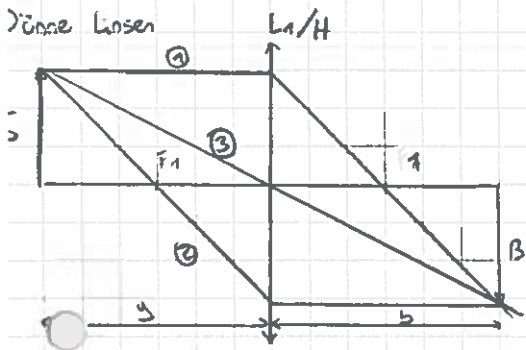


Einleitung

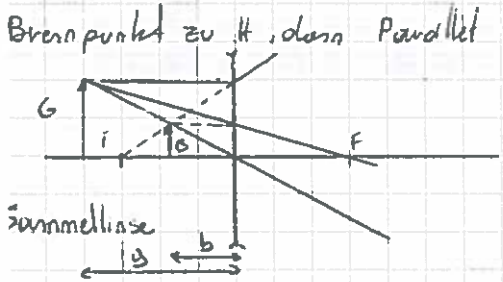
In diesem Versuch soll der Umgang mit Linsen und Linsensystemen geübt werden, außerdem sollen Näherungskonzepte für dicke, dünne Linsen sowie Linsensysteme experimentell überprüft werden. Dazu soll ein Diaprojektor, der aus einfachen Linsen aufgebaut ist, vermessen werden. Theorie und Formeln

Dünne Linsen



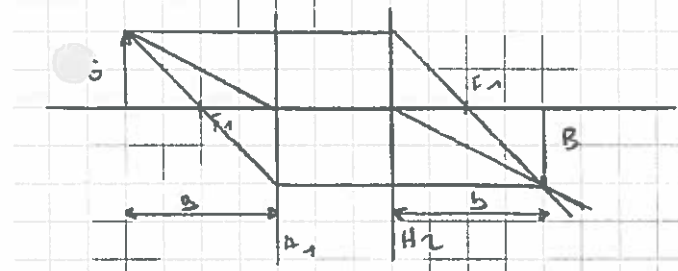
Bei dünnen Linsen liegen die 2 Hauptebenen so eng beieinander, dass man als Näherung nur noch 1 Hauptebene H, als brechende Ebene betrachtet. Bildkonstruktion wird aus 3 Strahlen erstellt.

- ① von G, achsenparallel bis H dann durch den bildseitigen Brennpunkt.
- ② Von G aus durch den gegenstandsseitigen Brennpunkt zu H, dann parallel zur opt. Achse.
- ③ Von G aus durch den Linsen-Mittelpunkt.



F sind jeweils die Brennpunkte der Linse, wobei b die Bildweite und g die Gegenstandsweite ist. Ist das Bild wie bei der ersten Zeichnung vor der Linse (mit Schirm auffangbar) ist es ein reelles Bild, ist es jedoch hinter der Linse, Zeichnung 2, so ist es virtuell (nicht mit Schirm auffangbar).

