

Fakultät für Physik der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Fortgeschrittenenpraktikum I in Experimentalphysik - Kurs FP-I-O

Blockpraktikum vom 24. Februar bis 26. März 2025

Name:	Zhiyuan Han	Gruppe:	A4
-------	-------------	---------	----

Datum	Versuch		Punkte	Testat
	E	Mikroskopie@Home Mikroskopie mit dem Foldscope		
28.02. 2025	1	LIN – Abbildung durch Linsen		
	2	BEU – Beugung		
	3	LAS – Lasersicherheit		
	4A	INP – Interferenzphänomene		
	4B	MIN – Michelson-Interferometer		
	4D	FPI – Fabry-Pérot-Interferometer		
	4E	MZI – Mach-Zehnder-Interferometer		
	5B	LLA – c-Messung/Lambertscher Strahler		
	5C	POL – Polarisation		
	5F/5G	QCRY – Quantenkryptographie – Analogieexp.		

Unterschrift der/des Studierenden:	
------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum auf.

**Fakultät für Physik der
Ludwig-Maximilians-Universität München**

Fortgeschrittenenpraktikum I in Experimentalphysik - Kurs FP-I-0

Blockpraktikum vom 24. Februar bis 26. März 2025

Name:	Jozef Jurcik	Gruppe:	A4
-------	--------------	---------	----

Datum	Versuch		Punkte	Testat
28.02. 2025	E	Mikroskopie@Home		
		Mikroskopie mit dem Foldscope		
	1	LIN – Abbildung durch Linsen		
	2	BEU - Beugung		
	3	LAS - Lasersicherheit		
	4A	INP - Interferenzphänomene		
	4B	MIN - Michelson-Interferometer		
	4D	FPI - Fabry-Pérot-Interferometer		
	4E	MZI - Mach-Zehnder-Interferometer		
	5B	LLA - c-Messung/Lambertscher Strahler		
	5C	POL - Polarisation		
	5F/5G	QCRY – Quantenkryptographie – Analogieexp.		

Unterschrift der/des Studierenden:	
------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum auf.

Auswertung der LIN —Abbildung durch Linsen
Fortgeschrittenenpraktikum I- Kurs FP-I-O

Zhiyuan Han und Jozef Jurcik

28.02.2025

Ziele der Versuche:

Die Abbildungseigenschaften von Linsen und Linsensystemen und Methoden zur Bestimmung von Brennweiten sollen studiert werden.

3 Teilversuche:

1. Bestätigung der Abbildungsgleichung einer Linse

Die Bestimmung der Brennweite einer dünnen Sammellinse erfolgt einmal direkt nach der Abbildungsgleichung, unter Verwendung der Matrizenoptik und einmal nach dem Bessel-Verfahren. Außerdem kann die Abbildungsgleichung mit einem grafischen Verfahren bestätigt werden.

2. Abbildung durch ein System von Linsen

An einem System aus Sammel- und Zerstreuungslinse werden Positionsmessungen für das Objekt, das Bild und die Linsen vorgenommen, außerdem werden Abbildungsmaßstäbe bestimmt. Daraus ergeben sich die Positionen der Haupt- und Nebenachsen des Systems.

3. Brennweitenbestimmung mit dem Fernrohr

Die Brennweiten einer Sammel- und einer Zerstreuungslinse ergeben sich auf elementare Weise mit Hilfe eines auf unendlich eingestellten Fernrohrs.

TV 1.

JOZEF JURČÍK

Linienposition:

Zhiyuan Han

① Diapositiv: $0,1 = \Delta \times$
 $135,4 \pm 0,1$ cm

Schrin:

$12 \pm 0,1$ cm.

L_s : (klein Kaiser)

$37,3 \pm 0,1$ cm.

L_s : (groß Kaiser)

$110 \pm 0,1$ cm.

$$g_{\text{klein}} = 98,1 \pm 0,1 \text{ cm.}$$

$$g_{\text{groß}} = 25,4 \pm 0,1 \text{ cm.}$$

$$b_{\text{klein}} = 25,3 \pm 0,1 \text{ cm}$$

$$b_{\text{groß}} = 98 \pm 0,1 \text{ cm.}$$

$$(f)^{-1} = (g)^{-1} + (b)^{-1}$$

$$f = \left(\frac{1}{g} + \frac{1}{b} \right)^{-1}$$

$$f_{\text{klein}} \approx 20,11$$

$$f_{\text{groß}} \approx 20,17$$

② Schrim

$22 \pm 0,1$ cm.

L_s (groß Kaiser)

$109,2 \pm 0,1$ cm.

L_s (klein)

$48,1 \pm 0,1$ cm.

③ Schrim

$32 \pm 0,1$ cm.

L_s (klein Kaiser)

$59,4 \pm 0,1$ cm

L_s (groß Kaiser)

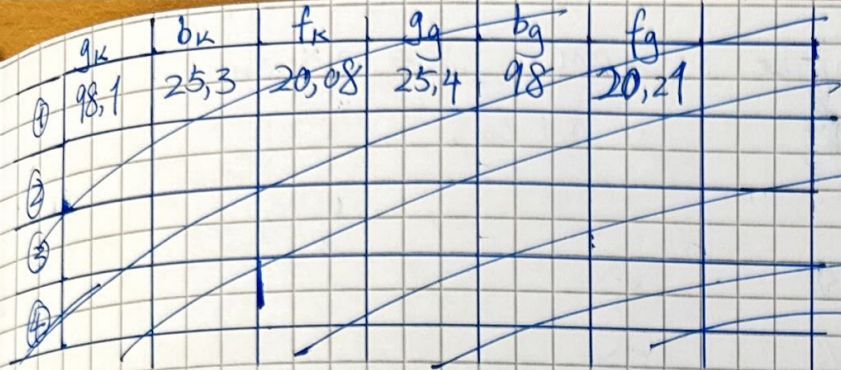
$107,9 \pm 0,1$ cm

④ Schrim

$42 \pm 0,1$ cm.

L_s (klein Kaiser): $71,1 \pm 0,1$ cm.

L_s (groß Kaiser): $106,1 \pm 0,1$ cm.



