

Versuch 4: Optik

Team 4-11: Jascha Fricker, Benedict Brouwer

20. März 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
2.1	Dünne Linsen	2
2.2	Optisches System	2
3	Ergebnisse	3
3.1	Aufgabe 1	3
3.2	Einzellinsen	3
3.3	Linsensystem	4
3.3.1	Berechnung der Brennweiten und Hauptebenen	4
4	Fragen	8
5	Diskussion	9

1 Einleitung

In der Physik spielen Linsen in optischen Versuchsaufbauten eine sehr wichtige Rolle. In diesem Versuch soll es darum gehen, verschiedene Methoden auszuprobieren um den Brechungsindex und Hauptebenenabstand verschiedener Linsen bzw. Linsensysteme zu messen.

2 Theorie

2.1 Dünne Linsen

Autokollimationsmethode Bei Autokollimationsmethode ist die Brennweite

$$f = d \quad (1)$$

bei dünnen Linsen genau der Abstand d zwischen Objekt/Bild und Linse.

Besselmethode Bei der Besselmethode kann die Brennweite

$$f = \frac{1}{4} \left(e - \frac{d^2}{e} \right) = \frac{1}{4} \left(e - \frac{(a_2 - a_1)^2}{e} \right) \quad (2)$$

durch die zwei Positionen der Linse a_1 und a_2 und den Abstand Objektschirm e bestimmt werden.

2.2 Optisches System

Für die Gesamtbrennweite und Hauptebenen eines Optischen Systems gilt

$$f = \frac{f'_1 \cdot f'_2}{t - f'_1 - f'_2} \quad (3)$$

$$z = \frac{f'_1 \cdot t}{t - f'_1 - f'_2}$$

$$z' = \frac{f'_2 \cdot t}{t - f'_1 - f'_2} \quad (4)$$

$$h = \frac{t}{t - f'_1 - f'_2}$$

Bessel- und Autokollimationsmethode Bei dicken Linsen kann durch zusammenführen der Besselmethode und Autokollimationsmethode die Brennweite f' und der Hauptebenenabstand h

$$\begin{aligned} f' &= \frac{1}{2} \sqrt{(e - k - l)^2 - d^2} \\ h &= k + l - \sqrt{(e - k - l)^2 - d^2} \end{aligned} \quad (5)$$

bestimmt werden. Dabei ist $d = a_2 - a_1$ die Distanz zwischen den beiden Positionen der Linse, e der Abstand zwischen Objekt und Schirm, k der Abstand zwischen Linse und Objekt/Bild und l der Abstand zwischen Objekt/Bild bei umgedrehten Linsensystem.

Messmethode nach Abbe Es gelten die zwei Beziehungen

$$g = f \cdot \left(1 - \frac{1}{\beta}\right) + h_1 \quad (6)$$

$$g' = f' \cdot (1 - \beta) + h_2 \quad (7)$$

$$\text{mit } \beta = \frac{y'}{y} \quad (8)$$

Durch fitten an die Daten für den Abstand zum Objekt g bzw zum Bild g' kann die Brennweite f bzw f' und der Hauptebenenabstand h_1 und h_2 bestimmt werden.

3 Ergebnisse

3.1 Aufgabe 1

Als erstes wurden alle Linsen angeschaut. Durch beobachten des Millimeterpapiers durch die Linsen konnte zwischen einem vergrößernden Effekt (Konvexe Linse) und einem verkleinernden Effekt (Konkave Linse) unterschieden werden. Nur die Linse E konnte als Streulise identifiziert werden, alle anderen Linsen waren als Sammellisen zu erkennen.

3.2 Einzellinsen

Die Ergebnisse der Autokollimationsmethode und der Besselmethode sowie der gewichtete Mittelwert der beiden Methoden wurden mit den Formel (1) und (2) sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Methode	Brennweite B	Brennweite G
Autokollimation	10,04(5)cm	7,49(7)cm
Bessel	9,97(8)cm	7,488(35)cm
Mittelwert	10.02(4)cm	7.492(31)cm

Tabelle 1: Brennweiten der Linsen B und G

Der Fehler der Länge wurde mit Tabelle 5 des ABW-Skripts [1] berechnet und durch den gewichteten Mittelwert fortgepflanzt.

