

C3 – Linsenfehler (allgemein)

Physikpraktikum

Tobias Krähling
eMail: <Tobias.Kraehling@SemiByte.de>
Homepage: <www.SemiByte.de>

08.10.2007
Version: 1.1

Stichworte: Astigmatismus, Koma, sphärische Aberration, chromatische Aberration, Bildfeldwölbung, Verzeichnung, Hauptebenen, Knotenpunkte, Dispersion
Literatur: [Beu96], [Dem06], [Kuc94], [Lin93], [Tip98], [Mey06], [Wal94], [Thö04], [Wik07]

1. Aufgabenstellung

1. Aufnahme der meridionalen (tangentialen) und der sagittalen Bildfläche einer Linse (Astigmatismus schiefer Bündel und Bildflächenwölbung).
2. Bestimmung der Brennweite einer Linse für verschiedene Spektralfarben (Sphärische und chromatische Aberration einer Plankonvexlinse).

2. Grundlagen

Die bekannten Brennweiten- und Abbildungsgleichung (Gl. (1), (2)) aus der geometrischen Optik führen bei ihrer Herleitung Näherungen für die trigonometrischen Funktionen bei kleinen Winkeln durch ($\sin \epsilon \approx \tan \epsilon \approx \epsilon$) – diese Näherung ist bei den häufig verwendeten sphärischen Linsen für achsennahe Strahlen hinreichend genau, für achsenferne Strahlen müssen hier größere Abweichungen hingenommen werden. Weiterhin wird in der Regel polychromatisches Licht bei der Abbildung mit Linsen verwendet, durch die Abhängigkeit des Brechungsindex von der Wellenlänge des Lichts ($n = n(\lambda)$, Dispersion) müssen weitere Abbildungsabweichungen hingenommen werden, da der Brennpunkt bzw. -ebene eines Linsensystems somit auch von der Wellenlänge abhängig ist.

$$\frac{1}{f} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{(n_2 - n_1)d}{r_1 r_2 n_2} \right) \quad (1)$$

Brennweite einer dicken Linse mit $r_1, r_2 \dots$ Krümmungsradien der beiden Kugelflächen, $d \dots$ Abstand der beiden Krümmungsscheitel voneinander, $n_1 \dots$ Brechungsindex des Umgebungsmaterials, $n_2 \dots$ Brechungsindex des Linsenmaterials. Für dünne Linsen ist $d \approx 0$ und der hintere Term entfällt.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (2)$$

Abbildungsgleichung

Die Abweichungen werden als Abbildungsfehler oder Aberration bezeichnet und können wie folgt eingeordnet werden:

Chromatische Aberration (Farbfehler): (Abb. 1) Hierunter versteht man die Abbildungsfehler, die durch die Dispersion hervorgerufen werden. Da kürzerwelliges Licht stärker gebrochen wird als längerwelliges, liegt der Brennpunkt für blaues Licht näher an der Linse als für rotes – beeinträchtigt wird hierdurch die *Bildschärfe*. Vermindert werden kann dieser Effekt durch entsprechende Linsensystem, wobei unterschiedliche Materialien mit differenten Dispersionsverhalten verwendet werden – sogenannte Achromate oder Apochromate.

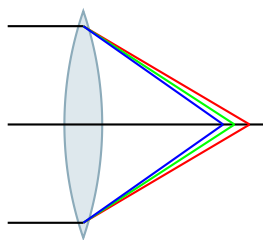


Abbildung 1: Chromatische Aberration

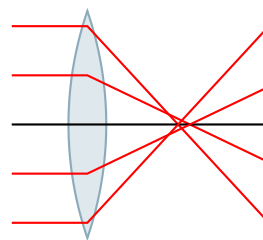


Abbildung 2: Sphärische Aberration

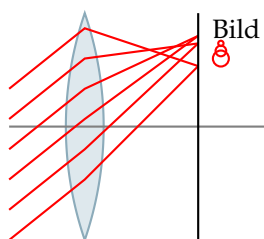


Abbildung 3: Koma

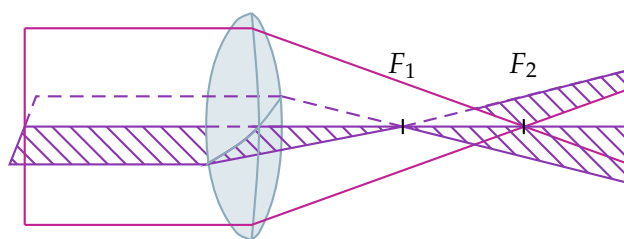


Abbildung 4: Astigmatismus

Sphärische Aberration: (Abb. 2) Treffen achsenparallele Lichtstrahlen auf das Linsensystem, so haben die achsenfernen Strahlen eine kürzere Brennweite als achsennahe und führen zu einer Unschärfe. Die Differenz der Brennweiten zwischen Zentral- und Randstrahlen wird als *sphärische Aberration* (Kugelfehler) bezeichnet. Vermindert wird dies durch *Abblenden* der Randstrahlen – jedoch auf Kosten der Intensität – oder durch geeignete Linsensysteme. Systeme, die sowohl den chromatischen wie auch die sphärische Aberration minimieren werden *Aplanaten* genannt.

