

## Laborübungen II

### im Wintersemester 2016 LABORPROTOKOLL

Gruppe

19
----

Name

Punkte

Helmut Hörner		
Kassandra Kunz		

Prüfung      Protokoll

Titel der Übung

<b>Geometrische Optik</b>
---------------------------

Datum

Mi.	14. Dez. 2016
-----	---------------

Betreuer

--

(Name in Blockbuchstaben und Unterschrift)

## Inhalt

1	Einleitung .....	2
2	Brennweite einer Linse.....	2
2.1	Versuchsaufbau .....	2
2.2	Messmethode.....	3
2.2.1	Allgemeines.....	3
2.2.2	Messverfahren .....	4
2.3	Messergebnisse und Fehlerabschätzung.....	5
2.4	Interpretation .....	6
2.5	Graphische Lösung der Linsengleichung .....	7
3	Vergrößerung eines Mikroskops .....	9
3.1	Messaufbau.....	9
3.2	Messmethode.....	9
3.2.1	Allgemeines.....	9
3.2.2	Messverfahren .....	10
3.3	Messergebnisse und Fehlerabschätzung.....	10
4	Vergrößerung und Tubuslänge eines Kepler'schen Teleskops .....	12
4.1	Messaufbau.....	12
4.2	Messmethode.....	12
4.2.1	Allgemeines.....	12
4.2.2	Messverfahren .....	13
4.3	Messergebnisse und Fehlerabschätzung.....	13
4.4	Interpretation .....	15
5	Anhang .....	15
5.1	Verwendetes Equipment.....	15
5.2	Tabellenverzeichnis.....	15
5.3	Abbildungsverzeichnis .....	15
5.4	Literaturliste .....	16

## 1 Einleitung

Die in diesem Protokoll beschriebenen Experimente wurden am 14.12.2016 an der TU Wien im Rahmen des Praktikums *Laborübungen II (134.124)* von *Kassandra Kunz* und *Helmut Hörner* durchgeführt. Sie beschäftigen sich mit der Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse, sowie der Messung der Vergrößerung eines einfachen Mikroskops und eines Kepler'schen Fernrohres im Rahmen der Theorie der geometrischen Optik.

## 2 Brennweite einer Linse

### 2.1 Versuchsaufbau

Die Basis des Versuchsaufbaus bildete das Grundgestell, bestehend aus der Grundplatte [061010], auf der die Stangenhalterung [061230] befestigt wurde (siehe Abbildung 1).

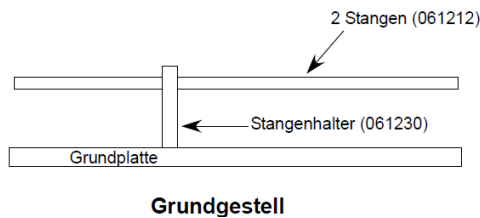


Abbildung 1: Grundgestell, aus: [Betz, 2009], S. 4

Zwei gleich lange Stangen [061212] wurden in die Halterung eingeführt. Auf der linken Seite der Stangen wurden ein Kombinationskondensator [063010], der das Licht bündelt, und davor eine zentrierbare Lampenfassung [065043] mit Lampe angebracht. Die Lampe wurde mit 6 Volt versorgt. Ein Draht, der über eine Aufnahmeplatte gespannt ist [061010], wurde als Gegenstand genutzt und auf der rechten Seite montiert. Als Linse, deren Brennweite zu bestimmen war, wurde die Sammellinse [063021] (Nominell  $f=25\text{mm} \pm 5\%$ ) verwendet. Anschließend wurde eine Mattglasscheibe (Oberflächenstreuung) [063520] montiert, die als Schirm diente.

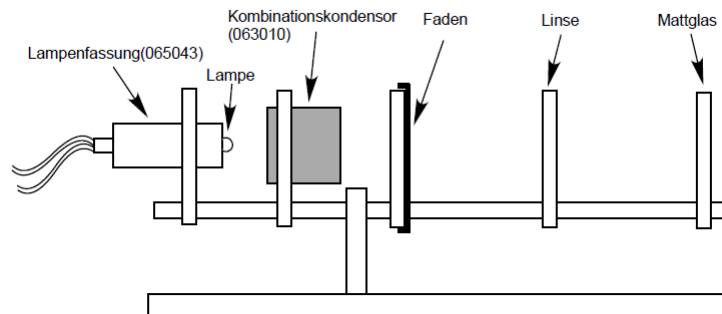


Abbildung 2: Versuchsaufbau „Brennweitenbestimmung“, aus: [Betz, 2009], S. 4

## 2.2 Messmethode

### 2.2.1 Allgemeines

Die folgende Abbildung zeigt den Strahlengang bei einer einfachen, dünnen Sammellinse.

