

LIN — Abbildung durch Linsen

Fortgeschrittenenpraktikum I - Kurs FP-I-O

4. Februar 2025

Ziele

Die Abbildungseigenschaften von Linsen und Linsensystemen und Methoden zur Bestimmung von Brennweiten sollen studiert werden.

Teilversuche

1. Bestätigung der Abbildungsgleichung einer Linse

Die Bestimmung der Brennweite einer dünnen Sammellinse erfolgt einmal direkt nach der Abbildungsgleichung, unter Verwendung der Matrizenoptik und einmal nach dem Bessel-Verfahren. Außerdem kann die Abbildungsgleichung mit einem grafischen Verfahren bestätigt werden.

2. Abbildung durch ein System von Linsen

An einem System aus Sammel- und Zerstreuungslinse werden Positionsmessungen für das Objekt, das Bild und die Linsen vorgenommen, außerdem werden Abbildungsmaßstäbe bestimmt. Daraus ergeben sich die Positionen der Haupt- und Brennebenen des Systems.

3. Brennweitenbestimmung mit dem Fernrohr

Die Brennweiten einer Sammel- und einer Zerstreuungslinse ergeben sich auf elementare Weise mit Hilfe eines auf unendlich eingestellten Fernrohrs.

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalischer Hintergrund	3
1.1	Stichworte zur Vorbereitung	3
1.2	Experimentelle Methode	3
1.2.1	Teilversuch 1: Bestätigung der Abbildungsgleichung einer Linse	3
1.2.2	Teilversuch 2: Abbildung durch ein System von Linsen	7
1.2.3	Teilversuch 3: Brennweitenbestimmung mit dem Fernrohr	9
2	Durchführung	11
2.1	Teilversuch 1: Bestätigung der Abbildungsgleichung einer Linse	11
2.1.1	Messungen	11
2.1.2	Auswertung (vor Ort)	12
2.1.3	Auswertung (zu Hause)	12
2.2	Teilversuch 2: Abbildung durch ein System von Linsen	13
2.2.1	Messungen	13
2.2.2	Auswertung (vor Ort)	13
2.2.3	Auswertung (zu Hause)	14
2.3	Teilversuch 3: Brennweitenbestimmung mit dem Fernrohr	15
2.3.1	Messungen	15
2.3.2	Auswertung (zu Hause)	15

1 Physikalischer Hintergrund

1.1 Stichworte zur Vorbereitung

- Grundlagen: Sammellinse, Streulinse, Brennpunkt, Hauptebenen, virtuelles Bild
- Bildkonstruktion (achsenparalleler Strahl, Brennpunktstrahl, Mittelpunktstrahl)
- Abbildungsgleichung (Gegenstandsweite, Bildweite)
- Matrizenoptik
- chromatische Aberration
- Schärfentiefe
- Aufgaben im Text bearbeiten!

1.2 Experimentelle Methode

1.2.1 Teilversuch 1: Bestätigung der Abbildungsgleichung einer Linse

An einem abbildenden optischen System gelte die Abbildungsgleichung:

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

Außerdem gilt:

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (2)$$

Im Teilversuch 1 soll die Abbildungsgleichung mit Hilfe verschiedener Methoden bestätigt werden. Das graphische Verfahren und das Besselverfahren sollen dazu kurz vorgestellt werden. Für alle Verfahren wird jedoch die Gegenstands- und Bildweite, deren Bestimmung im nächsten Abschnitt erläutert wird, benötigt.

Experimentelle Bestimmung von Gegenstands- und Bildweite Im Versuch sollen Gegenstandsweite g und Bildweite b experimentell bestimmt werden. Dabei tritt die Schwierigkeit auf, dass nur die Positionen von Objekt P und Bild P' gemessen werden können, die Lage der Hauptebenen sind aber unbekannt (siehe Abbildung 1). Um die Lage der Hauptebenen zu eliminieren, werden die Abstände g' und b' von P bzw. P' zu einer beliebigen Bezugsebene A gemessen und diese Messung mit vertauschten Seitenflächen der Linse wiederholt, was die Abstände g'' und b'' ergeben möge. Man kann leicht zeigen, dass dann gilt:

$$g = \frac{g' + g'' - h}{2} \quad (3)$$

$$b = \frac{b' + b'' - h}{2} \quad (4)$$

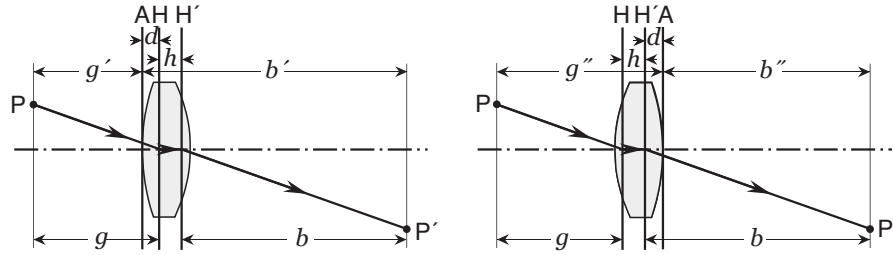


Abbildung 1: Zur Bestimmung der wahren Gegenstands- und Bildweite bei unbekannter Lage der Hauptebenen

Graphische Bestätigung der Abbildungsgleichung Misst man für eine Linse für verschiedene Gegenstandsweiten g_n die zugehörigen Bildweiten b_n , so gibt es ein elegantes graphisches Verfahren um die Abbildungsgleichung zu überprüfen (Abbildung 2). Die Ergebnisse für g_n und b_n werden als Achsenabschnitte in ein rechtwinkliges Koordinatensystem eingetragen und zusammengehörende Achsenabschnitte mit einer Geraden verbunden.

