

# Versuch 100

## Einführungsversuch

**Lernziel:** Am Beispiel eines einfachen Messproblems sollen Fertigkeiten für eine erfolgreiche Versuchsdurchführung und für das Verfassen eines Versuchsprotokolls erworben werden.

**Kenntnisse:** Fehlerrechnung, Grundbegriffe und Gesetze der geometrischen Optik: Brechungsgesetz, Linsengleichung, Abbildungsmaßstab

**Literatur:** Einführungsabschnitte in Praktikumsbüchern

**Geräte:** Optische Bank mit Maßstab und mehreren Reitern, Sammellinse, Lampe, Kreuzblende, Projektionsschirm

### 100.1 Erläuterungen

Bestimmen Sie die Brennweite einer dünnen Sammellinse nach dem Bessel-Verfahren. Dazu muss eine Messapparatur aufgebaut und justiert werden. Für die Bestimmung des Mittelwertes und der statistischen Fehler wird die Messung mehrfach wiederholt. Fehlerquellen sollen diskutiert und mittels Fehlerrechnung quantifiziert werden.

Zunächst sei an die Abbildungsgleichung und die Definition des Abbildungsmaßstabs erinnert. Gegenstandsweite  $g$ , Gegenstandsgröße  $G$ , Bildweite  $b$ , Bildgröße  $B$ , Brennweite  $f$  und Abbildungsmaßstab  $\gamma$  sind verknüpft in den beiden Gleichungen:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad (100.1)$$

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \gamma. \quad (100.2)$$

Im Folgenden wird beiderseits der Linse das gleiche Medium (Luft) vorausgesetzt.

**Aufgabe 100.A:** Beweisen Sie, dass es für  $a > 4f$  genau 2 Linsenstellungen mit scharfer Abbildung gibt. Welchen Abbildungsmaßstab hat man bei  $a = 4f$ ?

**Aufgabe 100.B:** Leiten Sie mit dem Abstand der Linsenpositionen  $e$  (siehe Abb. 100.1) die folgende Gleichung her:

$$4f = a - e^2/a. \quad (100.3)$$

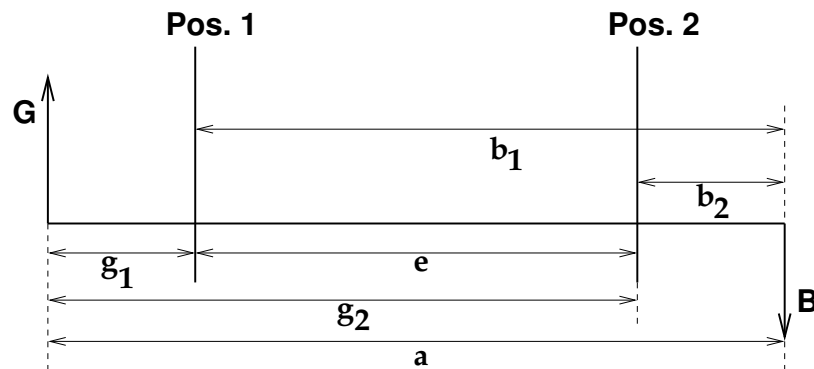


Abbildung 100.1: Aufbau für das Bessel-Verfahren auf einer Optischen Bank

## 100.2 Versuchsdurchführung

In Ihr Protokollheft haben Sie vor Versuchsbeginn bereits eingetragen:

- Nummer und Titel des Versuchs, Datum des Versuchstags,
- Ihre Antworten zu den Aufgaben 100.A und 100.B.

**Aufgabe 100.a:** Bauen Sie Gegenstand, Linse und Schirm auf der optischen Bank so auf, dass  $a > 4f$  gewährleistet ist.

Der Abstand  $a$  ist durch die Banklänge beschränkt. Den von Ihnen eingestellten Wert von  $a$  messen Sie mit dem in die optische Bank integrierten Maßstab. Dazu müssen Sie entscheiden, welche Stellen an Gegenstand und Schirm Sie für die Abstandsmessung heranziehen, so dass Sie sich keinen systematischen Längenmessfehler einhandeln und  $a$  auf  $\Delta a \approx 1 \text{ mm}$  messen können.

Um die Bedingung  $a > 4f$  einhalten zu können, müssen Sie  $f$  ungefähr kennen. Bestimmen Sie in einem einfachen Vorversuch – ohne optische Bank – die ungefähre Größe der Brennweite  $f$ .