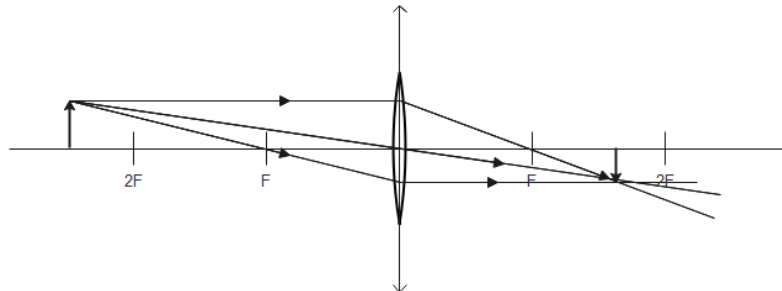


Abbildung 3: Strahlengang einer Sammellinse.

Es gilt folgende Linsengleichung:

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

$f$  ... Brennweite

$b$  ... Abstand zwischen Bild und Linsenachse

$g$  ... Abstand zwischen Gegenstand und Linsenachse

Man erkennt in Abbildung 3, dass, wenn der linke Pfeil einen (weit entfernten) Gegenstand repräsentiert, der rechte Pfeil das Bild nahe des Brennpunkts  $F'$  darstellt. Genauso gilt aber umgekehrt, dass, wenn der rechte Pfeil den Gegenstand (nahe des Brennpunkts  $F'$ ) repräsentiert, der linke Pfeil das weit entfernte Bild darstellt. Es gibt somit zwei Linsenpositionen, die einen Gegenstand scharf abbilden.

Basierend auf dieser Tatsache wurde bei der folgenden Versuchsreihe die Brennweite der Linse mit dem Bessel-Verfahren<sup>1</sup> bestimmt. Innerhalb des festen Abstands  $a$  zwischen Gegenstand und Schirm werden die zwei Linsenstellungen ermittelt, bei denen ein scharfes Bild zu erkennen ist:

- Die Linse wird zum Gegenstand geschoben, sodass der Draht nahe ihrer Brennweite  $F$  ist, bis ein vergrößertes, scharfes Bild auf dem Schirm im Abstand  $b_1$  zu erkennen ist.
- Die Linse wird vom Gegenstand entfernt, sodass der Schirm nahe der Brennweite  $F'$  ist, bis ein verkleinertes, scharfes Bild im Abstand  $b_2$  zu erkennen ist.
- Die Differenz zwischen  $b_1$  und  $b_2$  ergibt den Abstand  $e$  (siehe Abbildung 4 und Formel (2)).

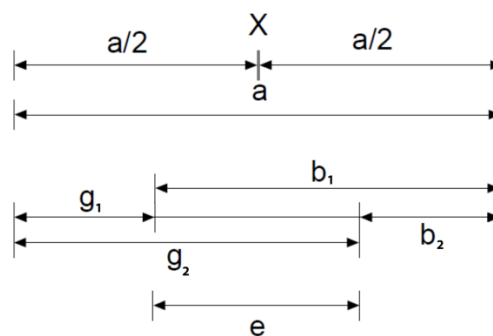


Abbildung 4: Bessel-Verfahren

<sup>1</sup> siehe [Bessel, 1840], Seite 289ff

$$e = b_1 - b_2 \quad (2)$$

Aus Symmetriegründen (siehe Abbildung 4 und Erläuterung auf der Vorseite) muss aber offenbar gelten:

$$\begin{aligned} b_2 &= g_1 = g \\ b_1 &= g_2 = b \end{aligned} \quad (3)$$

Daher lässt sich Gleichung (2) auch anschreiben als:

$$e = b - g \quad (4)$$

Außerdem gilt (siehe nochmals Abbildung 4):

$$a = b + g \quad (5)$$

Aus den Gleichungen (4) und (5) erhält man:

$$b = \frac{a+e}{2}; g = \frac{a-e}{2} \quad (6)$$

Wenn man dies in die Linsengleichung (1) eingesetzt, erhält man für die Brennweite:

$$f(a, e) = \frac{a^2 - e^2}{4a} \quad (7)$$

### 2.2.2 Messverfahren

- Es wurde bei jeder Messung zuerst der Abstand  $a$  mit einem Millimetermaß gemessen.
- Anschließend wurden die vorher genannten Linsenstellungen mit Hilfe des Schirmes (scharfes Bild durch Augenmaß) ermittelt.
- Die beiden Abstände zwischen Linse und Mattglasscheibe ( $b_1$  bzw.  $b_2$ ) wurden mit einem Millimetermaß abgemessen.

