Inhaltsverzeichnis

1 Versuchsbeschreibung und Physikalische Grundlagen **2**

2 Messwerte und Auswertung **3**
2.1 Ermittlung der Brennweite nach Bessel 3
2.2 Ermittlung der Brennweite mithilfe eines Sphärometers 4
2.3 Untersuchung eines Linsensystems und Ermittlung der Hauptebenen 5
2.4 Grafische Darstellung des Linsensystems und Konstruktion der Hauptebenen 9

3 Fehler- und Ergebnisdiskussion **9**

4 Literatur **9**

5 Anhang **9**
5.1 Grafische Konstruktion des Linsensystems 10
5.2 Messdatenprotokoll aus dem Versuch 11

1 Versuchsbeschreibung und Physikalische Grundlagen

Im zu bearbeitenden Experiment sollte sich mit dem geometrischen Verhalten von Lichtstrahlen an Linsen und Linsensystemen befasst werden. Im Fokus stand dabei die Ermittlung der Brennweiten der zu untersuchenden Linsen. Für einzelne Linsen existieren die Methoden von Bessel und der geometrischen Vermessung mit einem Sphärometer, sowie anschließender Verwendung der Linsenschleiferformel. Nach Bessel gilt für die Brennweite f einer Linse

$$f = \frac{l^2 - e^2}{4l}. \tag{1}$$

Dabei ist e der Abstand zwischen den zwei Linsenstellungen, bei denen sich für einen festen Abstand l zwischen Gegenstand und Bild ein scharfes Bild einstellt. Bei der zweiten Methode wird auf der Linse mit einem Sphärometer die Höhenänderung h auf einem Radius r gemessen. Aus dem Satz des Pythagoras folgt dann für den Radius R der Linse

$$R = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2}. \tag{2}$$

Zu beachten ist, dass bei konkaven Grenzflächen eine negative Höhe gemessen wird. Wurden beide Seiten der Linse vermessen, kann mit der Linsenschleiferformel

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \tag{3}$$

die Brennweite berechnet werden.

Bei Linsensystemen ist die Ermittlung der Hauptebenen von Bedeutung. Diese Ebenen sind von theoretischer Natur und ersetzen die zweifache Brechung eines Lichtstrahls mit einer einfachen an der Hauptebene. Je nach dem, von welcher Seite das Licht einfällt, kann die Brechung mit einer anderen Hauptebene beschrieben werden, weswegen es zwei Hauptebenen gibt. Weiterhin von Interesse ist die Brennweite des Systems. Gemessen wird sie von den Hauptebenen aus. Zur Ermittlung dieser Größen wird nach Ernst Abbe verfahren. Auf einer optischen Bank war eine Glühlampe installiert, die eine Millimeterskala ausleuchtete. Diese Gegenstandsstrahlen wurden dann auf ein System aus zwei Linsen (die Linsen, dessen Brennweiten vorher ermittelt wurden) geworfen, diese Linsen waren befestigt auf einem Sockel, der auf Länge der optischen Bank verschoben werden konnte. Hinter dem Linsensystem befand sich ein verschiebbarer Schirm, auf dem ein Bereich von 20 mm markiert war, weswegen nun die Vergrösserung

$$\gamma = \frac{B}{G} \tag{4}$$

berechnet werden konnte. Die Stellungen der Sockel ließen sich durch ein an der optischen Bank befestigtes Maßband ablesen. Nach [1], S. 72 lässt sich nun für jede Bildweite die Gleichung

$$x = f\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) + c \tag{5}$$

erfüllen, wobei x der Abstand zwischen einer beliebigen Kante des Systems und dem Gegenstand und c der Abstand zwischen der Kante und der gegenstandsseitigen Hauptebene ist. Dreht man anschließend das Linsensystem um 180°, lässt sich gleiches für die andere Hauptebene durchführen.

Zum Schluss sollte eine Zeichnung des Linsensystems angefertigt werden, um grafisch die Hauptebenen zu ermitteln.

Eine ausführlichere Beschreibung des Experimentes findet sich [1], S.70-73 und S.42-45.

