

Hinweis

Das vorliegende Protokoll wurde im Rahmen der jeweiligen Lehrveranstaltung an der Universität Bonn erstellt. Sofern im oberen Teil der ersten Seite oder auf der unten angegebenen Webseite nicht anders vermerkt, wurde dieses Protokoll von mir, Marvin Zanke, alleine angefertigt und eingereicht. Bei allem in einer anderen Farbe als dem üblichen Blau handelt es sich in der Regel um Korrekturen von mir oder des Tutors. Für mehr Informationen und meine gesamten Unterlagen, siehe:

<https://www.physics-and-stuff.com/>

Ich erhebe keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit des vorliegenden Protokolls! Dies gilt ebenso für obengenannte Korrekturen.

Dieses Werk von [Marvin Zanke](#) ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](#).

07.03.2016 Versuch 362: Linsen und Linsensysteme

In diesem Versuch soll der Umgang mit Linsen und Systemen aus mehreren Linsen erlernt werden.

Es wird auf Näherungen für dünne (dicke) Linsen eingegangen und es sollen theoretisch bestimmte Bildkonstruktionen und Brennweiten experimentell überprüft werden. Außerdem wird mit einem Dia projektor gearbeitet und einige Eigenschaften, wie zum Beispiel dessen Vergrößerung bestimmt sowie einige Abbildungsfehler erläutert.

Größen, Formeln, Begriffe

Gaußsche Abbildungsglg.: $\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$
 $\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \beta$

Newton'sche Ab.glg.: $(b-f)(g-f) = f^2$ durch direktes Umformen

Bildkonstruktion: 3 Strahlen durch Hauptebene:
Parallelstrahl, Mittelpunktstrahl, Brennpunktstrahl

Dünne Linsen: 2 Hauptebenen so eng beieinander, dass als eine angenommen werden kann.

Dicke Linsen / Systeme: Gegenstands- und Bildseitige Hauptebenen H_g und H_b gebrennt. Zwischen H_g und H_b parallel. Abstand Brennpunkt Hauptebenen: Brennweite
Ab.glg. gelten weiterhin.

Fg, Fb, Hg, Hb Zehnermaß:

1) Bild B_1 von B_2 durch Linse 1

Bild B von B_1 durch Linse 2

2) Verlängerung $\overline{L_2}$ nach Brechung an L_2 schneidet opt. Achse in F_2 .

Bildseitiger achsenpar. Strahl in F_2' gebrochen, rückwärtige Verlängerung \rightarrow Brechung an $L_1 \rightarrow F_1$

3) Verlängerung achsenpar. Strahl von G Schnitt mit bildseitig verlängertem System - Brennstrahl für H_2 .
Hg analog.

Exp. Bestimmung Brennweite (Hauptebenen nach Abbe)

Abb.maßstab δ ; Entfernung Gegenstand x / Bild x'
Entf. geg. schräger Hauptebene h / bildseitige Hauptebene h'
alles bezogen auf bel. aber festen Punkt X .

$$g = f \left(1 + \frac{1}{\delta} \right), \quad b = f (1 + \delta)$$

$$x = f \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) + h, \quad x' = f (1 + \delta) + h'$$

Linsegleichung

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Gültigkeit Abbildungsglg.:

1) $d \ll r_1, r_2$

2) Abstand opt. Achse - Strahl $\ll r_1, r_2$

3) Für Winkel muss $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ gelten

4) Dispersion vernachlässigt

5) keine Begrenzung durch Blenden

Abbildungsfehler

- 1) sph. Abbeartion (Öhrfehler)
 - 2) Koma (Asymmetriefehler)
 - 3) Astigmatismus (Punkthelligkeit)
 - 4) Bildfeldwölbung
 - 5) Verzerrung
 - 6) Chrom. Aberration
- } Schärfte
} Lage
} Farbe

sph. Aberration

Achsenparallele Strahlen werden nur näherungsweise
(Abstand opt. Achse klein zum Krümmungsradius Linse)
in Brennpunkt fokussiert.

Für Randstrahlen eigentlich kleiner Brennweite

Chr. Aberration

Brennweite hängt von Brechzahl ab und diese von Wellenlänge

Aufgabe A

Strahlensatz auf der Bildseite zwischen Brennpunktstrahl
und optischer Achse liefert:

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

Außerdem gilt bekanntlich $\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \gamma$ (Strahlensatz durch
Mittelpunkt der Linse)

Damit:

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

Aufgabe B

Bei unterschiedlichen Medien würden die Strahlen auf beiden Seiten nicht symmetrisch sondern unterschiedlich gebrochen werden. Das bedeutet auch unterschiedliche Brennpunkte für beide Seiten, welche man mit der Linsen-Scheitelformel ausrechnen kann.

$$\frac{1}{f_g} = \frac{n_L - n_g}{n_g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \text{und} \quad \frac{1}{f_b} = \frac{n_L - n_b}{n_b} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

f_g : Brennpunkt gegenseitig

f_b : Brennpunkt bildseitig

n_g : Brechungsindex Gegenseite

n_b : Brechungsindex Bildseite

n_L : Brechungsindex Linse

$r_{1,2}$: Radien der Linsenflächen

Aufgabe C

g : Abstand Gegenstand-Linse, f : Abstand Brennpunkt-Linse

$g > 2f$: reelles, verkleinertes, umgedrehtes Bild

$f < g < 2f$: reelles, vergrößertes, umgedrehtes Bild

$g < f$: virtuelles, vergrößertes, aufrechtes Bild

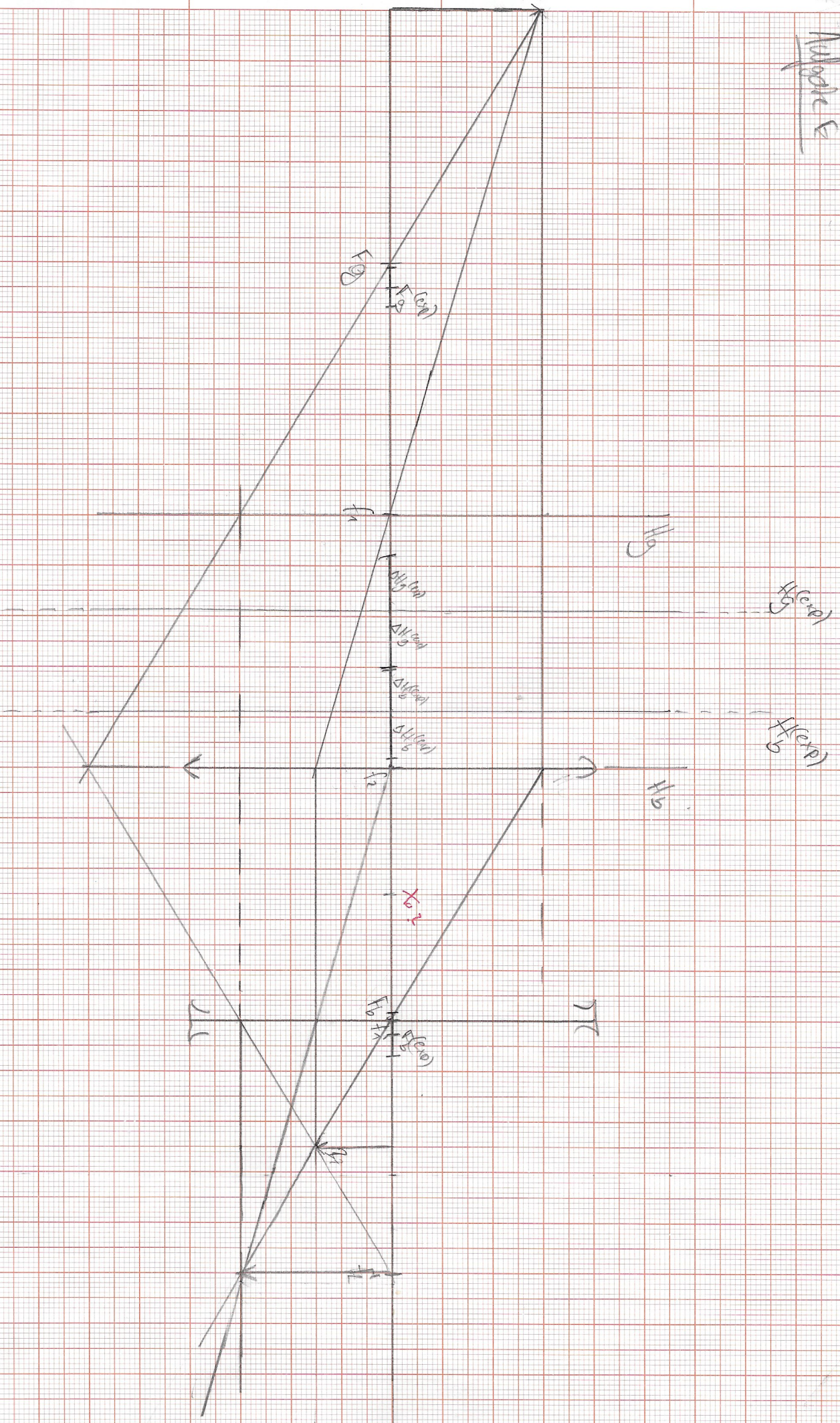
Aufgabe D:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = (n-1) \left(\frac{2}{r_1} \right), \text{ da symmetrisch}$$