## 2.3 Messergebnisse und Fehlerabschätzung

In der folgenden Tabelle sind die gemessenen Werte  $a$ ,  $b_1$  und  $b_2$ , sowie die mit Formel (2) und (7) berechnete Differenzweite  $e$  und Brennweite  $f$  protokolliert. Da bei jeder Messung der Wert  $a$  verändert wurde, kann über die unmittelbar gemessenen Werte  $a$ ,  $b_1$  und  $b_2$  keine Standardabweichung berechnet werden. Es wird stattdessen der Mittelwert sowie die Streuung und Varianz für die Brennweite  $f$  ausgewiesen. Der offensichtlich stark abweichende Messwert der sechsten Messung wurde verworfen.

Messung	Abstand Gegenstand/Schirm	Große Bildweite	Kleine Bildweite	Differenzweite <i>siehe Formel (2)</i>	Brennweite <i>siehe Formel (7)</i>	Streuung
$i$	$a$ [mm]	$b_1$ [mm]	$b_2$ [mm]	$e$ [mm]	$f$ [mm]	$(f_i - \bar{f})^2$ [mm <sup>2</sup> ]
1	110	67	46	21	26,50	0,0576
2	115	74,5	41,5	33	26,38	0,0144
3	120	81	39	42	26,33	0,0049
4	125	88	38,5	49,5	26,35	0,0081
5	130	94	37	57	26,25	0,0001
6*	(140)	(115)	(35)	(80)	(23,57)	-
7	150	115	31	84	25,74	0,2704
Mittelwert (*ohne verworfener Messung i=6)					$\bar{f} = 26,26$	$s^2 = 0,0593$

**Tabelle 1: Messwerte zur Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse.**  
\*Der Messwert der Messung i=6 wurde verworfen.

Daraus ergibt sich für die Brennweite  $f$  folgende Standardabweichung  $\sigma_f$ :

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{N}{N-1} s^2} = \sqrt{\frac{6}{6-1} 0,0593} = 0,267 \text{ mm} \quad (8)$$

Für die Messwerte  $a$ ,  $b_1$  und  $b_2$ , sowie für den draus unmittelbar mit Formel (2) abgeleiteten Wert  $e$  wird die Messungenauigkeit mit  $\sigma_a = \sigma_{b_1} = \sigma_{b_2} = \sigma_e = \pm 1 \text{ mm}$  angenommen.

Für die Standardabweichung  $\sigma_f$  gilt:

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}(a, e)\right)^2 \sigma_a^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial e}(a, e)\right)^2 \sigma_e^2} \quad (9)$$

Zusammen mit Gleichung (7) ergibt dies:

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{a^2 + e^2}{4a^2}\right)^2 \cdot 1^2 + \left(-\frac{e}{2a}\right)^2 \cdot 1^2} \text{ mm} \quad (10)$$

Damit ergibt sich für die einzelnen Messungen folgende Fehlerfortpflanzungsrechnung:

Mes- sung	Abstand Gegenstand/Schirm	Differenzweite <i>siehe Tabelle 1</i>	Brennweite <i>siehe Tabelle 1</i>	Messfehler <i>siehe Formel (10)</i>
<i>i</i>	<i>a</i> [mm]	<i>e</i> [mm]	<i>f</i> [mm]	$\sigma_f$ [mm]
1	110	21	26,50	$\pm 0,291$
2	115	33	26,38	$\pm 0,306$
3	120	42	26,33	$\pm 0,331$
4	125	49,5	26,35	$\pm 0,350$
5	130	57	26,25	$\pm 0,378$
6	(140)	(80)	(23,57)	-
7	150	84	25,74	$\pm 0,432$

Tabelle 2: Fehlerfortpflanzungsrechnung

Da alle oben berechneten Werte für  $\sigma_f$  größer sind als der in Formel (8) berechnete Wert für die statistische Abweichung, wird als Messergebnis für die Brennweite  $f$  der Mittelwert aus Tabelle 1 mit der größten (aufgerundeten) Abweichung  $\sigma_f$  gemäß Tabelle 2 angenommen:

$$\boxed{f_{\text{gemessen}} = (26,3 \pm 0,5) \text{ mm}} \quad (11)$$

## 2.4 Interpretation

Die verwendete Bikonvexlinse [063021] hat eine nominelle Brennweite  $f=25 \text{ mm} \pm 5\%$ ; d.h.