2 Messwerte und Auswertung

2.1 Ermittlung der Brennweite nach Bessel

Zuerst sollte mithilfe der Besselmethode die Brennweite der Linse 2 ermittelt werden. Dazu wurden zehn verschiedene Abstände l eingestellt und für jede Stellung die beiden Positionen ermittelt, in denen ein scharfes Bild zu sehen war. Zu beachten ist, dass alle gemessenen Größen mit einem zufälligen Fehler von einem halben Skalenteil, also $e_z = 0.5\,\mathrm{mm}$ und einem systematischen Fehler des Büromaßstabes

$$e_s = 200\,\mu\mathrm{m} + L \cdot 10^{-3}$$

behaftet waren, die sich pythagoreisch zur Unsicherheit aufaddieren. Da sich die Größe e aus zwei Messwerten (links und rechts) zusammensetzt, addieren sich die Unsicherheiten dieser Größen wiederum pythagoreisch. Für die Unsicherheit der nach (1) resultierenden Brennweiten gilt dann nach Gauß'scher Fehlerfortpflanzung

$$\begin{aligned} u_f &= \sqrt{\left(u_l \frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 + \left(u_e \frac{\partial f}{\partial e}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(u_l \left(\frac{1}{4} + \frac{e^2}{4l^2}\right)\right)^2 + \left(u_e \cdot \frac{e}{2l}\right)^2}. \end{aligned}$$

Damit ergibt sich folgende Tabelle 2.1.

l [m]	u_l [m]	e [m]	u_e [m]	f [m]	u_f [m]
1.00	$1.3000{\cdot}10^{-3}$	$5.9200{\cdot}10^{-1}$	$1.2542{\cdot}10^{-3}$	$1.6238{\cdot}10^{-1}$	$5.7485{\cdot}10^{-4}$
1.05	$1.3463{\cdot}10^{-3}$	$6.5000{\cdot}10^{-1}$	$1.2951{\cdot}10^{-3}$	$1.6190{\cdot}10^{-1}$	$6.1436{\cdot}10^{-4}$
1.10	$1.3928{\cdot}10^{-3}$	$7.0400{\cdot}10^{-1}$	$1.3359{\cdot}10^{-3}$	$1.6236{\cdot}10^{-1}$	$6.5089{\cdot}10^{-4}$
1.15	$1.4396{\cdot}10^{-3}$	$7.5400{\cdot}10^{-1}$	$1.3742{\cdot}10^{-3}$	$1.6391{\cdot}10^{-1}$	$6.8394{\cdot}10^{-4}$
1.20	$1.4866{\cdot}10^{-3}$	$8.1200{\cdot}10^{-1}$	$1.4197{\cdot}10^{-3}$	$1.6264{\cdot}10^{-1}$	$7.2407{\cdot}10^{-4}$
1.25	$1.5338{\cdot}10^{-3}$	$8.6700{\cdot}10^{-1}$	$1.4634{\cdot}10^{-3}$	$1.6216{\cdot}10^{-1}$	$7.6163{\cdot}10^{-4}$
1.30	$1.5811{\cdot}10^{-3}$	$9.2000{\cdot}10^{-1}$	$1.5060{\cdot}10^{-3}$	$1.6223{\cdot}10^{-1}$	$7.9745{\cdot}10^{-4}$
1.35	$1.6286{\cdot}10^{-3}$	$9.7200{\cdot}10^{-1}$	$1.5493{\cdot}10^{-3}$	$1.6254{\cdot}10^{-1}$	$8.3265{\cdot}10^{-4}$
1.40	$1.6763{\cdot}10^{-3}$	1.0260	$1.5938{\cdot}10^{-3}$	$1.6202{\cdot}10^{-1}$	$8.6948{\cdot}10^{-4}$
1.45	$1.7241{\cdot}10^{-3}$	1.0770	$1.6371{\cdot}10^{-3}$	$1.6251{\cdot}10^{-1}$	$9.0387{\cdot}10^{-4}$

Tabelle 1: Messwerte und Auswertung nach Bessel

Hier böte sich ein gewichtetes Mittel an, doch wie man in Abbildung 1 sehen kann, ist einer der Werte nicht in Konsistenz mit den anderen. Da von experimenteller Seite kein Grund besteht, ihn zu verwerfen, wird eine normale Mittelwertbildung mit Größtfehlerabschätzung vollzogen. Damit ergibt sich als Endwert der Brennweite von Linse 2

