial c} \cdot \sigma_c \quad (1.19)$$

$$\sigma_{f_{1,2}} = \left\| \frac{-2 \cdot c \cdot \sqrt{c^2 - 4 \cdot m} \pm (-2 \cdot c^2 + 6 \cdot m)}{2 \cdot m^2 \cdot \sqrt{c^2 - 4 \cdot m}} \right\| \cdot \sigma_m + \left\| \frac{1}{2 \cdot m} \pm \frac{c}{2 \cdot m \cdot \sqrt{c^2 - 4 \cdot m}} \right\| \cdot \sigma_c \quad (1.20)$$

Für die Fehler auf die Werte für die einzelnen Brennweiten erhält man schließlich:

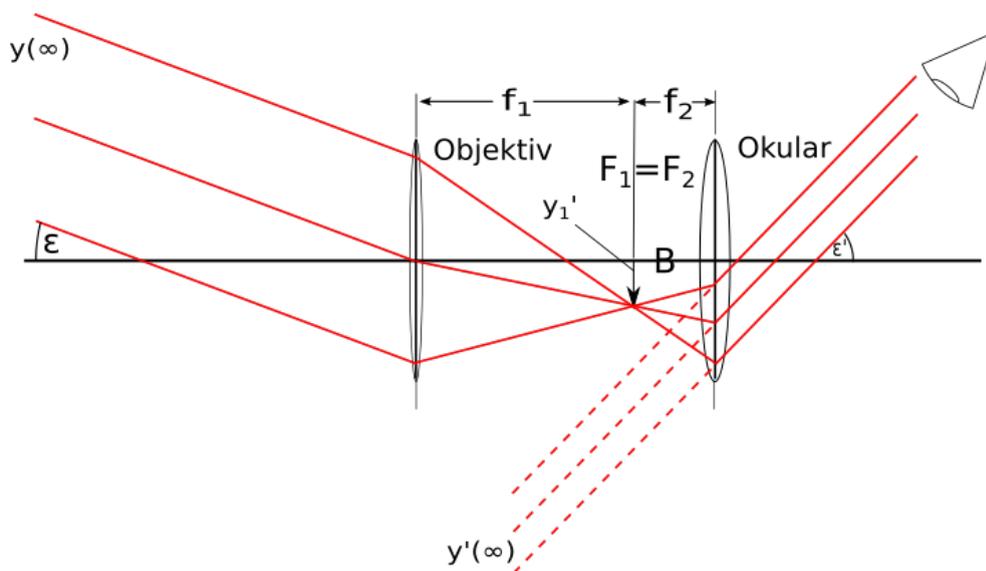
$$\begin{aligned} \sigma_{f_1} &= 28.65 \text{ cm,} \\ \sigma_{f_2} &= 4.13 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Der Fehler auf die Brennweiten sind sehr groß. Das liegt vor allem an dem großen Fehler auf die Werte für die Hauptebenenabstände  $d$ . Dies könnte man durch mehr Messungen pro Messreihe verhindern.

## 2. Aufbau optischer Instrumente

### 2.1 Bauen Sie ein Keplersches Fernrohr mit wenigstens sechsfacher Vergrößerung

#### 2.1.1 Keplersches Fernrohr



**Abbildung 2.1:** Die Abbildung stellt den Strahlengang eines Keplerschen Fernrohrs dar.

Es soll ein Keplersches Fernrohr mit wenigstens sechsfacher Vergrößerung gebaut werden. Dazu werden zwei Sammellinsen mit unterschiedlichen Brennweiten auf einer optischen Bank in dem Abstand

$$d = f_1 + f_2 \quad (2.1)$$

zueinander befestigt. Die Linsen müssen so befestigt werden, dass die Linse mit der kleineren Brennweite näher am Gegenstand ist. Es strahlt nun paralleles Licht auf die erste Linse. Diese erzeugt nun ein virtuelles Bild in dem Brennpunkt der zweiten Linse. Dieses

