

Versuch 005 / Versuch 403

Dünne Linsen und Spiegel

In diesem Versuch werden die Brennweiten von verschiedenen Sammell- und Zerstreuungslinsen sowie von einem Hohlspiegel bestimmt. Dies geschieht mit unterschiedlichen Methoden: a) durch Ausmessen von Gegenstands- und Bildweite und Anwendung der Linsengleichung, b) mittels Autokollimation und c) mit Hilfe des so genannten Bessel-Verfahrens. Die Ergebnisse werden anschließend untereinander sowie mit den Herstellerangaben verglichen. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Meßmethoden sind zu betrachten.

Informieren Sie sich in Vorbereitung auf den Versuch über die Problematik der Linsenfehler und deren Auswirkung auf die optische Abbildung!

1. Aufgaben

- 1.1 Bestimmen Sie die Brennweite von Sammellinsen
 - durch Messung von Gegenstands- und Bildweite
 - nach der Methode von Bessel
 - nach dem Autokollimationsverfahrenund vergleichen Sie die erhaltenen Resultate miteinander!
- 1.2 Überprüfen Sie die Linsengleichung!
- 1.3 Bestimmen Sie die Brennweite von Zerstreuungslinsen
 - nach der Methode von Bessel
 - nach dem Autokollimationsverfahrenund vergleichen Sie die erhaltenen Resultate miteinander!
- 1.4 Bestimmen Sie die Brennweite eines Konkavspiegels nach dem Autokollimationsverfahren!

2. Grundlagen

Stichworte:

Optische Abbildung, Bildkonstruktion, dünne und dicke Linsen, Linsengleichung, Hauptebenen, Brechkraft, Autokollimationsverfahren, Besselsche Methode, Linsenfehler

Zur Vertiefung des Wissens und zur besseren Veranschaulichung finden Sie weitere Informationen im Internet z.B. unter:

<http://www.foto-net.de/net/objektive/linsen.html>

<http://www.ubicampus.mh-hannover.de/~physik/vorlesung/kap40/kap40.html>

Linsen und Spiegel dienen der **optischen Abbildung**. Parallel zur optischen Achse einfallendes Licht wird durch eine **Sammellinse** im Brennpunkt F vereinigt, der Abstand des Brennpunktes F von der Hauptebene der Linse ist die Brennweite f (Bild 1a).

Parallel zur optischen Achse einfallende Strahlen werden durch eine **Zerstreuungslinse** so gebrochen, als kämen sie von einem (auf der Gegenstandsseite liegenden) Brennpunkt F_z . Auch hier ist der Abstand des Brennpunktes von der Hauptebene der Linse die Brennweite f_z (Bild 1b).

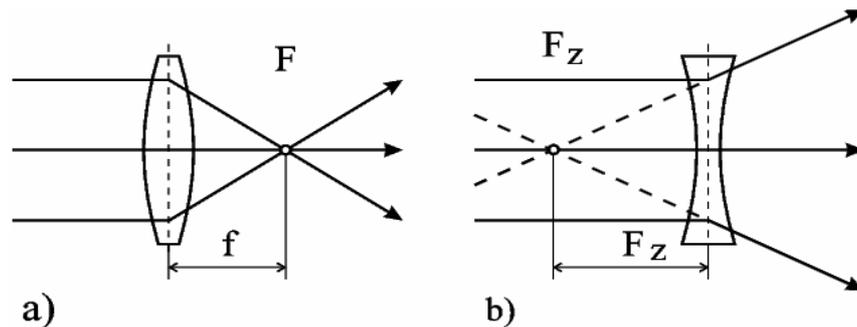
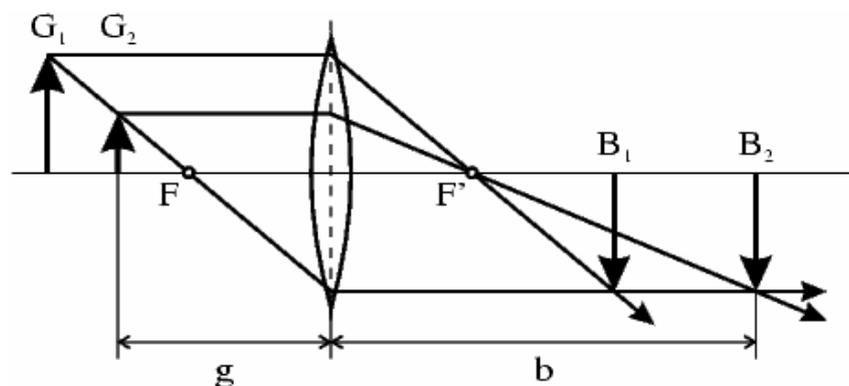


Bild 1: Lichtbrechung an einer Sammellinse (a) und einer Zerstreuungslinse (b)



G - Gegenstandsgröße, B - Bildgröße, g - Gegenstandsweite, b - Bildweite

Bild 2: Bildkonstruktion bei einer dünnen Sammellinse

Den Zusammenhang zwischen Gegenstandsweite g, Bildweite b und Brennweite f vermittelt die **Linsengleichung**