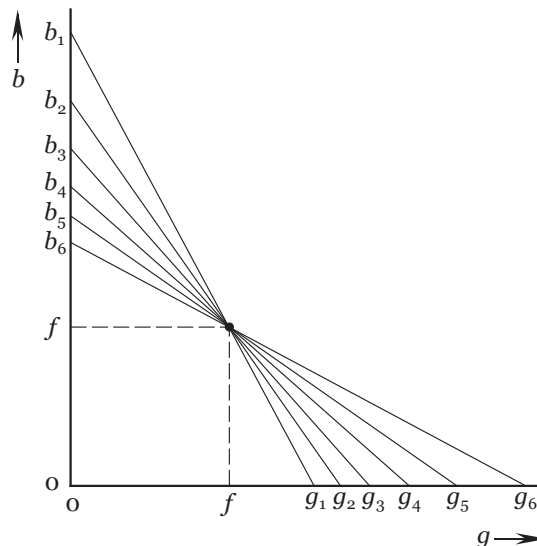


Abbildung 2: Grafische Bestätigung der Abbildungsgleichung

Alle derartigen Geraden schneiden sich genau dann in einem einzigen Punkt (x_0, y_0) mit $x_0 = y_0 = f$, wenn g , b und f die Abbildungsgleichung erfüllen. Die Verbindungsgerade zweier zusammengehörender Punkte auf den Koordinatenachsen genügt folgender Gleichung:

$$y = -\frac{b}{g}x + b \quad (5)$$

Durch Einsetzen von f für x und y in (5) folgt die Abbildungsgleichung.

Bessel-Verfahren Ein Verfahren, das vermeidet, dass man die Linse wegen der unbekannten Positionen der Hauptebenen um 180° drehen und verschieben und dann über beide Linsenpositionen mitteln muss, ist das Bessel-Verfahren. Objekt und Schirm werden in einem festen

1 Physikalischer Hintergrund

Abstand a angeordnet, der größer als die vierfache Brennweite der Linse sein muss. Dann gibt es eine Linsenposition, für die ein vergrößertes, und eine Position, für die ein verkleinertes Bild existiert (siehe Abbildung 3). Gemessen werden der Abstand a zwischen Objekt und Schirm und der Abstand e zwischen beiden Linsenpositionen. Aus ihnen lässt sich die Brennweite f berechnen.

Es ist $b_2 = g_1$ und $g_2 = b_1$, denn wegen der Umkehrbarkeit des Strahlengangs muss ein Objektpunkt in der Ebene von P_1' einen scharfen Bildpunkt in der Ebene von P erzeugen. Den unteren Teil von Abbildung 3 bekommt man aber gerade dadurch, dass man im oberen Objekt- und Bildebene vertauscht. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich aus Abbildung 3:

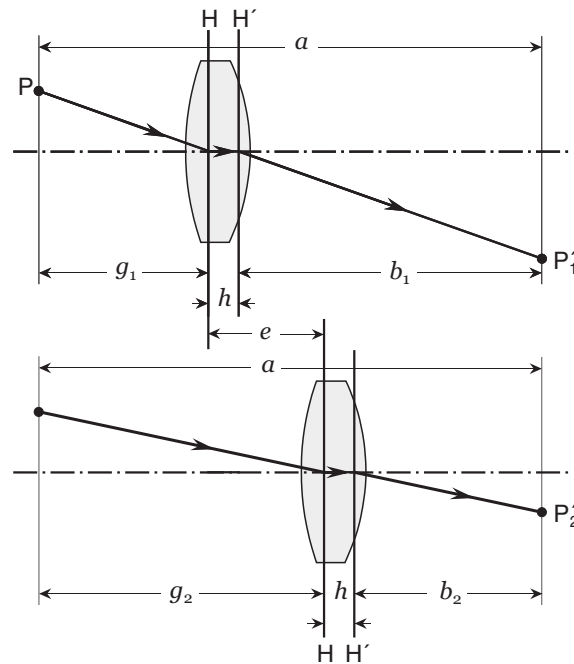


Abbildung 3: Verschiebung der Linse beim Bessel-Verfahren

$$g_1 + b_1 = a - h$$

$$b_1 - g_1 = e$$

Diese Gleichungen können nach g_1 und b_1 aufgelöst werden:

$$g_1 = \frac{a - h - e}{2}$$

$$b_1 = \frac{a - h + e}{2}$$

Das Ergebnis wird in die Abbildungsgleichung eingesetzt:

$$f = \frac{g_1 b_1}{g_1 + b_1} = \frac{(a - h - e)(a - h + e)}{4(a - h)} = \frac{(a - h)^2 - e^2}{4(a - h)}$$

$$f = \frac{(a-h)^2 - e^2}{4(a-h)} \quad (6)$$

Zur Auswertung muss allerdings der Hauptebenenabstand h bekannt sein.

Technische Grundlagen

Anordnung zur Abbildung mit Linsen Der Aufbau ist in Abbildung 4 dargestellt. Eine Quecksilberdampfampe beleuchtet über einen Filter ein Diapositiv, das dann durch eine Linse auf einen Schirm abgebildet wird. Die Reiterpositionen können auf der Schienenskala abgelesen werden.