$$\Leftrightarrow r_1 = 2f(n-1) = f \quad \text{mit } n=1,5$$

$$\Leftrightarrow f = 5 \text{ cm}$$

Aufgabe 5

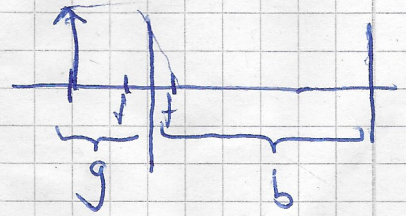


Aufgabe F

$$f = 5 \text{ cm}, \quad b = 5 \text{ mm}$$

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

$$\Leftrightarrow g = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{b}} = \frac{fb}{b-f} = 5,05 \text{ cm}$$

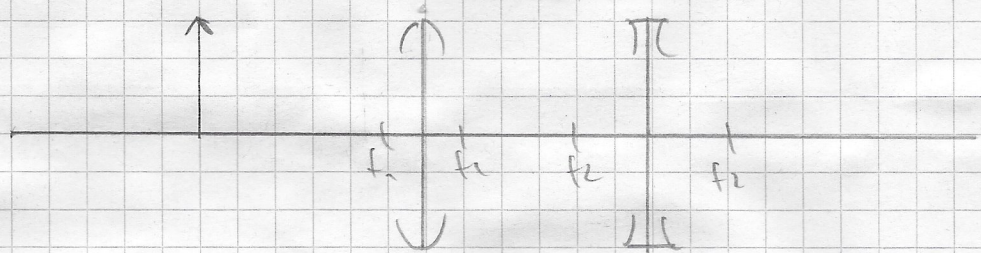


$$\Rightarrow x = g - f = 0,05 \text{ cm} = 0,5 \text{ mm}$$

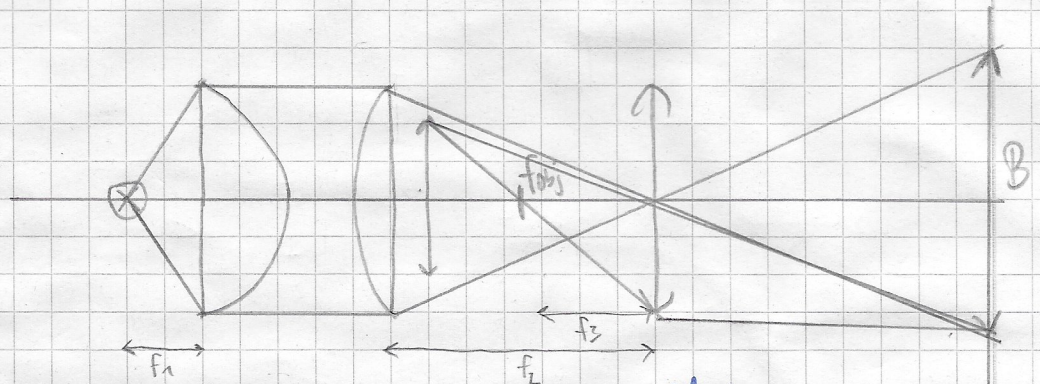
Plate

Versuchsaufbau und Durchführung

Im ersten Versuchsteil sollen mit Hilfe des Abbe-Verfahrens Brennweiten und Hauptebenen eines Systems aus Sammellinse und Zerstreuungslinse mit folgendem Aufbau bestimmt werden:



Im zweiten Versuchsteil geht es um einen Projektionsapparat nach folgendem Aufbau:



Nachdem man das Gerät auf gleichmäßige Bildfeldausdehnung und die Dias gut eingestellt hat, misst man an 20 Messpunkten die Bildfeldausdehnung. Dann dreht man die Sammellinse des Kondensiers und wiederholt die Messung. Als letztes misst man die Vergrößerung und untersucht Abbildungsfehler des Objektivs.

Messung:

d)

Nachdem man einen Dia projektor mit folgenden Eigenschaften aufgebaut hat:

obj. Kondensatorlinse: $f = 5,3 \text{ cm}$

planconvexer Kondensator: $f = 30 \text{ cm}$

Objektivlinse $f = 25 \text{ cm}$

Man versichert sich bei einer scharfen Abbildung leicht, dass mit dem Testdia 1 gilt:

$$\gamma = \frac{B}{G} = \frac{b}{f_3}$$

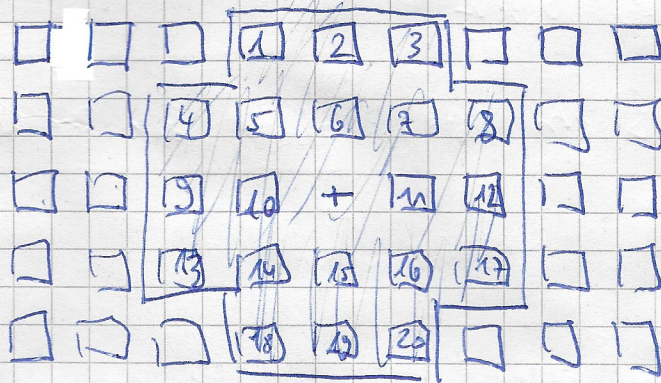
mit $B = \text{Abstand} (16,3 \pm 0,1) \text{ cm}$

$G = 1 \text{ cm}$

$f_3 = 25 \text{ cm}$

$b = (4,0 \pm 0,01) \text{ m} = (400 \pm 1) \text{ cm}$

e), f)



Untergrundmessung

$(2,2 \pm 0,1) \text{ lux}$

Messpunkt	Bildfeldausdehnung in μm ^{Ev}	Bildfeldausdehnung ^{180°} ^{Ev}	Bildfeldausd. durch Linse ^{Ev}
1	$9,7 \pm 0,2$	$5,4 \pm 0,2$	
2	$9,7 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,2$	
3	$10 \pm 0,2$	$3,7 \pm 0,2$	
4	$9 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,2$	
5	$8,9 \pm 0,2$	$12,1 \pm 0,2$	
6	$7,7 \pm 0,2$	$11,0 \pm 0,2$	
7	$8,6 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,2$	
8	$10 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$	
9	$8,6 \pm 0,2$	$6,9 \pm 0,2$	
10	$9,7 \pm 0,2$	$11,6 \pm 0,2$	
11	$9,0 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,2$	
12	$8,5 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$	
13	$9 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,2$	
14	$11 \pm 0,2$	$5,8 \pm 0,2$	
15	$10,5 \pm 0,2$	$5,6 \pm 0,2$	
16	$9,5 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,2$	
17	$9,2 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,2$	
18	$8,7 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,2$	
19	$9,0 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,2$	
20	$8,5 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$	

g) Problem bei der Aufgabe. -

Objektivlinse: $f_3 = 5,3 \text{ cm}$

pl.-konvexe Linse: $f_2 = 10 \text{ cm}$

Gesp.-Kondensator: $f_1 = 5,3 \text{ cm}$

$B = (82,5 \pm 0,5) \text{ cm}$ für plane Seite zur Wand

$G = 1 \text{ cm}$

äußere Umschlag

Wenn konvexe Seite zur Wand, so verschiebt sich der

Brennpunkt weiter nach vorne. Bei gleicher Einstellung nichts zu sehen.