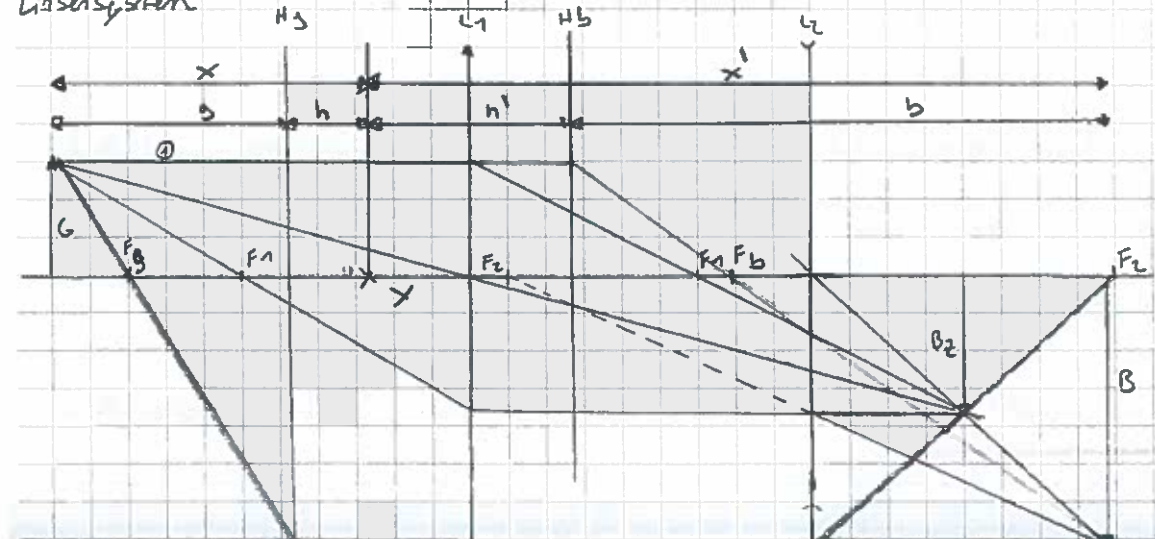
Dicke Linsen



Hier müssen die beiden Hauptebenen getrennt betrachtet werden. $[F_g, H_g] = [F_b, H_b] = f$

Auch bei dicken Linsen gelten die später genannten Formeln

Linsensystem



Folgende Abbildungsfehler können auftreten:

- Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)
- Bildfeldwölbung
- Koma (Asymmetriefehler)
- Verzeichnung
- Astigmatismus (Punktförmigkeit)
- Chromatische Aberration

362A:

Mit Hilfe vom Strahlensatz und der Zeichnung von der Sammellinse (vorne Seite): $\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$

$\frac{B}{G} = \frac{b-f}{f}$ außerdem gilt $\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \delta$ (Strahlensatz)

Damit erhalten wir: $\frac{b-f}{f} = \frac{b}{g} \Leftrightarrow \frac{1}{g} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b}$
 $\Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$

362B:

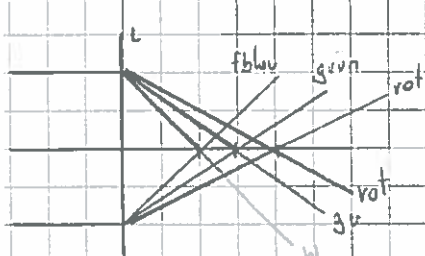
Mit unterschiedlichen Medien werden die Strahlen auf beiden Linsenseiten nicht symmetrisch sondern unterschiedlich gebrochen. Dem entsprechend haben beide Linsenseite unterschiedliche Brennpunkte.

362C:

Bei der Sammellinse entsteht ein verkleinertes Bild falls $g > 2f$ ist, bei $g < 2f$ erhält man ein vergrößertes Bild. Bei $g = 2f$ ist das Bild und der Gegenstand gleich groß.

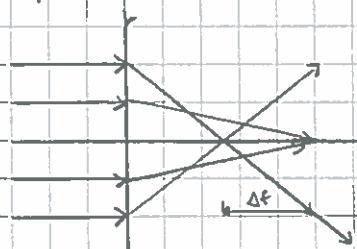
362D:

chromatische Aberration



Licht unterschiedlicher Wellenlänge werden verschieden stark gebrochen.

- sphärische Aberration

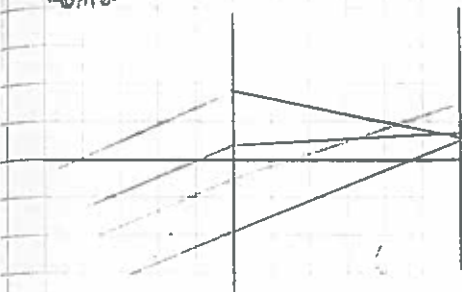


Trifft bei Linsen auf die mit sphärischer Krümmung geschliffen sind.

Lichtstrahlen von der Randzone der Linse werden stärker gebrochen. Nicht Mittelstrahlen kommen ja nicht senkrecht auf die Linse zu.



- Komat



- Astigmatismus

Abbildung durch gekrümmte Linse

- Bildfeldwölbung

Bild wird nicht auf eine ebene Fläche abgebildet

- Verzeichnung

Verformung und Biegung von geraden Linien

Bei schräg (11) Licht einfall.

Aufgrund unterschiedlicher Krümmungsradien

der Linse haben die Strahlen keinen

gemeinsamen f.