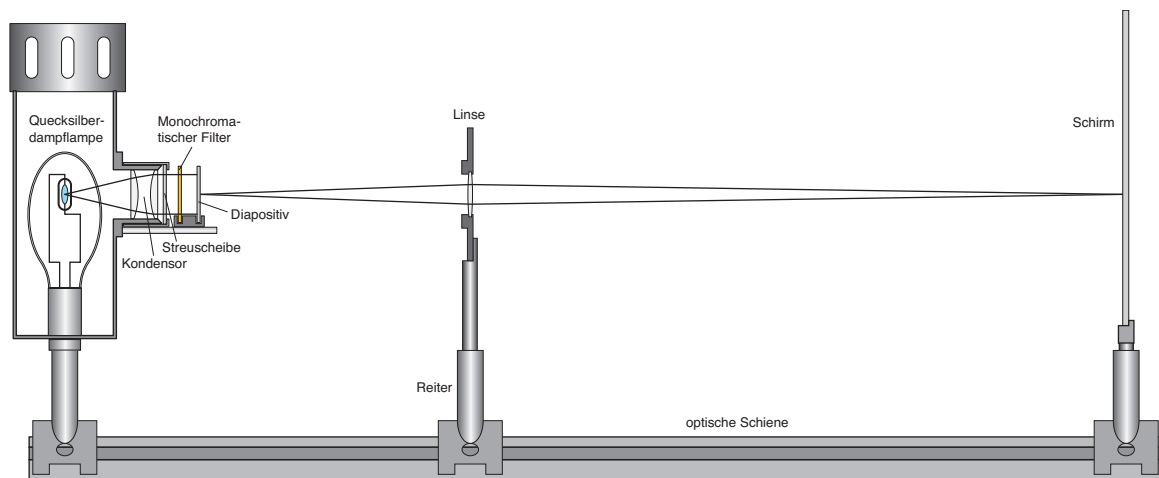


Abbildung 4: Versuchsaufbau zur Projektion eines Diapositivs auf einen Schirm. Das Licht muss zuerst durch den Filter und dann erst durch das Abbildungsobjekt gehen. Im umgekehrten Fall stimmt die optische Weglänge nicht mit der auf der Schienenskala gemessenen geometrischen Weglänge überein.

Lichtquelle Als Lichtquelle wird eine Quecksilberdampfampe verwendet. Diese hat außer der hohen Lichtausbeute vor allem den Vorteil, dass sie voneinander getrennte Spektrallinien emittiert. (**Welchen Vorteil hat das gegenüber einer normalen Glühlampe?**) Der Kondensor sollte eigentlich die Lichtquelle in eine Hauptebene der Linse abbilden, damit ihre Struktur nicht im Bild erscheint. Das ist hier wegen der variablen Linsenposition aber nicht auf einfache Weise zu realisieren. Deswegen wurde hinter den Kondensor eine von diesem gleichmäßig auszuleuchtende Streuscheibe gesetzt.

Linsen Es ist eine bikonvexe Sammellinse und eine bikonkave Zerstreuungslinse vorhanden. Sie sind so dünn, dass jede von ihnen praktisch nur eine Hauptebene besitzt. Deren Position sollte dieselbe sein wie die der Reitermarke. Da das aber nicht von vornherein angenommen werden kann, sollte eine Überprüfung stattfinden, indem bei einer Abbildung einmal die eine Seite der Linse und einmal die andere Seite dem Objekt zugewandt wird.

1 Physikalischer Hintergrund

Schirm Der Schirm ist eine Platte aus transparentem Kunststoff, deren eine Seitenfläche aufgeraut ist und damit das Licht diffus streut. Das Bild wird daher auf dieser Fläche aufgefangen und kann mit dem Auge gut betrachtet werden. Am besten geht das, wenn die raue Seite der Linse zugewandt wird und der Betrachter von der anderen Seite schaut (in Abbildung 4 von rechts). (**Warum darf der Schirm nicht anders herum montiert werden?**)

Abbildungsobjekte Zur Abbildung sind ein Diapositiv von Kaiser Maximilian, eine Lochfigur (siehe Abbildung 5) und ein feines Drahtgitter gegeben.

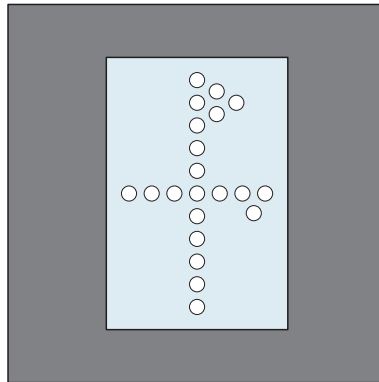


Abbildung 5: Abbildungsobjekt „Doppelfahne“. Das Objekt besteht aus einer Alufolie mit eingestanzten Löchern. Durch seine asymmetrische Form soll demonstriert werden, dass bei Abbildungen durch Linsen nur eine Drehung aber keine Spiegelung auftritt. Der Lochdurchmesser ist 2mm, der Lochabstand in den beiden Balken des Kreuzes 3mm.