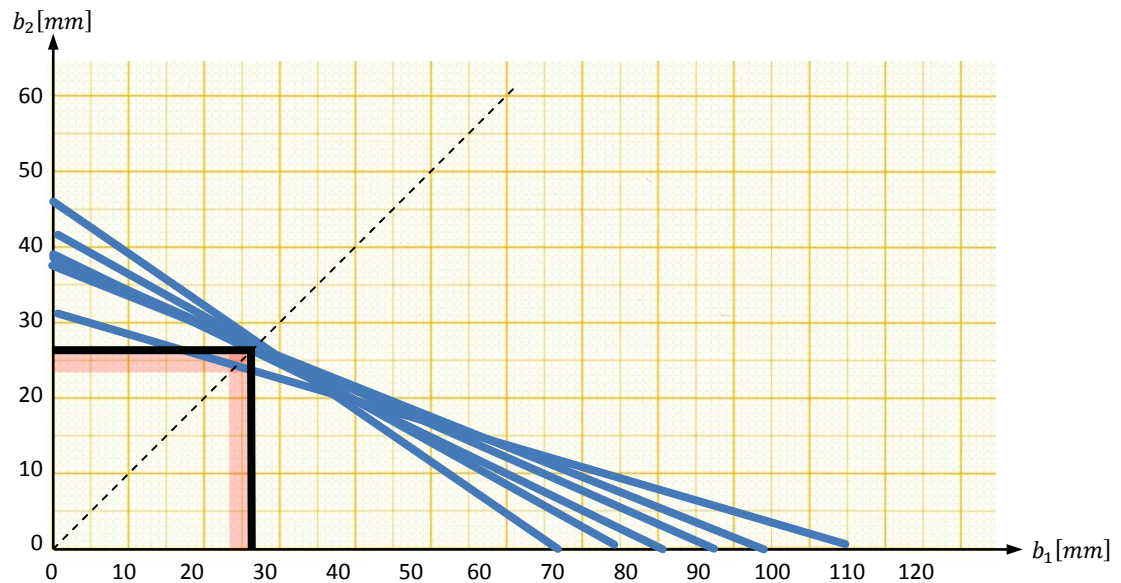
$$\boxed{f_{\text{nominell}} = (25,0 \pm 1,25) \text{ mm}} \quad (12)$$

Dies ist in Übereinstimmung mit dem gemessenen Wert (11).





Werden die gemessenen Werte  $b_1$  und  $b_2$  in auf Millimeterpapier aufgetragen, so ergibt sich die Abbildung 6 in gezeigte Grafik. Die nominelle Brennweite ist in rot, die gemessene Brennweite in schwarz eingetragen. Die blauen Linien verbinden die jeweiligen Messwerte  $b_1$  und  $b_2$  und sind in der der Messtoleranz entsprechenden Dicke eingezeichnet.



**Abbildung 6. Grafische Ermittlung der Brennweite (blaue Linien).**  
 Rot eingezeichnet: nominelle Brennweite (inkl. Toleranz).  
 Schwarz eingezeichnet: ermittelte Brennweite (inkl. Toleranz).

Man erkennt, dass die blauen Linien (bis auf eine „ausreißende“ Messung) innerhalb der Messtoleranz im ermittelten Wert der Brennweite konvergieren.

### 3 Vergrößerung eines Mikroskops

#### 3.1 Messaufbau

Das Grundgerüst (Grundplatte [061010] und Stangenhalterung [061230]) wurde wieder mit zwei gleich langen Stangen [061212] versehen. Die Lichtquelle [065043] und der Kombinationskondensator [063010] blieben an der gleichen Stelle montiert.

Als Gegenstand wurde die Strichplatte 10mm in 200 Teile [063511] genommen (ein Glas, auf dem eine Strichskala - ein Strich entspricht 0,05mm - angebracht ist). Als Objektivlinse wurde ein Achromat  $f_{obj} = 10\text{mm}$  [063120] genommen, und direkt nach dem Gegenstand angebracht. Anschließend wurde die Okularlinse [063121], ein Achromat mit  $f_{ok} = 16\text{mm}$  montiert. Sie fungiert als Lupe für das Zwischenbild der ersten Linse.

Zusätzlich stand zur Messung ein Maßband mit Millimeterunterteilung zur Verfügung.

#### 3.2 Messmethode

##### 3.2.1 Allgemeines

Die folgende Abbildung zeigt den Strahlengang in einem Mikroskop.