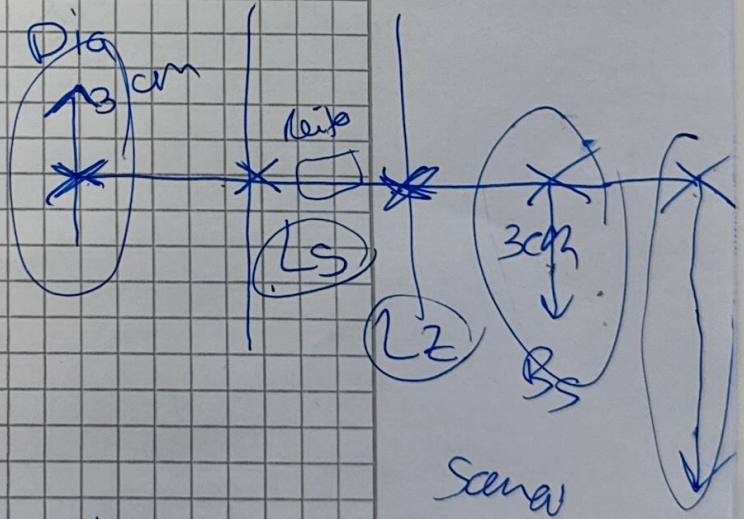
	klein			groß		
	b	g	f	b	g	f
①	25,3	98,1	20,11	98	25,4	20,11
②	26,1	87,3	20,09	87,2	26,2	20,15
③	27,4	76	20,14	75,9	27,5	20,19
④	29,1	64,3	20,03	64,1	29,3	20,11

$\Delta b = 0,2 \text{ cm}$
 $\Delta g = 0,2 \text{ cm}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g \pm \Delta g} + \frac{1}{b \pm \Delta b}$$

TVZ.

- Schirm: 55,0 $\pm 0,1 \text{ cm.}$
- L_s : 95,1 $\pm 0,1 \text{ cm.}$
- Diapositiv: 135,4 $\pm 0,1 \text{ cm.}$
- ① Lochfigur: 3,1 $\pm 0,1 \text{ cm.}$



L_z in (55) cm sehen wir

L_z fern zieht vom Diapositiv, die Abbildung verkleinert sich.
 L_z näher zieht ~~zur~~ Diapositiv, die Abbildung vergrößert sich.

Scherm

$$B = L_z + L_s$$

- Schirm: 19,5 $\pm 0,1 \text{ cm.}$ ($B = L_z + L_s$)
- L_z : 83,1 $\pm 0,1 \text{ cm.}$
- ② Lochfigur: 7,1 $\pm 0,1 \text{ cm.}$

Konstruktion von Hauptebenen und Brennpunkten
TEILVERSUCH 2. 30.05.2019

TEILVERSUCH 2.

2022 100%
Zhiyuan Han

Shiyan Han

LMU München
Physikalische Praktika

Physikalische Festigkeit

Versuch:

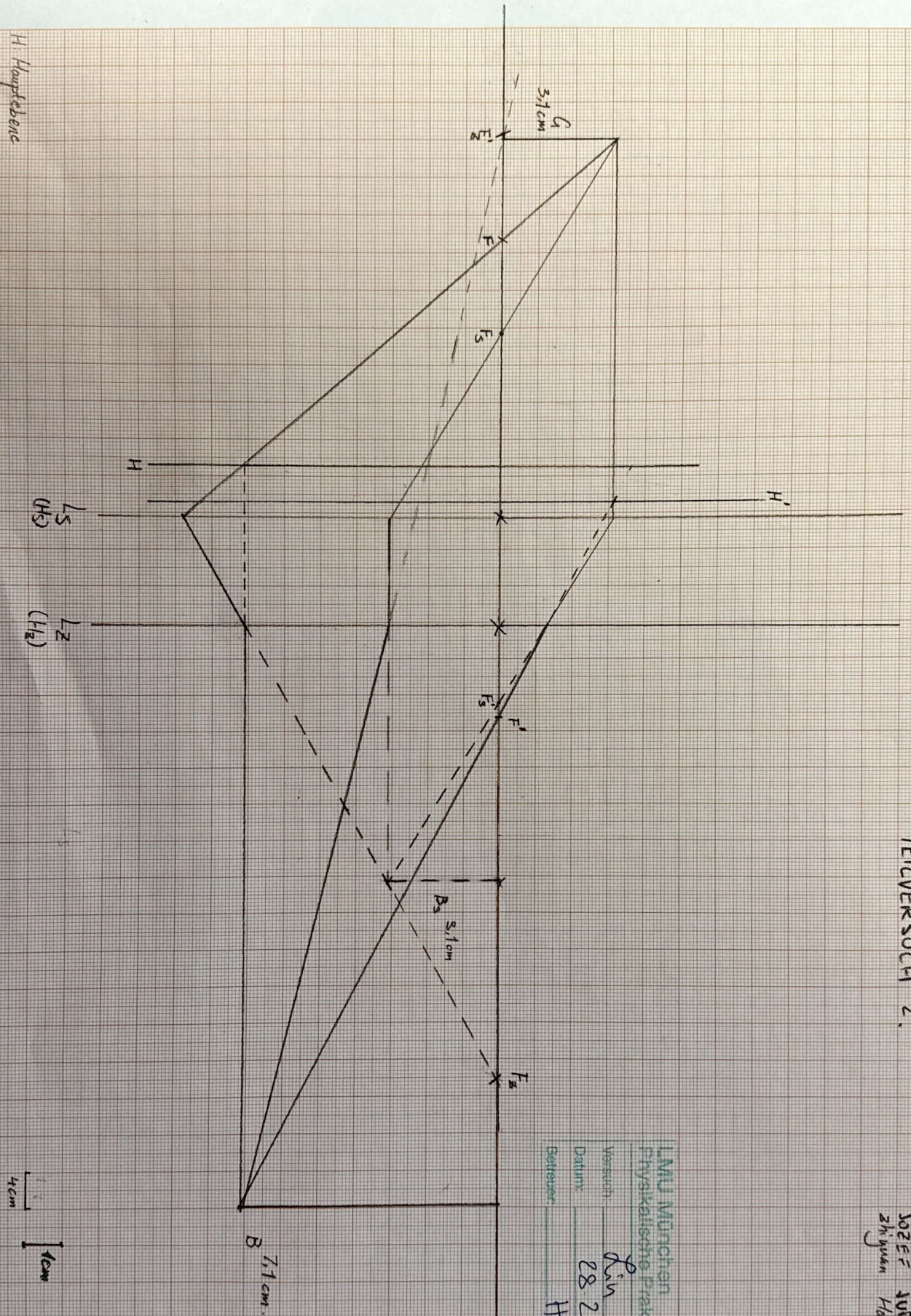
5.5

Datum:

28225

Beltrami:

14



4 cm

1 cm

TV3 Fernrohe : 5 cm $\pm 0,1$ cm.