$B = (84,5 \pm 0,5) \text{ cm}$

h) chromatische Aberration

Bildfeldwölbung

Sphärische Aberration

Mit λ wachsend weniger Licht, dafür schärfer, denn man hat weniger Beugung

a) $G = (2,35 \pm 0,05)$

$f_1 = 5 \text{ cm}$

$f_2 = -5 \text{ cm}$

$P_{\text{Bez}} = 45 \text{ cm}$, P sind die jeweiligen Punkte von G, B, Brennpunkt

Kennlinie	P_G in cm	P_B in cm	B in cm
1	$28 \pm 0,1$	$56 \pm 0,1$	$3,5 \pm 0,1$
2	$28,3 \pm 0,1$	$57 \pm 0,1$	$4,2 \pm 0,1$
3	$28,4 \pm 0,1$	$57,5 \pm 0,1$	$4,3 \pm 0,1$
4	$28,6 \pm 0,1$	$58 \pm 0,1$	$4,4 \pm 0,1$
5	$28,9 \pm 0,1$	$58,5 \pm 0,1$	$4,7 \pm 0,1$
6	$29,2 \pm 0,1$	$59,0 \pm 0,1$	$4,9 \pm 0,1$
7	$29,3 \pm 0,1$	$59,5 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,1$
8	$29,3 \pm 0,1$	$60,0 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,1$
9	$29,5 \pm 0,1$	$60,5 \pm 0,1$	$5,4 \pm 0,1$
10	$29,6 \pm 0,1$	$61,0 \pm 0,1$	$5,6 \pm 0,1$

M. Ceylan

Auswertung

a) Zuerst übernimmt man hierfür die Tabelle aus den Messungen. Dabei nimmt man den Bezugspunkt (Lage der Linse + Blende) als fehlerfrei an. Die Punkte auf der Skala von Schirm und Gegenstand sind P_G und P_B . Diese weisen jeweils einen geschätzten Fehler von 0,1 auf, da man das Bild nicht mit absoluter Sicherheit scharf stellen kann und außerdem nicht exakt genau ablesen kann. Die Bildgröße weist ebenfalls einen Fehlerwert auf.

Außerdem gilt wie gehabt:

$$\begin{cases} x = P_{\text{Bez}} - P_G \\ x' = P_B - P_{\text{Bez}} \end{cases} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta x = \sqrt{(\Delta P_{\text{Bez}})^2 + (\Delta P_G)^2} = |\Delta P_G| \\ \Delta x' = \sqrt{(\Delta P_B)^2 + (\Delta P_{\text{Bez}})^2} = |\Delta P_B| \end{array} \right.$$

mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung

G und B werden mit Fehler übernommen.

Es gilt $\gamma = \frac{B}{G}$ und damit $\frac{1}{\gamma} = \frac{G}{B}$

$$\Rightarrow \Delta \left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) = \Delta \left(\frac{G}{B}\right) = \sqrt{\left(\frac{1}{B} (\Delta G)\right)^2 + \left(\frac{G}{B} (\Delta B)\right)^2}$$

$$\Delta (1 + \gamma) = \Delta \left(\frac{B}{G}\right) = \sqrt{\left(\frac{1}{G} (\Delta B)\right)^2 + \left(\frac{B}{G} (\Delta G)\right)^2}$$

In GnuPlot erhält man mit der Tabelle auf der nächsten Seite für die Plots dann:

mitteln und einzeichnen

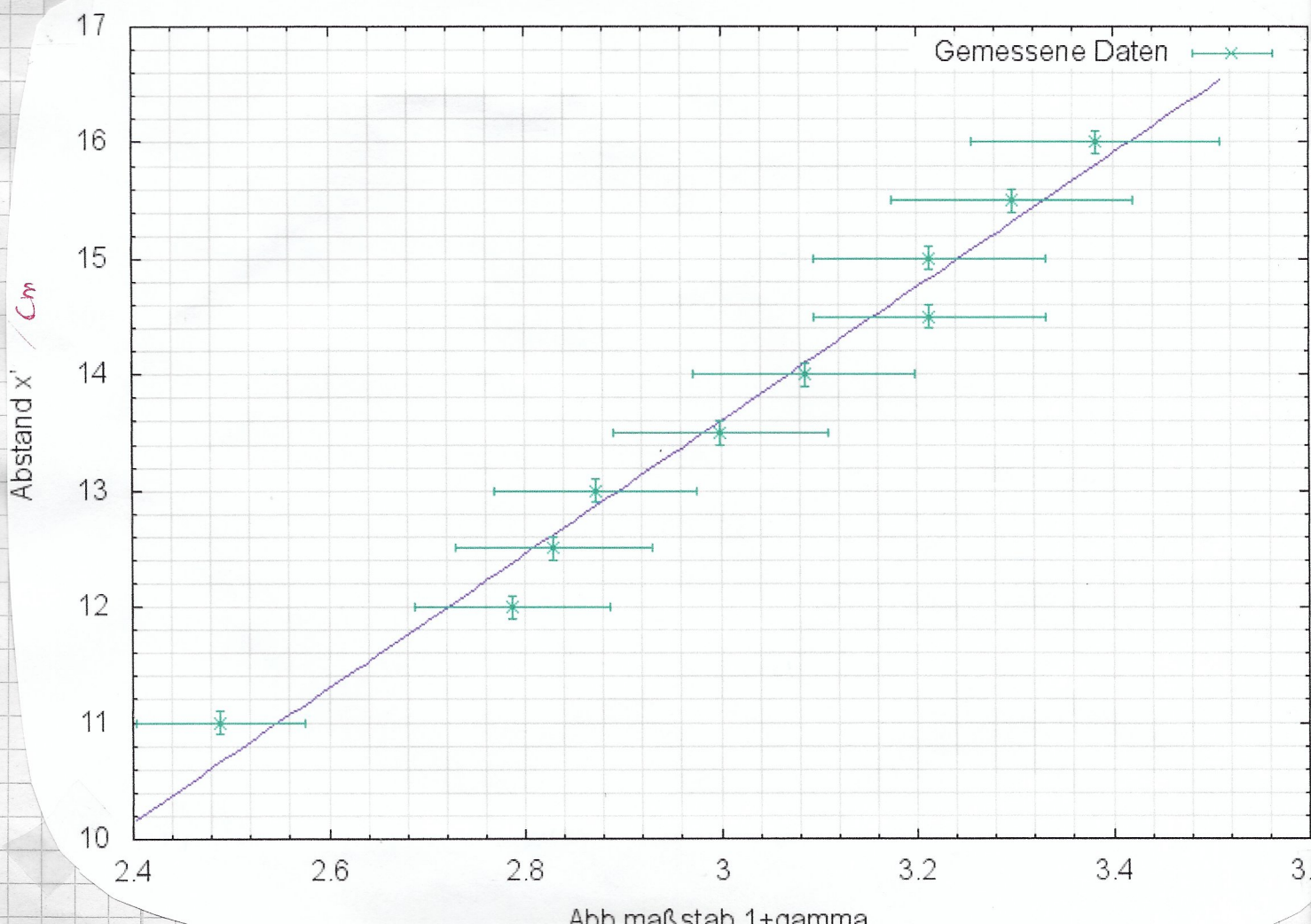
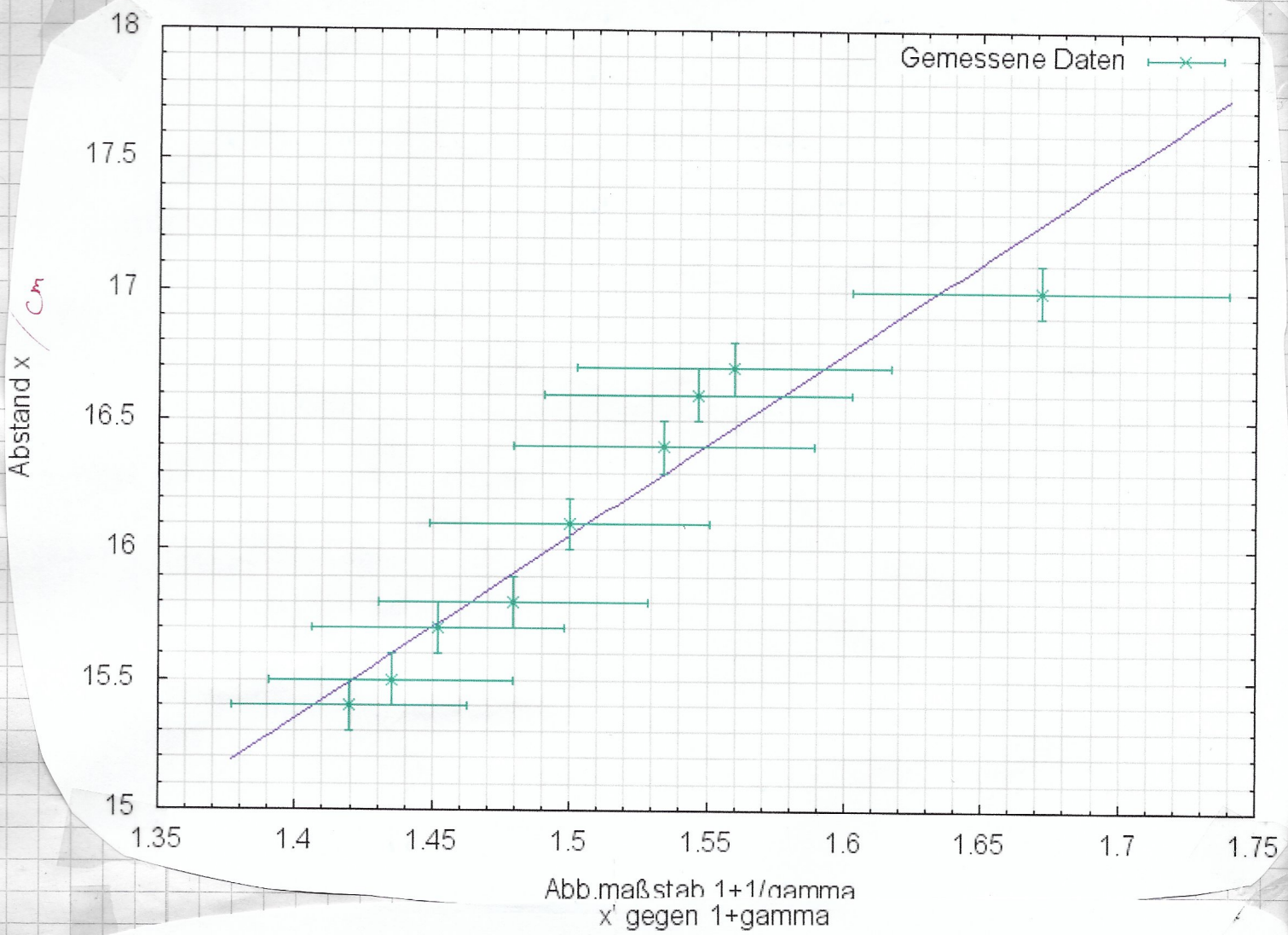
$$\begin{aligned} f &= (7,034 \pm 0,714) \text{ cm}, & h &= (5,504 \pm 1,075) \text{ cm} \\ f' &= (5,756 \pm 0,307) \text{ cm}, & h' &= (-3,667 \pm 0,931) \text{ cm} \end{aligned}$$

Wobei offensichtlich Fehler passen sind, denn es sollte $f = f'$ gelten.

°	P_{Bez}	P_G	ΔP_G	P_B	ΔP_B	x	Δx	x'	$\Delta x'$	G	ΔG	B	ΔB	$1+1/\gamma=1+G/B$	$\Delta(1+1/\gamma)$	$1+\gamma=1+B/G$	$\Delta(1+\gamma)$
1	45	28	0.1	56	0.1	17	0.1	11	0.1	2.35	0.05	3.5	0.1	1.67142857	0.0686458	2.4893617	0.0857687
2	45	28.3	0.1	57	0.1	16.7	0.1	12	0.1	2.35	0.05	4.2	0.1	1.55952381	0.0572048	2.787234	0.0989762
3	45	28.4	0.1	57.5	0.1	16.6	0.1	12.5	0.1	2.35	0.05	4.3	0.1	1.54651163	0.0558745	2.8297872	0.1009013
4	45	28.6	0.1	58	0.1	16.4	0.1	13	0.1	2.35	0.05	4.4	0.1	1.53409091	0.0546046	2.8723404	0.1028344
5	45	28.9	0.1	58.5	0.1	16.1	0.1	13.5	0.1	2.35	0.05	4.7	0.1	1.5	0.0511192	3	0.1086774
6	45	29.2	0.1	59	0.1	15.8	0.1	14	0.1	2.35	0.05	4.9	0.1	1.47959184	0.0490327	3.0851064	0.1126053
7	45	29.3	0.1	59.5	0.1	15.7	0.1	14.5	0.1	2.35	0.05	5.2	0.1	1.45192308	0.0462039	3.212766	0.1185395
8	45	29.3	0.1	60	0.1	15.7	0.1	15	0.1	2.35	0.05	5.2	0.1	1.45192308	0.0462039	3.212766	0.1185395
9	45	29.5	0.1	60.5	0.1	15.5	0.1	15.5	0.1	2.35	0.05	5.4	0.1	1.43518519	0.0444926	3.2978723	0.1225207
10	45	29.6	0.1	61	0.1	15.4	0.1	16	0.1	2.35	0.05	5.6	0.1	1.41964286	0.0429036	3.3829787	0.1265197

se viele Nachkommastellen sinnvoll?

x gegen $1+1/\gamma$



b) Unser Bezugspunkt P_{Bz} war genau bei 45 cm gewählt, wobei er durch den Mittelpunkt zwischen den beiden Linsen markiert wurde. Damit müssen in unserer Skizze die experimentell bestimmten Werte für h, h' und f_m auch von dort aus abgetragen werden (die Skizze befindet sich weiter vorne, Aufgabe E).

$$\text{Für } f_m \text{ gilt: } f_m = \frac{f+f'}{2} \rightarrow \Delta f_m = \frac{1}{2} \sqrt{(\Delta f)^2 + (\Delta f')^2}$$

$$\Rightarrow f_m = (6,395 \pm 0,389) \text{ cm}$$

! d verbleibt nicht
warum man für positives
 h auch "nach links" gehen
muss in der Skizze??

$$c) \frac{1}{f_{\text{ges}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

$$\text{Gegeben waren die Werte: } \left. \begin{array}{l} f_1 = 5 \text{ cm} \\ f_2 = -5 \text{ cm} \\ d = 5 \text{ cm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{alle} \\ \text{fehlerfrei} \end{array}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f_{\text{ges}}} = \frac{1}{5 \text{ cm}} + \frac{1}{-5 \text{ cm}} - \frac{5 \text{ cm}}{(-5 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm})} = + \frac{1}{5 \text{ cm}}$$

$$\Leftrightarrow f_{\text{ges}} = + 5 \text{ cm}$$

Für x' hatten wir als Ergebnis $f = (7,756 \pm 0,307) \text{ cm}$, was relativ nah an dem theoretisch errechneten Wert liegt (dieser stimmt übrigens sehr gut mit dem zeichnerisch ermittelten Wert überein - also ein Lob an mich selbst).