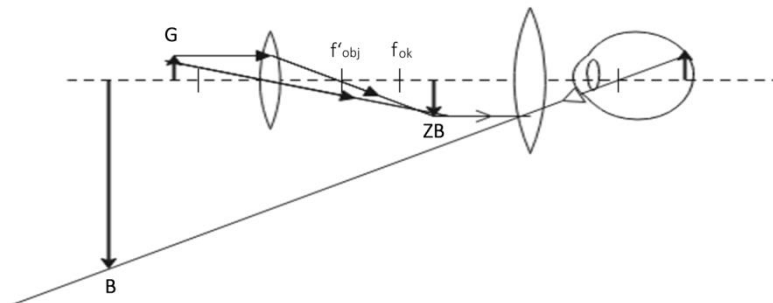


Abbildung 7: Strahlengang in einem Mikroskop

Bei gegebener Brennweite des Objektivs  $f_{obj}$  und des Okulars  $f_{ok}$  sowie gegebener Tubuslänge  $l$  kann die Vergrößerung  $V$  wie folgt berechnet werden<sup>2</sup>:

$$V_{ber} = \frac{(l - f_{ok} - f_{obj}) \cdot s}{f_{ok} \cdot f_{obj}} \quad (14)$$

$s$  ... deutliche Sehweite (25mm)

Die Vergrößerung  $V$  ist hierbei definiert als<sup>3</sup>

$$V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{\text{Sehwinkel mit Mikroskop}}{\text{Sehwinkel ohne Mikroskop}} \quad (15)$$

<sup>2</sup> siehe [Betz, 2009], Seite 9

<sup>3</sup> siehe [Demtröder, 2012], Seite 351

### 3.2.2 Messverfahren

Die *Messung* der Vergrößerung wurde mit folgendem Verfahren durchgeführt:

- Es wurde eine bestimmte Tubuslänge  $l$  (Abstand zwischen Objektiv und Okular) eingestellt, und das Okular und Objektiv fixiert.
- Die Strichplatte [063511] wurde so verschoben, dass die Strichskala durch das Okular scharf zu sehen war (Augenmaß).
- In deutlicher Sehweite  $s = 25\text{cm}$  wurde waagrecht hinter dem Mikroskop das Millimetermaß gehalten.
- Mit einem Auge wurde durch das Okular geschaut, und mit dem anderen auf das Maßband. Die beiden Bilder, die mit den Augen wahrgenommen wurden, wurden zur Überlappung gebracht.
- Nun wurden auf der Strichplatte die Teilstriche gezählt, und wie viele Millimeter im Sichtbereich dieser Teilstriche auf dem Maßbandes scheinbar „enthalten“ sind.

Mit diesen Daten berechnet sich die Vergrößerung  $V_{gem}$  (auf Basis der Definition (15)) mit folgender Formel:

$$V_{gem} = \frac{M}{0,05 \mu} \quad (16)$$

$\mu$  ... Anzahl durch das Mikroskop sichtbarer Teilstriche auf der Mikroskala

$M$  ... Anzahl direkt sichtbare Teilstriche auf dem Millimetermaß im selben Blickfeld

### 3.3 Messergebnisse und Fehlerabschätzung

In der folgenden Tabelle sind die gemessenen Werte  $l$ ,  $\mu$  und  $M$ , sowie die berechnete und gemessene Vergrößerung protokolliert.

$$f_{ok} = (16 \pm 0,8) \text{ mm} \quad (17)$$

$$f_{obj} = (10 \pm 0,5) \text{ mm} \quad (18)$$

Messung	Tubuslänge	Anzahl Mikroskala-Teilstriche	Anzahl Millimeter-Teilstriche	Berechnete Vergrößerung <i>siehe Formel (14)</i>	Gemessene Vergrößerung <i>siehe Formel (15)</i>
$i$	$l$ [mm]	$\mu$ [0,05 mm]	$M$ [mm]	$V_{ber}$	$V_{gem}$
1	76	15	45	78	60
2	100	10	57	116	114
3	120	5	34	147	136

Tabelle 3: Berechnete und gemessene Vergrößerungen des Mikroskops

Für die berechnete Vergrößerung  $V_{ber}$  ergibt sich folgende Fehlerabschätzung:

$$\sigma_{V_{ber}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{ber}}{\partial l}\right)^2 \sigma_l^2 + \left(\frac{\partial V_{ber}}{\partial f_{ok}}\right)^2 \sigma_{f_{ok}}^2 + \left(\frac{\partial V_{ber}}{\partial f_{obj}}\right)^2 \sigma_{f_{obj}}^2 + \left(\frac{\partial V_{ber}}{\partial s}\right)^2 \sigma_s^2} \quad (19)$$

Der Messfehler bei der Messung der Tubuslänge  $l$  wird mit  $\sigma_l = \pm 1mm$  angenommen; der Messfehler bei der deutlichen Sehweite  $s$  mit  $\sigma_s = 3mm$ .