362E:

$$\text{Linsengleichung } \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{f} = (n-1) \frac{2}{r}$$

$$\text{mit } n = 1,5 \quad f = 5 \text{ cm}$$

$$r = 2f(n-1) = 5 \text{ cm} = -r_2$$

362G:

$$\text{Abbildungsbeziehungen: } \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

$$\Rightarrow g = 5,05051 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Abstand zum Brennpunkt } 0,5051 \text{ mm}$$

362F:

siehe nächste Seite

362a

$$f_1 = 5 \text{ cm} \quad f_2 = -5$$

$$G = 24 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$$

Bezugspunkt Referenz bei $40 \text{ cm} = P$

Messung	$P_0 [\text{cm}] \pm 0,1 \text{ cm}$	$P_B [\text{cm}] \pm 0,3 \text{ cm}$	$B [\text{cm}] \pm 0,1 \text{ cm}$	$P_0' : P - P_0$ $P_B : P_B - P$
1	23,0	51,1	3,4	
2	23,4	52,0	3,9	
3	23,7	53,3	4,5	
4	24,0	54,1	4,9	
5	24,3	54,5	5,1	
6	24,6	55,3	5,6	
7	25,0	55,3	6,0	
8	22,7	50,4	3,3	
9	22,4	49,3	3,0	
10	22,0	49,4	2,8	

362 d

$$G = 1 \pm 0 \text{ cm}$$

$$f_3 = 10 \text{ cm}$$

$$B = 17 \pm 0,2 \text{ cm}$$

$$b = 172 \pm 1 \text{ cm}$$

362 e f₃

Test der 2: Messpunkte

1 2 3
4 5 6 7 8
9 10 + 11 12
13 14 15 16 17
18 19 20

$$\text{Untergrund } E_0 = 0,2 \text{ Lux} \pm 0,02 \text{ Lux}$$

Tabelle e/f/s

Messung	E(e) in lux	E(f) in lux	E(g) in lux	E(g) in lux
1	5,75	4,99	1,62	1,84
2	5,85	4,97	1,83	1,99
3	6,13	5,04	1,97	1,98
4	5,67	4,80	1,64	1,77
5	5,91	5,21	1,79	2,01
6	6,39	5,18	1,88	2,27
7	6,66	5,30	2,17	2,29
8	6,48	5,18	2,19	2,03
9	6,13	5,02	1,83	1,87
10	6,49	5,41	1,84	2,11
11	7,08	5,68	2,25	2,27
12	6,74	5,45	2,28	2,03
13	6,74	5,53	1,84	1,80
14	6,91	5,41	2,03	2,15
15	7,02	5,98	2,25	2,32
16	7,44	6,04	2,37	2,18
17	6,61	5,54	2,23	1,89
18	6,74	5,65	1,93	1,74
19	6,52	5,42	1,88	1,70
20	6,34	5,44	2,03	1,48

362e

Platte Seite zur Wand : $G = 1 \text{ cm}$ $B = (33,5 \pm 0,1) \text{ cm}$ ①

Gewölbte Seite zur Wand : $G = 1 \text{ cm}$ $B = (34,4 \pm 0,1) \text{ cm}$ ②

- Platte Seite: Bild wird vergrößert, chrom. Aberration + sphärische Aberration

- Gewölbte Seite: starke Verzeichnung und Bildfeldwölbung

362h

$f = 5,3 \text{ cm}$

mit Blende

ohne Blende

Testdiel 1

Bildverzerrung ↑
bei Blende kleiner

Leichte chrom. Aberration
sphärische Aberration
Bildverzerrung
Bildfeldwölbung

Testdiel 2

Bildverzerrung ↑
bei Blende kleiner

Leichte chrom. Aberration
sphärische Aberration
Bildverzerrung
Bildfeldwölbung

Testdiel 3

Rund um Blende chrom. Aberr.
rest: dem zu über

gleiche Fehler haben
chromatisch besser
sichtbar

Test dia 4

mit Blende
Bildfeldwölbung ^{fast} nicht mehr sichtbar
Bildverzerrung ^{fast} nicht mehr sichtbar
chrom. Aberr. \nearrow

ohne Blende
chrom. Aber sehr gut sichtbar
rest idem.

Test dia 5

Bildfeldwölbung \nearrow
idem Rest

Bildfeldwölbung größer
keine chromatische Aberration

Test dia 6

kein Fehler

gerz leicht chromatisch aber.