$$f = (16.2 \pm 0.2)\,\mathrm{cm}. \tag{6}$$

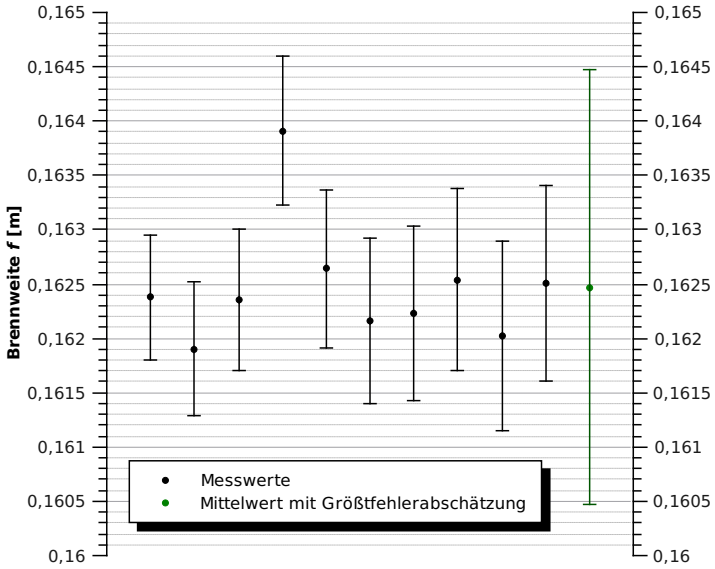

Abbildung 1: Werte der Methode nach Bessel

2.2 Ermittlung der Brennweite mithilfe eines Sphärometers

Linse 3 wurde nun mit einem Sphärometer vermessen. Für die systematische Unsicherheit des Gerätes gilt nach [2], S.17 als Analogon zur Bügelmessschraube

$$e_s = 5\,\mu\text{m} + L \cdot 10^{-5}.$$

Nun wurde auf jeder Seite der Linse die Höhe gemessen, zu beachten ist, dass für die konkave Seite die Höhenwerte negativ sind. Nach statistischer Betrachtung der Messwerte können nach (2) die Krümmungsradien der Linse berechnet werden, wobei für deren Unsicherheit mit Gauß'scher Fehlerfortpflanzung

$$\begin{aligned} u_R &= u_h \cdot \frac{\partial R}{\partial h} \\ &= u_h \left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{2h^2} \right) \end{aligned}$$

gilt. In der folgenden Tabelle 2 findet sich die Auswertung.

Messung i	Konvexe Seite h_{1i} [mm]	Konkave Seite h_{2i} [mm]
1	1.650	-2.220
2	1.655	-2.220
3	1.660	-2.225
4	1.650	-2.225
5	1.660	-2.225
6	1.650	-2.225
Mittelwert $\bar{h}$ [m]	$1.654{\cdot}10^{-3}$	$-2.223{\cdot}10^{-3}$
Standardabweichung σ [m]	$4.92{\cdot}10^{-6}$	$2.58{\cdot}10^{-6}$
Vertrauensbereich e_z [m]	$2.01{\cdot}10^{-6}$	$1.05{\cdot}10^{-6}$
Systematischer Fehler e_s [m]	$5.02{\cdot}10^{-6}$	$4.98{\cdot}10^{-6}$
Unsicherheit u [m]	$5.40{\cdot}10^{-6}$	$5.09{\cdot}10^{-6}$
Endwerte	$R_1 = (6.88 \pm 0.02)$ cm	(-5.17 ± 0.01) cm

Tabelle 2: Ausmessung mit Sphärometer und resultierende Krümmungsradien

Nun kann mit der Linsenschleiferformel (3) die reziproke Brennweite nebst Unsicherheit bestimmt werden.

Der Radius des Sphärometers beträgt $r = 15\,\mathrm{mm}$, die Brechzahl der Linse $n = 1.51$, beide Größen sind als unsicherheitenfrei anzunehmen. Es ergibt sich

$$f^{-1} = -2.45\,\frac{1}{\mathrm{m}}. \tag{7}$$

Für die Unsicherheit der reziproken Brennweite gilt damit

$$\begin{aligned} u_{f^{-1}} &= \sqrt{\left(u_{R_1}\frac{\partial f^{-1}}{\partial R_1}\right)^2 + \left(u_{R_2}\frac{\partial f^{-1}}{\partial R_2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(u_{R_1}\frac{1-n}{R_1^2}\right)^2 + \left(u_{R_2}\frac{1-n}{R_2^2}\right)^2} \\ &= 0.04\,\frac{1}{\mathrm{m}}. \end{aligned}$$

Mit $f = \frac{1}{f^{-1}}$ und $u_f = u_{f^{-1}}\frac{1}{(f^{-1})^2}$ folgt die schließliche Brennweite

$$f_3 = (-40.8 \pm 0.6)\,\mathrm{cm} \tag{8}$$

2.3 Untersuchung eines Linsensystems und Ermittlung der Hauptebenen

Nun wurden Linse 2 und 3 dergestalt auf einem Sockel montiert, dass sie in einem Abstand von $d = 12\,\mathrm{cm}$ zwischen Gegenstand und Schirm lagen. Für zehn verschiedene Bildweiten konnten nun die Vergrößerung γ und der Abstand x zwischen linker Sockelkante und Gegenstand ermittelt werden. Die Bildgröße beträgt stets $B = (20.0 \pm 0.5)\,\mathrm{mm}$. Nach Theorie beträgt die Unsicherheit der Gegenstandsgröße einen halben Skalenteil $u_G = 0.5\,\mathrm{mm}$. Doch je nach Vergrößerung des Gegenstandbildes stellt sich eine vergrößerte Skala ein, die das Ablesen der Gegenstandsgröße sicherer macht. Damit verhält sich die Ableseunsicherheit also antiproportional zur Vergrößerung, d.h.