Zusammen mit (14), (17) und (18) ergibt dies:

$$\sigma_{V_{ber}} = \sqrt{\left(\frac{s}{f_{obj}f_{ok}}\right)^2 \cdot 1^2 + \left(\frac{(f_{obj}-l)s}{f_{obj}f_{ok}^2}\right)^2 \cdot 0,8^2 + \left(\frac{(f_{ok}-l)s}{f_{obj}^2f_{ok}}\right)^2 \cdot 0,5^2 + \left(\frac{l-f_{ok}-f_{obj}}{f_{ok} \cdot f_{obj}}\right)^2 \cdot 3^2} \quad (20)$$

Für die gemessene Vergrößerung  $V_{gem}$  ergibt sich folgende Fehlerabschätzung:

$$\sigma_{V_{gem}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{gem}}{\partial M}\right)^2 \sigma_M^2 + \left(\frac{\partial V_{gem}}{\partial \mu}\right)^2 \sigma_\mu^2} \quad (21)$$

Der Messfehler bei der Ermittlung von  $M$  und  $\mu$  wird  $\sigma_M = 5 \text{ Teilstriche}$  und  $\sigma_\mu = 1 \text{ Teilstrich}$  angenommen. Zusammen mit (15) ergibt dies:

$$\sigma_{V_{gem}} = \sqrt{\left(\frac{20}{\mu}\right)^2 5^2 + \left(-\frac{20M}{\mu^2}\right)^2 1^2} \quad (22)$$

Dies ergibt, auf Grundlage von Tabelle 3, folgendes Endergebnis:

Messung	Berechnete Vergrößerung <i>siehe Tabelle 3 u. Formel (20)</i>	Gemessene Vergrößerung <i>siehe Tabelle 3 und Formel (22)</i>
$i$	$V_{ber}$	$V_{gem}$
1	78 ±8	60 ±8
2	116 ±12	114 ±16
3	147 ±15	136 ±34

**Tabelle 4: Endergebnis: Berechnete und gemessene Vergrößerungen des Mikroskops inklusive Fehlerrechnung**

Die gemessene Vergrößerung stimmt im Wesentlichen innerhalb der Toleranzen mit der berechneten Vergrößerung überein; lediglich bei der ersten Messung ist der Messfehler offenbar doch noch etwas größer als die Fehlerrechnung indiziert.

## 4 Vergrößerung und Tubuslänge eines Kepler'schen Teleskops

### 4.1 Messaufbau

Auf dem Grundgerüst (Grundplatte [061010] und Stangenhalterung [061230]) wurden wie bei den vorherigen Versuchen zwei gleichlange Stangen [061212] angebracht. Zwei Bikonvexlinsen werden auf den Stangen montiert: Die Okularlinse [063016] hat eine nominelle Brennweite von  $f_1 = 50\text{mm}$  und die Objektivlinse [063223] eine nominelle Brennweite  $f_2 = 160\text{mm}$ . Der Abstand zwischen den beiden ist die Tubuslänge  $l$ . Auf einer Tafel (im Versuchsraum) wurde eine Skala mit äquidistanten Strichen für die Versuchsreihe angebracht.

### 4.2 Messmethode

#### 4.2.1 Allgemeines

Die folgende Abbildung zeigt den Strahlengang in einem Kepler'schen Teleskop.

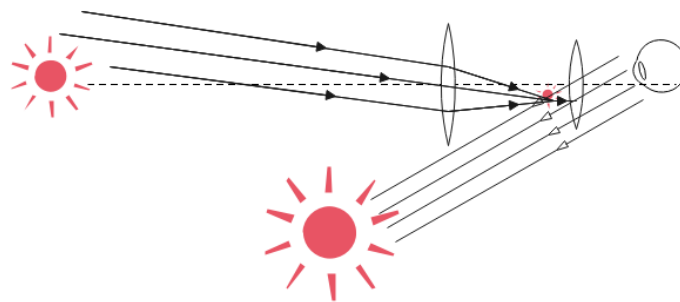


Abbildung 8: Strahlengang in einem Kepler'schen Teleskop

Bei gegebener Brennweite des Objektivs  $f_2$  und des Okulars  $f_1$  sowie gegebener Tubuslänge  $l$  kann die Vergrößerung  $V$  wie folgt *berechnet* werden<sup>4</sup>:

$$V_{ber} = \frac{f_2}{f_1} \quad (23)$$

Die Brennpunkte von Okular und Linse fallen zusammen, daher gilt für die Tubuslänge  $l$ :

$$l = f_1 + f_2 \quad (24)$$

<sup>4</sup> siehe [Demtröder, 2012], Seite 355

## 4.2.2 Messverfahren

### 4.2.2.1 Tubuslänge

- Das Teleskop wurde auf einen Gegenstand im Unendlichen (konkret: durch das Fenster auf ein möglichst weit entferntes Objekt im Freien) scharf gestellt. Die Tubuslänge  $l(\infty)$  wurde gemessen.
- Das Teleskop wurde auf einen Gegenstand im Abstand von 3m scharf gestellt, und die neue Tubuslänge  $l(3m)$  gemessen.

Dazu wurde jeweils das Objektiv entweder zum Okular oder von ihm weg bewegt.

### 4.2.2.2 Vergrößerung

- Es wird eine gewisse Distanz zur Tafel, auf der die äquidistanten Striche aufgezeichnet sind, eingenommen.
- Anschließend wurde bei diesem Abstand mit dem einen Auge durch das Teleskop auf die Tafel und mit dem anderen direkt auf die Skala an der Tafel geschaut.
- Die Methode des „Strichzählens“ wie beim Mikroskop (siehe Kapitel 3.2.2) wurde auch hier angewandt, um die Vergrößerung  $V_{gem}$  zu bestimmen:

$$V_{gem} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (25)$$

$\gamma$  ... Anzahl der durch das Teleskop sichtbaren Striche

$\tau$  ... Anzahl der im gleichen Sichtbereich mit dem anderen Auge direkt sichtbaren Striche

## 4.3 Messergebnisse und Fehlerabschätzung

### 4.3.1.1 Tubuslängen

Messung bei weit entferntem Objekt:

$$l(\infty) = (208,5 \pm 1) \text{ mm} \quad (26)$$

Messung bei 3m entferntem Objekt:

$$l(3m) = (214 \pm 1) \text{ mm} \quad (27)$$

#### Interpretation:

Der Wert  $f(\infty) = 208,5 \text{ mm}$  stimmt innerhalb der Toleranzen mit dem gemäß Formel (24) zu erwartenden Wert von  $f = 210 \text{ mm}$  überein. Der größere Wert gem. (27) ergibt sich aus der notwendigen Verschiebung der Brennpunkte bei näheren Gegenständen.

### 4.3.1.2 Vergrößerung

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der drei durchgeführten Messungen. Die eingestellte Tubuslänge betrug

$$l = (214 \pm 1) \text{ mm} \quad (28)$$

Für die Brennweiten gilt:

$$f_1 = (50 \pm 2,5) \text{ mm} \quad (29)$$

$$f_2 = (160 \pm 8,0) \text{ mm} \quad (30)$$

Die gem. Formel (28) zu erwartende Vergrößerung beträgt

$$V_{ber} = 3,2 \quad (31)$$

Messung	Abstand zur Tafel	Anzahl Teilstriche durch Fernrohr	Anzahl Teilstrich direkt	Gemessene Vergrößerung <i>siehe Formel (25)</i>	Streuung
$i$	$g$ [m]	$\gamma$	$\tau$	$V_{gem}$	$(V_i - \bar{V})^2$
1	3	3	6,5	2,2	0,13444
2	10	2	6,0	3,0	0,18778
3	10	3	7,5	2,5	0,00002
Mittelwert				$\bar{V}=2,567$	$s^2=0,10741$

**Tabelle 5: Messergebnisse zur Vergrößerung des Kepler'schen Fernrohres.**

Daraus ergibt sich für die *gemessene* Vergrößerung  $V_{gem}$  folgende Standardabweichung  $\sigma_{V_{gem}}$ :

$$\sigma_{V_{gem}} = \sqrt{\frac{N}{N-1} s^2} = \sqrt{\frac{3}{3-1} 0,10741} = \pm 0,4 \quad (32)$$

Für die *berechnete* Vergrößerung  $V_{ber}$  ergibt sich folgende Fehlerabschätzung:

$$\sigma_{V_{ber}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{ber}}{\partial f_1}\right)^2 \sigma_{f_1}^2 + \left(\frac{\partial V_{ber}}{\partial f_2}\right)^2 \sigma_{f_2}^2} \quad (33)$$