Für x allerdings liegt f mit $f = (7,034 \pm 0,774) \text{ cm}$ ziemlich weit neben dem theoretischen Wert. Da die Apparatur recht wackelig erschien, kommt dies zusätzlich zu Ablesfehlern und nicht genau schärf gestellten Abbildungen als Fehlerquelle hinzu!

d) Hier überprüft man noch durch Messung der Bildgröße und Bildweite, dass die Näherungen $\gamma = \frac{b}{f_3}$ und $\gamma = \frac{B}{G}$ erfüllt sind. Mit den gemessenen Werten ergibt sich:

$$\gamma = \frac{b}{f_3}, \quad \Delta\gamma = \frac{\Delta b}{f_3} \Rightarrow \gamma = (16 \pm 0,04)$$

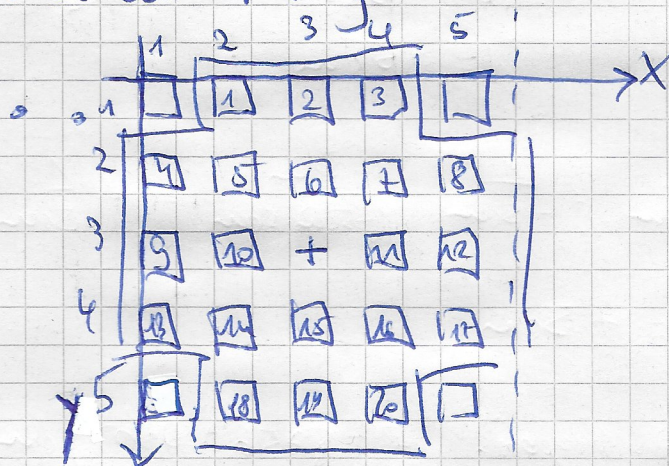
$$\gamma = \frac{B}{G}, \quad \Delta\gamma = \frac{\Delta B}{G} \Rightarrow \gamma = (16,3 \pm 0,1)$$

Stimmen sehr gut überein!

War das bei der Aufgabe wirklich verdammt? $n=2$?

Das ist eine Aufgabe, die sicher stellen will/soll, dass ihr keinen Fehler beim Aufbau macht.

e) Um dies vernünftig mit Skizzen darzustellen, legt man sich das Koordinatensystem nochmal etwas geschickter als bei der Messung



Die Zahlen in den Kästchen entsprechen den alten Nummerierungen, die Zahlen an den Achsen sind die neuen Identifizierungen, so ordnen wir jedem Feld jetzt ein Tupel (x, y) zu, und der entsprechende Z -Wert gibt die Bildfeldanstellung an. Außerdem subtrahiert man den Untergrund von jedem Messwert

$$E'_v = E_v - U \Rightarrow \Delta E'_v = \sqrt{(\Delta E_v)^2 + (\Delta U)^2}$$

Man erhält so!

°	X	Y	Bildfeldausleuchtung E _V in Lux	ΔE _V in Lux	Untergrundmessung U in Lux	ΔU in Lux	B.f.a. E korrigiert E' _V in Lux	ΔE' _V in Lux
1	2	1	9.7	0.2	2.2	0.1	7.5	0.2236068
2	3	1	9.7	0.2	2.2	0.1	7.5	0.2236068
3	4	1	10	0.2	2.2	0.1	7.8	0.2236068
4	1	2	9	0.2	2.2	0.1	6.8	0.2236068
5	2	2	8.9	0.2	2.2	0.1	6.7	0.2236068
6	3	2	7.7	0.2	2.2	0.1	5.5	0.2236068
7	4	2	8.6	0.2	2.2	0.1	6.4	0.2236068
8	5	2	10	0.2	2.2	0.1	7.8	0.2236068
9	1	3	9.6	0.2	2.2	0.1	7.4	0.2236068
10	2	3	9.7	0.2	2.2	0.1	7.5	0.2236068
11	4	3	9	0.2	2.2	0.1	6.8	0.2236068
12	5	3	8.5	0.2	2.2	0.1	6.3	0.2236068
13	1	4	9	0.2	2.2	0.1	6.8	0.2236068
14	2	4	11	0.2	2.2	0.1	8.8	0.2236068
15	3	4	10.5	0.2	2.2	0.1	8.3	0.2236068
16	4	4	9.5	0.2	2.2	0.1	7.3	0.2236068
17	5	4	9.2	0.2	2.2	0.1	7	0.2236068
18	2	5	8.7	0.2	2.2	0.1	6.5	0.2236068
19	3	5	9	0.2	2.2	0.1	6.8	0.2236068
20	4	5	8.5	0.2	2.2	0.1	6.3	0.2236068

Wachstumsraten!

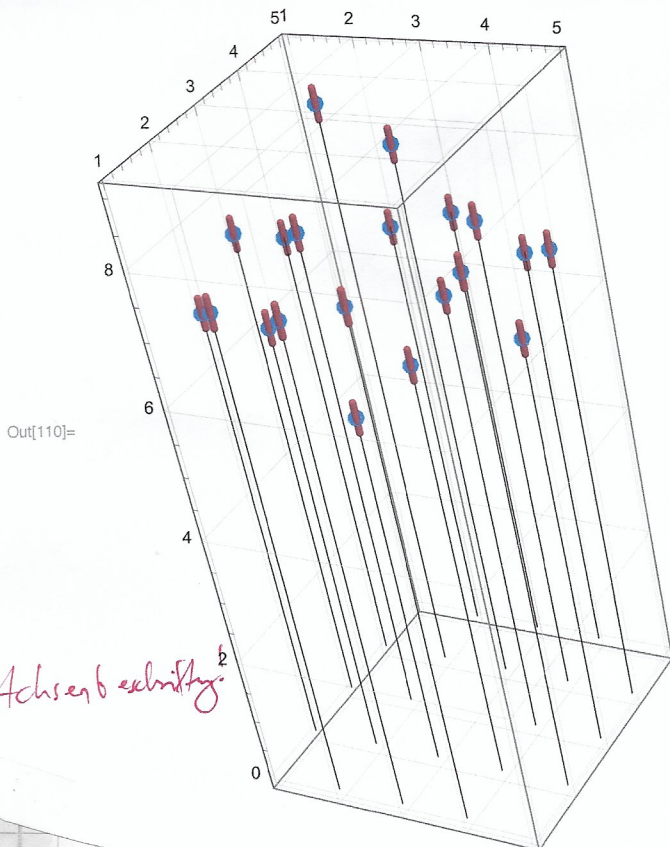


Der GroupPlot keine Fehlerbarren im 3D plotten kann, der folgende Plot mit Mathematica (Man erkennt leider nicht viel -)

```
In[108]= t[x_, y_, z_, dx_, dy_, dz_] := GeometricTransformation[Sphere[{0, 0, 0}, 1],  
AffineTransform[{DiagonalMatrix[{dx, dy, dz}], {x, y, z}}]];
```