**Tabelle 2.1:** Messungen zur Bestimmung der Vergrößerung des gebauten Keplerschen Fernrohrs.

| Messpersonen | Backsteine mit Fernrohr | Backsteine ohne Fernrohr | Vergrößerung |
|--------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| 1            | 3                       | 20                       | 5.83         |
| 2            | 9                       | 80                       | 7.14         |
| 3            | 7                       | 50                       | 8.89         |
| 4            | 6                       | 35                       | 6.67         |

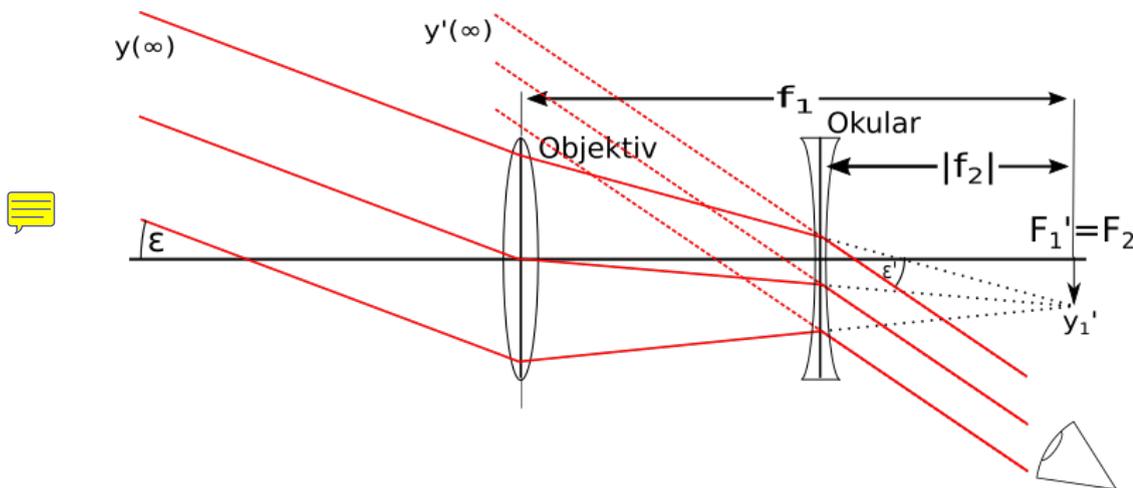
Bild wird dann durch die zweite Linse betrachtet. Vor die zweite Linse wurde noch eine Lochblende befestigt. Bei diesem Fernrohr wird das Bild verkehrt herum dargestellt.

Die Vergrößerung der Linsen lässt sich mit  $\gamma = \frac{f_1}{f_2}$  berechnen. Da eine wenigstens sechsfache Vergrößerung gefordert ist wurde für die Brennweiten der Linsen  $f_1 = 30 \text{ cm}$  und  $f_2 = 5 \text{ cm}$  gewählt. Somit müsste man eine Vergrößerung von  $\gamma = 6$  erhalten. Die Vergrößerung wurde von vier Personen gemessen um ein genaueres Ergebnis zu erhalten, da jede Person in einem anderen Winkel in das Fernrohr schaut und mit einem anderen Abstand von der Linse entfernt steht. Um nun die Vergrößerung zu messen, zählte jede Person die Backsteine an der gegenüberliegenden Wand des Gerthsen- Gebäudes. Die Anzahl der Backsteine und die damit berechnete Vergrößerung stehen in der Tabelle 2.1. Der mittlere Wert für die Vergrößerung beträgt

$$\gamma = 7.13. \quad (2.2)$$

Natürlich ist diese Methode sehr ungenau, da man nicht immer im selben Abstand die Messungen durchführt und man sieht auch, dass die Messwerte stark von einander abweichen. Für eine grobe Einschätzung, sind diese Messwerte jedoch geeignet.