Koma: (Abb. 3) Treffen parallele Lichtbündel auf eine Linse, deren Symmetrieachse nicht äquivalent dazu ausgerichtet ist, führt die sphärische Aberration dazu, daß die Brennweiten für achsennahe und -ferne Strahlen unterschiedlich ist. Durch die asymmetrische Anordnung von Symmetrieachse der Linse und Ausrichtung des Lichtbündels liegen diese Brennpunkte jedoch nicht mehr auf einer gemeinsamen Verbindungslinie. Durch Abblenden der Randstrahlen kann der Effekt vermindert, durch *Aplanate* vollständig behoben werden.

Astigmatismus (mangelnde Punktförmigkeit): (Abb. 4) Besitzt ein Linsensystem für horizontale und vertikale Strahlenbündel unterschiedliche Krümmungen, so liegen die Brennpunkte an differenten Orten. Am Brennpunkt der Strahlen der Sagittalebene (horizontale Ebene) erhält man eine vertikale Bildlinie, am Brennpunkt der Strahlen der Meridionalebene (vertikale Ebene) eine horizontale Bildlinie. Dieser Effekt tritt auch bei Linsensystemen mit gleicher Krümmung auf, wenn sie von einem *schief* zur Achse einfallenden Lichtbündel getroffen wird (*Astigmatismus schiefer Bündel*).

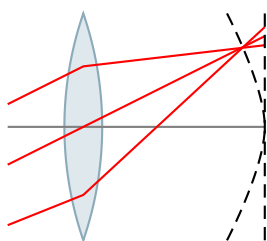


Abbildung 5: Bildfeldwölbung

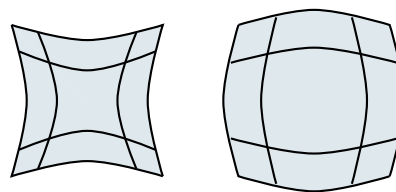


Abbildung 6: Verzerrung

Bildfeldwölbung und Verzeichnung: Durch unterschiedlich starke Brechung von Lichtstrahlen an Linsensystemen, die von ausgedehnten Objekten ausgehen, liegt das Bild – auch nach Korrektur des Astigmatismus – nicht in einer planen, sondern auf einer gekrümmten Bildebene (Abb. 5). Da i. d. R. ebene Detektoren (Film, Auge, Mattscheibe. . .) verwendet werden, erscheint das Abbild nicht insgesamt scharf. Korrektur kann über Anastigmaten (komplexe optische Systeme) erfolgen. Kissen- und tonnenförmige Verzeichnungen werden durch zunehmende Abweichung des Abbildungsmaßstabs vom paraxialen Abbildungsmaßstab bei zunehmendem Abstand zwischen Gegenstandspunkt und Mittelachse der Linse – der reale Bildpunkt wird zu seinem Sollbildpunkt lateral verschoben. Deutlich ist dies bei der Abbildung von Kreuzgittern zu beobachten – wird vor die Linse eine Lochblende eingebracht, so wird eine tonnenförmige, wird die Lochblende hinter die Linse eingebracht, eine kissenförmige Verzeichnung beobachtet (Abb. 6).

3. Versuchsbeschreibung

3.1 Aufgabe 1

Bei dieser Aufgabe sollen die meridionalen und sagittalen Bildflächen aufgenommen werden, um die Abbildungsfehler Astigmatismus schiefer Bündel und Bildflächenwölbung zu untersuchen. Um wellenlängeabhängige Effekte zu vermeiden, wird über die Verwendung eines Grünfilters nur eine kleine Bandbreite der Glühlampe verwendet.

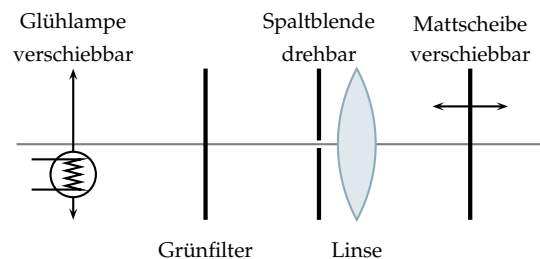


Abbildung 7: Versuchsaufbau zu Aufgabe 1

1. Apperatur nach Abb. 7 aufbauen, die Gegenstandsweite ist so zu wählen, daß die Wendel der Lichtquelle verkleinert auf der Mattscheibe abgebildet wird ($g > 2f \wedge 2f > b > f$) – jedoch so groß, daß die Wendelstruktur zum Scharfstellen verwendet werden kann.
2. Bei horizontal ausgerichteten Spalt wird bei verschiedenen Positionen der Glühlampe (Verschiebung orthogonal zur optischen Achse) die Schirmposition mit einem scharfen Abbild der Wendelstruktur gesucht und die Schirmposition notiert (Sagittialebene).
3. Man wiederhole den vorherigen Schritt bei vertikal ausgerichteten Spalt (Meridional-ebene).
4. Sagittale und meridionale Bildfläche in ein Diagramm auftragen (Schirmposition in Abhängigkeit der Lichtquellenposition).