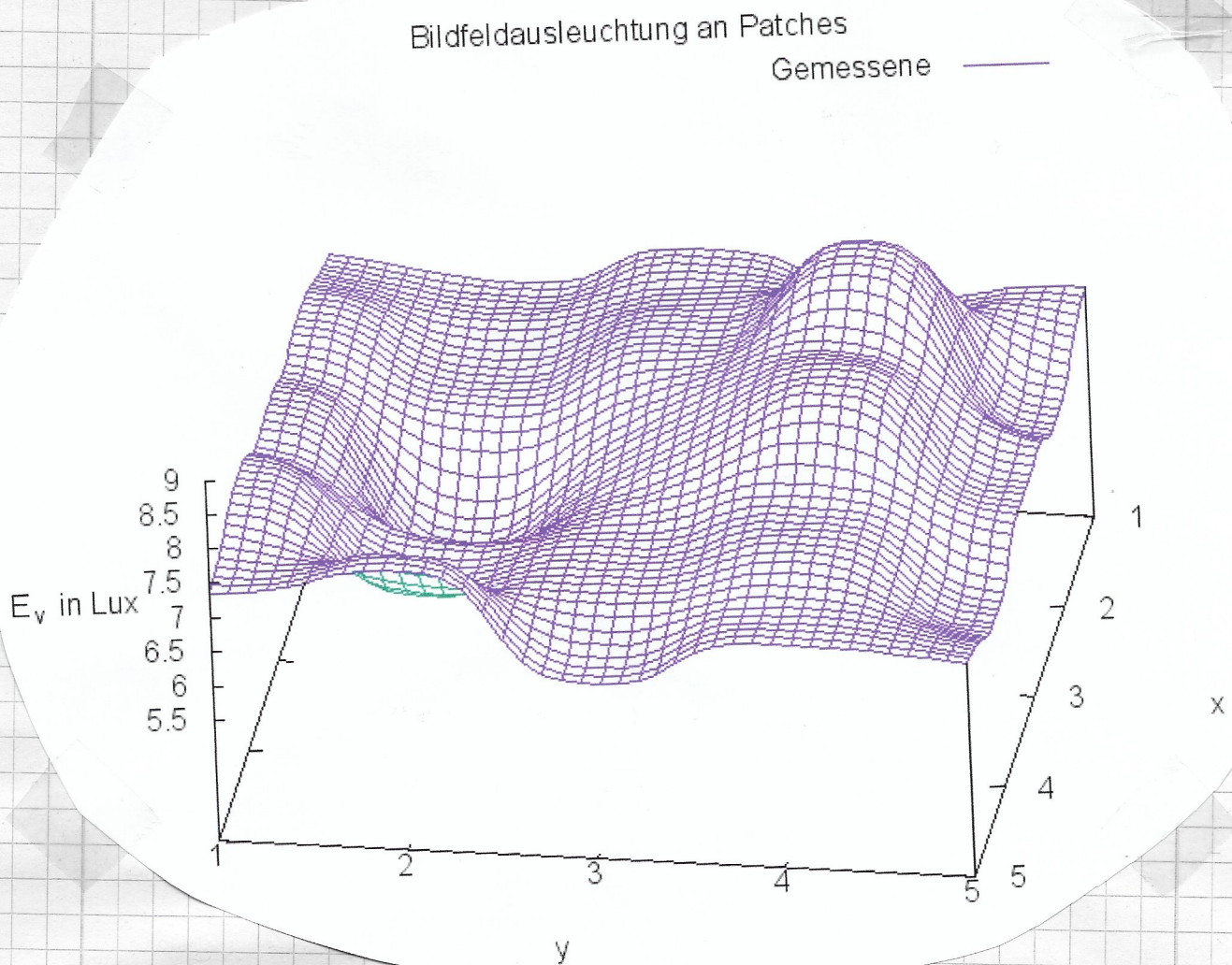
```
data = {{2, 1, 7.5, 0, 0, 0.224}, {3, 1, 7.5, 0, 0, 0.224},  
{4, 1, 7.8, 0, 0, 0.223606798},  
{1, 2, 6.8, 0, 0, 0.223606798},  
{2, 2, 6.7, 0, 0, 0.223606798},  
{3, 2, 5.5, 0, 0, 0.223606798},  
{4, 2, 6.4, 0, 0, 0.223606798},  
{5, 2, 7.8, 0, 0, 0.223606798},  
{1, 3, 7.4, 0, 0, 0.223606798},  
{2, 3, 7.5, 0, 0, 0.223606798},  
{4, 3, 6.8, 0, 0, 0.223606798},  
{5, 3, 6.3, 0, 0, 0.223606798},  
{1, 4, 6.8, 0, 0, 0.223606798},  
{2, 4, 8.8, 0, 0, 0.223606798},  
{3, 4, 8.3, 0, 0, 0.223606798},  
{4, 4, 7.3, 0, 0, 0.223606798},  
{5, 4, 7, 0, 0, 0.223606798},  
{2, 5, 6.5, 0, 0, 0.223606798},  
{3, 5, 6.8, 0, 0, 0.223606798},  
{4, 5, 6.3, 0, 0, 0.223606798}  
};
```

```
Graphics3D[  
{Line[{{#1, #2, 0}, {#1, #2, #3}}], Red, Tube[{{#1 - #4, #2, #3}, {#1 + #4, #2, #3}}],  
Tube[{{#1, #2 - #5, #3}, {#1, #2 + #5, #3}}],  
Tube[{{#1, #2, #3 - #6}, {#1, #2, #3 + #6}}],  
{Blue, PointSize[0.03], Point[{#1, #2, #3}], {Opacity[0.4],  
t[{#1, #2, #3, #4, #5, #6}]} & @@@ data, Axes -> True, FaceGrids -> All}
```



Besser ging es leider echt nicht!

Mit GnuPlot ergibt sich etwas schöner bzw. anschaulicher
(hier wird approximiert, bzw. geschätzt wie die anderen
Werte - passend zu den Messwerten - aussehen):



1) (180° Drehung der Kondensertinsen)
Mit der veränderten Apparatur ergibt sich eine
neue Tabelle analog und die zwei neuen Plots
werden zusätzlich in das gleiche Diagramm
geplottet. Auch hier ist der Mathematische Plot mit
den Fehlerbalken nicht sehr ausschlussreich, der Plot
mit Gittern in GnuPlot stellt den Vergleich aber
deutlich dar!

°	x	y	Bildfeldausleuchtung E_v in Lux	ΔE_v in Lux	Untergrundmessung U in Lux	ΔU in Lux	B.f.a. E korrigiert E'_v in Lux	$\Delta E'_v$ in Lux
1	2	1	5.4	0.2	2.2	0.1	3.2	0.2236068
2	3	1	5.7	0.2	2.2	0.1	3.5	0.2236068
3	4	1	3.7	0.2	2.2	0.1	1.5	0.2236068
4	1	2	6	0.2	2.2	0.1	3.8	0.2236068
5	2	2	12.1	0.2	2.2	0.1	9.9	0.2236068
6	3	2	11	0.2	2.2	0.1	8.8	0.2236068
7	4	2	4.80	0.2	2.2	0.1	2.6	0.2236068
8	5	2	2.9	0.2	2.2	0.1	0.7	0.2236068
9	1	3	6.9	0.2	2.2	0.1	4.7	0.2236068
10	2	3	11.6	0.2	2.2	0.1	9.4	0.2236068
11	4	3	4	0.2	2.2	0.1	1.8	0.2236068
12	5	3	2.9	0.2	2.2	0.1	0.7	0.2236068
13	1	4	3.4	0.2	2.2	0.1	1.2	0.2236068
14	2	4	5.8	0.2	2.2	0.1	3.6	0.2236068
15	3	4	5.6	0.2	2.2	0.1	3.4	0.2236068
16	4	4	3.1	0.2	2.2	0.1	0.9	0.2236068
17	5	4	2.8	0.2	2.2	0.1	0.6	0.2236068
18	2	5	2.7	0.2	2.2	0.1	0.5	0.2236068
19	3	5	2.7	0.2	2.2	0.1	0.5	0.2236068
20	4	5	2.8	0.2	2.2	0.1	0.6	0.2236068