L_s : 115,1 $\pm 0,1$ cm.

nur L_z bewegen $\left\{ \begin{array}{l} L_s : 107,5 \quad \sim \\ L_z : 84,6 \quad \sim \end{array} \right.$

zusammen bewegen $\left\{ \begin{array}{l} L_s : 103,8 \quad \sim \\ L_z : 87,8 \quad \sim \end{array} \right.$

virtuelle Objekt : 48,6 $\pm 0,1$ cm. ✓

L_s 103,8

LMU München
Physikalische Praktika

Versuch: _____

Datum: _____

Betreuer: _____

\tilde{L}_i

28.2.28

h

1 Teilversuch 1: Bestätigung der Abbildungsgleichung einer Linse

1.1 Auswertung (zu Hause)

- Graphische Bestätigung der Abbildungsgleichung

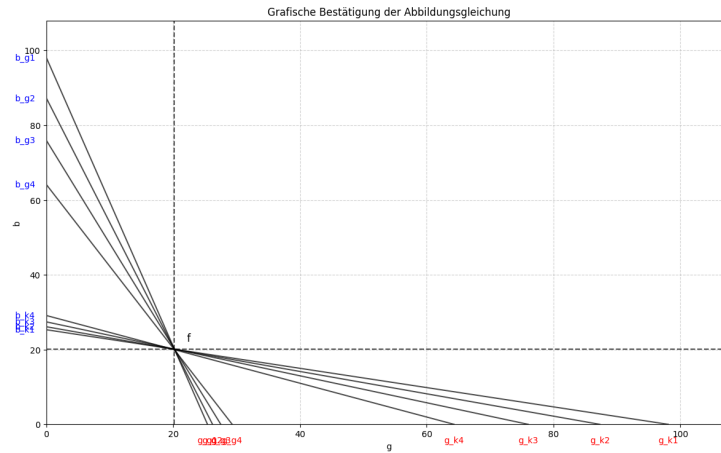


Abbildung 1: TV1 Grafische Bestätigung der Abbildungsgleichung

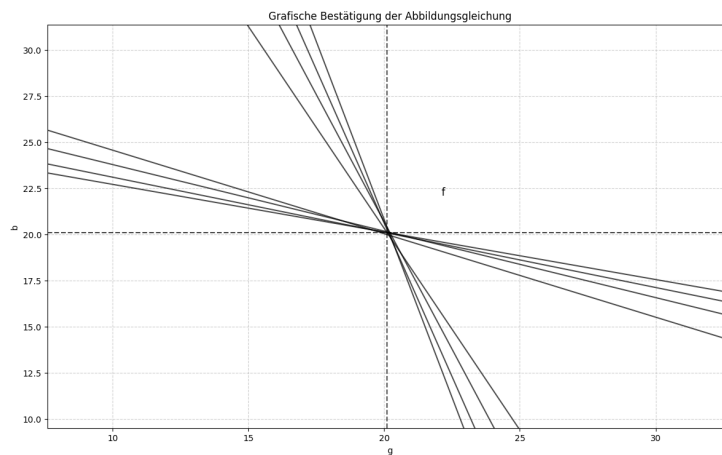


Abbildung 2: TV1 Schnittpunktbereichs in vergrößerter Darstellung (1)

Die Analyse der Schnittpunkte der Geraden zeigt, dass sie sich in makroskopisch schneiden. Und in mikroskopisch schneidet sich nicht. Die Gründe dafür ist:

1. Experimentelle Ungenauigkeiten: In einem realen Experiment gibt es immer Messfehler, Z.B.: durch ungenaue Ablesung oder Parallaxenfehler oder Instrumententoleranzen.
2. Theoretische Vereinfachungen: Linse ist nicht ideal. In der Theorie nimmt man an, dass die Linse ideal ist, aber in reale die Linsen haben Aberrationen die Bildgebung beeinflussen (z. B. sphärische Aberration oder chromatische Aberration).