Versuchsdurchführung

Im ersten Versuchsteil haben wir ein Linsensystem (Sonnen- & Zerstreuungslinse) auf eine Schiene gebaut in dessen Ende ein Schirm steht. Der Gegenstand ist hier eine Kreuzblume. Auf dem Reiter ist das Linsensystem befestigt und auch unser Bezugspunkt. Nun versuchen wir für verschiedene g und b das Bild scharf zu stellen und notieren uns die jeweiligen Distanzen plus die Bildgröße. Davon bestimmen wir im folgenden die Brennweite. Bei den b zeichnen wir unser Ergebnis von der o in unsere Zeichnung von 362 Fern. Für die g vergleichen wir unser Wert mit dem ^{Wert der} vorgegeben Formel.

Im zweiten Versuchsteil geht es um ein Projektionsapparat den wir mit Hilfe von Linsen und einer Linse aufgebaut haben. Für die d haben wir zur Messung der Vergrößerung B also die 1mm auf dem Ka und B die 1mm Skala in der Waage gemessen. Anschließend haben wir die Z benutzt und jeweils an verschiedenen Stellen die Bildfeldausleuchtung gemessen und notiert. Für die f genau das gleiche nur dass wir die Kondensor Linse um 180° drehen. Danach drehen wir die Kondensor wieder zurück und messen mit einer anderen Linse ($5,3\text{m}$) wieder die Bildfeldausleuchtung anschließend drehen wir die Linse nochmal um 180° und notieren erneut unsere Messungen. Für k haben wir alle Testdias nacheinander eingesetzt und die beobachteten Fehler notiert.

Auswertung

362a

$$x = P_{\text{Bezug}} - P_G$$

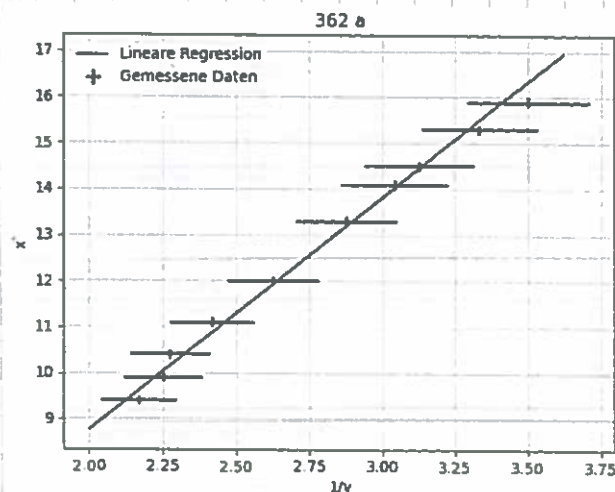
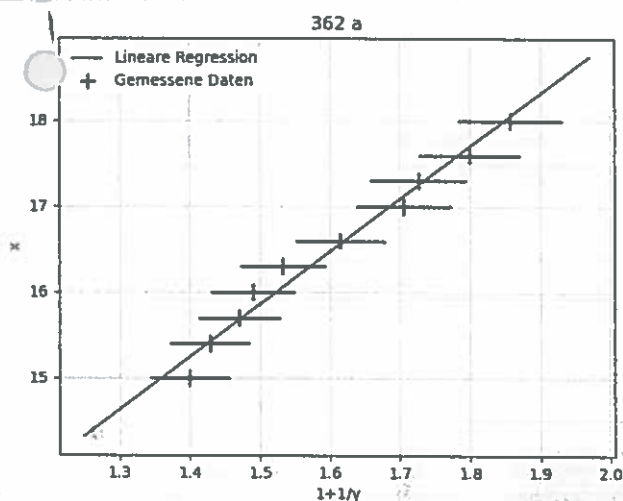
$$x' = P_B - P_{\text{Bezug}}$$

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta P_{\text{Bezug}})^2 + (\Delta P_G)^2} = \Delta x' = \sqrt{(\Delta P_B)^2 + (\Delta P_{\text{Bezug}})^2} = 0,1$$