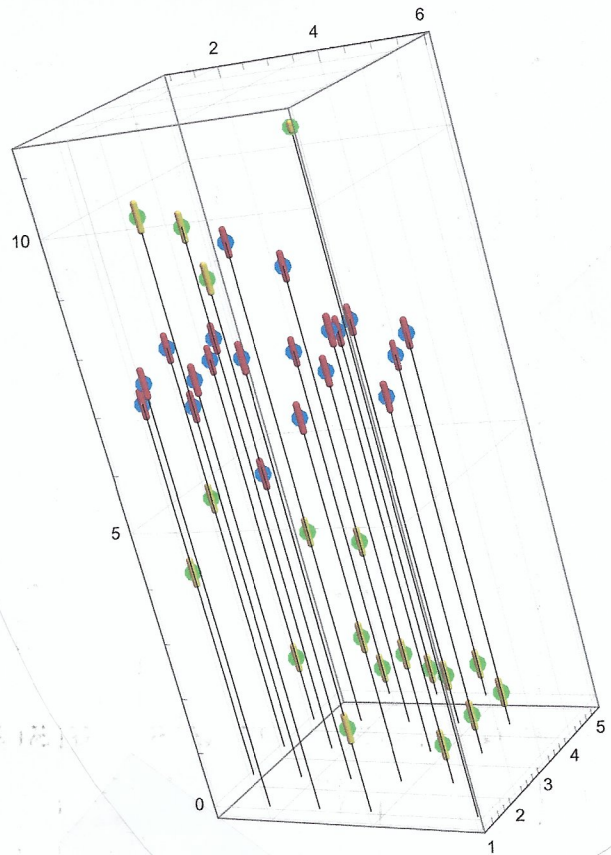

```
t[x_, y_, z_, dx_, dy_, dz_] := GeometricTransformation[Sphere[{0, 0, 0}, 1],
  AffineTransform[{DiagonalMatrix[{dx, dy, dz}], {x, y, z}}]];
```

```
data = {{2, 1, 7.5, 0, 0, 0.224}, {3, 1, 7.5, 0, 0, 0.224},
  {4, 1, 7.8, 0, 0, 0.223606798},
  {1, 2, 6.8, 0, 0, 0.223606798},
  {2, 2, 6.7, 0, 0, 0.223606798},
  {3, 2, 5.5, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 2, 6.4, 0, 0, 0.223606798},
  {5, 2, 7.8, 0, 0, 0.223606798},
  {1, 3, 7.4, 0, 0, 0.223606798},
  {2, 3, 7.5, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 3, 6.8, 0, 0, 0.223606798},
  {5, 3, 6.3, 0, 0, 0.223606798},
  {1, 4, 6.8, 0, 0, 0.223606798},
  {2, 4, 8.8, 0, 0, 0.223606798},
  {3, 4, 8.3, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 4, 7.3, 0, 0, 0.223606798},
  {5, 4, 7, 0, 0, 0.223606798},
  {2, 5, 6.5, 0, 0, 0.223606798},
  {3, 5, 6.8, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 5, 6.3, 0, 0, 0.223606798}
};
```

2 | Dia2.nb

```
Show[graph1, graph2]
```

```
data2 = {
  {2, 1, 3.2, 0, 0, 0.223606798},
  {3, 1, 3.5, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 1, 1.5, 0, 0, 0.223606798},
  {1, 2, 3.8, 0, 0, 0.223606798},
  {2, 2, 9.9, 0, 0, 0.223606798},
  {3, 2, 8.8, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 2, 2.6, 0, 0, 0.223606798},
  {5, 2, 0.7, 0, 0, 0.223606798},
  {1, 3, 4.7, 0, 0, 0.223606798},
  {2, 3, 9.4, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 3, 1.8, 0, 0, 0.223606798},
  {5, 3, 0.7, 0, 0, 0.223606798},
  {1, 4, 1.2, 0, 0, 0.223606798},
  {2, 4, 3.6, 0, 0, 0.223606798},
  {3, 4, 3.4, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 4, 0.9, 0, 0, 0.223606798},
  {5, 4, 0.6, 0, 0, 0.223606798},
  {2, 5, 0.5, 0, 0, 0.223606798},
  {3, 5, 0.5, 0, 0, 0.223606798},
  {4, 5, 0.6, 0, 0, 0.223606798}
};
```

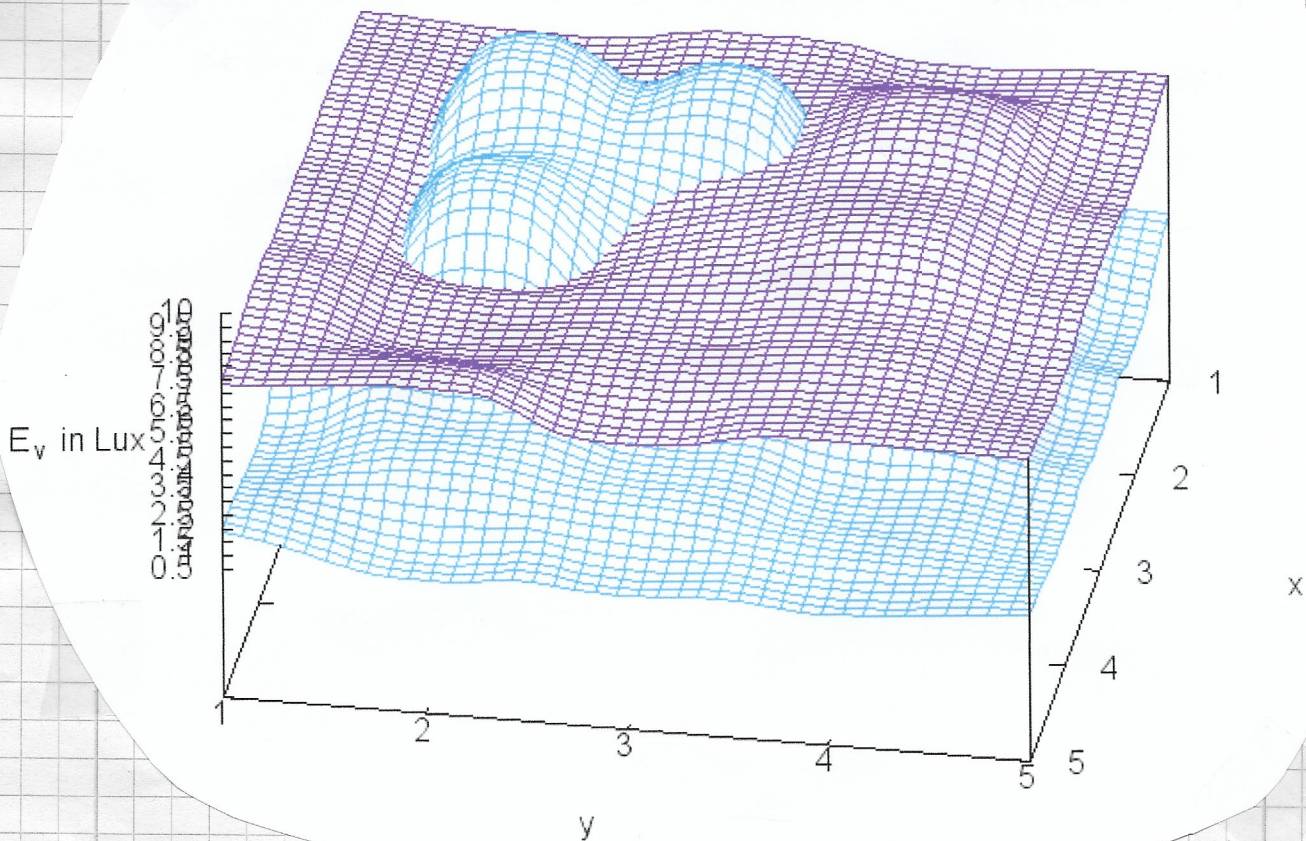


```
graph1 = Graphics3D[{Line[{{#1, #2, 0}, {#1, #2, #3}}],
  Red, Tube[{{#1 - #4, #2, #3}, {#1 + #4, #2, #3}}],
  Tube[{{#1, #2 - #5, #3}, {#1, #2 + #5, #3}}],
  Tube[{{#1, #2, #3 - #6}, {#1, #2, #3 + #6}}],
  {Blue, PointSize[0.03], Point[{{#1, #2, #3}}], {Opacity[0.4],
  t[{{#1, #2, #3, #4, #5, #6}}] & @@@ data, Axes -> True, FaceGrids -> All}];
graph2 = Graphics3D[{Line[{{#1, #2, 0}, {#1, #2, #3}}], Yellow,
  Tube[{{#1 - #4, #2, #3}, {#1 + #4, #2, #3}}],
  Tube[{{#1, #2 - #5, #3}, {#1, #2 + #5, #3}}],
  Tube[{{#1, #2, #3 - #6}, {#1, #2, #3 + #6}}], {Green, PointSize[0.03],
  Point[{{#1, #2, #3}}], {Opacity[0.4], t[{{#1, #2, #3, #4, #5, #6}}] & @@@
  data2, Axes -> True, FaceGrids -> All}];
```

