



Versuch 60

Bestimmung der Brennweiten dünner Linsen

Lineare Regression aus Gegenstands- und Bildweite

1 Versuchsziel

Bestimmt werden die Brennweiten zweier dünner Linsen sowie der chromatische Abbildungsfehler. Im Mittelpunkt steht eine ingenieurwissenschaftliche Kernkompetenz: *Messdaten so aufzubereiten, dass aus ihnen mit einer linearen Regression eine gesuchte physikalische Größe gewonnen werden kann*. Welche Aufbereitung das ist, erarbeiten Sie sich selbst aus den physikalischen Grundlagen.

2 Physikalische Grundlagen

2.1 Die dünne Linse und die Abbildungsgleichung

Eine dünne Sammellinse bildet einen Gegenstand im Abstand g (Gegenstandsweite) als reelles Bild im Abstand b (Bildweite) ab. Zwischen Gegenstandsweite, Bildweite und Brennweite f gilt die Abbildungsgleichung

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

Eine ausführliche Herleitung und Diskussion finden Sie in Hecht (2018) sowie Demtröder (2017).

2.2 Das Besselverfahren

Hält man den Abstand e zwischen Gegenstand und Schirm fest (mit $e > 4f$), so existieren zwei Linsenstellungen, in denen ein scharfes Bild entsteht – einmal vergrößert, einmal verkleinert. Aus dem Abstand d dieser beiden Stellungen lässt sich die Brennweite bestimmen. Den Zusammenhang zwischen e , d und f leiten Sie aus Gleichung (1) her (vgl. Walcher (2006); Geschke (2010); Westphal (1971)). Den Aufbau mit den Größen e , d , g und b zeigt Abbildung 1.

2.3 Chromatische Aberration

Da die Brechzahl des Linsenglases von der Wellenlänge abhängt, ist die Brennweite für rotes und blaues Licht verschieden. Mit den Brennweiten f_{rot} und f_{blau} für rotes bzw. blaues Licht dient als Maß der relative chromatische Fehler F_C :

$$F_C = \frac{f_{\text{rot}} - f_{\text{blau}}}{\frac{1}{2}(f_{\text{rot}} + f_{\text{blau}})}. \quad (2)$$

3 Zubehör

- Optische Bank mit Reitern und Maßstab
- Lichtquelle mit beleuchtetem Gegenstand (Dia)
- Zwei Linsen: Sammellinse A und Linse B
- Schirm (Mattscheibe – *nicht* beschreiben oder verkratzen)
- Farbfilter rot und blau

4 Versuchsaufbau

Alle Bauteile sitzen auf einer gemeinsamen optischen Achse (Abbildung 1). Die Lichtquelle beleuchtet den Gegenstand; die Sammellinse erzeugt auf dem Schirm ein scharfes Bild. Gemessen werden die *Gegenstandsweite* g (Abstand Gegenstand–Linse), die *Bildweite* b (Abstand Linse–Schirm), der feste *Gegenstand–Schirm-Abstand* e sowie – beim Besselverfahren – der *Abstand* d der beiden scharf abbildenden Linsenstellungen. Es gilt $e = g + b$.

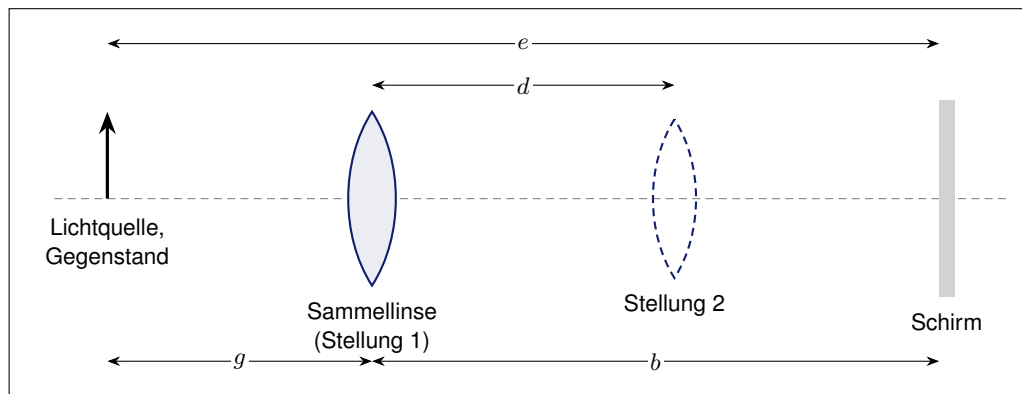


Abbildung 1: Versuchsaufbau auf der optischen Bank. Bei festem Gegenstand–Schirm-Abstand e erzeugen zwei Linsenstellungen im Abstand d je ein scharfes Bild (Besselverfahren); für Stellung 1 sind Gegenstandsweite g (Gegenstand–Linse) und Bildweite b (Linse–Schirm) eingezeichnet.

5 Aufgaben

- Linse A:** Die Brennweite der Sammellinse A ist mit weißem Licht zu bestimmen. Bei mindestens acht Gegenstand–Schirm-Abständen sind jeweils die Stellungen mit vergrößertem und verkleinertem Bild zu messen (Linsenschlitten umdrehen; Mittelwert beider Messungen). Die Auswertung erfolgt durch *lineare Regression* (siehe Abschnitt 7).
- Linse B:** Die Brennweite der Linse B ist mit dem *Besselverfahren* bei fünf Schirmabständen zu bestimmen, jeweils mit weißem, rotem und blauem Licht. Anschließend ist der chromatische Fehler F_C zu berechnen.

6 Versuchsdurchführung

- Lichtquelle, Gegenstand, Linse und Schirm sind auf gleicher optischer Achse zu justieren.
- Das Bild ist bei jeder Messung sorgfältig auf maximale Schärfe einzustellen; die relevanten Maße sind an der optischen Bank abzulesen (Linse A: Gegenstands- und Bildweite; Linse B: Schirmabstand e und Abstand d der beiden Linsenstellungen).
- Zu jeder Ablesung ist die Messunsicherheit abzuschätzen und zu protokollieren.
- Für Linse B sind nacheinander Rot- und Blaufilter einzusetzen und die Bessel-Messung ist zu wiederholen.

7 Auswertung

Linse A. Die Abbildungsgleichung (1) ist in den gemessenen Größen nicht linear. Zu bestimmen ist eine Auftragung der Messgrößen, die einen linearen Zusammenhang ergibt; aus deren Steigung oder Achsenabschnitt ist – begründet anhand Gleichung (1) – die Brennweite f zu ermitteln und die

lineare Regression durchzuführen. Die digitale Auswertung erfolgt im interaktiven E-Learning bzw. im Online-Versuch der *Digital Labs*; die gewählte Achsenkombination ist zu begründen.

Linse B. Aus den Bessel-Messungen sind die Brennweite f und daraus der chromatische Fehler F_C zu berechnen.

Fehlerbetrachtung. Zu diskutieren ist, wie sich eine Messunsicherheit in der Bildweite auf das Ergebnis auswirkt und welche Messgröße mit besonderer Sorgfalt zu erfassen ist.

8 Quellen und weiterführende Literatur

- Demtröder, W. (2017). *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. 7. Aufl. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum.
- Geschke, D., Hrsg. (2010). *Physikalisches Praktikum*. 13. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Hecht, E. (2018). *Optik*. 7. Aufl. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg.
- Walcher, W. (2006). *Praktikum der Physik*. 9. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Westphal, W. H. (1971). *Physikalisches Praktikum*. Braunschweig: Vieweg.