3.2 Aufgabe 2

Bei dieser Aufgabe soll die sphärische und chromatische Aberration untersucht und die Brennweite der Linse bestimmt werden. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 8 mit den verwendeten Bezeichnungen wiedergegeben. Die Idee ist, Strahlen – von der durch die Lochblende simulierten Punktquelle –, die in der Höhe h_i auf die Linse treffen und in den Brennpunkt f_i fokussiert werden, durch einen verschiebbaren Draht auszublenden, so daß auf der Mattscheibe dunkle Kreisinge beobachtet werden können.

1. Justierung: Der Versuch ist bereits nach Abb. 8 aufgebaut und es wird der Grünfilter verwendet. Ein Blatt Papier wird in den Strahlengang gehalten und der Draht bei

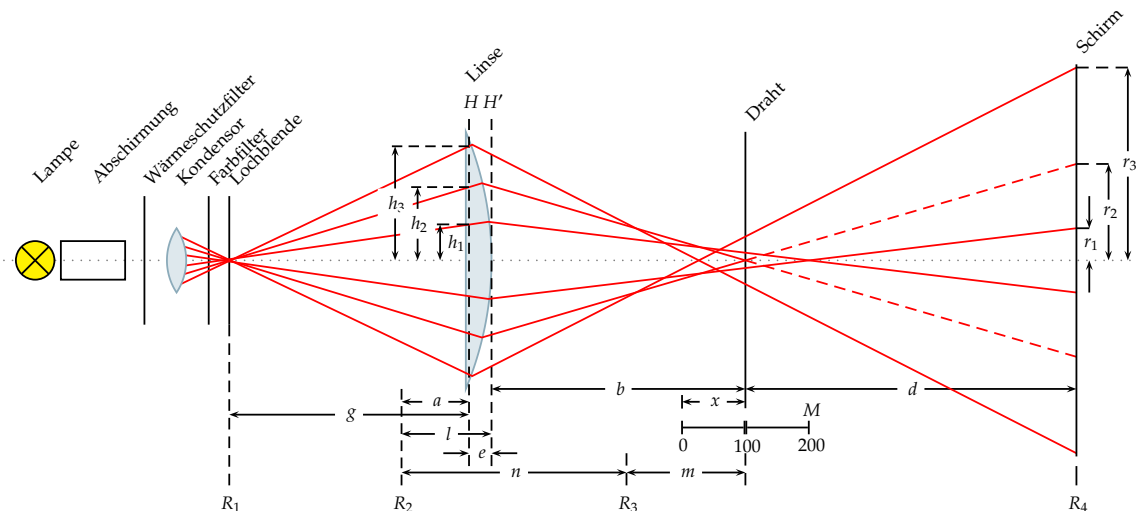


Abbildung 8: Versuchsaufbau zu Aufgabe 2

Mittelstellung der beiden Feintriebe mit dem Reiter so verschoben, daß dieser in den »Bildpunkt«-Bereich fällt. Anschließend wird der Quertrieb so lange verstellt, bis der entsprechende dunkle Ring als vollständiger Kreis auf der Mattscheibe erscheint. Anschließend wird noch geprüft, ob bei kleineren Abständen zwischen Draht und Planconvexlinse (Längstrieb) der Ring geschlossen bleibt – ggf. muß hier der Quertrieb nachjustiert oder die Linse in der Halterung geringfügig gedreht werden.

- Aufnahme der Reiterpositionen R_1 (Marke auf Blendenreiter), R_2 (Marke auf Linsenreiter), R_3 (linker Rand des Drahtreiters) und R_4 (Marke auf Mattscheibenreiter).
- Für verschiedene relative »Bildpunkt«-Abstände x (Skalenwert auf Längsfeintrieb) wird der Durchmesser $2r$ der Ringzone auf der Mattscheibenskala bestimmt.
- Bestimmung der Abstände h über die Beziehungen:

$$\frac{r}{d} = \frac{h}{l+b-a} \approx \frac{h}{l+b} \quad \text{da } a \ll b \text{ (Strahlensatz!)} \quad (3)$$

$$L = b + l + d = R_4 - R_2 \quad (4)$$

$$h \approx \frac{l+b}{2(L-l-b)} 2r \quad (5)$$

$$b = n + m - l - 100 + x \quad (6)$$

$$a = l - e \quad (7)$$

$$n = R_3 - R_2 \quad (8)$$

- $b(h^2)$ -Diagramm erstellen, die Punkte werden mit einer Geraden verbunden und nach $h^2 = 0$ extrapoliert und der Achsenabschnitt b_0 ermittelt.
- Mit b_0 und der Abbildungsgleichung wird die Brennweite f_G für paraxiale Strahlen bestimmt.

$$g = R_2 - R_1 + a \quad (9)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (10)$$

- Für die Untersuchung der chromatischen Aberration werden die Meßreihen mit dem Rot- und Blaufilter wiederholt und die Brennweiten f_G bestimmt. Alle drei Meßreihen sollen dabei in das selbe Diagramm eingetragen werden.

