

1 Theorie

1.1 Zielsetzung

In dem folgenden Versuch sollen mehrere Gesetzmäßigkeiten der geometrischen Optik, wie zum Beispiel das Abbildungsgesetz und die Linsengleichung, mit verschiedenen Versuchsaufbauten überprüft werden. Zudem sollen diese dann genutzt werden, um für verschiedene Linsen(-Systeme) die Brennweite zu bestimmen, unter anderem auch noch mit der Methode von Bessel sowie der Methode von Abbe.

1.2 Grundlagen der geometrischen Optik

Grundlegend werden in der Optik Linsen aus verschiedenen Materialien betrachtet, die optisch dichter sind als Licht. Durch diese Eigenschaft werden Lichtstrahlen bei Durchgang solch eines Mediums nach dem Brechungsgesetz gebrochen. Da die auftretende Brechung auch Abhängig von der Geometrie des Körpers ist, werden die Linsen meist in zwei Kategorien eingeteilt. Ein Typus ist die Sammellinse, bei der parallel einfallende Lichtstrahlen zum Einfallslot hin gebrochen werden. Dadurch entsteht an dem Punkt, an dem sich die Lichtstrahlen bündeln ein reelles Bild in der Entfernung b (Bildweite) zur Hauptebene der Linse (siehe Abbildung ??).

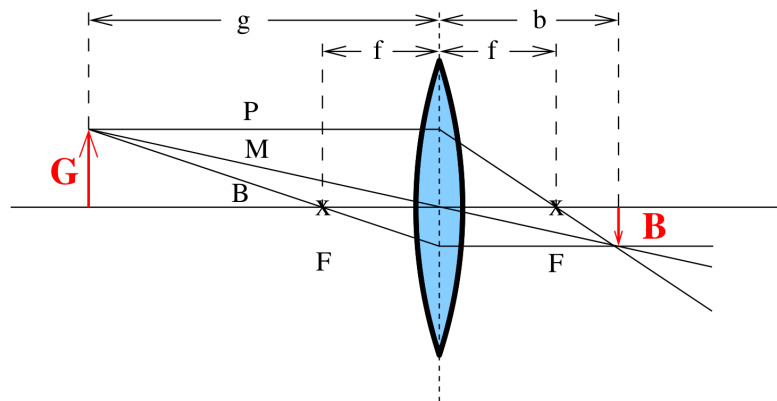


Abbildung 1: Bildrekonstruktion des Strahlenverlaufs bei einer Sammellinse.[1]

Ein weiterer Typus ist die Streulinse, bei der die Lichtstrahlen vom Einfallslot weg gebrochen werden. Dadurch entsteht lediglich ein virtuelles Bild, welches eine negative Bildweite besitzt (siehe Abbildung 2). Aufgrund dieser Eigenschaften wird bei Sammellinsen von einer positiven Brennweite und bei Streulinsen von einer negativen Brennweite gesprochen.

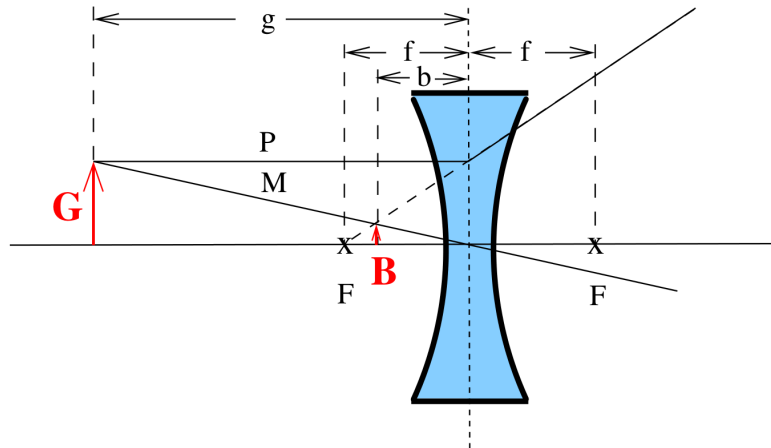


Abbildung 2: Bildrekonstruktion bei einer Streulinse. [1]

Während bei einer dünnen Linse die Brechung auf lediglich eine Mttelenbene reduziert werden kann, müssen bei dickeren Linsen zwei Hauptebenen betrachtet werden (siehe Abbildung 3). Um nun optische Bildrekonstruktionen durchzuführen, werden drei charakteristische Strahlen eingeführt.

- Parallelstrahl: Der Parallelstrahl läuft von der Gegenstand senkrecht auf die Mittel- bzw. Hauptebene zu, wird dort gebrochen und läuft dann durch den Brennpunkt.
- Mittelpunktsstrahl: Der Mittelpunktstrahl läuft direkt durch die Mitte der Linse und läuft durchgehen in die selbe Richtung.
- Brennpunktstrahl: Der Brennpunktstrahl läuft durch den Brennpunkt auf die Mittel- bzw. Hauptebenen zu, wird dort gebrochen und läuft dann senkrecht zur Mittel- bzw. Hauptebene bis zum Bild.