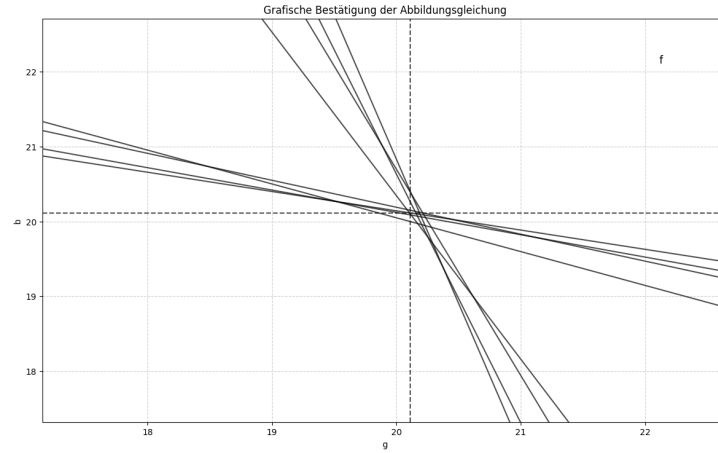


Abbildung 3: TV1 Schnittpunktbereichs in vergrößerter Darstellung (2)

```

1  import matplotlib.pyplot as plt
2  import numpy as np
3
4  # Definiere die gegebenen Daten für g und b
5  # g_k und b_k beziehen sich auf die jeweiligen Werte für die eine Seite
6  # g_g und b_g beziehen sich auf die andere Seite
7  data = {
8      "g_k": [98.1, 87.3, 76, 64.3],
9      "b_k": [25.3, 26.1, 27.4, 29.1],
10     "g_g": [25.4, 26.2, 27.5, 29.3],
11     "b_g": [98, 87.2, 75.9, 64.1]
12 }
13
14 # Erstelle eine neue Figure und Achse für die Darstellung
15 fig, ax = plt.subplots()
16 ax.set_xlabel("g") # Setzt die Bezeichnung der x-Achse
17 ax.set_ylabel("b") # Setzt die Bezeichnung der y-Achse
18 ax.set_title("Grafische Bestätigung der Abbildungsgleichung") # Setzt den Titel des Plots
19 ax.set_xlim(0, max(data["g_k"]) + 10) # Setzt die x-Achsen-Grenzen
20 ax.set_ylim(0, max(data["b_g"]) + 10) # Setzt die y-Achsen-Grenzen
21 ax.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6) # Fügt ein Gitternetz hinzu
22
23 # Zeichne die Linien für jede Datenreihe und beschrifte die Schnittpunkte
24 for i in range(len(data["g_k"])):
25     # Zeichne Linie von (0, b_k) nach (g_k, 0)
26     ax.plot([0, data["g_k"][i]], [data["b_k"][i], 0], 'k-', alpha=0.7)
27     ax.text(-5, data["b_k"][i], f"b_k{i+1}", fontsize=10, verticalalignment='center', color='blue') # Beschriftung b-Achse
28     ax.text(data["g_k"][i], -5, f"g_k{i+1}", fontsize=10, horizontalalignment='center', color='red') # Beschriftung g-Achse
29
30     # Zeichne Linie von (0, b_g) nach (g_g, 0)
31     ax.plot([0, data["g_g"][i]], [data["b_g"][i], 0], 'k-', alpha=0.7)
32     ax.text(-5, data["b_g"][i], f"b_g{i+1}", fontsize=10, verticalalignment='center', color='blue') # Beschriftung b-Achse
33     ax.text(data["g_g"][i], -5, f"g_g{i+1}", fontsize=10, horizontalalignment='center', color='red') # Beschriftung g-Achse
34
35 # Berechne den Brennpunkt (f) anhand der ersten Wertepaare
36 f = (data["g_k"][0] * data["b_k"][0]) / (data["g_k"][0] + data["b_k"][0])
37 ax.axhline(f, linestyle='--', color='black', alpha=0.7) # Zeichne eine gestrichelte Linie zur b-Achse
38 ax.axvline(f, linestyle='--', color='black', alpha=0.7) # Zeichne eine gestrichelte Linie zur g-Achse
39 ax.text(f + 2, f + 2, 'f', fontsize=12, color='black') # Beschrifte den Brennpunkt mit 'f'
40
41 # Zeige den Graphen an
42 plt.show()

```

Abbildung 4: TV1 Python code

Die Geraden schneiden sich zwar nicht exakt in einem Punkt, aber die Abweichungen sind erwartbar. Innerhalb eines gewissen Toleranzbereichs bestätigt die grafische Auswertung trotzdem die Abbildungsgleichung.

• Bessel-Verfahren

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Linsenposition x:														
2			Unsicherheit:				Unsicherheit:				Unsicherheit:				Unsicherheit:
3	1. Messen	in cm	0.1		2. Messen	in cm	0.1		3. Messen	in cm	0.1		4. Messen	in cm	0.1
4	Diapositiv	135.4			Diapositiv	135.4			Diapositiv	135.4			Diapositiv	135.4	
5	Schirm	12			Schirm	22			Schirm	32			Schirm	42	
6	L _s (klein Kaiser)	37.3			L _s (klein Kaiser)	48.1			L _s (klein Kaiser)	59.4			L _s (klein Kaiser)	71.1	
7	L _s (groß Kaiser)	110			L _s (groß Kaiser)	109.2			L _s (groß Kaiser)	107.9			L _s (groß Kaiser)	106.1	
8															
9	Für Abbildung "klein Kaiser"		0.2		Für Abbildung "klein Kaiser"		0.2		Für Abbildung "klein Kaiser"		0.2		Für Abbildung "klein Kaiser"		0.2
10	Gegenstandsweite g _k	98.1			Gegenstandsweite g _k	87.3			Gegenstandsweite g _k	76			Gegenstandsweite g _k	64.3	
11	Bildweite b _k	25.3			Bildweite b _k	26.1			Bildweite b _k	27.4			Bildweite b _k	29.1	
12	Brennweite f _{min}	19.979675			Brennweite f _{min}	19.96563			Brennweite f _{min}	20.017087			Brennweite f _{min}	19.91925	
13	Brennweite f _{max}	20.2475767			Brennweite f _{max}	20.22188			Brennweite f _{max}	20.261272			Brennweite f _{max}	20.14765	
14	Brennweite f	20.1127721			Brennweite f	20.09275			Brennweite f	20.13918			Brennweite f	20.03345	
15															
16															
17	Für Abbildung "groß Kaiser"		0.2		Für Abbildung "groß Kaiser"		0.2		Für Abbildung "groß Kaiser"		0.2		Für Abbildung "groß Kaiser"		0.2
18	Gegenstandsweite g _g	25.4			Gegenstandsweite g _g	26.2			Gegenstandsweite g _g	27.5			Gegenstandsweite g _g	29.3	
19	Bildweite b _g	98			Bildweite b _g	87.2			Bildweite b _g	75.9			Bildweite b _g	64.1	
20	Brennweite f _{min}	20.0370732			Brennweite f _{min}	20.0177			Brennweite f _{min}	20.064175			Brennweite f _{min}	19.99452	
21	Brennweite f _{max}	20.3063005			Brennweite f _{max}	20.27557			Brennweite f _{max}	20.307996			Brennweite f _{max}	20.22228	
22	Brennweite f	20.1716868			Brennweite f	20.14664			Brennweite f	20.186085			Brennweite f	20.1084	
23															

Abbildung 5: Excel Tabelle für Bessel-Verfahren (1)

Was oben in Tabelle gezeigt und berechnet ist die Gegenstandsweiten g_k , g_g und Bildweiten b_k , b_g aus den gemessenen Positionen.