1.2.2 Teilversuch 2: Abbildung durch ein System von Linsen

Haupt- und Brennebenen eines Systems zweier dünner Linsen In diesem Teilversuch wird ein Linsensystem bestehend aus einer dünnen Linse L_1 der Brennweite f_1 in der Position x_L und einer dünnen Linse L_2 der Brennweite f_2 in der Position $x_L + d$ untersucht (siehe Abbildung 6). Ziel des Versuchs ist es, Haupt- und Brennebene des Linsensystems zu konstruieren.

Die Positionen von Haupt- und Brennebenen eines Systems zweier dünner Linsen lassen sich nicht nur konstruieren, sondern auch errechnen. Ein Punkt (x, y) mit $x < x_L$ werde durch die erste Linse L_1 auf einen Punkt (x', y') abgebildet, der wiederum als Objekt für die Linse L_2 dient und auf den Punkt (x'', y'') abgebildet wird (siehe Abbildung 6).

Die Koordinaten der beiden Punkte (x', y') und (x'', y'') können mit Hilfe der Abbildungsglei-

1 Physikalischer Hintergrund

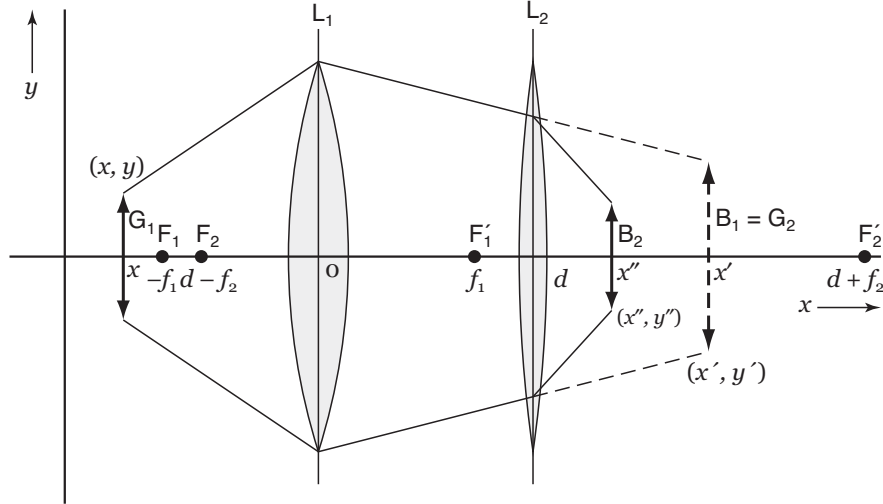


Abbildung 6: Abbildung eines Objektes G_1 durch ein System aus zwei dünnen Linsen

chung hergeleitet werden (dabei wurde o. B. d. A. zur Vereinfachung $x_L = 0$ gesetzt):

$$\begin{aligned} x' &= \frac{f_1 x}{x + f_1} & y' &= \frac{f_1 y}{x + f_1} \\ x'' &= \frac{[(d + f_2)f_1 - d^2]x - f_1 d^2}{(f_1 + f_2 - d)x - (d - f_2)f_1} & y'' &= \frac{f_1 f_2 y}{(f_1 + f_2 - d)x - (d - f_2)f_1} \end{aligned} \quad (7)$$

Die inverse Abbildung erhält man durch Umformen nach x und y :

$$x = \frac{(d - f_2)f_1 x'' - f_1 d^2}{(f_1 + f_2 - d)x'' - f_1 d - f_1 f_2 + d^2} \quad y = -\frac{f_1 f_2 y''}{(f_1 + f_2 - d)x'' - f_1 d - f_1 f_2 + d^2} \quad (8)$$

Die Positionen der Hauptebenen $x_H, x_{H'}$ und die Positionen der Brennebenen $x_F, x_{F'}$ können aus (7) und (8) durch folgende Bedingungen erhalten werden: Für die Hauptebene gilt, dass ihre Punkte nur in Richtung der optischen Achse verschoben werden. Es muss also $y'' = y$ gelten. Mit dieser Forderung folgt aus den Gleichungen (7) und (8):

$$\begin{aligned} x_H &= \frac{f_1 d}{f_1 + f_2 - d} \\ x_{H'} &= \frac{f_1 d - d^2}{f_1 + f_2 - d} \end{aligned}$$

Die Brennebenen erhält man, indem man x gegen minus unendlich und x'' gegen plus unendlich gehen lässt.

$$\begin{aligned} x \rightarrow -\infty: & \quad x_{F'} = \frac{f_1 d + f_1 f_2 - d^2}{f_1 + f_2 - d} \\ x'' \rightarrow \infty: & \quad x_F = \frac{f_1 d - f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d} \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich der Hauptebenenabstand für das Linsensystem:

$$h = x_{H'} - x_H = \frac{-d^2}{f_1 + f_2 - d} \quad (9)$$

und die Brennweite:

$$f = x_H - x_F = x_F' - x_H' = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

Aus der letzteren Gleichung folgt die wichtige Beziehung:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \quad (10)$$

Nach ihr addieren sich bei vernachlässigbar kleinem Linsenabstand d einfach die reziproken Brennweiten ("Brechkräfte") der Einzellinsen.

Es ist ein interessantes Ergebnis von Teilversuch 2, dass die bildseitige Hauptebene des dort untersuchten speziellen Linsensystems außerhalb desselben liegt (siehe Abbildung 10). Diese Eigenschaft ist von Vorteil beim Bau von sog. Teleobjektiven, bei denen es auf große Brennweite bei möglichst kleiner Rohrlänge ankommt.