### 2.1.2 Galileisches Fernrohr



**Abbildung 2.2:** Es wird der Strahlengang eines Galileischen Fernrohrs dargestellt.

Nun soll zum Vergleich ein Galileisches Fernrohr gebaut werden mit fast dem selben Aufbau. Der Unterschied ist, dass nun statt einer zweiten Sammellinse eine Streuungslinse verwendet wird. Die Brennweiten wurden gleich gewählt, jedoch ist die Brennweite von der zweiten Linse nun negativ. Der Abstand zwischen den zwei Linsen errechnet sich nun zu

$$d = f_1 - |f_2|. \quad (2.3)$$

Bei diesem Fernrohr wird das Bild richtig herum dargestellt. (um  $180^\circ$  gedreht zu Kepler). Die Vergrößerung wurde wie beim Keplerschen Fernrohr gemessen. Die Daten der Messung stehen in der Tabelle 2.2. Somit ergibt sich eine Vergrößerung von

$$\gamma = 6.58. \quad (2.4)$$

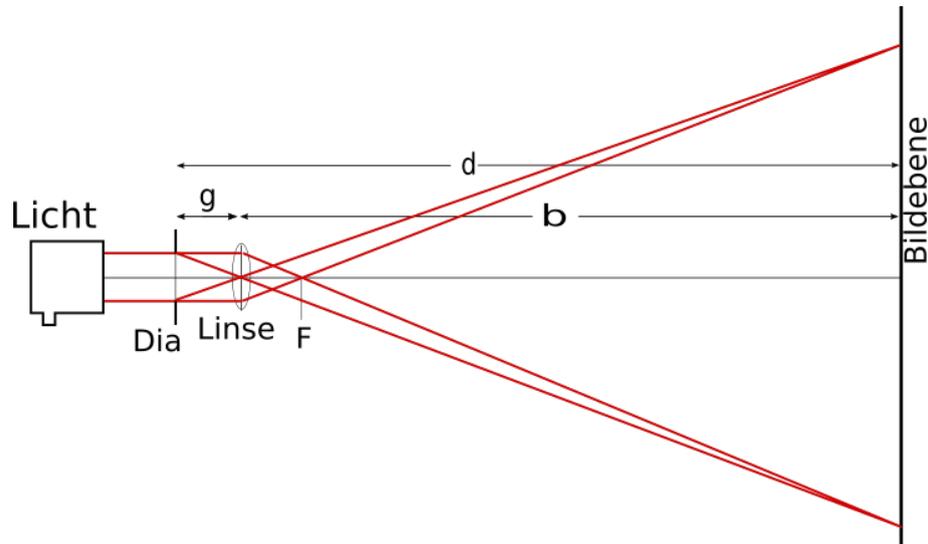
Die Messung bei dem Galileischen Fernrohrs sind genauer, da die Lochblende kleiner eingestellt war.

## 2.2 Bauen Sie einen Projektionsapparat

Es soll ein Projektionsapparat gebaut werden, der  $24 \times 36 \text{ mm}^2$ -Diapositive ausleuchtet und in  $d = g + b = 1.5 \text{ m}$  Entfernung etwa eine zehnfache Vergrößerung aufweist. Es

**Tabelle 2.2:** Messungen zur Bestimmung der Vergrößerung des gebauten Galileischen Fernrohrs.

| Messpersonen | Backsteine mit Fernrohr | Backsteine ohne Fernrohr | Vergrößerung |
|--------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| 1            | 3                       | 20                       | 6.67         |
| 2            | 3                       | 30                       | 6.67         |
| 3            | 3                       | 17                       | 5.67         |
| 4            | 3                       | 22                       | 7.33         |


**Abbildung 2.3:** Es wird der Strahlengang eines Diaprojektors dargestellt.

wird eine Linse mit der Brennweite  $f = 0.1 \text{ m}$  verwendet und mit der Abbildungsgleichung (Gleichung 1.1) erhält man eine Bildweite von  $b = 1.392 \text{ m}$  und eine Gegenstandsweite von  $g = 0.108 \text{ m}$ . Das Verhältnis von Bild- und Gegenstandsweite ist die Vergrößerung  $\gamma = \frac{b}{g} = 12.89$ . Die gemessene Vergrößerung  $\gamma = \frac{B}{G} = 12.92$ . Dies ist eine Abweichung von 0.23% zum theoretischen Wert.