Basel stunde?

Bildfeldausleuchtung an Patches

Gemessene 1 ———
 Gemessene 180° ———



Hier sieht man jetzt deutlich, dass zum Großteil viel weniger Licht auf die Punkte fällt. Das liegt zum Großteil daran, dass die konvexen Seiten der Linsen weniger Licht auffangen und bündeln können und so einiges an Licht verloren geht. Ein Dra-Projektor lebt ja aber gerade davon, dass durch den Kondensator möglichst viel Licht eingesammelt wird, und das passiert gerade bei der planen Seite zur Lampe.

Ist das richtig?
 Bin mir nicht sicher

ja die Aussage müsste so korrekt sein

Außerdem ist es bei dicken Linsen möglich, dass sich durch die Drehung Brennpunkte und Hauptebenen verschieben, da bei dicken Linsen keine exakte Symmetrie herrschen muss. Es gibt offensichtlich auch einige wenige Punkte, wo mehr Licht gesammelt wird,

als im "normalen" Fall. Diese Punkte sind nahe der Symmetrieachse (Nullpunkt - Nr. (3,3)), aber nicht exakt mittig, sodass man eine bessere Fokussierung durch 180° -Drehung der Linsen ausschließen kann und den Effekt auf Abbildungs- bzw. Maßstabsfehler schreiben kann.

g) Zu dieser Aufgabe sei daran gesagt, dass es bei uns zu Beginn des Versuchs das Problem gab, dass wir als Projektionsobjektiv eine Linse mit $f = 25\text{cm}$ nehmen mussten, da sonst die Bedingungen $2f_3 > f_2 > f_3$ nicht erfüllt werden konnten. Dadurch haben wir hier keinen direkten Vergleich, und auch die Messung der Bildfeldausdehnung war hier problematisch. Zum Teil handelt es sich hier also um theoretisch erwartete Resultate.

Für planare Seite zur Wand: $\gamma = (82,5 \pm 0,5)$

Für konvexe Seite zur Wand: $\gamma = (84,5 \pm 0,5)$

$$\text{dann } \gamma = \frac{B}{G}, \quad \Delta\gamma = \frac{\Delta B}{G}$$

Durch die Linse mit kleinerem Brennweite hat sich das Bild plötzlich stark vergrößert. Man konnte auf der gesamten Wand nur noch einen Ausschnitt sehen.

Bei der konvexen Seite zur Wand war außen eine deutliche Verzeichnung zu erkennen, die äußeren Punkte wurden also viel stärker vergrößert.

An der Bildfeldausdehnung erkennt man, dass die $f = 100\text{mm}$ Linse ein deutlich besseren Kondensator darstellt, da hier

Licht eingefangen wird. Auch bei der $f = 53 \text{ mm}$ Linse ist es für die Bildfeldausdehnung wieder wichtig, welche Seite zur Wand zeigt: Plane Seite zur Wand bedeutet immer weniger Lichteinfall.

Der Hauptgrund für die betrachteten Unterschiede ist hauptsächlich, dass die Näherungen für dünne Linsen hier einfach nochmal viel schlechter werden. Der

Radius einer Linse mit $f = 53 \text{ mm}$ ist knapp doppelt

so klein wie der Radius der $f = 100 \text{ mm}$ Linse

(und damit ist sie dicker), denn $\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \Big|_{r_2 = \infty}$

h) Es gab bei den Dias deutliche Verzerrung(en) zu erkennen. Bei "Dia 3" war es am deutlichsten zu bemerken, was daran liegt, dass hier viel mehr Struktur zum auflösen ist, die Gitterpunkte also dichter benachbart sind.

Zum Rand hin sah man neben der Verzerrung auch eine Unschärfe, was daran liegt, dass wegen der sogenannten sphärischen Aberration Randstrahlen nicht mit unserer Näherungsformel betrachtet werden können. Dadurch werden Randstrahlen in einem anderen Brennpunkt gebrochen, sodass die Abbildung dort einen anderen Wert für "b" hat um scharf abgebildet zu werden.

Ein weiterer Abbildungsfehler war die chromatische

Aberation, welche deutlicher am bunten Disk zu erkennen war, aber auch bei den einfarbigen Disk erschien (Kamisch ??)

Durch eine Irisblende konnte man Randstrahlen ausblenden. Man erhält so eine schärfere aber weniger ausgeleuchtete Abbildung, was auch daran liegt, dass man weniger Beugung in äußere Bereiche hat, bzw. Bereiche mit ~~Strahlen~~ Strahlen die der sph. Aberration unterliegen ausblendet. Durch den gleichen Effekt wird die ~~Bild~~ Verzerrung schwächer, denn auch diese äußeren Strahlen werden zum Teil ausgeblendet.

Fazit:

Alles in allem war der Versuch leider nicht sehr erfolgreich. Es hat sich als ziemlich schwierig erwiesen, ein Linsensystem so einzustellen, dass ein Gegenstand scharf abgebildet wird. Es gibt dort einen relativ breiten Bereich, auf dem das Bild scharf erscheint. Im ersten Versuchsteil kam es so zur Abweichung zwischen experimentell bestimmten Wert der Brennweite und dem theoretisch errechneten Wert. Auch im zweiten Teil hat dies zu Problemen geführt, so gab es dort einige Punkte wo man die Bildfeldausdehnung nicht genau messen konnte.

Außerdem ist die Bildfeldausdehnung selbst sehr fehlerbehaftet. So hat der Messwert sehr stark geschwankt, teilweise ist der Wert innerhalb von mehreren Sekunden um 1 lux gefallen oder gestiegen. Im Mittel konnte man

aber eine Schwankung um 0,2 lux feststellen.
Neben diesen Fehlerquellen des Messgeräts wurden die Messwerte auch weiter verfälscht durch Lichtanfall von außen. Man hat diesen Untergrund zwar vermehrt mit zu berücksichtigen, da die Nachbargruppe allerdings auch Geräte mit variabler Lichtstrahlung verwendet hat, ist es nahezu unmöglich, den exakten Untergrund aus der Rechnung zu nehmen.

gutes Protokoll
bischen
die Plots gehen noch ein
ordentlicher.