1.2.3 Teilversuch 3: Brennweitenbestimmung mit dem Fernrohr

Im letzten Teilversuch sollen die Brennweiten einer Sammel- und einer Zerstreuungslinse mit Hilfe eines Fernrohrs bestimmt werden.

Stellt man ein Fernrohr auf einen sehr weit entfernten Punkt ($\rightarrow \infty$) scharf, so kann man nur diejenigen Objekte scharf sehen, von denen paralleles Licht auf das Objektiv des Fernrohrs trifft. Bei der Brennweitenbestimmung mit Hilfe eines Fernrohrs, wird dieses als Nachweisinstrument für paralleles Licht verwendet.

Zur Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse betrachtet man ein Objekt durch die zu untersuchende Linse mit dem auf unendlich eingestellten Fernrohr. Befindet sich das Objekt in der Brennebene der Sammellinse werden die divergierenden Strahlen parallel gerichtet und der Gegenstand ist scharf im Fernrohr zu sehen.

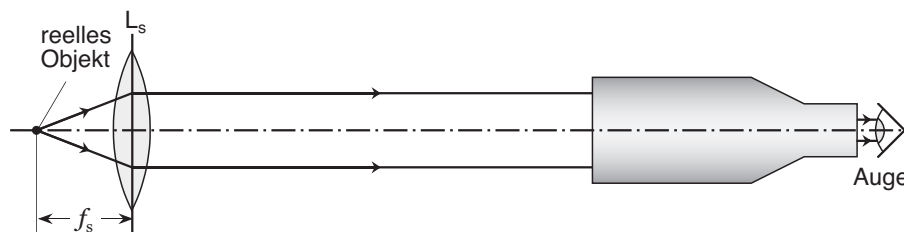


Abbildung 7: Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse nach der Fernrohrmethode

Die Fernrohrmethode kann in abgeänderter Form auch für Zerstreuungslinsen verwendet werden. Zuerst wird ein reeller Gegenstand mit einer zusätzlichen Sammellinse reell abgebildet. Das Bild kann auf einem Schirm aufgefangen werden. Es verschwindet aber, wenn man vor ihm die Zerstreuungslinse in den Strahlengang bringt. Wie aus Abbildung 8 ersichtlich ist, verbleibt ein virtuelles Bild an dieser Stelle, das als Objekt für die Abbildung durch die Zerstreuungslinse wirkt. Durch Verschieben derselben wird ihr Brennpunkt an die Stelle dieses virtuellen Objekts gebracht, was wieder dann erreicht ist, wenn das Bild im Fernrohr scharf erscheint und somit die Lichtstrahlen parallel aus der Linse heraus laufen.

1 Physikalischer Hintergrund

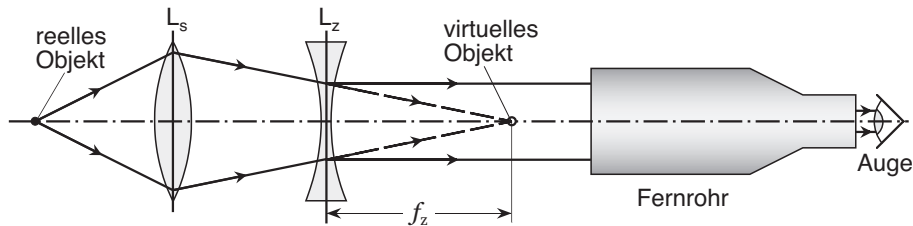


Abbildung 8: Bestimmung der Brennweite einer Zerstreuungslinse nach der Fernrohrmethode

Technische Grundlagen

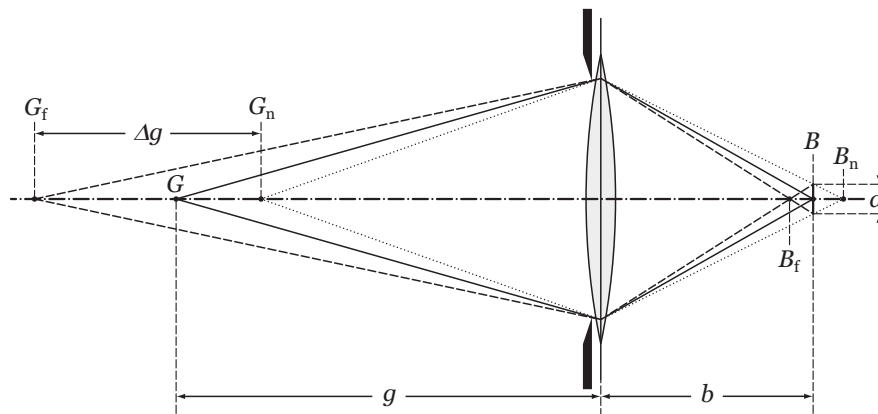


Abbildung 9: Zur Wirkung des Blendendurchmessers auf die Schärfentiefe

Einfluss der Schärfentiefe auf das Scharfstellen Bei der Abbildung eines räumlich ausgedehnten Gebietes in eine vorgegebene Ebene (Schirm) muss in Kauf genommen werden, dass Punkte außerhalb der zur Bildebene gehörigen Objektebene unscharf abgebildet werden, d.h. dass sich Scheibchen statt Punkte ergeben. Liegt der Durchmesser d dieser Scheibchen unterhalb des vom Auge noch auflösbaren Abstandes, so ist die Unschärfe nicht wahrnehmbar und daher für die Abbildung „unschädlich“. Die „scharf“ abbildbare Tiefe Δg senkrecht zur Objektebene wird mit Schärfentiefe bezeichnet.