Mit Hilfe der Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \Leftrightarrow f = \frac{gb}{g+b}$$

lässt sich die Brennweite f zu den Gegenstandsweite-Bildweite-Paaren ausrechnen. mit eine obere und eine untere Grenze für f an. die obere und untere Grenze für f mit Gleichung:

$$f_{min} = \frac{(g - \Delta g)(b - \Delta b)}{(g - \Delta g) + (b - \Delta b)}, f_{max} = \frac{(g + \Delta g)(b + \Delta b)}{(g + \Delta g) + (b + \Delta b)}$$

Wertepaare für a und e			Wertepaare für a und e			Wertepaare für a und e			Wertepaare für a und e		
Diapositiv-Schirm= a	123.4	0.2	Diapositiv-Schirm= a	113.4	0.2	Diapositiv-Schirm= a	103.4	0.2	Diapositiv-Schirm= a	93.4	0.2
g _k - g _g = e	72.7	0.4	g _k - g _g = e	61.1	0.4	g _k - g _g = e	48.5	0.4	g _k - g _g = e	35	0.4
f=[(a^2)-(e^2)]/(4*a)	20.1423622		f=[(a^2)-(e^2)]/(4*a)	20.11982		f=[(a^2)-(e^2)]/(4*a)	20.162742		f=[(a^2)-(e^2)]/(4*a)	20.07109	
*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.13572065		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.12559647		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.111899332		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.09417214	

Abbildung 6: Excel Tabelle für Bessel-Verfahren (2)

die Bessel-Verfahren werden wir mit unseren Daten und die Gleichung (6) aus LIN Skript berechnen.

$$f = \frac{a^2 - e^2}{4a}$$

- a ist die Differenz der Position den Diapositiv und Schirm.

- e ist die Differenz den g_k und g_g .

• Überprüfen Sie nun die Abbildungsgleichung mit dem Matrizenverfahren.

(*Sehr geehrte Frau Huber, in diesem Auswertung Wir haben die Messedaten von B und G nicht gemessen. wir wissen das nicht und sie haben auch nicht Bescheid gesagt. Trotzdem, wir haben G und B aus TV 2 genommen Und b habe ich für in TV1, wo der große Kaiser Maximilian rauskam war.)

Aus die Vorbereitung wissen wir, dass die Matrizenverfahren durch die folgenden Gleichung berechnen wird.

Matrizenverfahren			Matrizenverfahren			Matrizenverfahren			Matrizenverfahren		
Gegenstandshöhe G	3.1	0.1	Gegenstandshöhe G	3.1	0.1	Gegenstandshöhe G	3.1	0.1	Gegenstandshöhe G	3.1	0.1
Abbildungshöhe B	-7.1	0.1	Abbildungshöhe B	-7.1	0.1	Abbildungshöhe B	-7.1	0.1	Abbildungshöhe B	-7.1	0.1
Brennweite f	29.7843137		Brennweite f	26.50196		Brennweite f	23.067647		Brennweite f	19.48137	
*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.7322765		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.65216685		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.568442656		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.48117042	
Abbildungsleichung			Abbildungsleichung			Abbildungsleichung			Abbildungsleichung		
f = (g_g*b_g)/(g_g+b_g)	20.171799		f = (g_g*b_g)/(g_g+b_g)	20.14674		f = (g_g*b_g)/(g_g+b_g)	20.18617		f = (g_g*b_g)/(g_g+b_g)	20.10846	
*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.126424		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.11874063		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.108688279		*Gauß'schen Fehlerfortpflanzung Delta f	0.09623452	

Abbildung 7: Excel Tabelle für Matrizenverfahren

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{b}{n} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{f} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{g}{n} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ b & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{f} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ g & 1 \end{pmatrix}$$

$$M = \begin{pmatrix} 1 - \frac{g}{f} & -\frac{1}{f} \\ b + g - \frac{bg}{f} & 1 - \frac{b}{f} \end{pmatrix} \text{ mit } b + g - \frac{bg}{f} = 0$$

Betrachten wir nun die Strahlen.

$$\begin{pmatrix} n\beta \\ B \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} n\alpha \\ G \end{pmatrix}$$

$$\text{dann folgte } B = G \cdot \left(1 - \frac{b}{f}\right) \text{ und } f = \frac{bG}{G - B}$$

Jetzt mit Gleichung:

$$f = \frac{bG}{G - B}$$

Die gemessenen Werte von 1. Messenpaar sind:

$$b_g = 98 \pm 0.2 \text{ cm}$$

$$G = 3.1 \pm 0.1 \text{ cm}$$

$$B = -7.1 \pm 0.1 \text{ cm}$$

Die Brennweite f:

$$f = \frac{b_g G}{G - B} = \frac{98 \cdot 3.1}{3.1 - (-7.1)} = 29.78431373 \text{ cm}$$

die Fehler Δf nach dem Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial b_g} \cdot \Delta b_g\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial G} \cdot \Delta G\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B} \cdot \Delta B\right)^2} = 0.732276501 \text{ cm}$$

Das 1. Endergebnis ist dann: $f_{\text{Matrizen}} = 29.8 \pm 0.8 \text{ cm}$

Wir haben insgesamt 4 Messepaar und die sind alle in oben Tabelle der Abbildung 7. Es wird alle analoge wie 1. Messenpaar ausgerechnet.

Das 2. Endergebnis ist dann: $f_{\text{Matrizen}} = 26.5 \pm 0.7 \text{ cm}$

Das 3. Endergebnis ist dann: $f_{\text{Matrizen}} = 23.1 \pm 0.6 \text{ cm}$

Das 4. Endergebnis ist dann: $f_{\text{Matrizen}} = 19.5 \pm 0.5 \text{ cm}$

Nach der Abbildungsgleichung gilt die 1. Messenpaar:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g_g} + \frac{1}{b_g} \Leftrightarrow f = \frac{g_g b_g}{g_g + b_g}$$

Die Werte aus Abbildung 7 ablesen

$$b_g = 98 \pm 0.2 \text{ cm}, \quad g_g = 25.4 \pm 0.2 \text{ cm}$$

$$f = \frac{25.4 \cdot 98}{25.4 + 98} = 20.17179903 \text{ cm}$$

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial g_g} \cdot \Delta g_g\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b_g} \cdot \Delta b_g\right)^2} = 0.126424001 \text{ cm}$$

Das 1. Endergebnis ist dann: $f_{\text{Abbildung}} = 20.17 \pm 0.13 \text{ cm}$

Wir haben insgesamt 4 Messepaar und die sind alle in oben Tabelle der Abbildung 7. Es wird alle analoge wie 1. Messenpaar ausgerechnet.