$$u_G = \frac{0.5\,\mathrm{mm}}{\gamma}.$$

Das bedeutet wiederum, dass für die Ermittlung der Unsicherheit von γ eine korrelierte Fehlerfortpflanzung durchgeführt werden muss. So gilt also

$$\begin{aligned} u_\gamma &= \sqrt{\left(u_B\frac{\partial\gamma}{\partial B}\right)^2 + \left((u_G\frac{\partial\gamma}{\partial G}\right)^2 + 2u_B u_G\left|\frac{\partial\gamma}{\partial B}\frac{\partial\gamma}{\partial G}\right|} \\ &= \sqrt{\left(u_B\frac{1}{G}\right)^2 + \left(u_G\frac{B}{G^2}\right)^2 + 2u_B u_G\,\frac{B}{G^3}}. \end{aligned}$$

Die Größe $\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)$ besitzt dann wiederum die Unsicherheit

$$u_{\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)} = u_\gamma\frac{1}{\gamma^2}$$

Der Abstand x besitzt wiederum die Unsicherheit des Büromaßstabes. Für die Größen mit gedrehtem Linsensystem gelten analoge Annahmen. Allerdings muss hier beachtet werden, dass wiederum an der linken Sockelkante und damit in Wirklichkeit die Größe $x' - s$ gemessen wurde, wobei $s = 6\,\mathrm{cm}$ die Sockelbreite ist. Mit zehn verschiedenen Abständen L zwischen Gegenstand und Bild ergibt sich die Wertetabelle 3.

Nun lassen sich über diese Werte lineare Regressionen der Form (5) durchführen, wobei zu beachten ist, dass sich einmal nach den Abszissen- und einmal nach den Ordinatenwerten gewichten lässt. Deshalb erhält man für jede Messung zwei Regressionen, demnach vier Brennweitenwerte und je zwei Offsets. Im Folgenden sind die Regressionen dargestellt.

L [cm]	γ	u_γ	$1+1/\gamma$	$u_{(1+1/\gamma)}$	x [m]	u_x [m]
100	2.86	$1.43{\cdot}10^{-1}$	1.35	$1.75{\cdot}10^{-2}$	$3.05{\cdot}10^{-1}$	$7.11{\cdot}10^{-4}$
110	2.94	$1.47{\cdot}10^{-1}$	1.34	$1.70{\cdot}10^{-2}$	$2.96{\cdot}10^{-1}$	$7.04{\cdot}10^{-4}$
120	4.44	$2.22{\cdot}10^{-1}$	1.23	$1.13{\cdot}10^{-2}$	$2.88{\cdot}10^{-1}$	$6.99{\cdot}10^{-4}$
130	5.00	$2.50{\cdot}10^{-1}$	1.20	$1.00{\cdot}10^{-2}$	$2.85{\cdot}10^{-1}$	$6.97{\cdot}10^{-4}$
140	5.56	$2.78{\cdot}10^{-1}$	1.18	$9.00{\cdot}10^{-3}$	$2.80{\cdot}10^{-1}$	$6.93{\cdot}10^{-4}$
90	2.41	$1.20{\cdot}10^{-1}$	1.42	$2.08{\cdot}10^{-2}$	$3.19{\cdot}10^{-1}$	$7.20{\cdot}10^{-4}$
80	1.71	$8.55{\cdot}10^{-2}$	1.59	$2.93{\cdot}10^{-2}$	$3.49{\cdot}10^{-1}$	$7.42{\cdot}10^{-4}$
77	1.54	$7.69{\cdot}10^{-2}$	1.65	$3.25{\cdot}10^{-2}$	$3.69{\cdot}10^{-1}$	$7.57{\cdot}10^{-4}$
115	3.92	$1.96{\cdot}10^{-1}$	1.26	$1.28{\cdot}10^{-2}$	$2.91{\cdot}10^{-1}$	$7.00{\cdot}10^{-4}$
85	2.04	$1.02{\cdot}10^{-1}$	1.49	$2.45{\cdot}10^{-2}$	$3.30{\cdot}10^{-1}$	$7.29{\cdot}10^{-4}$