Wie aus Abbildung 9 zu erkennen ist, bewirkt eine Verkleinerung der Blende eine größere Schärfentiefe, da das abbildende Strahlenbündel schmaler wird. Im Versuch soll der Bereich, in dem der Schirm ohne sichtbare Veränderung der Schärfe verschoben werden kann, klein sein, um die Schirmposition möglichst genau festzulegen. Das ist nur mit einer großen Blende zu erreichen.

Fernrohr Zum Einstellen auf unendlich wird das Fernrohr auf einen weit entfernten Gegenstand gerichtet und so lange am Einstellknopf gedreht, bis das Bild des Gegenstandes scharf erscheint.

2 Durchführung

2.1 Teilversuch 1: Bestätigung der Abbildungsgleichung einer Linse

Vorbereitung und Vorbemerkungen

Versuchsaufbau nach Abbildung 4:

- Stellen Sie sicher, dass sich die Quecksilberdampflampe am Schienenende befindet.
- Der Gelbfilter wird unmittelbar hinter die Lampenaustrittsöffnung eingesteckt.
- Die Diahalterung soll sich nahe am Lampengehäuse befinden.
Tipp: Objektposition (Ritzmarke) auf ganzzahligen Wert einstellen.
- Für diesen Versuch wird die Linse L_S (Sammellinse) verwendet.
- Die Linsenhöhe soll immer an die Objekthöhe angeglichen werden (z. B. mit Hilfe der Justiernadel).
- Bitte immer Linsenpositionen notieren (und nicht die berechneten Abstände)
- Achten Sie auf die Vorzeichen der Brennweiten!

2.1.1 Messungen

Bestätigung der Abbildungsgleichung an einer dünnen Sammellinse. Bestimmung der Brennweite direkt mit der Abbildungsgleichung und nach dem Bessel-Verfahren.

- Als Objekt wird das Diapositiv „Kaiser Maximilian“ verwendet, zur Abbildung die Linse L_S . Der Schirm wird am Ende der Schiene aufgestellt (matte Seite zur Linse).
- Erzeugen Sie scharfe Abbildungen und beobachten Sie Orientierung und Größe des Bildes. In welchem Bereich der Linsenpositionen sind die Abbildungen scharf? Wie groß ist der Ablesefehler der Reiterpositionen einzuschätzen? Messen Sie außerdem für die Überprüfung mit dem Matrizenverfahren die Bildgröße des vergrößerten Bildes (Vorzeichen?) sowie die Gegenstandshöhe. Was ist ohne Farbfilter zu beobachten?
- Prüfen Sie, ob eine halbe Umdrehung der Linse um die Achse der Halterung die Bildschärfe beeinflusst. Wenn ja, muss bei jeder Messung der Linsenposition das im theoretischen Teil beschriebene Korrekturverfahren durchgeführt werden ((3)(4)).
- Notieren Sie sich die notwendigen Messwerte für das Besselverfahren bei vier weiteren eingestellten Schirmpositionen (Der Abstand Objekt - Schirm soll mehr als 90 cm betragen).

2.1.2 Auswertung (vor Ort)

- Beantworten Sie die beiden im Teil Technische Grundlagen in 1.2.1 befindlichen Fragen.
- Zunächst werden die Gegenstandsweiten g und Bildweiten b aus den gemessenen Positionen berechnet (evtl. in Tabellenform angeben). Mit Hilfe der Abbildungsgleichung lässt sich die Brennweite zu den Gegenstandsweite-Bildweite-Paaren ausrechnen. Geben Sie eine obere und eine untere Grenze für f an.

2.1.3 Auswertung (zu Hause)

- Verwenden Sie die Werte aus den vergrößerten Abbildungen um die Brennweite mit dem graphischen Verfahren (siehe Abschnitt 1.2.1) zu bestimmen. Bei Auswertung ohne Software verwenden Sie bitte Millimeterpapier. Bei Auswertung über Software (wie z. B. gnuplot) stellen Sie bitte den Graphen vollständig dar; sowie separat den Ausschnitt des Schnittpunktbereichs in vergrößerter Darstellung, indem Sie die Achsintervalle geeignet wählen. Prüfen Sie, ob sich alle Geraden im Rahmen der statistischen Schwankungen in einem Punkt schneiden. Geben Sie für die Achsen jeweils einen Bereich an, in dem sich die Brennweite laut Lage der Schnittpunkte befindet.

Tipp: Bei softwarebasierter Auswertung benötigen Sie Geraden, die durch die Punkte $(g_i, 0)$ und $(0, b_i)$ definiert sind (siehe Abbildung 2).

- Außerdem ist eine Bestimmung von f nach dem Bessel-Verfahren durchzuführen. Berechnen Sie dazu 5 Wertepaare für a und e und setzen Sie sie in Gl. (6) ein.
- Überprüfen Sie nun die Abbildungsgleichung mit dem Matrizenverfahren. Berechnen Sie $f(B, G)$ unter Verwendung der Größen und Positionen für die vergrößerte Abbildung.