8. Diskussion der Abhängigkeit der Brechzahl von der Wellenlänge und Angabe über die Art der Dispersion die vorliegt.

4. Meßwerte

4.1 Aufgabe 1

i	x_L /mm	x_S /mm	x_M /mm
1	0	174	—
2	10	155	—
3	20	146,5	—
4	30	139,5	—
5	40	125	117
6	50	119	112
7	60	112	108
8	70	106,5	104,5
9	80	102,5	102
10	90	101	100
11	100	100	99,5
12	110	101	100
13	120	107	103
14	130	116	105
15	140	124	110
16	150	134	117
17	160	147	122
18	170	150,5	—
19	180	165	—
20	190	172	—
21	200	187,5	—
22	35	—	119
23	165	—	128

Reiterpositionen	
Lampe	909 mm
Spalt	578 mm
Linse	533 mm
Mattscheibe	220 mm

i ... laufende Nummer
 x_L ... Position Lampe
 x_S ... Position Mattscheibe bei horizontalem Spalt
 x_M ... Position Mattscheibe bei senkrechtem Spalt

Tabelle 1: Meßwerte Aufgabe 1

4.2 Aufgabe 2

$$\begin{array}{l}
 l \\
 m \\
 e
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 = 20 \text{ mm} \\
 = 30 \text{ mm} \\
 = 11,3 \text{ mm}
 \end{array} \right.
 \left\| \begin{array}{l}
 R_1 \\
 R_2 \\
 R_3 \\
 R_4
 \end{array} \right.
 \left| \begin{array}{l}
 = 1303 \text{ mm} \\
 = 967 \text{ mm} \\
 = 525 \text{ mm} \\
 = 41 \text{ mm}
 \end{array} \right.$$

i	λ / nm	x / mm	$2r / \text{mm}$	b / mm	h / mm	h^2 / mm^2
1	546	60	30	492	18,55	344,13
2	546	70	37	482	21,90	479,75
3	546	80	43	472	24,37	594,06
4	546	90	48	462	26,05	678,81
5	546	100	54	452	28,07	787,95
6	546	110	60	442	29,87	892,26
7	546	120	68	432	32,42	1051,18
8	546	130	74	422	33,79	1141,71
9	546	140	82	412	35,85	1285,53
10	546	150	90	402	37,68	1419,67
11	546	160	99	392	39,68	1574,27
12	546	170	108	382	41,43	1716,24
13	546	180	118	372	43,31	1875,83
14	546	190	129	362	45,29	2051,39
15	546	200	141	352	47,34	2241,01
16	436	100	43	452	22,35	499,63
17	436	110	49	442	24,39	595,09
18	436	120	56	432	26,70	712,91
19	436	130	64	422	29,22	853,99
20	436	140	72	421	31,48	991,10
21	436	150	80	402	33,49	1121,71
22	436	160	89	392	35,67	1272,30
23	640	100	55	452	28,59	817,41
24	640	110	63	442	31,36	983,71
25	640	120	69	432	32,90	1082,33
26	640	130	76	422	34,70	1204,27
27	640	140	84	412	36,73	1349,00
28	640	150	92	402	38,52	1483,47
29	640	160	101	392	40,48	1638,52

i ... laufende Nummer
 λ ... Wellenlänge Licht
 x ... Reiterposition Draht
 $2r$... Zweifacher Kreisradius
 b ... Bildweite (berechnet)
 h ... Höhe (berechnet)
 h^2 ... berechneter Wert für Auswertung

Tabelle 2: Meßwerte Aufgabe 2

5. Auswertung

5.1 Aufgabe 1

Die aufgenommenen Bildflächen der Sagittal- und Meridionalebene zeigen den erwarteten Verlauf (siehe Abb. 9). Da die Lampe horizontal verschoben wurde, sollte die Sagittalebene vor der Meridionalebene liegen – d. h. die Bildweiten sind für die Sagittalebene bei schrägen Lichteinfall kürzer als für die Meridionalebene – dieser Zusammenhang konnte bei der Messung bestätigt werden. Zusätzlich sollte die Bildflächenwölbung bei zunehmender horizontalen Entfernung der Lampe von der optischen Achse stärker auseinanderlaufen (quadratische Abhängigkeit) – dieses Verhalten konnte durch die Messung ebenfalls bestätigt werden. Für beide Meßreihen wurden jeweils Ausgleichskurven (Polynome 2. Grades) mit dem Statistik-

programm R bestimmt und in das Diagramm eingezeichnet. Anzumerken ist, daß eine geringe Entfernung zur Linse – und somit eine geringere Bildweite – durch die angebrachte Skala am Verschiebereiter einen größeren x_i -Wert hervorruft. Befindet sich die Lampe auf der optischen Achse, so sollten sowohl die Sagittalebene wie auch die Meridionalebene zusammenfallen, was ebenfalls im Rahmen der Bestimmungsgenauigkeit anhand der Meßwerte beobachtet werden konnte.