Das 2. Endergebnis ist dann: $f_{\text{Abbildung}} = 20.15 \pm 0.12 \text{ cm}$

Das 3. Endergebnis ist dann: $f_{\text{Abbildung}} = 20.19 \pm 0.11 \text{ cm}$

Das 4. Endergebnis ist dann: $f_{\text{Abbildung}} = 20.11 \pm 0.10 \text{ cm}$

• Vergleichen Sie die verschiedenen Verfahren und Ihre Ergebnisse.

1. Messepaar: $f_{\text{Matrizen}} = 29.8 \pm 0.8 \text{ cm}$, $f_{\text{Abbildung}} = 20.17 \pm 0.13 \text{ cm}$

2. Messepaar: $f_{\text{Matrizen}} = 26.5 \pm 0.7 \text{ cm}$, $f_{\text{Abbildung}} = 20.15 \pm 0.12 \text{ cm}$

3. Messepaar: $f_{\text{Matrizen}} = 23.1 \pm 0.6 \text{ cm}$, $f_{\text{Abbildung}} = 20.19 \pm 0.11 \text{ cm}$

4. Messepaar: $f_{\text{Matrizen}} = 19.5 \pm 0.5 \text{ cm}$, $f_{\text{Abbildung}} = 20.11 \pm 0.10 \text{ cm}$

Im Praktikum wurden drei verschiedene Verfahren verwendet, um die Brennweite f der Linse zu bestimmen:

1. Graphisches Verfahren: Bestimmung der Brennweite durch den Schnittpunkt der Geraden in der grafischen Darstellung.

2. Bessel-Verfahren: Berechnung der Brennweite anhand der Messungen mit zwei verschiedenen Linsenpositionen.

3. Matrizenverfahren: Verwendung der Matrizenmethode zur theoretischen Berechnung der Brennweite.

Die Werte für f , die mit dem Matrizenverfahren bestimmt wurden, zeigen eine hohe Variabilität (zwischen 19.5 cm und 29.8 cm) mit großen Unsicherheiten (bis ± 0.8 cm). Das Bessel-Verfahren liefert stabilere Werte für die Brennweite, die zwischen 20.1 cm und 20.2 cm liegen, mit einer Unsicherheit

von maximal ± 0.2 cm. Die Methode mit der Abbildungsgleichung ergibt ebenfalls Werte zwischen 20.1 cm und 20.2 cm, mit Unsicherheiten von ± 0.1 cm bis ± 0.2 cm.

Vor- und Nachteile der Verfahren:

1. Graphisches Verfahren Vor: Intuitive Visualisierung der Abbildungsgleichung. Direkte Bestimmung von f aus dem Schnittpunkt.

Nach: Abhängig von der Genauigkeit der grafischen Darstellung. Erhöhte Unsicherheit durch visuelle Ablesefehler.

2. Bessel-Verfahren Vor: Sehr präzise Methode, Weil systematische Fehler minimiert werden. Unabhängig von der Dicke der Linse. Liefert konsistente Werte für f .

Nach: Erfordert zwei verschiedene Linsenpositionen. Genaue Messung der Verschiebung notwendig.

3. Matrizenverfahren Vor: Mathematisch präzise Methode zur theoretischen Berechnung. Berücksichtigt optische Prinzipien und erlaubt Verallgemeinerungen.

Nach: Hohe Unsicherheit in der Praxis. Sensitiv gegenüber Messfehlern in G und B , da kleine Änderungen große Schwankungen in f verursachen.

2 Teilversuch 2: Abbildung durch ein System von Linsen

2.1 Auswertung (zu Hause)

	Ermitteln Wert	aus der Konstruktion in cm	Unsicherheit	Horizontalen Richtung				
				in real 1:4	Unsicherheit in real 1:4			
	Links f_s	5	0.1					
	Rechts f_s	5.1	0.1					
	f_s	5.05	0.1	20.2	0.4			
	Links f_z	12.3	0.1					
	Rechts f_z	12.5	0.1					
	f_z	12.4	0.1	49.6	0.4			
	Links f	6.1	0.1					
	Rechts f	6.9	0.1					
	f	6.5	0.1	26	0.4			
	h	1	0.1	4	0.4			
	g	8.7	0.1	34.8	0.4			
	b	19.2	0.1	76.8	0.4			
	d	3	0.1	12	0.4			
Vertikalen	G	3.1	0.1					
	B	7.1	0.1					
	Gleichung(1)	$f = (b \cdot g) / (b + g)$	23.9483871	obere Grenze	$f_{\max} - f$	0.22812536		
				untere Grenze	$f - f_{\min}$	0.2285315		
	Gleichung(2)	$B/G = b/g$	2.290322581	obere Grenze	-0.040322581	2.20689655	obere Grenze	-0.0137147
				untere Grenze	-0.043010753		untere Grenze	-0.0140337
	Gleichung(9)	$h = (-d^2) / (f_1 + f_2 - d)$	2.491349481	obere Grenze	$h_{\max} - h$	0.15057492		
				untere Grenze	$h - h_{\min}$	0.14709861		
	Gleichung(10)	$f = (f_1 \cdot f_2) / (f_2 + f_1 - d)$	17.33425606	obere Grenze	$f_{\max} - f$	0.36333845		
				untere Grenze	$f - f_{\min}$	0.36282748		

Abbildung 8: Tabelle für Werte ermitteln f_s, f_z, f, h, g, b und gleichung (1), (2), (9), (10)

Es wurde mit Maßstab 1:4 auf der Horizontalen und 1:1 auf der Vertikalen gearbeitet.