Aufgabe

Leiten Sie dazu in der Vorbereitung zu Hause mit dem Matrizenverfahren einen Ausdruck für die Brennweite her, mit welchem Sie unter anderem aus Bildgröße und Gegenstandshöhe die Brennweite für die Anordnung von Gegenstand, Linse und Schirm dieses Versuchs bestimmen können. Können Sie mit dem Matrizenverfahren auch eine Beziehung zur Bestimmung der Brennweite nur aus Bild- und Gegenstandsweite herleiten?

- Vergleichen Sie die verschiedenen Verfahren und Ihre Ergebnisse. Begründen Sie dabei Vor- und Nachteile der Verfahren anhand der Ursachen der Messunsicherheiten.

2.2 Teilversuch 2: Abbildung durch ein System von Linsen

2.2.1 Messungen

- Als abzubildendes Objekt wird die Lochfigur verwendet.
- Mit der Sammellinse erzeugt man eine Abbildung im Maßstab 1 : 1. Die Abbildungsgleichungen können eine Hilfe dazu sein. Positionswerte notieren.
- Der Schirm wird durch die Zerstreuungslinse L_Z ersetzt. Schauen Sie direkt in den Strahlengang (**nur mit Gelbfilter!**) und bewegen sie L_Z nun hin und her. Was kann beobachtet werden?
- Die Zerstreuungslinse zur Sammellinse schieben und den gegenseitigen Abstand beider Linsen mit einem leeren Reiter als Abstandsstück fixieren. Wieso ist es für die Konstruktion wichtig, die Position der Sammellinse beizubehalten?
- Positionen der Linsen und des Bildes ablesen, Objekt- und Bildgröße mit einer Schiebellehre messen.

2.2.2 Auswertung (vor Ort)

- Entsprechend den Messwerten Objekt, Linsen, Bild der Sammellinse und Bild des Systems maßstabsgerecht auf Millimeterpapier (DIN A3) wie in Abbildung 10 am Ende der Anleitung dargestellt zeichnen (die Maßstäbe in Ordinate und Abszisse dürfen verschieden sein). Dies ist die Grundlage für die Konstruktion im folgenden Arbeitsschritt.

Aufgabe

Markieren Sie in der Vorbereitung zu Hause auf einem Ausdruck von Abbildung 10 die zu Beginn der Konstruktion vorliegenden gemessenen Größen. Überlegen Sie sich, wie Sie aus den vorliegenden Informationen nach und nach die gesuchten Größen konstruieren können. Beziehen Sie dazu die Vorbereitung zum Stichpunkt „Bildkonstruktion (achsenparalleler Strahl, Brennpunktstrahl, Mittelpunktstrahl)“ mit ein. Mindestens sollten Sie sich überlegen, wie Sie auf 3 der gesuchten Brennpunkte bzw. Hauptebenen kommen.

2 Durchführung

- Konstruieren Sie die Brennpunkte $F_s, F_s', F_z, F_z', F, F'$ und die Hauptebenen H, H' .

Hinweis 1: Gehen Sie bei der Konstruktion von dem Bild der Sammellinse aus. Hinweis 2: In Abbildung 10 sind die gestrichelt gezeichneten Strahlen virtuell. Hinweis 3: Überlegen Sie sich, welchen Punkt Sie mit Hilfe der ausgezeichneten Strahlen jeweils als nächstes aus den bereits konstruierten Punkten konstruieren können. Eine Konstruktionsgenauigkeit von 1 mm ist durchaus möglich!

Hinweis 2: Herausforderung für Interessierte: Eine maßstabsgetreue Konstruktion mit digitalen Plottools ist prinzipiell möglich, aber sehr viel anspruchsvoller als die Konstruktion auf Millimeterpapier. Zusätzlich zur Konstruktion auf Millimeterpapier dürfen Sie zu Hause gerne versuchen, eine derartige Konstruktion zu realisieren. Möglich wäre dies z.B. mit Geogebra oder innerhalb von LaTeX mit TikZ.

2.2.3 Auswertung (zu Hause)

- Ermitteln Sie aus der Konstruktion die Brennweiten f_s, f_z, f , den Hauptebenenabstand h , Gegenstandsweite g und Bildweite b . Prüfen Sie nach, ob die zusammengehörigen Brennweiten auf beiden Seiten des Systems jeweils untereinander gleich sind (bei Abweichung darüber mitteln).
- Gefundene Werte in (1), (2), (9) und (10) einsetzen und feststellen, ob beide Seiten derselben im Rahmen der Mess- und Zeichengenauigkeit (schätzen) übereinstimmen.