Insbesondere die erste Meßreihe (Sagittalebene) zeigt eine sehr starke Streuung der Werte. Die Schwierigkeit und Ursächlich für die starke Streuung ist die Positionsbestimmung der scharfen Wendelabbildung auf der Mattscheibe. Das subjektive empfinden einer scharfen Abbildung ist zunächst vom Beobachter abhängig. Zudem gestaltete sich die Verschiebung der Mattscheibe als schwierig, da die Verschiebeeinrichtung schwergängig war, ein Feintrieb war nicht vorhanden, der ein besseres Auffinden der scharfen Wendelabbildung vereinfacht hätte. Der Ablesefehler auf der Skala ($\Delta x = 1\text{mm}$) wird daher als zu geringer Fehlerbereich für die Mattscheibenposition angesehen. Die geringere Streuung der Positionsbestimmung bei der Meridionalebene (die als zweite Meßreihe durchgeführt wurde) läßt sich einerseits durch Gewöhnungseffekte des Beobachters erklären, andererseits ist die Änderungsrate der Bildposition in Abhängigkeit von der Lampenposition nicht so stark, so daß ein (subjektiv) scharfes Abbild der Lampenwendel ebenfalls in einem kleineren Bereich empfunden wird.

Die Meßwerte und Ausgleichskurven zeigen eine Verschiebung der Symmetrieachse hin zu kleineren x_L -Werten. Hier wird wahrscheinlich ein systematischer Fehler vorliegen, so daß die Lampe bei $x_L = 100\text{mm}$ sich nicht auf der optischen Achse befunden hat. Durch die größere Streuung, insbesondere bei den Meßwerten der Sagittalebene zeigen die beiden Ausgleichskurven nicht ganz den erwarteten Verlauf – erwartet wurde, daß das Minimum beider Kurven im selben Punkt zusammenfallen, da die Bildweiten identisch sein sollten, wenn sich die Lampe auf der optischen Achse befindet.

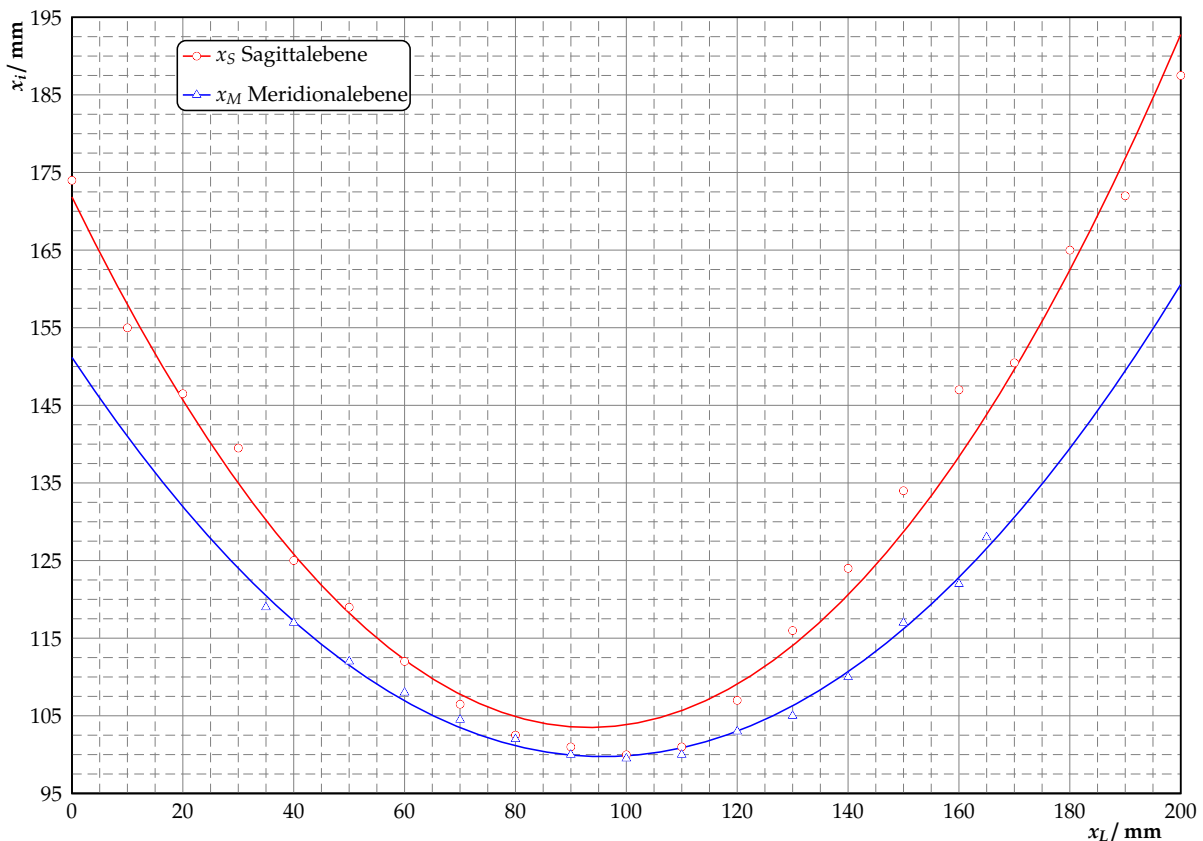


Abbildung 9: Bildflächenwölbung der Sagittal- und Meridionalebene

5.1.1 Polynomregression

Mit R wurden zu den beiden Meßreihen Polynomregressionen für ein Polynom der Form $y = a + bx + cx^2$ durchgeführt und in das Diagramm eingetragen. Die ermittelten Werte für die Regression sind:

	Sagittalebene	Meridionalebene
Koeffizient a :	(172 ± 2) mm	$(151,2 \pm 1,5)$ mm
Koeffizient b :	$(-1,47 \pm 0,05)$	$(-1,07 \pm 0,03)$
Koeffizient c :	$(0,0078 \pm 0,0003)$ mm ⁻¹	$(0,00560 \pm 0,00017)$ mm ⁻¹
Korrelationskoeffizient R :	98,21%	99,02%

5.2 Aufgabe 2

Entgegen dem dargestellten Versuchsaufbau in Abb. 8 war der vorgefundene Aufbau spiegelverkehrt aufgebaut. Der Entfernungsmarkierungen auf der optischen Bank gingen jedoch von größeren Werten an der Lampe zu kleineren Werten beim Schirm. Daher müssen einige Längen anders wie in der Vorbereitung beschrieben bestimmt werden:

$$L = R_2 - R_4 \quad (4a)$$

$$n = R_2 - R_3 \quad (8a)$$

$$g = R_1 - R_2 + a \quad (9a)$$

Ebenfalls war die Skala beim Längs-Feintrieb des senkrecht gespannten Drahts spiegelverkehrt angeordnet, größere Skalenwerte zeigten zur Linse hin und nicht, wie im Versuchsaufbau gezeigt, von der Linse weg. Daher muß auch Gl. (6) entsprechend angepaßt werden zu:

$$b = n + m - l + 100 - x \quad (6a)$$

Man erhält:

$$L = R_2 - R_4 = 926 \text{ mm}$$

$$n = R_2 - R_3 = 442 \text{ mm}$$

$$a = l - e = 8,7 \text{ mm}$$

$$g = R_1 - R_2 + a = 344,7 \text{ mm}$$

Die mit diesen angepaßten Gleichungen ermittelten Werte für b und h^2 wurden in ein $b(h^2)$ -Diagramm (Abb. 10) eingetragen und die lineare Regressionsgeraden eingezeichnet. Die Werte für die linearen Regressionsgeraden vom Typ $y = a + bx$ wurden mit dem Programm R bestimmt und man erhält die Werte (die Fehlergrenzen der Koeffizienten werden direkt von R mitberechnet):

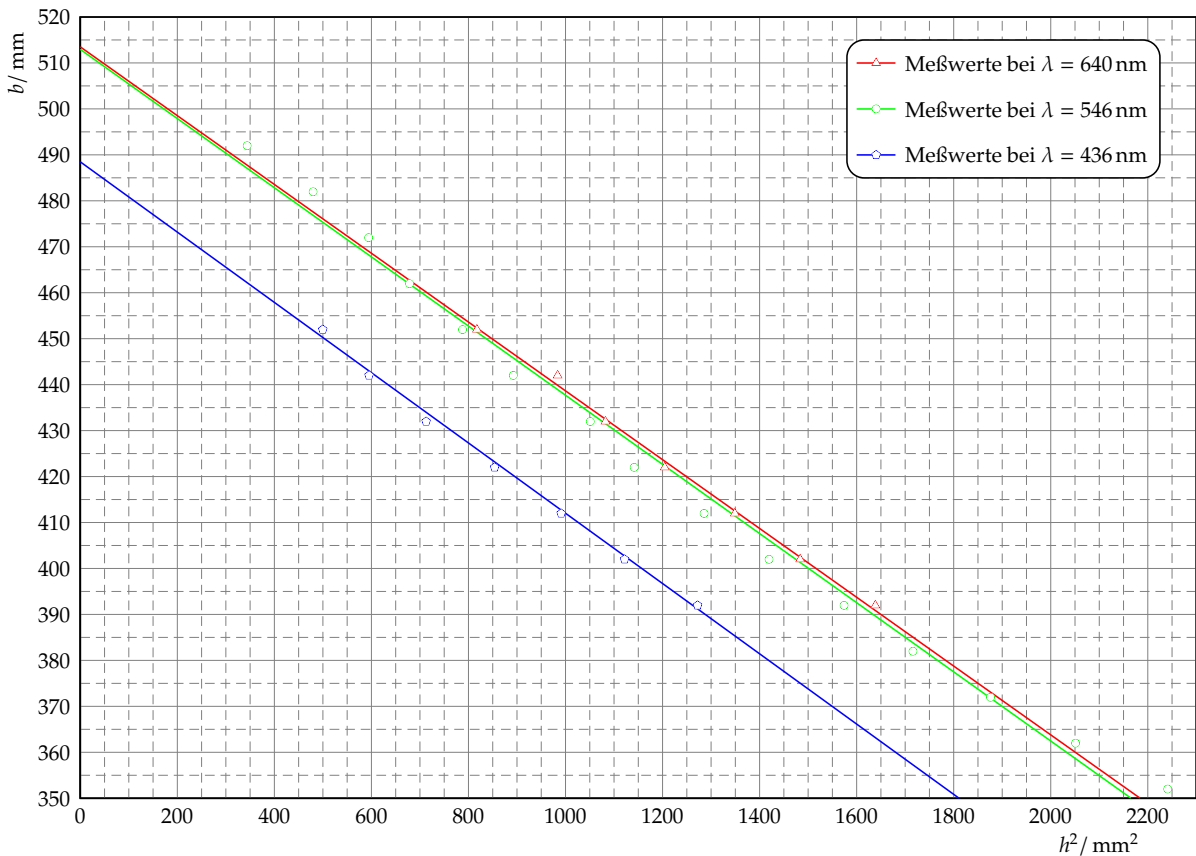
	$\lambda = 546$ nm	$\lambda = 436$ nm	$\lambda = 640$ nm
Koeffizient a :	(513 ± 3) mm	$(488,5 \pm 1,8)$ mm	(514 ± 2) mm
Koeffizient b :	$(-0,0752 \pm 0,0019)$ mm ⁻¹	$(-0,0765 \pm 0,0020)$ mm ⁻¹	$(-0,0748 \pm 0,0019)$ mm ⁻¹
Korrelation R :	99,19%	99,66%	99,70%