Aus der Konstruktion abgelesen:

$$f_s = \frac{f_{s,\text{rechts}} + f_{s,\text{links}}}{2} \cdot 4 = 20.2 \text{ cm}$$

$$f_z = \frac{f_{z,\text{rechts}} + f_{z,\text{links}}}{2} \cdot 4 = 49.6 \text{ cm}$$

$$f = \frac{f_{\text{rechts}} + f_{\text{links}}}{2} \cdot 4 = 26 \text{ cm}$$

$$h = 1 \text{ cm} \cdot 4 = 4 \text{ cm}$$

$$g = 8.7 \text{ cm} \cdot 4 = 34.8 \text{ cm}$$

$$b = 19.2 \text{ cm} \cdot 4 = 76.8 \text{ cm}$$

$$d = 3 \text{ cm} \cdot 4 = 12 \text{ cm}$$

Die Fehler beim Ablesen wurden auf 0,1 cm geschätzt, demnach ergibt sich für die tatsächlichen Größen ein Fehler von $0,1 \text{ cm} \cdot 4 = 0,4 \text{ cm}$.

Nun wollen wir die Gleichungen (1), (2), (9), (10) bestätigen:

$$\text{Gleichungen (1): } f = \left(\frac{1}{g} + \frac{1}{b} \right)^{-1} = 23.9483871 \text{ cm}$$

Obere Grenze:

$$f_{\max} - f = 0.228125359 \text{ cm}$$

Untere Grenze:

$$f - f_{\min} = 0.228531501 \text{ cm}$$

Runde nach DIN 1333 auf:

$$f_1 = \left(23.95 \pm \begin{smallmatrix} 0,23 \\ 0,23 \end{smallmatrix} \right) \text{ cm}$$

$$\text{Gleichungen (2): } \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

$$\frac{B}{G} = 2.290322581 \text{ cm}$$

Obere Grenze:

$$\left(\frac{B}{G} \right)_{\max} - \frac{B}{G} = 0.040322581 \text{ cm}$$

Untere Grenze:

$$\frac{B}{G} - \left(\frac{B}{G} \right)_{\min} = 0.043010753 \text{ cm}$$

Runde nach DIN 1333 auf:

$$\frac{B}{G} = \left(2.29 \pm \begin{smallmatrix} 0,04 \\ 0,05 \end{smallmatrix} \right) \text{ cm}$$

$$\frac{b}{g} = 2.206896552 \text{ cm}$$

Obere Grenze:

$$\frac{b}{g_{\max}} - \frac{b}{g} = 0.013714734 \text{ cm}$$

Untere Grenze:

$$\frac{b}{g} - \frac{b}{g_{\min}} = 0.014033681 \text{ cm}$$

Runde nach DIN 1333 auf:

$$\frac{b}{g} = \left(2.21 \pm \begin{smallmatrix} 0,02 \\ 0,02 \end{smallmatrix} \right) \text{ cm}$$

$$\text{Gleichungen (9): } h = \frac{-d^2}{f_s + f_z - d} = 2.491349481 \text{ cm}$$

Obere Grenze:

$$h_{\max} - h = 0.150574918 \text{ cm}$$

Untere Grenze:

$$h - h_{\min} = 0.14709861 \text{ cm}$$

Runde nach DIN 1333 auf:

$$h = \left(2.49 \pm \begin{smallmatrix} 0,15 \\ 0,15 \end{smallmatrix} \right) \text{ cm}$$

$$\text{Gleichungen (10): } f = \frac{f_s f_z}{f_s + f_z - d} = 17.33425606 \text{ cm}$$

Obere Grenze:

$$f_{\max} - f = 0.363338446 \text{ cm}$$

Untere Grenze:

$$f - f_{\min} = 0.362827484 \text{ cm}$$

Runde nach DIN 1333 auf:

$$f = \left(17.34 \pm \begin{smallmatrix} 0,37 \\ 0,36 \end{smallmatrix} \right) \text{ cm}$$

Einige Werte stimmen gut überein, insbesondere die Verhältniswerte ($\frac{G}{B}$ und $\frac{g}{b}$). Andere Werte zeigen signifikante Unterschiede, insbesondere die Brennweiten f und die Hilfsgröße h , was auf systematische Fehler hindeutet. Potenzielle Ursachen für die Abweichungen: 1. Ablesefehler durch den Maßstab. 2. Systematische Fehler durch ungenaue Positionierung der Messpunkte. 3. Berechnungsfehler oder vernachlässigte Korrekturfaktoren.

3 Teilversuch 3: Brennweitenbestimmung mit dem Fernrohr

3.1

Wir haben die Brennweite der Sammellinse mit der Fernrohrmethode direkt gemessen, wie in Abbildung 9 dargestellt. Die Position der Linse wurde an der Position $y_s = (115.1 \pm 0.1)$ cm und das Objekt an der Position $y_g = (135.4 \pm 0.1)$ cm gemessen.

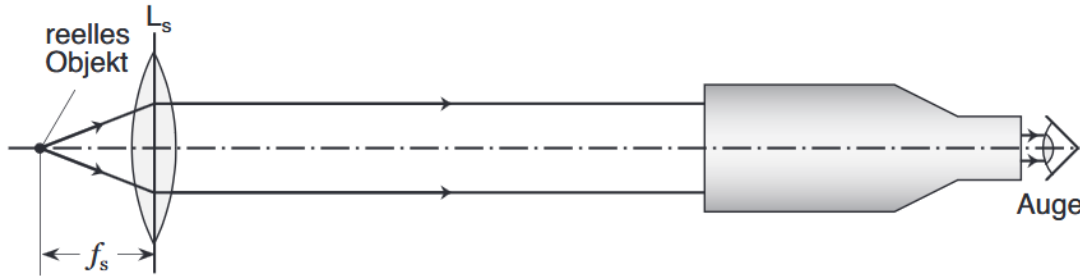


Abbildung 9: Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse nach der Fernrohrmethode

Die Unsicherheit ist:

$$\Delta f_s = \sqrt{(\Delta y_g)^2 + (\Delta y_s)^2} = \sqrt{(1mm)^2 + (1mm)^2} = 1.414mm$$