3.3 Linsensystem

Wir haben das Linsensystem E-G mit 30 mm Abstand für unsere Messungen benutzt. Wobei die Linse E die erste im Strahlengang ist. Dies ist genau anders herum wie in der Aufgabenstellung.

Autokollimation- und Besselmethode Mit Gleichung 5 konnte aus den Messwerten der beiden Methoden die Brennweite und der Hauptebenenabstand

$$f' = 13,10(20)\text{cm} \quad (9)$$

$$h = 0,3(6)\text{cm} \quad (10)$$

bestimmt werden. Der Fehler der Länge wurde mit Tabelle 5 des ABW-Skripts [1] berechnet und der gewichtete Mittelwert wurde genutzt.

Messmethode nach Abbe Um die Brennweiten und Hauptebenenabstände zu bestimmen,

$$f = 14,22(34)\text{cm} \quad (11)$$

$$f' = -12,74(19)\text{cm} \quad (12)$$

$$h_1 = 6,81(73)\text{cm} \quad (13)$$

$$h_2 = 6.82(87)\text{cm} \quad (14)$$

wurden die Messwerte für den Abstand zum Objekt g und zum Bild g' mit den Formeln (6) und (7) gefittet. Die Fits sind in 1 und 4 dargestellt. Alle Angaben sind relativ zur Linse E. Die Angaben stimmen in etwa mit den Ergebnissen der Autokollimationsmethode und der Besselmethode überein, die Hauptebenen haben aber eine sehr große Unsicherheit.

3.3.1 Berechnung der Brennweiten und Hauptebenen

Brennweite Durch umstellen der Gleichung (3) nach f_E kann die Brennweite der ersten Linse E bei durch Aufgaben 2 und 3 gegebener Brennweite $f_G = 7.492(31)\text{cm}$ und $f' = -13,10(20)\text{cm}$ berechnet werden. Der Abstand $t = 3\text{cm}$ ist auch gegeben.

$$f_E = \frac{f'(t - f')}{f' - f_G} = 10.24(20)\text{cm} \quad (15)$$

Diese Wert für f_E stimmt sehr gut mit der Vorgabe überein, hat aber nur eine kleine Unsicherheit.

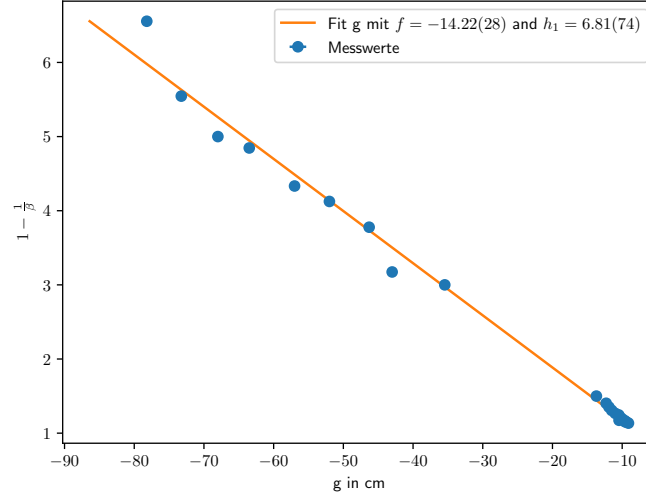


Abbildung 1: Fit der Messwerte für den Abstand zum Objekt

Hauptebenen Die Abstand der Hauptebenen von den jeweiligen Linsen z und z' sowie der relative Abstand h kann durch Gleichungen (4) berechnet werden. Dabei gilt $f'_1 = -f_1 = f'_E = -10\text{cm}$ und $f'_2 = f'_G = 7.492(31)\text{cm}$.

$$z = \frac{f_1 \cdot t}{t - f'_1 - f'_2} = 5.447(89)\text{cm} \quad (16)$$

$$z' = \frac{f_2 \cdot t}{t - f'_1 - f'_2} = 4.081(74)\text{cm} \quad (17)$$

$$h = \frac{t}{t - f'_1 - f'_2} = 0.5447(89)\text{cm} \quad (18)$$

Der Wert von h rechnerisch und graphisch liegen innerhalb der Unsicherheit, die Werte von z und z' sind jedoch nicht innerhalb der Unsicherheiten von h_1 und $h_2 - 3\text{cm}$. Dies kann an einer Ungenauen bestimmung durch die Abbe Methode liegen.