L [cm]	γ'	$u_{\gamma'}$	$1+1/\gamma'$	$u_{(1+1/\gamma)}$	$x'-s$ [m]	$u_{x'-s}$ [m]
100	3.13	$1.56{\cdot}10^{-1}$	1.32	$1.60{\cdot}10^{-2}$	$1.37{\cdot}10^{-1}$	$6.03{\cdot}10^{-4}$
110	3.77	$1.89{\cdot}10^{-1}$	1.27	$1.33{\cdot}10^{-2}$	$1.26{\cdot}10^{-1}$	$5.97{\cdot}10^{-4}$
120	4.26	$2.13{\cdot}10^{-1}$	1.24	$1.18{\cdot}10^{-2}$	$1.18{\cdot}10^{-1}$	$5.93{\cdot}10^{-4}$
130	4.76	$2.38{\cdot}10^{-1}$	1.21	$1.05{\cdot}10^{-2}$	$1.17{\cdot}10^{-1}$	$5.92{\cdot}10^{-4}$
140	5.00	$2.50{\cdot}10^{-1}$	1.20	$1.00{\cdot}10^{-2}$	$1.11{\cdot}10^{-1}$	$5.89{\cdot}10^{-4}$
90	2.44	$1.22{\cdot}10^{-1}$	1.41	$2.05{\cdot}10^{-2}$	$1.51{\cdot}10^{-1}$	$6.11{\cdot}10^{-4}$
80	1.59	$7.94{\cdot}10^{-2}$	1.63	$3.15{\cdot}10^{-2}$	$1.86{\cdot}10^{-1}$	$6.32{\cdot}10^{-4}$
77	1.25	$6.25{\cdot}10^{-2}$	1.80	$4.00{\cdot}10^{-2}$	$2.17{\cdot}10^{-1}$	$6.51{\cdot}10^{-4}$
115	3.85	$1.92{\cdot}10^{-1}$	1.26	$1.30{\cdot}10^{-2}$	$1.24{\cdot}10^{-1}$	$5.96{\cdot}10^{-4}$
85	1.98	$9.90{\cdot}10^{-2}$	1.51	$2.53{\cdot}10^{-2}$	$1.65{\cdot}10^{-1}$	$6.19{\cdot}10^{-4}$