Messung	P _G	P _B	B	P _{bezug}	x	x'	y	1+1/y	1+y
1	23	51,1	3,4	40	17	11,1	1,417	1,706	2,417
2	23,4	52	3,9	40	16,6	12	1,625	1,615	2,625
3	23,7	53,3	4,5	40	16,3	13,3	1,875	1,533	2,875
4	24	54,1	4,9	40	16	14,1	2,042	1,490	3,042
5	24,3	54,5	5,1	40	15,7	14,5	2,125	1,471	3,125
6	24,6	55,3	5,6	40	15,4	15,3	2,333	1,429	3,333
7	25	55,9	6	40	15	15,9	2,500	1,400	3,500
8	22,7	50,4	3,3	40	17,3	10,4	1,375	1,727	2,375
9	22,4	49,9	3	40	17,6	9,9	1,250	1,800	2,250
10	22	49,4	2,8	40	18	9,4	1,167	1,857	2,167

$$\Delta(1/y) = \Delta(1/y) = \sqrt{(\frac{1}{y} \Delta y)^2 + (\frac{1}{y} \Delta y)^2}$$

$$\Delta(1/y) = \Delta(1/y) = \sqrt{(\frac{1}{y} \Delta y)^2 + (\frac{1}{y} \Delta y)^2}$$



$$m = (6,139 \pm 0,349)$$

$$m = (5,048 \pm 0,183)$$

$$b = (6,647 \pm 0,550)$$

$$b = (-1,337 \pm 0,463)$$

$$\text{reduced chi-square } 3,73 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{reduced chi-square } 2,568 \cdot 10^{-6}$$

Somit erhalten wir: $f_1 = (6,139 \pm 0,349)$ und $h_g = (6,647 \pm 0,550)$

: $f_2 = (5,048 \pm 0,183)$ und $h_b = (-1,337 \pm 0,463)$

Unser f_2 passt sehr gut jedoch ist f_1 etwas zu groß

362b

Unser Bezugspunkt x wurde genau in mitten der beiden Linsen gerät. I habe von x aus jetzt jeweils $f_1/f_2/h_g/h_b$ in blau eingetragen. (Siehe Aufgabe 362P) Die seitlich auf der optischen Achse blauen Linien sind die jeweiligen Fehler. Unsere gemessenen H_g/H_b liegen jeweils $\pm 1 \text{ mm}$ neben der eingezeichneten Hauptebenen b und dafür sind unsere nicht so gute Messungen. Dies liegt daran dass es sehr schwierig zu

erkennbar war was das Bild an schärfsten war. Dies führt dann zu Abweichungen das gleiche gilt für die Brennweiten.

362c

$$\frac{1}{f_{\text{gesamt}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

$$f_1 = 5 \text{ cm}, f_2 = 5 \text{ cm}, d = 5 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f_{\text{gesamt}}} = \frac{1}{5 \text{ cm}} \Rightarrow f_{\text{gesamt}} = 5 \text{ cm}$$

Aufgrund der Messungenauigkeiten liegen unsere Werte für f_1 & f_2 nicht exakt im errechneten Wert für f_{ges} . Der Grund ist wahrscheinlich wieder das Einstellen des Objektkreuzes sodass es scharf wird. Den Fehler hätte man größer wählen können!

362d

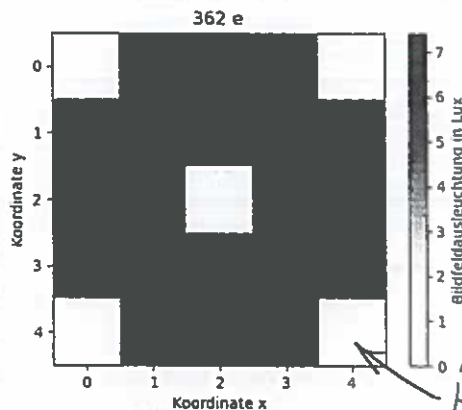
$$\gamma = \frac{b}{f_3} = \frac{172}{10} \quad \Delta \gamma = \frac{\Delta b}{f_3} = \frac{1}{10} \Rightarrow \gamma = (17,2 \pm 0,1)$$

$$\gamma = \frac{B}{6} = \frac{17}{1} \quad \Delta \gamma = \frac{\Delta B}{6} = \frac{0,2}{1} \Rightarrow \gamma = (17,0 \pm 0,2)$$

Passet sehr gut untereinander! Somit sind die Näherungen verifiziert.