Simulation In Abbildung 4 ist die Simulation des Strahlenverlaufs für die Optik G-E veranschaulicht. Da unser Aufbau genau andersherum ist, muss die Optik G-E umgedreht werden. Die Simulation zeigt, dass die Lage der entscheidenden Punkte qualitativ mit den von uns bestimmten Werten übereinstimmen. Die Hauptebenen sind in der Simulation etwas weiter auseinander als bei uns. Dies kann an der Ungenauigkeit der Abbe Methode liegen.

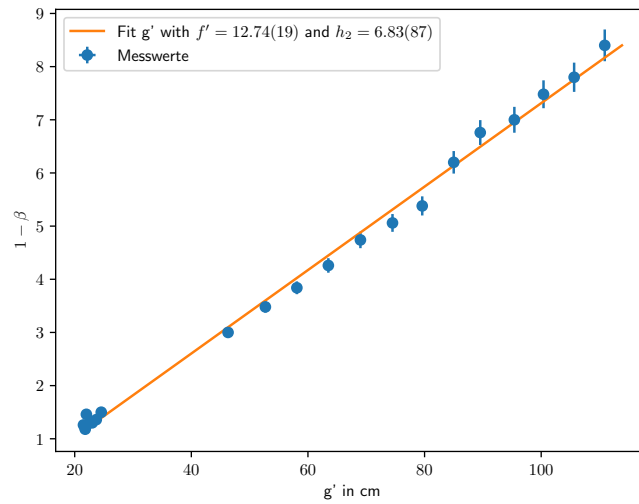


Abbildung 2: Fit der Messwerte für den Abstand zum Bild

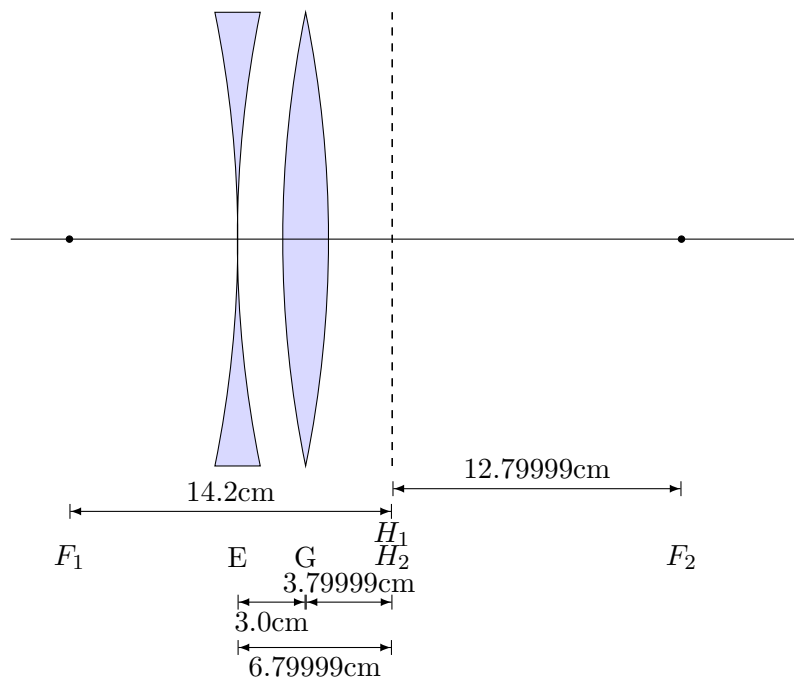


Abbildung 3: Linsensystem E-G 30mm

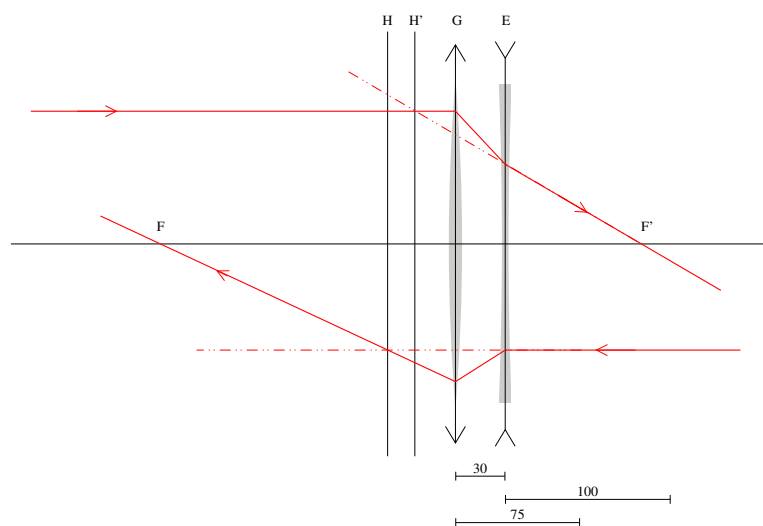


Abbildung 4: Simulation des Strahlenverlaufs für die Optik G-E

4 Fragen

- Beim Bessel-Verfahren gibt es zwei Positionen des Linsensystems, an denen eine scharfe Abbildung möglich ist. Aufgrund der Umkehrbarkeit des Strahlengangs entsprechen die objektseitigen Größen im ersten Fall gerade den bildseitigen Größen im Zweiten. Das heißt die Abbildungsmaßstäbe sind genau die Kehrwerte voneinander.
- In einem Projektionsapparat wird die Lampe hinter einem Hohlspiegel angeordnet. Der Kondensor ist eine Linsenkombination, die wie eine Sammellinse wirkt und so angeordnet ist, dass das Dia gut ausgeleuchtet ist und das gesamte vom Dia ausgehende Licht ins Objektiv trifft. Auf diese Weise entsteht ein vollständiges, höhen- und seitenverkehrtes, vergrößertes Bild vom Original auf der Leinwand. Der Schemataische Aufbau wird in Abbildung 5 dargestellt.