Über die lineare Regression erhält man direkt die Extrapolation für $h^2 = 0$, dies entspricht dem Koeffizienten $a (= b_0)$. Mit Gl. (10) können die Brennweiten in Abhängigkeit der Wellenlänge ermittelt werden zu

$$f(\lambda = 546 \text{ nm}) = 206,2 \text{ mm}$$

$$f(\lambda = 436 \text{ nm}) = 202,1 \text{ mm}$$

$$f(\lambda = 640 \text{ nm}) = 206,3 \text{ mm}$$

Abbildung 10: $b(h^2)$ -Diagramm

5.2.1 Fehlerabschätzung

Für die Fehlerabschätzung der Brennweiten wird die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung verwendet. Aus der Angabegenauigkeit der Werte l und e , die am Experimentierplatz auslagen, werden die Fehlerschranken $\Delta l = \pm 1 \text{ mm}$ und $\Delta e = \pm 0,1 \text{ mm}$ angenommen. Damit folgt:

$\Delta a = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial l} \Delta l\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial e} \Delta e\right)^2} = \pm \sqrt{\Delta l^2 + \Delta e^2} = 1,005 \text{ mm}$. Die Gegenstandsweite lässt sich über Gl. (9a) bestimmen, R_1 und R_2 wurden über den Maßstab auf der optischen Bank ermittelt, der eine Genauigkeit von $\Delta R = \pm 1 \text{ mm}$ besitzt. Dann folgt mit der Fehlerfortpflanzung: $\Delta g = \pm \sqrt{2\Delta R^2 + \Delta a^2} = \pm 1,7349 \text{ mm} \approx \sqrt{3} \text{ mm}$.

Die Brennweite wird über $f = (g^{-1} + b_0^{-1})^{-1}$ bestimmt, für den Fehler folgt damit:

$$\Delta f = \pm \sqrt{\frac{\Delta g^2}{(g^{-1} + b_0^{-1})^4 g^4} + \frac{\Delta b_0^2}{(g^{-1} + b_0^{-1})^4 b_0^4}} = \pm \sqrt{\frac{b_0^4 \Delta g^2 + g^4 \Delta b_0^2}{(b_0 + g)^4}}$$

Mit $b_0(\lambda)$ und $\Delta b_0(\lambda)$ aus der linearen Regression erhält man als Fehlerbereich für die Brennweiten:

$$\begin{aligned} \Delta f(\lambda = 546 \text{ nm}) &= \pm 0,8 \text{ mm} = \pm 0,4\% \\ \Delta f(\lambda = 436 \text{ nm}) &= \pm 0,7 \text{ mm} = \pm 0,3\% \\ \Delta f(\lambda = 640 \text{ nm}) &= \pm 0,7 \text{ mm} = \pm 0,3\% \end{aligned}$$

5.2.2 Bewertung

Die Fehlergrenzen der Brennweiten sind erstaunlich gering und liegen unterhalb 0,5%. Unerwartet ist, daß die Brennweiten für rotes und grünes Licht sehr nah beieinander liegen. Beim Einsatz des Grünfilters wurden wesentlich mehr Meßwerte aufgenommen, im Diagramm zeigt sich, daß bei größeren Längsbewegungen des Drahtes vom Mittelpunkt aus die Kurve eher einen Knick macht, begründet vielleicht in der Schwierigkeit den Kreisdurchmesser zu bestimmen – entweder weil er zu klein ist bzw. bei größeren Kreisen durch die Unschärfe der Ränder und mangelnde Lichtintensität. Würde nur ein kleiner Bereich um den Mittelpunkt beim Einsatz des Grünfilters betrachtet werden, so wäre die Brennweite der Linse für diese Wellenlänge augenscheinlich niedriger gewesen.

Auf der verwendeten Plankonvexlinse war eine Brennweite von $f = 200$ mm angegeben (mittlere Brennweite). Die bestimmten Brennweiten liegen alle über diesen Wert, was die Vermutung des Einflusses eines systematischen Fehlers nahelegt. Diese könnten u. a. Fehler in den konstanten Abmessungen oder der Durchmesserbestimmung des Ringes liegen (hier insbesondere, ob der Ringdurchmesser innen, außen oder mittig bestimmt wurde, nicht optimale Kreisform des Rings. . .).