Also:

$$f_s = y_{g_0} - y_{s_0} \pm \Delta f_s = (20.30 \pm 0.15)cm$$

3.2

Als Nächstes haben wir den Versuchsaufbau wie in Abbildung 10 gezeigt aufgebaut und diese (Tabelle 1) Werte gemessen:

	vor Schärfentiefe minimierung	nach Schärfentiefe minimierung
y_s - Position der Sammellinse	107,5	103,8
y_z - Position der Zerstreuungslinse	84,6	87,8
y_g - Position des Objekts	135,4	135,4
y_b - Position des virtuellen Objekts	-	48,6

Tabelle 1: Position der Linsen, wenn das Gitter scharf gesehen wurde, gemessen in cm mit einer Unsicherheit von $\pm 0,1$ cm

3.3 vor Schärfentiefe minimierung

Die Position des virtuellen Objekts kann mit der Abbildungsgleichung berechnet werden:

$$\frac{1}{f_s} = \frac{1}{g_1} + \frac{1}{b_1} \rightarrow b_1 = (f_s^{-1} - g_1^{-1})^{-1}$$

Wo

$$f_s = (20.30 \pm 0.15)cm$$

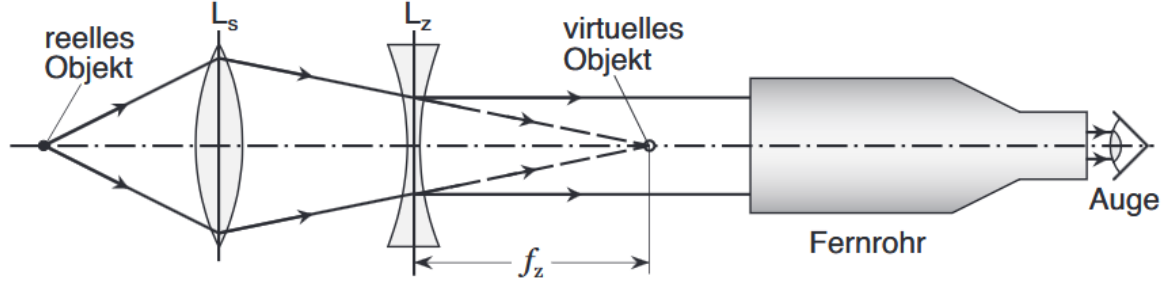


Abbildung 10: Bestimmung der Brennweite einer Zerstreulinse nach der Fernrohrmethode

und

$$g_1 = y_g - y_{s1} \pm \Delta g_1$$

$$\Delta g_1 = \sqrt{(\Delta y_g)^2 + (\Delta s_1)^2} = \sqrt{(1mm)^2 + (1mm)^2} = 1.414mm$$

$$g_1 = (27.90 \pm 0.15)cm$$

Also:

$$\Delta b_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial b_1}{\partial f_s} \Delta f_s\right)^2 + \left(\frac{\partial b_1}{\partial g_1} \Delta g_1\right)^2}$$

$$\frac{\partial b_1}{\partial f_s} = \frac{\partial}{\partial f_s} (f_s^{-1} - g_1^{-1})^{-1} = \frac{1}{(f_s^{-1} - g_1^{-1})^2} \frac{\partial}{\partial f_s} (f_s^{-1} - g_1^{-1}) = \frac{1}{(f_s^{-1} - g_1^{-1})^2} \left(-\frac{1}{f_s^2}\right) = \frac{g_1^2}{(g_1 - f_s)^2}$$

$$\frac{\partial b_1}{\partial g_1} = \frac{\partial}{\partial g_1} (f_s^{-1} - g_1^{-1})^{-1} = \frac{1}{(f_s^{-1} - g_1^{-1})^2} \frac{\partial}{\partial g_1} (f_s^{-1} - g_1^{-1}) = \frac{1}{(f_s^{-1} - g_1^{-1})^2} \frac{1}{g_1^2} = \frac{f_s^2}{(g_1 - f_s)^2}$$

$$\Delta b_1 = \sqrt{\left(\frac{g_1^2}{(g_1 - f_s)^2} \Delta f_s\right)^2 + \left(\frac{f_s^2}{(g_1 - f_s)^2} \Delta g_1\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{279^2 mm^2}{(279mm - 203mm)^2} 1.5mm\right)^2 + \left(\frac{203^2 mm^2}{(279mm - 203mm)^2} 1.5mm\right)^2} = 22.87mm$$

$$b_1 = (f_{s0}^{-1} - g_{10}^{-1})^{-1} \pm \Delta b_1 = (203^{-1} mm^{-1} - 279^{-1} mm^{-1})^{-1} \pm \Delta b_1 = (745 \pm 23)mm$$

Schließlich:

$$f_z = b_1 - (y_{s1} - y_{z1})$$

$$\Delta f_z = \sqrt{(\Delta b_1)^2 + (\Delta y_{s1})^2 + (\Delta y_{z1})^2}$$

$$\Delta f_z = \sqrt{(23mm)^2 + (1mm)^2 + (1mm)^2} = 23.04mm$$

$$f_z = 74.5cm - 107.5cm + 84.6cm \pm 2.4cm = (51.6 \pm 2.4)cm$$

3.4 nach Schärfentiefe minimierung

Hier kann die Brennweite der Zerstreuungslinse wie folgt berechnet werden:

$$f_z = y_{z_2} - y_b$$

Die Unsicherheit ist:

$$\Delta f_z = \sqrt{(\Delta y_{z_2})^2 + (\Delta y_b)^2} = \sqrt{(1mm)^2 + (1mm)^2} = 1.5mm$$

Schließlich:

$$f_z = 87.8cm - 48.6cm \pm \Delta f_z = (39,2 \pm 0.15)cm$$

Unser experimenteller Wert von $f_z = (51.6 \pm 2.4)cm$ vor der Minimierung der Schärfentiefe unterscheidet sich signifikant von unserem Wert von $f_z = (39,2 \pm 0.15)cm$ nach der Minimierung der Schärfentiefe. Die Ursache für die Ungenauigkeit könnte eine ungenaue Ablesung der Position oder eine unzureichende Scharfeinstellung des Bildes gewesen sein.