Durch Verschieben der Linse zwischen Gegenstand und Schirm auf der optischen Bank können Sie überprüfen, ob Ihr Aufbau diese Bedingung erfüllt, und ebenso, ob Sie Gegenstand, Linse und Schirm auf ein- und derselben optischen Achse parallel zur optischen Bank zentriert haben. Wie können Sie das erkennen? Prüfen Sie dabei auch, ob Sie die Ebenen von Blende, Linse und Schirm senkrecht zur optischen Achse fixiert haben.

Spätestens jetzt sollten Sie eine Skizze des Aufbaus mit den Bezeichnungen – ähnlich wie Abb. 100.1 – in Ihr Heft einzeichnen. Dann tragen Sie direkt, d.h. ohne Schmierzettel, die Ergebnisse Ihrer groben Bestimmung der Brennweite  $f$  und Ihre Messung(en) des Abstands  $a$  ein. Zur Ermittlung von  $a \pm \Delta a$  ist eine Messreihe nicht sinnvoll (Warum?). Schätzen Sie  $\Delta a$  sinnvoll ab.

**Aufgabe 100.b:** Mit Hilfe des Bessel-Verfahrens bestimmen Sie nun die Brennweite der Sammellinse. Für festes  $a$  sind 10 Paare von Linsen-Einstellungen und Abstandsmessungen vorzunehmen. Aus diesen Messreihen-Paaren ist  $f$  mit dem zugehörigen Messfehler  $\Delta f$  zu bestimmen.

Entscheiden Sie, wie Sie den Abstand  $e$  messen: für jede der beiden Linsenpositionen  $i$  messen Sie den Abstand  $x_i$  des optischen Reiters von demselben Fixpunkt; benutzen Sie immer dieselbe Stelle. Sie erhalten 2 Messreihen  $x_1$  und  $x_2$ .

**Frage:** Warum brauchen Sie die Positionen der Hauptebenen der Linse relativ zu Linsenhalter bzw. Reiter nicht zu kennen?

Im Protokollheft haben Sie eine Tabelle mit geeigneter Spaltenzahl für Ihre Messreihen und deren Auswertung vorbereitet. Es ist sinnvoll, eine Spalte für Bemerkungen zu einzelnen Messungen einzurichten, z.B. für Ihre Erklärung einer Fehlmessung.

Nun beginnen Sie die Auswertung Ihrer Messungen. Berechnen Sie die Mittelwerte  $\langle x_1 \rangle$  und  $\langle x_2 \rangle$  und daraus  $\langle e \rangle$ . Mit Hilfe von Gleichung 100.3 erhalten Sie aus  $a$  und  $\langle e \rangle$  den Mittelwert  $\langle f \rangle$  Ihrer Messung von  $f$ . Das ist Ihr bester „Schätzwert“ für die wahre Brennweite.

Ermitteln Sie die Fehler  $\Delta x_1$ ,  $\Delta x_2$  Ihrer Messreihen. Dazu berechnen Sie die Streuungen  $\Delta x_{i,n}$  der  $N$  (hier ist  $N = 10$ ) einzelnen „Stichproben“ gemäß  $\Delta x_{i,n} = x_{i,n} - \langle x_i \rangle$  und daraus die beiden Mittelwertfehler bei Mehrfachmessung:

$$\Delta x_i = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{n=1}^N \Delta x_{i,n}^2}. \quad (100.4)$$

Dann berechnen Sie den Messfehler  $\Delta e$  und daraus schließlich  $\Delta f$ , jeweils nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz. Für  $\Delta e$  ist das einfach:  $(\Delta e)^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2$ . Dann formen Sie Gleichung 100.3 so um, dass Sie  $f$  als Funktion von  $e$  und  $a$  erhalten, und berechnen die Ableitungen  $\partial f / \partial e$  und  $\partial f / \partial a$ . Damit berechnen Sie dann  $\Delta f_{a=\text{const}} = \partial f(e) / \partial e \cdot \Delta e$  und  $\Delta f_{e=\text{const}} = \partial f / \partial a \cdot \Delta a$  und endlich

$$\Delta f = \sqrt{(\Delta f_{e=\text{const}})^2 + (\Delta f_{a=\text{const}})^2}. \quad (100.5)$$

All das steht jetzt in Ihrem Protokollheft.

Als Abschluss berechnen Sie mit Ihren Ergebnissen für  $a$ ,  $\Delta a$ ,  $e$ ,  $\Delta e$  Ihr Hauptmessergebnis  $f \pm \Delta f$ . Bestimmen Sie die richtige physikalische Maßeinheit.