Insgesamt konnte mit der Messung gezeigt werden, daß von der optischen Achse weiter entfernte Strahlen, die auf die Linse treffen, stärker gebrochen werden. Über die Verwendung der drei Filter für verschiedene Wellenlängen konnte ebenfalls gezeigt werden, daß die Brennweite von der Wellenlänge abhängt und der Brennpunkt für kürzerwelliges Licht näher an der Linse liegt – d. h. die Brechung ist für kürzerwelliges Licht stärker als für längerwelliges und es liegt normale Dispersion vor $\frac{dn}{d\lambda} < 0$.

6. Ergebnis

In beiden Aufgaben konnten die zu beobachtenden Linsenfehler gut nachgewiesen werden, im ersten Teil Astigmatismus und Bildflächenwölbung, im zweiten sphärische und chromatische Aberration. Ebenfalls konnte nachgewiesen werden, daß es sich um normale Dispersion handelt.

Die Brennweiten der Linse für unterschiedliche Wellenlängen konnten wie folgt bestimmt werden:

$$\begin{aligned} f(\lambda = 436 \text{ nm}) &= (202,1 \pm 0,7) \text{ mm} = 202,1 \text{ mm}(1 \pm 0,3\%) \\ f(\lambda = 546 \text{ nm}) &= (206,2 \pm 0,8) \text{ mm} = 206,2 \text{ mm}(1 \pm 0,4\%) \\ f(\lambda = 640 \text{ nm}) &= (206,3 \pm 0,7) \text{ mm} = 206,3 \text{ mm}(1 \pm 0,3\%) \end{aligned}$$

7. Verwendete Geräte

7.1 Aufgabe 1

- Glühlampe (6V)
- Grünfilter
- Linse
- Mattscheibe
- Verschiebereiter mit Millimetereinteilung (quer zur optischen Bank für die Lampe und in Richtung der optischen Bank für die Mattscheibe) $\Delta x = 1$ mm

- drehbarer Spalt
- optische Bank $\Delta x = 1 \text{ mm}$

7.2 Aufgabe 2

- Optische Bank $\Delta x = 1 \text{ mm}$
- Hg-Zn-Cd-Hochdrucklampe mit Versorgungsgerät
- Abschirmung gegen Streulicht
- Wärmeschutzfilter
- Kondensator
- Lochblende
- Blaufilter, Grünfilter, Rotfilter
- Plankonvexlinse $f = 200 \text{ mm}$
- senkrecht gespannter Draht auf Quer- und Längs-Feintrieb ($\Delta x = \Delta y = \frac{1}{100} \text{ mm}$)
- Mattscheibe mit Skala $\Delta x = 1 \text{ mm}$
- Taschenlampe

Literatur

- [Beu96] BEUCK, Otto: Ein Physikpraktikum – Eine Anleitung zum praktischen und theoretischen Umgang mit grundlegenden physikalischen Phänomenen / Institut für Spektrochemie und angewandte Spektroskopie. Dortmund, Mai 1996. – Praktikumsanleitung
- [Dem06] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik*. Bd. 2: *Elektrizität und Optik*. 4. Auflage. Berlin – Heidelberg – New York : Springer, 2006. – ISBN 3–540–33794–6
- [Kuc94] KUCHLING, Horst: *Taschenbuch der Physik*. 14. Auflage. Leipzig-Köln : Fachbuchverlag, 1994. – ISBN 3–343–00858–3
- [Lin93] LINDNER, Helmut: *Physik für Ingenieure*. 14. Auflage. Leipzig-Köln : Fachbuchverlag, 1993. – ISBN 3–343–00772–2
- [Mey06] MEYER, Dirk: *Physikalisches Praktikum für Studierende der Physik / Ruhr-Universität Bochum*. 4. Auflage. 2006. – Versuchsanleitungen
- [Thö04] THÖNISS, Thomas: *Abbildungsfehler und Abbildungsleistung optischer Systeme*. – Vortragen im Rahmen des vom niedersächsischen PhotonikNet durchgeführten Seminars „Technische Optik in der Praxis“ am 4./5. Mai 2004 in Göttingen an der Fachhochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK)
- [Tip98] TIPLER, Paul A. ; GERLICH, Dieter (Hrsg.) ; JERKE, Götz (Hrsg.): *Physik*. 2. korrigierter Nachdruck der 1. deutschen Auflage von 1994. Heidelberg - Berlin : Spektrum Akademischer Verlag, 1998. – ISBN 3–86025–122–8
- [Wal94] WALCHER, Wilhelm: *Praktikum der Physik*. 7. Auflage. Stuttgart : B.G. Teubner, 1994
- [Wik07] WIKIPEDIA: *Abbildungsfehler* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. "<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Abbildungsfehler&oldid=37052961>". Version: 2007. – [Online; Stand 04.10.2007]

Liste der Versionen

Version	Datum	Bearbeiter	Bemerkung
0.9	04.10.2007	Krä	Versuchsvorbereitung
1.0	05.10.2007	Krä	Versuchsdurchführung
1.1	08.10.2007	Krä	Versuchsauswertung