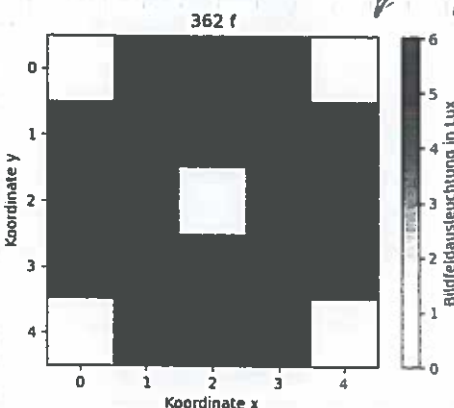
362e/f

M	E(e) in Lux	E(f) in Lux	$\Delta E(e)$ in Lux	$\Delta E(f)$ in Lux
1	5,73	4,97	0,172	0,149
2	5,83	4,95	0,175	0,149
3	6,11	5,02	0,183	0,151
4	5,65	4,6	0,170	0,138
5	5,89	5,19	0,177	0,156
6	6,37	5,16	0,191	0,155
7	6,64	5,1	0,199	0,153
8	6,46	5,16	0,194	0,155
9	6,11	5	0,183	0,150
10	6,47	5,39	0,194	0,162
11	7,06	5,66	0,212	0,170
12	6,72	5,43	0,202	0,163
13	6,72	5,51	0,202	0,165
14	6,89	5,39	0,207	0,162
15	7	5,96	0,210	0,179
16	7,42	6,02	0,223	0,181
17	6,59	5,52	0,198	0,166
18	6,72	5,63	0,202	0,169
19	6,5	5,4	0,195	0,162
20	6,32	5,42	0,190	0,163



Mittelwert $E(e)$ in Lux

$$E = 6,460$$



Mittelwert $E(f)$ in Lux

$$E = 5,324$$

Der Fehler beträgt jeweils 0,03%

Mit der Kondensorlinse (180°) gedreht sieht man dass die Bildfeldausleuchtung deutlich heller ist. Auch den Plotts sieht man das nicht gut da der erste bis 7,42 lux reicht und der Plott zu f) nur bis 6,02 geht. Schaut man sich jedoch die

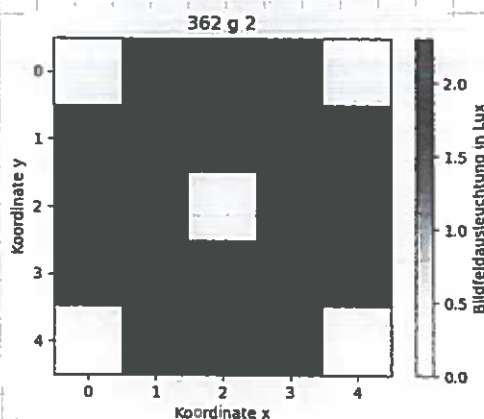
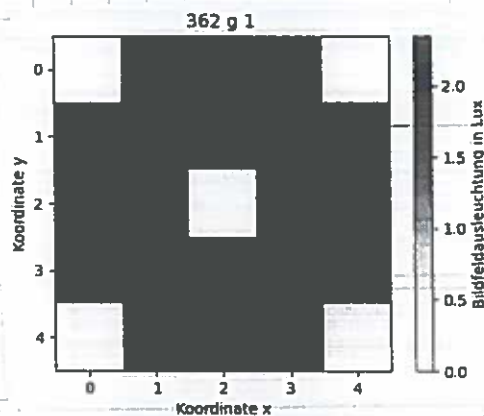
Werte sieht man es deutlich.

Bei der e) standen sich die gewölbten Seiten der Linse im Kondensor gegenüber bei der f) jedoch die ebenen Seiten.

Ursache für den Unterschied zwischen der Helligkeit und Schärfe ist logischerweise die 180° Drehung bei der e) werden die Strahlen gebündelt und auf einen Bereich fixiert, welchen er der Wand trifft und uns die Lux-Werte liefert. Bei der f) kommt es jedoch zur Streuung des Lichts durch die Kondensorlinse, da diese nun mit der planen Seite zu den einfallenden Strahlen steht. Die Lichtstrahlen werden deswegen auf eine größere Fläche (B) verteilt und die jeweilige Intensität ist niedriger. Eine deutliche Zunahme von Bildfehlern (chromatische Aberration) und Unschärfe der Mäntchen war zu beobachten.

