

Hier geht es um optischen Versuche, bei denen die geometrischen Abmessungen groß gegen die Wellenlänge sind und deshalb die Wellennatur des Lichts nicht auffällig zum Vorschein kommt.

Bei einigen Teilaufgaben geht es darum, bekannte optische Instrumente modellhaft aufzubauen und dabei das planvolle Einsetzen optischer Bauelemente zu üben. Bei anderen Aufgaben sollen Brennweite von Linsen und Linsensystemen bestimmt werden. Dabei wird deutlich, wie man die Absolutmessung von Größen (hier Gegenstands- und Bildweiten wegen nur ungenau feststellbarer Positionen der Linsenmitten bzw. unbekannter Hauptebenenlagen) vermeidet und stattdessen Verfahren benutzt, die mit einfacheren und genaueren Differenzmessungen auskommen. Im Zusammenhang mit der Brennweitenbestimmung werden auch gleich sphärische und chromatische Aberrationen untersucht.

Achtung: Gehen Sie bitte sehr sorgfältig mit dem Zubehör in der abgedunkelten Kabine um. Auch scheinbar simple optische Elemente wie Farbgläser und Diapositive sind sehr teuer. *Nicht direkt in einen sehr hellen Strahl hineinblicken! Blendungsgefahr!*

Allgemeiner Hinweis: Bei allen Versuchen, bei denen beleuchtete Objekte abgebildet werden, ist eine sorgfältige Justierung aller optischen Elemente, inklusive Beleuchtungssystem, nötig. Deshalb soll bei der Vorbereitung ein Strahlengang gezeichnet werden, in dem das Beleuchtungssystem nicht fehlen darf.

Aufgaben:

1.) Brennweiten Bestimmungen

1.1 Kontrollieren Sie nur mit Hilfe eines Maßstabes und eines Schirmes die angegebene Brennweite einer dünnen Sammellinse.

1.2 Bestimmen Sie die Brennweite dieser Linse genau mit Hilfe des Besselschen Verfahrens. Untersuchen Sie gleichzeitig die sphärische und chromatische Aberration der Linse.

Hinweise: Bilden Sie einen Gegenstand auf einen Transparenzschirm ab. Für einen festen Abstand $e > 4f$ gibt es zwei Linsenstellungen, in denen ein scharfes vergrößertes bzw. verkleinertes Bild erscheint. Betrachten Sie das Bild zur Beurteilung der Schärfe nötigenfalls mit einer Lupe. Verwenden Sie die folgenden vier möglichen Versuchsbedingungen: rotes / blaues Licht und inneres / äußeres Linsengebiet. Dafür existieren Farbgläser sowie auf die Linsenfassung aufsteckbare Loch- und Scheibenblenden. Zur Erhöhung der Messgenauigkeit sind für jede Versuchsbedingung mehrere Messungen auszuführen:

- a) bei festem Abstand e zwischen Gegenstand und Bild wiederholte unabhängige Scharfeinstellungen
- b) Variationen von e .

Fragen: Warum muss $e > 4f$ sein? Warum ist es nachteilig, e/f zu groß zu wählen?

1.3 Bestimmen Sie mit Hilfe des Abbéschen Verfahrens die Brennweite eines Zweilinsensystems bei verschiedenen Linsenabständen. Bestimmen Sie bei festem Linsenabstand auch die Hauptebenenabstände.

Hinweise: Bei jedem Linsenabstand sollen mindestens für sechs 'Gegenstand-Marke-Abstände' die Vergrößerungen gemessen werden. Die Bezugsmarke ist ein beliebiger aber fester Ort am Linsensystem. Als Gegenstand ist eine geeichte Skala vorteilhaft und als Schirm wird Millimeterpapier verwendet. Zur Bestimmung der Lagen beider Hauptebenen des Linsensystems führen Sie eine zweite Messreihe mit dem um 180° gedrehten Linsensystem, aber ansonsten identischem Vorgehen durch. Sie erhalten dann als Ergebnis zwei Messungen der Systembrennweite f und der Hauptebenenlagen h_1 und h_2 relativ zur Bezugsmarke für das ungedrehte und für das gedrehte Linsensystem: h_u und h_g .

Hinweis: In diesem Anwendungsfall wird die Gültigkeit der zu Grunde liegenden Formeln vorausgesetzt und es ist daher kein Hypothesentest zur Überprüfung der Übereinstimmung von Daten und Modell notwendig.

Nutzen Sie deshalb also die Werte von χ^2 /Freiheitsgrad, um ggf. die Schätzung der Unsicherheiten insbesondere der von Ihnen bestimmten Bildgrößen anzupassen, um realistische Unsicherheiten Ihrer Ergebnisse zu erhalten.

1.3.1 Bestimmung der Einzelbrennweiten eines Zwei-Linsen-Systems.

Wenn man annimmt, dass das Linsensystem aus zwei dünnen Linsen mit den Einzel-Brennweiten f_1 und f_2 aufgebaut ist, lassen sich diese aus mindestens zwei Messungen mit verschiedenen Linsenabständen d_1 und d_2 bestimmen. Nutzen Sie zur Bestimmung der Einzel-Brennweiten zusätzlich jeweils diese Linsenabstände, die man über die Skalen am Messingrohr ablesen kann. Für ein System aus zwei dünnen Linsen mit den Brennweiten f_1 und f_2 mit Abstand d in Luft gelten die folgenden Formeln:

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

$$h_1 + h_2 = d \left(1 - \frac{f}{f_1} - \frac{f}{f_2} \right) \quad (2)$$

Aus Formel (1) können aus zwei Messreihen bei bekannten Linsenabständen die Einzelbrennweiten durch eine einfache Anpassung der Funktion $f = f(d_1, d_2; f_1, f_2)$ bestimmt werden.