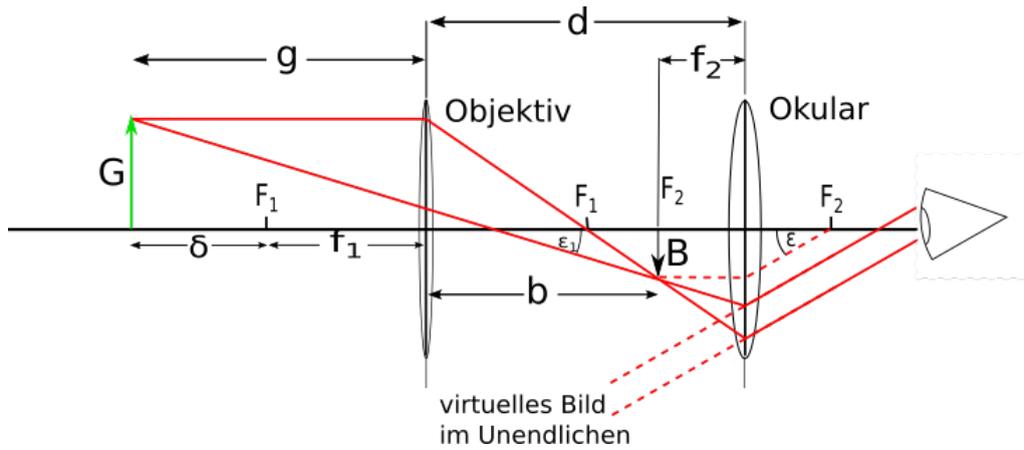
### 2.3 Bauen Sie ein Mikroskop

Wird ein Mikroskop mit mindestens zwanzigfacher Vergrößerung gebaut, so müssen die Brennweite, Bildweite und Gegenstandsweite nach der Formel für die Vergrößerung

$$\gamma = \frac{b \cdot s_0}{g \cdot f_2} \approx \frac{(d - f_2) \cdot s_0}{f_1 \cdot f_2} \quad (2.5)$$

mit  $s_0 = 250 \text{ mm}$  der deutlichen Sehweite bestimmt werden. Es werden zwei Konvexlinsen mit Brennweiten  $f_1 = 15 \text{ cm}$  und  $f_2 = 5 \text{ cm}$  gewählt. Die theoretische Vergrößerung beträgt somit  $\gamma = 20$ . Um die tatsächliche Vergrößerung zu bestimmen wird ein Millimeterpapier durch das Mikroskop betrachtet und die Anzahl der Millimeter gezählt, danach wird mit dem gleichen Aufbau bloß ohne Linsen die Millimeter gezählt. Das Verhältnis dieser gibt ebenso die Vergrößerung an. Es werden vier unabhängige Zählungen durchgeführt und mit dem Mittelwert der einzelnen Vergrößerungen (siehe Tabelle 2.3) erhält man eine Vergrößerung von  $\gamma = 17.8125$ . Betrachtet man die einfache Art der Messung und die geringe Anzahl der Messungen ist der Wert plausibel mit einer Abweichung von 11% zum theoretischen Wert.

Es hat keinen Sinn, die Vergrößerung bei einem Mikroskop durch Linsen mit immer kleineren Brennweiten zu steigern, denn wählt man die Brennweite kleiner, so gibt es mehr Beugung und Interferenzerscheinung mit einem bedeutenden Effekt.



**Abbildung 2.4:** In der Abbildung ist der Strahlengang eines Mikroskops zu erkennen.

**Tabelle 2.3:** Gemessene Vergrößerung am Mikroskop.

| Messungen | Millimeter ohne Linsen | Millimeter mit Linsen | Vergrößerung |
|-----------|------------------------|-----------------------|--------------|
| 1         | 55                     | 4                     | 13.75        |
| 2         | 50                     | 2.5                   | 20           |
| 3         | 70                     | 4                     | 17.5         |
| 4         | 80                     | 4                     | 20           |

# Literaturverzeichnis

- [1] Vorbereitungsmappe Geometrische Optik  
Alle Grafiken wurden selbst erstellt.