362 g

M	E1 in Lux	E2 in Lux	$\Delta E1$ in Lux	$\Delta E2$ in Lux
1	1,60	1,82	0,048	0,055
2	1,81	1,97	0,054	0,059
3	1,95	1,96	0,059	0,059
4	1,62	1,75	0,049	0,053
5	1,77	1,99	0,053	0,060
6	1,86	2,25	0,056	0,068
7	2,15	2,27	0,065	0,068
8	2,17	2,01	0,065	0,060
9	1,81	1,85	0,054	0,056
10	1,82	2,09	0,055	0,063
11	2,23	2,25	0,067	0,068
12	2,26	2,01	0,068	0,060
13	1,87	1,78	0,056	0,053
14	2,01	2,13	0,060	0,064
15	2,23	2,3	0,067	0,069
16	2,35	2,16	0,071	0,065
17	2,21	1,87	0,066	0,056
18	1,91	1,72	0,057	0,052
19	1,86	1,68	0,056	0,050
20	2,01	1,46	0,060	0,044



d) $G = 1 \text{ cm}$ $B = (33,5 \pm 0,1) \text{ cm}$

⇒ Plotsseite zur Wand: Das Bild wird

vergrößert chrom. - und sphärische

Aberration $\gamma = B/G$ und $\Delta\gamma = \frac{\Delta B}{G}$

$\gamma_1 = (33,5 \pm 0,1)$

e) $G = 1 \text{ cm}$ $B = (34,4 \pm 0,1) \text{ cm}$ ⇒ Gewölbte Seite zur Wand

starke Verzerrung und Bildfeldwölbung

$\gamma = B/G$ und $\Delta\gamma = \frac{\Delta B}{G}$

$\gamma_2 = (34,4 \pm 0,1)$

Da die Linse eine kleinere Brennweite hat, hat sich das Bild stark vergrößert. An den Platts ~~erkennt man~~ erkennt man dass die Bildfeldausleuchtung deutlich geringer ist als mit der anderen Linse ($f=100\text{mm}$). Die $f=100\text{mm}$ Linse ist besser als Kondensor geeignet. Wir haben leider nicht gut gemessen da es für die Bildfeldausleuchtung von g_1 und g_2 keinen direkten sichtbaren Unterschied gibt. ② müsste deutlich heller sein aus den aus gilt genannten Grund. Der Hauptgrund für die betrachteten Unterschiede beider Linsen ist, dass hier die Näherungen für dünne Linsen nicht mehr gut passt. $f(100\text{mm})$ ist fast doppelt so groß im Radius wie die $f(53\text{mm})$ Linse.

362h

Bei Testdia 1 & 2 waren jeweils die gleichen Fehler zu betrachten mit oder ohne Blende. Bei Testdia 3 hat man eine stärkere chrom. Aberr. als bei 1 & 2 gesehen sphäris. Aberr., Bildverzerrung und Bildfeldwölbung waren gleich. Mit der Irisblende hat man am Rand chrom. Aberr. erkennen können. Testdia 4 war ohne Blende identisch zu 3. mit Blende war fast keine Bildfeldwölbung mehr sichtbar das gleiche gilt für die Bildverzerrung, die chrom. Aberr. war stärker abgebildet. Testdia 5 hatte ohne Blende eine sehr starke sichtbare chrom. Aberr. der Rest war wieder identisch (gleich) stark. Mit Irisblende war eine sehr starke Bildfeldwölbung erkennbar. Bei Testdia 6 waren keine Fehler zu erkennen, nur ohne Blende war eine fast nicht erkennbare chromatische Aberration erkennbar.

Fazit

Bei der a) haben wir jeweils B und x, x' gemessen um anhand der Steigung unseres Diagramms die Brennweiten und Hauptebenen zu berechnen. Nach dem Eintragen meiner Werte in die Zeichnung von 362f eingetragen haben sieht man dass diese nicht so gut passen. ~~Wahrscheinlich~~ sind sie aber auch nicht da man mit Abweichungen gerechnet hat wegen der Abbildungsfehler. Bei der c) haben wir die gemessenen/berechneten Werte mit dem Ergebnis aus der Formel verglichen und eine sehr starke Übereinstimmung erkannt. Die Messung für e, f & g verliefen fast gleich nur dass wir für f die Kondensorlinse um 180° gedreht haben und für g die Objektlinse durch eine Kondensorlinse ersetzt haben. Dieser Versuchsteil hatte bei der Messung keine Probleme dargestellt. Meine Ergebnisse erscheinen sinnvoll. Bei der d) war nur zu überprüfen ob 2 Bedingungen erfüllt sind was bei uns klar der Fall war. Bei der h) haben wir uns für 6 Testlochs die

Abbildungsfehler untersucht und notiert wobei fast alle Dias alle Abbildungsfehler hatten

Abschließend kann man sagen dass dieser Versuch sehr gut durchgeführt wurde. Es gibt keine riesen Abweichungen bei unseren gemessenen Werten.