Tabelle 3: Methode nach Abbe

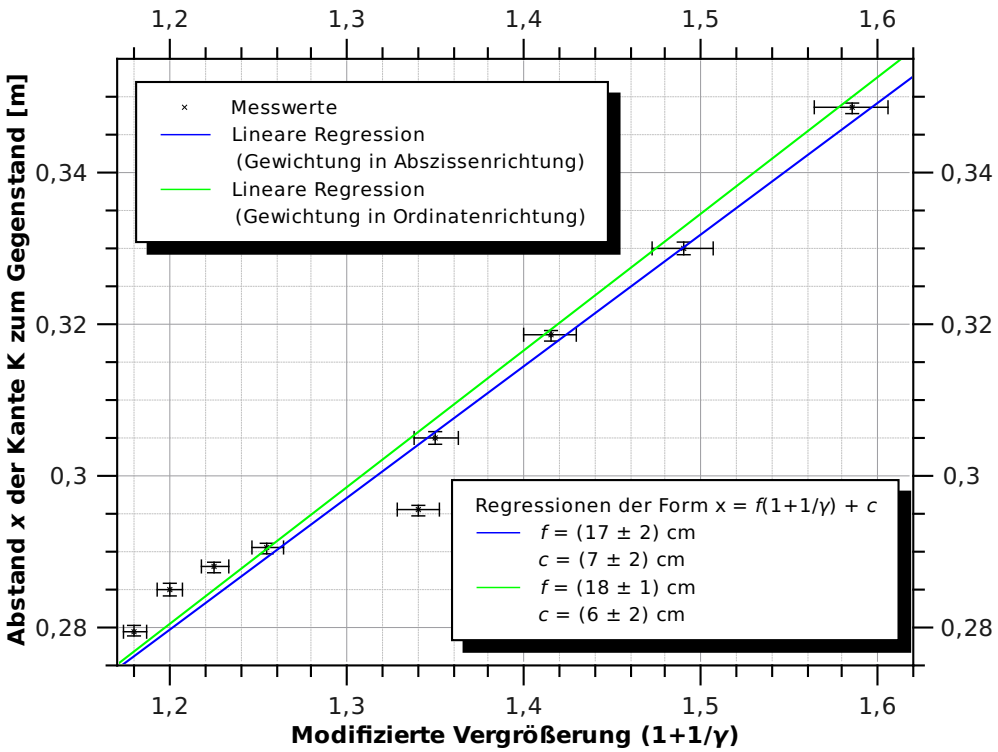

Abbildung 2: Regressionen für erste Messung

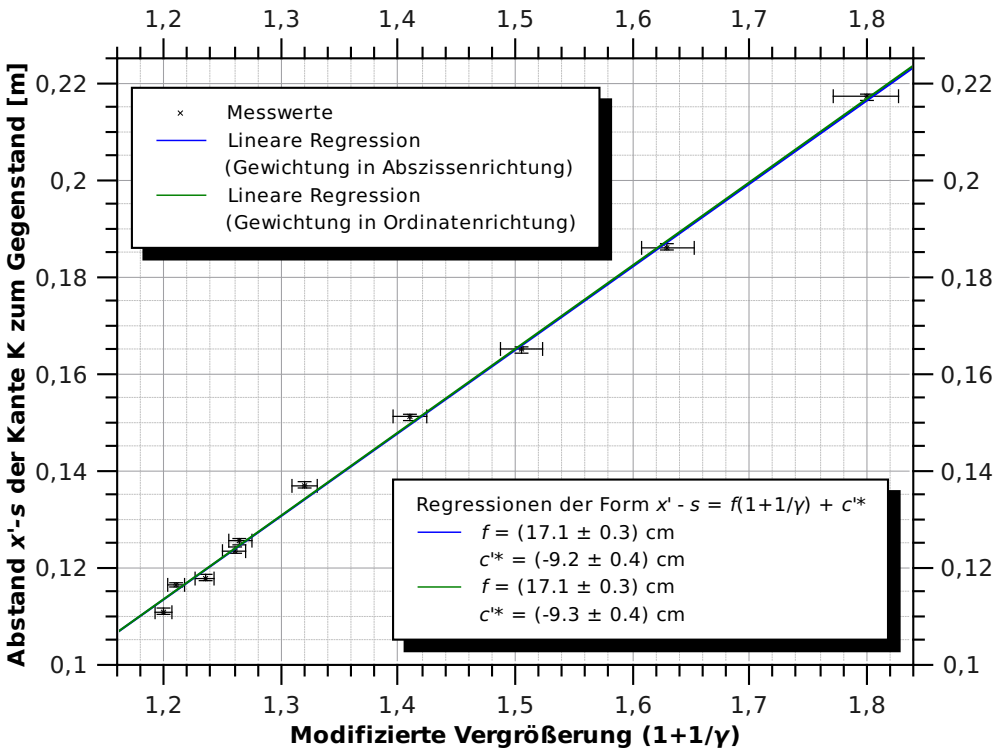

Abbildung 3: Regressionen für zweite Messung

Aus der Regression erhält man also die in Tabelle 4 dargestellten Werte, wobei hier bewusst auf das Runden verzichtet wird.

f [m]	u_f [m]	c [m]	u_c [m]	c'^* [m]	$u_{c'^*}$ [m]
$1.801{\cdot}10^{-1}$	$1.059{\cdot}10^{-2}$	$6.432{\cdot}10^{-2}$	$1.455{\cdot}10^{-2}$	$-9.258{\cdot}10^{-2}$	$3.996{\cdot}10^{-3}$
$1.735{\cdot}10^{-1}$	$1.410{\cdot}10^{-2}$	$7.152{\cdot}10^{-2}$	$1.884{\cdot}10^{-2}$	$-9.153{\cdot}10^{-2}$	$4.060{\cdot}10^{-3}$
$1.717{\cdot}10^{-1}$	$2.872{\cdot}10^{-3}$				
$1.708{\cdot}10^{-1}$	$3.054{\cdot}10^{-3}$				

Tabelle 4: Werte aus den Regressionen

Wie in den Abbildungen 4-5 ersichtlich ist, können aus diesen gewichtete Mittel gebildet werden. Zu beachten ist, dass aufgrund der Beziehung

$$c' = c'^* + s$$

noch die Sockelbreite zum Regressionsmittel addiert werden muss. Damit ergeben sich die Endwerte

$$\begin{aligned} f &= (17.2 \pm 0.2)\,\text{cm}, \\ c &= (7 \pm 1)\,\text{cm}, \\ c' &= (-3 \pm 3)\,\text{cm}. \end{aligned}$$

