

10. Brennweitenbestimmung nach ABBE

Versuchsbeschreibung:

Ernst Abbe veröffentlichte 1904 ein Verfahren zur Bestimmung der wirklichen Brennweite (also des Abstandes vom Brennpunkt zu der dazugehörigen Hauptebene) eines Objektivs, ohne dass dazu die Lage der Hauptebenen bekannt sein muss. Hierzu wird das auszumessende Objektiv auf einer optischen Bank fixiert. Als abzubildendes Objekt dient ein Glasmaßstab, dessen bezifferte Skalenteilung 1 cm beträgt und dessen Feinskala 0,1 cm Abstände aufweist. Der Glasmaßstab wird von einer Lampe beleuchtet und mit Hilfe des Objektivs auf einen Schirm mit Millimeterpapier abgebildet. Diese Abbildung wird für zwei unterschiedliche Gegenstandsweiten vorgenommen, wobei der Gegenstand und nicht das Objektiv verschoben wird. Der Schirm wird jeweils so auf der optischen Bank verschoben, dass sich eine scharfe Abbildung ergibt. Die Differenz der beiden Schirmpositionen $P_1 - P_2$ ist dann gleich der Differenz der Bildweiten $a'_1 - a'_2$.

Teilaufgabe 1 (Vorbereitung und Auswertung):

Leiten Sie aus der Abbildungsgleichung

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f'}$$

den Ausdruck

$$a' = f'(1 - \beta')$$

für die Bildweite her. Nehmen Sie jetzt an, dass Sie mit einem Objekt und einem Objektiv zwei mal eine scharfe Abbildung bei unterschiedlichen Gegenstandsweiten (und damit auch Bildweiten, Bildgrößen und Abbildungsmaßstäben) einstellen. Leiten Sie dann aus

$$\begin{aligned} a'_1 &= f'(1 - \beta'_1) \\ a'_2 &= f'(1 - \beta'_2) \end{aligned}$$

die Gleichung

$$f' = \frac{a'_1 - a'_2}{\beta'_2 - \beta'_1} = \frac{a'_1 - a'_2}{\frac{y'_2}{y_2} - \frac{y'_1}{y_1}} \quad (1)$$

für die Brennweite des Objektivs nach Abbe her.

Teilaufgabe 2 (Versuchsdurchführung und Auswertung):

1. Stellen Sie mit Objekt, Objektiv und Schirm eine scharfe Abbildung ein. Die Schärfe lässt sich besonders gut dadurch beurteilen, dass die auf das Millimeterpapier abgebildete Skala rückseitig mit einer Lupe betrachtet wird. „Scharfstellen“ erfolgt dann durch Bewegen des Schirmes zusammen mit der Lupe. Notieren Sie die Position des Schirmes und messen und notieren Sie den Abbildungsmaßstab. Letzteren ermitteln Sie am besten dadurch, dass Sie einen möglichst großen Teil des Bildes, z.B. drei mm-Skalenstriche des Glasmaßstabes, auf dem Millimeterpapier ausmessen und durch die Gegenstandsgröße – in diesem Beispiel 3 mm – dividieren. So wird der relative Ablesefehler klein gehalten.
2. Wiederholen Sie Schritt 1, indem Sie *nur den Schirm* (und ggf. die Lupe) erneut aus und in die Bildebene schieben, insgesamt 10 mal.
3. Bilden Sie Maximal-, Minimal- und Mittelwert der Schirmposition P und des Abbildungsmaßstabes β' .
4. Wiederholen Sie die Schritte 1-3 für eine andere Gegenstandsweite durch verschieben des Objektes, *nicht* des Objektivs. Stellen Sie die neue Gegenstandsweite so ein, dass sich die Bildweite um einen großen Betrag ändert. Dadurch wird der relative Fehler in der Differenz der Schirmpositionen $P_1 - P_2$ bzw. der Bildweiten $a_1 - a_2$, der durch Ungenauigkeiten beim Ablesen verursacht wird, klein.
5. Berechnen Sie Maximal, Minimal- und Mittelwert der Bildweitendifferenz $a'_1 - a'_2$ und der Abbildungsmaßstabdifferenz $\beta'_2 - \beta'_1$. Achtung: Maximale Differenzen ergeben sich nicht aus der Differenz der Maximalwerte. Gleiches gilt für minimale Differenzen.
6. Berechnen Sie die Maximal-, Minimal- und Mittelwert der Brennweite nach Gleichung (1). Achtung: Ein Quotient wird nicht maximal, wenn Zähler und Nenner gleichzeitig maximal sind. Gleiches gilt für das Minimum des Quotienten.
7. Geben Sie den relativen Fehler bei der Brennweitenbestimmung an.