2.3 Teilversuch 3: Brennweitenbestimmung mit dem Fernrohr

2.3.1 Messungen

- Das Fernrohr wird als Nachweisinstrument für parallele Strahlen kalibriert. Dafür wird auf einen weit entfernten Gegenstand scharf gestellt (Scharfstellung danach nicht mehr verändern!).
- Als Objekt wird in diesem Teilversuch die Lochblende (nicht die Lochfigur) mit eingebautem Raster verwendet. Die Seite mit dem Raster soll in Richtung der Lichtquelle zeigen.
- Es ist besonders darauf zu achten, dass Objekt, Linse und Fernrohr auf der optischen Achse liegen!
- Denken Sie daran, gegebenenfalls die Korrektur nach (3) bzw. (4) vorzunehmen.
- Zur Bestimmung der Brennweite der Sammellinse wird der Aufbau aus Abbildung 7 verwendet. Die Position der Linse wird so verändert bis das Rasterbild deutlich im Fernrohr zu erkennen ist.
- Um die Brennweite der Zerstreuungslinse zu bestimmen (siehe Abbildung 8), wird zunächst mit der Sammellinse ein vergrößertes Bild wie in Teilversuch 1 auf dem Schirm am Ende der Schiene projiziert. Anschließend wird der Schirm entfernt und Zerstreuungslinse L_Z und Fernrohr eingesetzt. Man suche die Position für L_Z , so dass das Lochraster scharf zu sehen ist.
- Ein zweiter Messwert für die Brennweite der Zerstreuungslinse wird dadurch gewonnen, dass man die Schärfentiefe im vorherigen Messverfahren minimiert. Hierfür werden Sammel- und Zerstreuungslinse bis zur Berührung der beiden Reiter zusammengeschoben und gemeinsam solange verschoben bis am Ende das Bild im Fernrohr wieder scharf zu erkennen ist. Um die Position des virtuellen Objektes (siehe Abbildung 8) der Sammellinse festzustellen muss statt Fernrohr und Zerstreuungslinse der Schirm wieder eingebaut werden.

2.3.2 Auswertung (zu Hause)

- Berechnen Sie die Brennweite der Sammellinse mit Fehler nach dem Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz.
- Ermitteln Sie aus den Messwerten die Brennweite der Zerstreuungslinse (Ergebnis vor und nach Schärfentiefe minimierung). Auch hier ist der Fehler nach dem Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz zu berechnen.

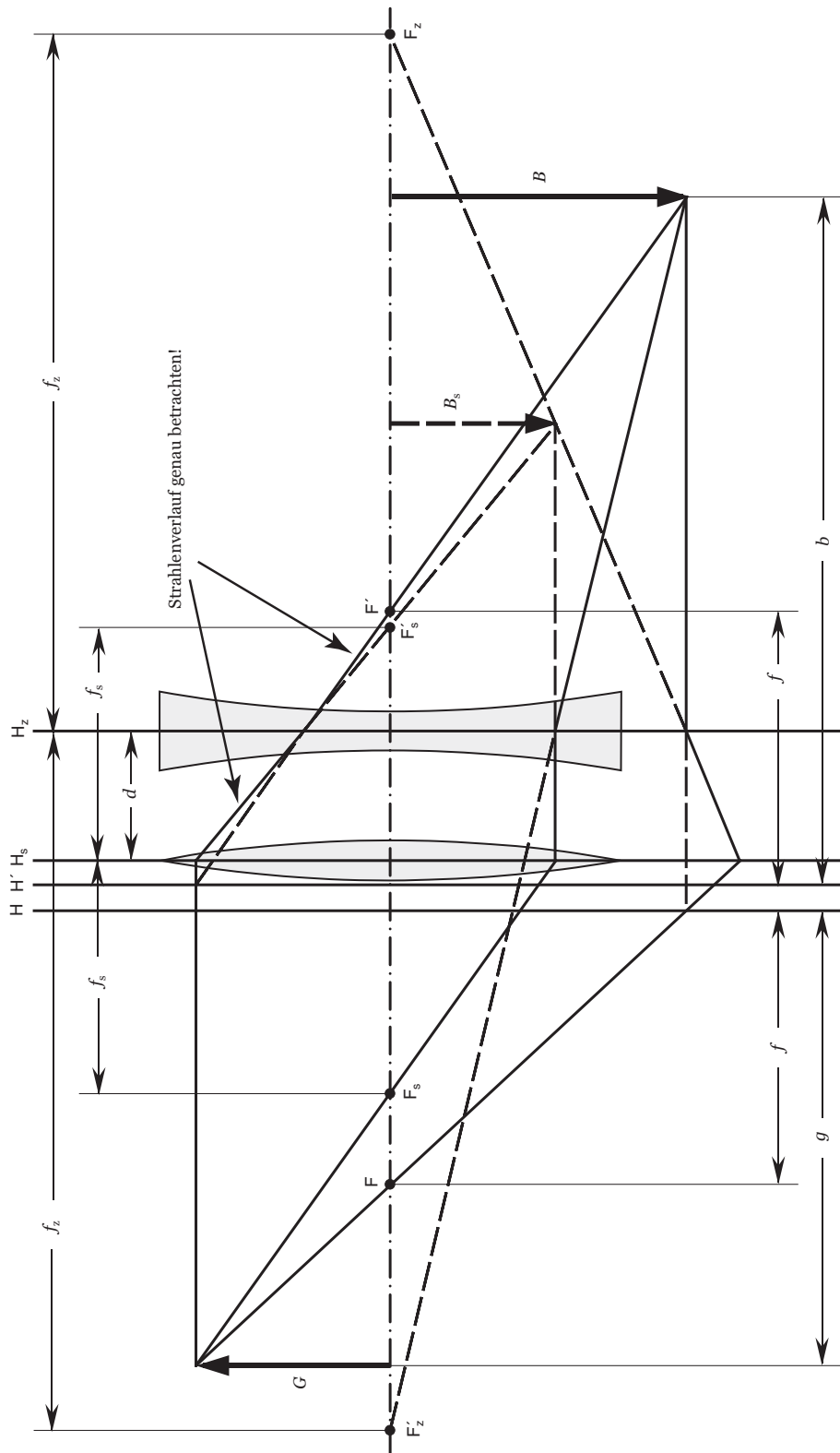


Abbildung 10: Konstruktion von Hauptebenen und Brennpunkten eines Linsensystems aus dem Objekt und den Bildern