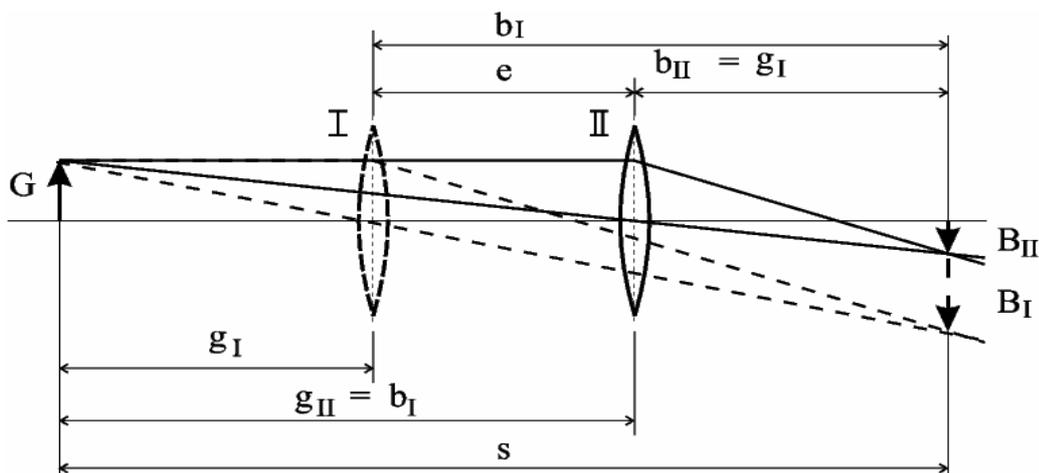
$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

(Bei virtuellen Bildern bzw. Brennpunkten sind b bzw. f negativ zu zählen). Setzt man zwei dünne Linsen mit den Brennweiten f_1 und f_2 so zusammen, daß ihr Abstand klein gegen die Brennweite ist, so gilt für die Brennweite f des Systems

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (2)$$

Brennweitenbestimmung bei dünnen Linsen

Die Bestimmung der Brennweite erfolgt bei Sammellinsen am einfachsten durch **Messung von Gegenstandsweite g und Bildweite b** . Das Verfahren hat den Nachteil, daß bei gefaßten Linsen die Lage der Hauptebene nicht genau bekannt ist. Bei der **Besselschen Methode** der Brennweitenbestimmung hingegen werden g und b indirekt durch genaue meßbare Größen ermittelt.



e - Linsenabstand bei Verschiebung aus Stellung I nach Stellung II
(Linsenstellung I - vergrößertes Bild, Linsenstellung II - verkleinertes Bild)

Bild 3: Besselsche Methode der Brennweitenbestimmung

Man erhält bei festem Abstand s zwischen Gegenstand und Schirm in zwei symmetrischen Linsenstellungen scharfe reelle Bilder auf dem Schirm. Der Abstand s zwischen Gegenstand und Bild muss dabei natürlich größer als die vierfache Brennweite der Linse sein!

$$f = \frac{1}{4} \cdot \left(s - \frac{e^2}{s} \right) \quad (3)$$

Eine weitere Methode zur Bestimmung der Brennweite stellt das **Autokollimationsverfahren** dar. Dabei befindet sich hinter der Linse ein ebener Spiegel, dessen Ebene ungefähr parallel zur Hauptebene der Linse steht.

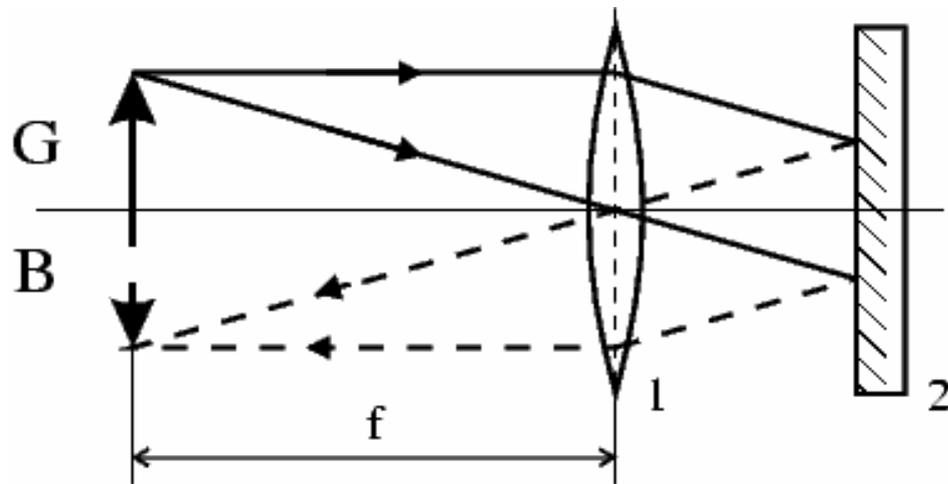


Bild 4: Autokollimationsverfahren (1 - Linse, 2 - ebener Spiegel)

Das System aus Linse und Spiegel wird solange verschoben, bis das Bild in der Gegenstandsebene erscheint. Jetzt befindet sich der Gegenstand (z.B. leuchtende Marke) in der Brennweite der Linse. Alle von einem Punkt des Gegenstandes ausgehenden Lichtstrahlen treten daher parallel aus der Linse aus, werden reflektiert und in der Brennebene wieder zu einem Punkt vereinigt.