Wenn sich die Unsicherheiten der Größen pythagoreisch addieren ist der Hauptebenenabstand a dann

$$\begin{aligned} a &= c + c' \\ &= (4 \pm 2)\,\text{cm}. \end{aligned}$$

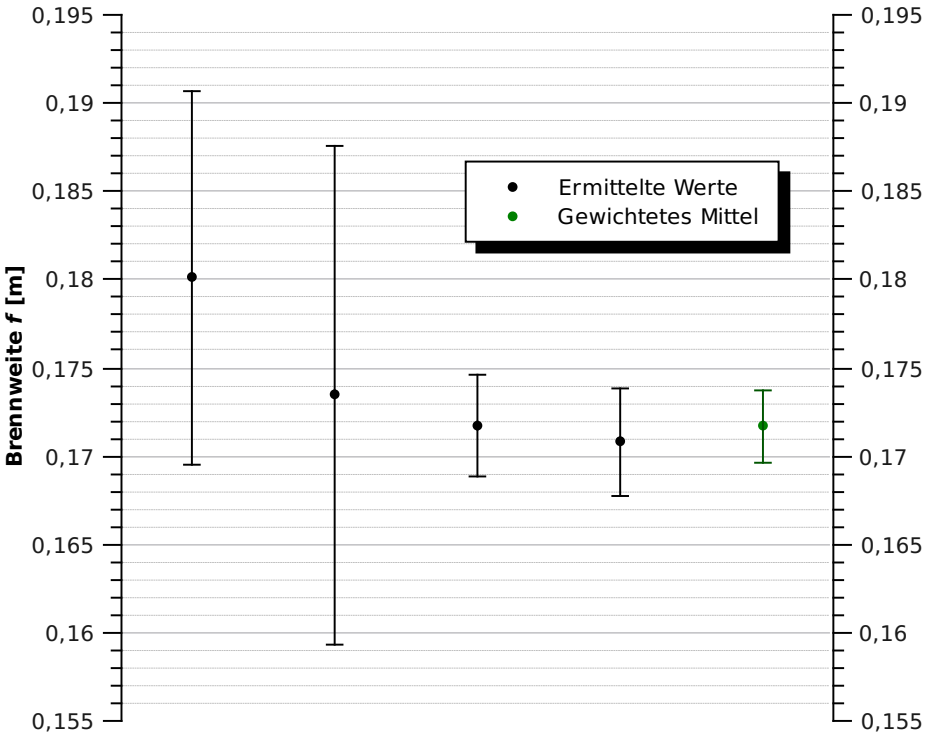

Abbildung 4: Gewichtetes Mittel der Brennweiten

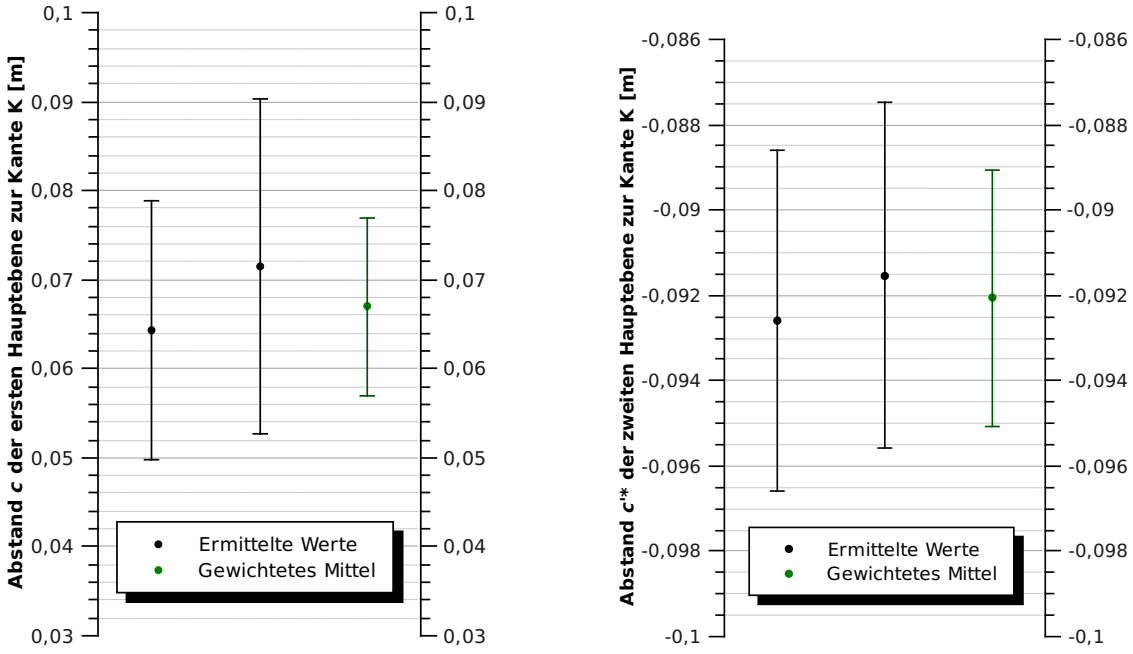

Abbildung 5: Gewichtete Mittel der Abstände

2.4 Grafische Darstellung des Linsensystems und Konstruktion der Hauptebenen

Die Grafische Darstellung befindet sich im Anhang. Da die Brennweite der Linse 3 zu groß für eine Darstellung im Maßstab 1:2 ist, wird im Maßstab 1:4 gezeichnet. Die gezeichneten Größen besitzen eine Unsicherheit eines halben Skalenteils, also $u = 0.5\,\mathrm{mm}$, ihre realen Werte dann aufgrund des Maßstabs eine Unsicherheit von $u = 0.2\,\mathrm{cm}$. Aus der Grafik ergibt sich der Hauptebenenabstand

$$a = (3.6 \pm 0.2)\,\mathrm{cm}.$$

Die konstruierte Brennweite beträgt

$$f = (14.8 \pm 0.2)\,\mathrm{cm}.$$

3 Fehler- und Ergebnisdiskussion

Die Ermittlung der Brennweiten der einzelnen Linsen gelang ohne größere Schwierigkeiten. Auch die Unsicherheiten der Größen befinden sich in einem angemessenen Rahmen. Zu bemerken ist jedoch, dass die Ermittlung über die Vermessung mit dem Sphärometer eine sicherere Methode als die Bessels darstellt, da sich bei zweiterem auf die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges bei Erkennen der Schärfe eines Bildes verlassen werden muss. Hier liegt die größte Schwachstelle dieser Methode. Allerdings wurden auch bei der Messung mit dem Sphärometer Unsicherheiten nicht berücksichtigt, so wurde der Radius r sowie die Brechzahl n der Linse als unsicherheitenfrei angesehen, was in der Realität natürlich nicht der Fall ist.