Zusammen mit (23), (29) und (30) ergibt dies:

$$\sigma_{V_{ber}} = \sqrt{\left(-\frac{f_2}{f_1^2}\right)^2 \cdot \sigma_{f_1}^2 + \left(\frac{1}{f_1}\right)^2 \cdot \sigma_{f_2}^2} = \sqrt{\left(-\frac{160}{50^2}\right)^2 \cdot 2,5^2 + \left(\frac{1}{50}\right)^2 \cdot 8^2} = 0,23 \quad (34)$$

Das Gesamtergebnis gem. Tabelle 5 und Formel (32) lautet daher:

$$\boxed{V_{gem} = 2,6 \pm 0,4} \quad (35)$$

## 4.4 Interpretation

Die berechnete Vergrößerung gem. (31) und (34) beträgt

$$V_{ber} = 3,2 \pm 0,2 \quad (36)$$

Die gemessene Vergrößerung gem. (35) und die berechnete Vergrößerung gem. (36) stimmen innerhalb der Toleranzen überein.

## 5 Anhang

### 5.1 Verwendetes Equipment

[MIKROBANK]	Mikrobank-Satz G062055000 Mechanik und Optik von Spindler und Hoyer, nunmehr Linos.
[061010]	Grundplatte (Aufnahmeplatte) Nr. 061010 aus [MIKROBANK]
[061212]	Stangen 150mm Nr. 061212 aus [MIKROBANK]
[061230]	Stangenhalter Nr. 061230 aus [MIKROBANK]
[065043]	Zentrierbare Lampenfassung Nr. 063223 aus [MIKROBANK] mit Lampe, 6V
[063010]	Kombinationskondensator Nr. 063010 aus [MIKROBANK]
[061010]	Aufnahmeplatte mit aufgespanntem Faden Nr. 061010 aus [MIKROBANK]
[063520]	Mattglasscheibe (Oberflächenstreuung) Nr. 063520 aus [MIKROBANK]
[063021]	Bikonvexlinse, Kronglas, $f=25 \text{ mm} \pm 5\%$ , Nr. 063021 aus [MIKROBANK]
[063511]	Strichplatte 10mm in 200 Teile, Nr. 063511 aus [MIKROBANK]
[063120]	Achromat breitbandentspiegelt $f=10 \text{ mm} \pm 5\%$ , Nr. 063120 aus [MIKROBANK]
[063121]	Achromat breitbandentspiegelt $f=16 \text{ mm} \pm 5\%$ , Nr. 063121 aus [MIKROBANK]

### 5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messwerte zur Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse. *Der Messwert der Messung $i=6$ wurde verworfen. ....	5
Tabelle 2: Fehlerfortpflanzungsrechnung.....	6
Tabelle 3: Berechnete und gemessene Vergrößerungen des Mikroskops.....	10
Tabelle 4: Endergebnis: Berechnete und gemessene Vergrößerungen des Mikroskops inklusive Fehlerrechnung.....	11
Tabelle 5: Messergebnisse zur Vergrößerung des Kepler'schen Fernrohres. ....	14

### 5.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundgestell, aus: [Betz, 2009], S. 4.....	2
Abbildung 2: Versuchsaufbau „Brennweitenbestimmung“, aus: [Betz, 2009], S. 4.....	2
Abbildung 3: Strahlengang einer Sammellinse. ....	3
Abbildung 4: Bessel-Verfahren.....	3
Abbildung 5: Ähnliche Dreiecke.....	7
Abbildung 6. Grafische Ermittlung der Brennweite (blaue Linien). Rot eingezeichnet: nominelle Brennweite (inkl. Toleranz). Schwarz eingezeichnet: ermittelte Brennweite (inkl. Toleranz).....	8
Abbildung 7: Strahlengang in einem Mikroskop.....	9
Abbildung 8: Strahlengang in einem Kepler'schen Teleskop.....	12



## 5.4 Literaturliste

- [Betz, 2009] G. Betz: Geometrische Optik. Praktikums-Skriptum, TU-Wien, 2009
- [Bessel, 1840] F.W.Bessel: Ueber ein Mittel zur Bestimmung der Brennweite des Objectivglases eines Fernrohres. In: Astronomische Nachrichten, Band XVII (1840), No. 403, S. 289–294
- [Demtröder, 2012] Wolfgang Demtröder. Experimentalphysik 2 Elektrizität und Optik, 6. Auflage. Springer, 2012