1.3.2 freiwillige Zusatzaufgabe (ersetzt für diesen Versuch die ausführliche Fehlerrechnung):

Information über die Einzel-Brennweiten steckt aber auch in den im ersten Versuchsteil bestimmten Hauptebenenlagen h_u und h_g nach Formel (2). Durch Einsetzen von (1) in (2) erhält man einen Zusammenhang zwischen den beiden Sätzen an Ergebnissen für die Systembrennweite und die Hauptebenenlagen mit den Einzel-Brennweiten.

Technische Hinweise:

1. Für die Auswertung der Messreihen mit ungedrehtem und gedrehtem Linsensystem empfiehlt sich eine simultane Anpassung an beide Messreihen mit einem „MultiFit“ von kafe2, wie er in Jupyter-Tutorial „Fehlerrechnung.ipynb“ beschrieben ist. Damit wird auch die starke Korrelation von h_u und h_g korrekt bestimmt, die andernfalls gesondert abgeschätzt werden müsste.
2. Für die Zusatzaufgabe ist es wichtig, die starken Korrelationen zwischen f , h_u und h_g zu berücksichtigen, um korrekte Unsicherheiten und Konfidenzintervalle für die Einzelbrennweiten f_1 und f_2 zu erhalten. Wegen der großen Anzahl an Parametern kann dies nicht mit einer einfachen Funktionsanpassung dargestellt werden, sondern es sollten ein anderes Interface von kafe2 angewandt werden, nämlich „IndexedFit“, wie er ebenfalls im Jupyter-Tutorial „Fehlerrechnung.ipynb“ beschrieben ist. Damit lassen sich die Ergebnisse von Anpassungen weiterverarbeiten, also z.B. Umparametrisierungen der Form $(f, h_u, h_g) \rightarrow (f_1, f_2, d)$, sowie auch Mittelungen über mehrere Messreihen durchführen. Als Eingabedaten akzeptiert IndexedFit beliebige Messgrößen mit Kovarianzmatrix, die Abhängigkeiten voneinander haben und zusätzlich als Funktionen von Parametern dargestellt werden können. Als Maß für die Übereinstimmung zwischen Eingabedaten und den parametrisierten Ergebnissen wird die χ^2 -Kostenfunktion verwendet.

2.) Aufbau optischer Instrumente

2.1 Bauen Sie ein Keplersches (astronomisches) Fernrohr mit wenigstens sechsfacher Vergrößerung und betrachten Sie damit entfernte Gegenstände. Bauen Sie die Linsenkombination auf der leicht transportablen ‘kleinen optischen Bank’ auf. Messen Sie auf einfache Weise die Vergrößerung und vergleichen Sie sie mit dem errechneten Wert. Bauen Sie auch ein Galileisches Fernrohr auf und überprüfen Sie seine Funktion.

2.2 Bauen Sie einen Projektionsapparat, der 24×36 mm²-Diapositive ausleuchtet und in etwa 1,5 m Entfernung etwa zehnfache Vergrößerung aufweist. Projizieren Sie Diapositive und vergleichen Sie Ergebnis und Voraussage. Zeichnen Sie den prinzipiellen Strahlengang (mit Konstruktionslinien für die ‘Beleuchtung’ und für die ‘Abbildung’ und mit Lichtbündeln).

2.3 Bauen Sie ein Mikroskop mit >20-facher Vergrößerung und vergleichen Sie die näherungsweise gemessene Vergrößerung mit dem berechneten Wert. Skizzieren Sie den Strahlengang.

Frage: Warum hat es keinen Sinn, bei einem Mikroskop die Vergrößerung durch Einsatz von Linsen mit immer kleineren Brennweiten in der Hoffnung zu steigern, dann auch eine immer bessere 'Auflösung' zu erreichen?

Zubehör:

Optische Bank mit Reitern

Glühlampe (6V;5A) im Gehäuse und mit Netzgerät

Kondensor

Sammellinsen (4 / 5 / 7 / 9 / 10 / 15 / 20 / 30 / 50 / 100cm, evtl. leicht abweichende Zusammenstellung)

Zerstreuungslinsen (-5 / -10cm)

Zweilinsensystem mit einstellbarem Linsenabstand

verstellbarer Spalt

Irisblende

auf die Linsen aufsteckbare Lochblende, dto. Scheibenblende

Rotfilter und Blaufilter

farbiges Testdiapositiv; Demonstrationsdiapositiv

diverse Gitter (20 Striche/cm bis 208 Striche/cm und Kreuzgitter)

Filterhalter; Blendenhalter

Mattscheibenschirm; mm-Papier

kleine optische Bank (gemeinsam für alle Versuche)

Millimeterskala

Literatur:

Alle Lehrbücher der Optik und alle Optik-Kapitel

Speziell zu Bessel- und Abbéverfahren:

Walcher: *Praktikum der Physik*, 2. Aufl., Par. 4.1.2, 4.1.3

Bergmann, Schaefer: *Experimentalphysik*, Bd. 3, 6. Aufl., S. 99,100

Westphal: *Physikalisches Praktikum*, 13. Aufl., Aufg. 18 und 21

Zu optischen Instrumenten (besonders instruktiv: Projektionsapparat!):

Pohl: *Optik und Atomphysik*, 12. Aufl., §29 - §33