Die Ermittlung der Brennweite eines Linsensystems nach Ernst Abbe birgt die gleiche Schwierigkeit. Auch hier muss das Auge entscheiden, wann ein Bild scharf ist. Weiterhin von Bedeutung ist, dass bei steigender Vergrößerung die Näherung in der Theorie $\sin(x) = x$ in Bildweite nicht mehr ganz gewährleistet ist, sodass das Bild im Bereich weiter entfernt von der optischen Achse unscharf wird. Auch eine leichte Drehung der Linsen in Bezug zur optischen Achse kann Einfluss auf die Messung nehmen. Während des Experimentes wurde öfter festgestellt, dass das Abbild nicht symmetrisch, sondern leicht verzerrt erschien.
Dies kann die Abweichung der Werte zwischen Regression und Konstruktion erklären. Die ermittelten Hauptebenenabstände sind zwar konsistent, was auch die große Unsicherheit von 50% aus den Regressionsgrößen gewährleistet. Allerdings überlappen sich die ermittelten Brennweiten nicht, weswegen ein nichtbeachteter systematischer Fehler vorliegen muss. Vermutlich spielen oben genannte Gründe eine Rolle. Wie man in den Abbildungen 2-3 sehen kann, sind einige Werte nicht in Übereinstimmung mit den Regressionsgeraden. Daraus kann ein falscher Anstieg bestimmt worden sein. Weiterhin sind die Unsicherheiten in der Zeichnung wahrscheinlich zu klein gewählt, da durch die Konstruktion eine große Abweichung von mehr als einem Ablesefehler resultieren kann. Lösung wäre hier eine Konstruktion in höherem Maßstab am Computer. Weiterhin sollte der Abstand der Linsen d sowie die Sockelbreite s mit einer Unsicherheit angegeben und auch selbst gemessen werden, um eine Abweichung aufgrund dieser Größen auszuschließen.
Eine größere Sicherheit brächte auch eine Messskala auf dem Schirm, oder eine Einteilung in Zehntelmillimeter auf der Gegenstandsskala, damit von selbiger genauer die Gegenstandsgröße abgelesen werden kann.

4 Literatur

[1] Skript: „Physikalisches Grundpraktikum - Elektrodynamik und Optik“ von Dr. Uwe Müller, Berlin 2005

[2] Skript: „Physikalisches Grundpraktikum - Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik“ von Dr. Uwe Müller, Berlin 2007

5 Anhang

5.1 Grafische Konstruktion des Linsensystems

5.2 Messdatenprotokoll aus dem Versuch