Bei **Zerstreuungslinsen** ist eine direkte Brennweitenmessung nicht möglich, da die Abbildung nur virtuelle Bilder liefert. Man setzt deshalb eine Zerstreuungs- mit einer bekannten Sammellinse zu einem Linsensystem zusammen, dessen Brennweite nach Gleichung (2) bestimmt wird. Wenn die Brennweite der Sammellinse f_S kleiner als der Betrag der Brennweite der Zerstreuungslinse f_Z ist, so überwiegt die sammelnde Wirkung. Die Brennweite kann nach einer der oben beschriebenen Methoden gemessen werden.

$$\frac{1}{f_Z} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f_0} \quad (4)$$

Autokollimationsverfahren beim Hohlspiegel

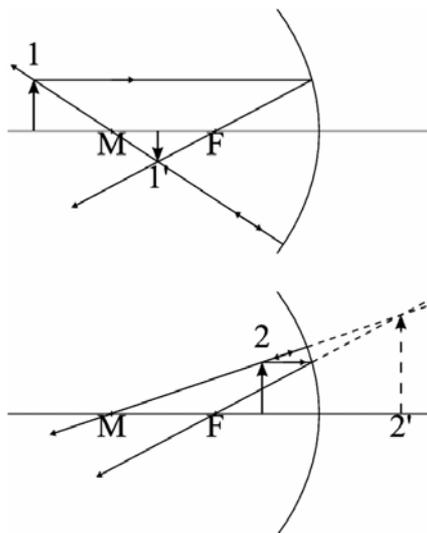


Bild 5: Bildkonstruktion am Hohlspiegel
(1. Gegenstand außerhalb der Brennweite, 2. Gegenstand innerhalb der Brennweite;
M - Krümmungsmittelpunkt, F - Brennpunkt)

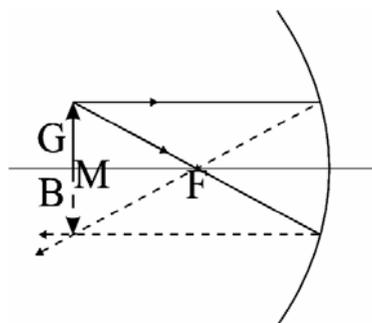


Bild 6: Autokollimationsverfahren beim Hohlspiegel

Befindet sich der Gegenstand (leuchtende Marke) im Krümmungsmittelpunkt des Spiegels, so wird dieser umgekehrt und gleich groß abgebildet. Die Brennweite ist dabei gleich dem halben Krümmungsradius.

3. Versuchsdurchführung

Zur Durchführung dieses Experimentes steht Ihnen eine optische Bank mit fest angebrachtem Maßstab, beleuchtetem Gegenstand (Pfeil-Blende), Abbildungsschirm, Plan- und Hohlspiegel sowie Linsenhalterungen zur Verfügung.

Die zu vermessenden Linsen werden vom Assistenten ausgegeben.

- 3.1 Die Aufgaben unter 1.1 werden so wie in Abschnitt 2 (Brennweitenbestimmung dünner Linsen) beschrieben durchgeführt.
- 3.2 Zur Überprüfung der Linsengleichung messen Sie an einer Sammellinse für mindestens fünf verschiedene Gegenstandsweiten g die zugehörigen Bildweiten b und tragen anschließend $1/b$ über $1/g$ auf. Dabei muss sich eine Gerade mit dem Anstieg $m = -1$ ergeben. Die Schnittpunkte der Geraden mit den Achsen liegen bei $1/f$.
- 3.3 Für Aufgabe 1.3 setzen Sie jeweils die Zerstreuungslinse mit einer geeigneten Sammellinse, deren Brennweite Sie vorher bestimmt haben, zu einem Linsensystem zusammen und bestimmen dessen Brennweite. Durch Umstellen von Gl. 4 nach f_z erhalten Sie dann die Brennweite der Zerstreuungslinse. Sinnvollerweise kann man an dieser Stelle auch gleich mit dem Kehrwert der Brennweite (Brechkraft in Dioptrien) rechnen.
- 3.4 Die Durchführung von Aufgabe 1.4 erfolgt wie in Abschnitt 2 (Autokollimationsverfahren beim Hohlspiegel) beschrieben.

Stellen Sie abschließend alle Ergebnisse in Form einer Tabelle dar und vergleichen Sie die durch verschiedene Methoden gewonnenen Brennweiten untereinander sowie mit den Angaben auf den Linsen. Für jedes Verfahren muß in geeigneter Weise die erreichte Messgenauigkeit ermittelt werden. (entweder Größtfehlerabschätzung oder - bei mehrmaligem Messen - eine statistische Auswertung).