- Wenn sich das Objekt in einem Abstand von $a = 0,5 \cdot f$ von der objektseitigen Hauptebene einer Sammellinse befindet, dann ist $a < f$. In diesem Fall entsteht ein virtuelles Bild, das nicht auf dem Kopf stehen und größer als der Gegenstand ist. Der Abbildungsmaßstab ist 2 und die Position $a' = f$ ist genau der gegenstandsseitige Brennpunkt.
- Die Gesamtbrennweite eines Systems zweier Sammellinsen gleicher Brennweite kann durch die Verwendung der Linsengleichung berechnet werden. Die Linsengleichung lautet: $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{t}{f_1 f_2}$, wobei f die Gesamtbrennweite des Systems ist, f_1 und f_2 die Brennweiten der beiden Linsen und t der Abstand zwischen den beiden Linsen. In diesem Fall haben beide Linsen die gleiche Brennweite ($f_1 = f_2$), so dass sich die Gleichung vereinfacht zu: $\frac{1}{f} = \frac{2}{f_1} - \frac{t}{f_1^2}$.

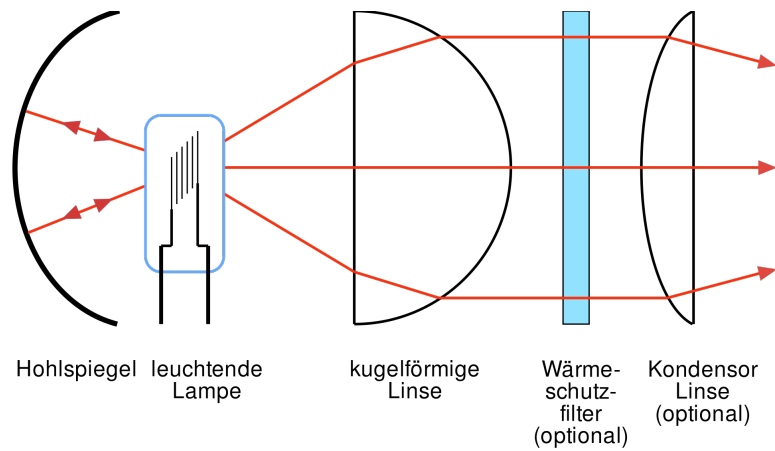


Abbildung 5: Schematischer Aufbau eines Projektionsapparates nach [2]

5 Diskussion

Literatur

- [1] Technische Universität München. Hinweise zur Beurteilung von Messungen, Messergebnissen und Messunsicherheiten (ABW). <https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/org/ABW.pdf>, März 2021.
- [2] WWSS1derivative work: Bene* CC BY-SA 3.0. Kondensor eines Diaprojektors. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Condensor-1-de.svg>, 2012.