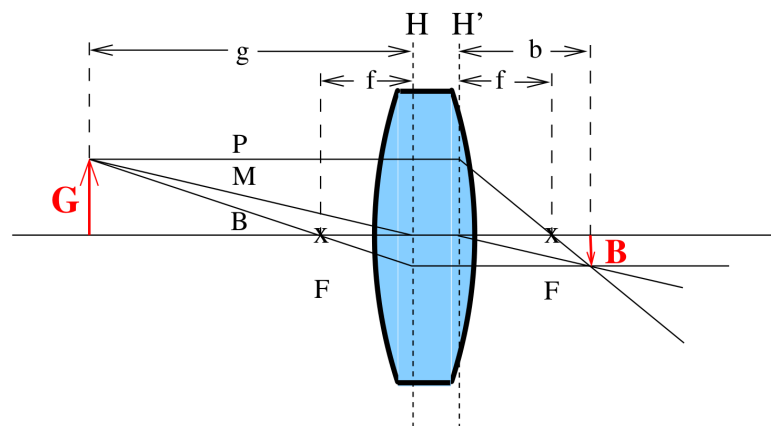


Abbildung 3: Darstellung der Bildrekonstruktion bei einer dicken Linse.[1]

Der Schnittpunkt aller drei Strahlen markiert dann das Abbild. Zwischen den bei der Bildrekonstruktion betrachteten Größen besteht nach dem Abbildungsgesetz folgender Zusammenhang:

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}, \quad (1)$$

wobei V den Abbildungsmaßstab, B und G Bild- bzw. Gegenstandsgröße und b und g die Bild- bzw. Gegenstandsweite beschreiben. Für dünne Linsen folgt zudem die Linsengleichung, welche einen Zusammenhang zwischen der Brennweite f sowie b und g herstellt (Formel (2)).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \quad (2)$$

Bei dickeren Linsen müssen wie vorher bereits erwähnt zwei Hauptebenen betrachtet werden. Hier werden Brennweite und weitere Größen immer bezüglich einer Hauptebene angegeben, sodass die Linsengleichung auch hier ihre Gültigkeit behält.

Bei durch Linsen erzeugte Abbildungen kann es aufgrund der Gültigkeit der Formeln (1) und (2) für achsennahe Strahlen zu einem Abbildungsfehler bei der Betrachtung achsenferner Strahlen kommen. Bei der sphärischen Abberration liegen die Brennpunkte beider Strahlentypen nicht aufeinander, sodass es zu einer Unschärfe kommt. Dieser Fehler kann allerdings durch eine Irisblende behoben werden. Bei der chromatischen Abberation kommt es aufgrund der unterschiedlichen Wellenlängen im Lichtspektrum zu einer Dispersion bei der Brechung verschiedener Farben.

Eine weitere Größe zur Beschreibung von Linsen ist die Brechkraft D , welche als reziproke Brennweite definiert ist. Bei einem System von mehreren dünnen Linsen können die einzelnen Brechkräfte einfach summiert werden:

$$D = \sum_i^N D_i = \sum_i^N \frac{1}{f_i}. \quad (3)$$

Zur Bestimmung der Brennweite einer Linse werden im folgenden mehrere Methoden verwendet. Erstens kann die Brennweite durch Messung von Bild- und Gegenstandsweite bestimmt werden, indem die Linsengleichung (Formel (2)) genutzt wird um aus Bild- und Gegenstandsweite die Brennweite zu bestimmen (siehe Abb. 1).

Des Weiteren wird die Methode von Bessel genutzt. Hier wird der Abstand zwischen Gegenstand und Bild konstant gehalten und es werden zwei verschiedene Positionen gesucht, bei denen das Bild scharf dargestellt wird (siehe Abbildung 4). Da es sich um eine symmetrische Linsenstellung handelt, gilt folgende Beziehung:

$$b_1 = g_2 \text{ und } b_2 = g_1. \quad (4)$$

Mit den Größen $e = g_1 + b_1 = g_2 + b_2$ (Abstand zwischen Bild und Gegenstand) sowie $d = g_1 - b_1 = g_2 - b_2$ (Abstand zwischen den beiden Linsenpositionen) lässt sich dann eine Formel für die Brennweite der Linse herleiten (Formel (5)).

$$f = \frac{e^2 - d^2}{4e} \quad (5)$$

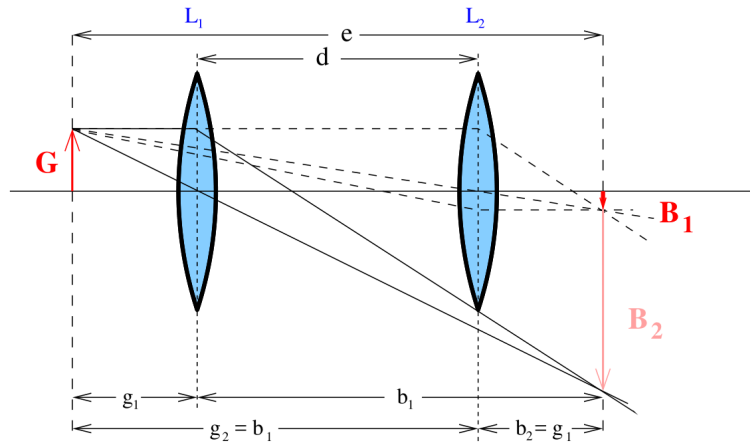


Abbildung 4: Linsenpositionen zur Bestimmung der Brennweite mit der Methode von Bessel.[1]

Eine weitere Methode zur Bestimmung der Brennweite ist die Methode von Abbe. Bei dieser können Brennweite und Lage der Hauptebenen aus dem Abbildungsmaßstab hergeleitet werden. Dafür werden bei einer dicken Linse wieder Bild- und Gegenstandsweite in Bezug zu einem beliebigen Bezugspunkt A gemessen (siehe Abb. 5). Hierbei gelten folgende Beziehungen:

$$g' = g + h = f \cdot \left(1 + \frac{1}{v}\right) + h \quad (6)$$

$$b' = b + h' = f \cdot (1 + v) + h'. \quad (7)$$

Der gewählte Referenzpunkt A muss dabei nicht notwendigerweise innerhalb der Hauptebenen liegen.

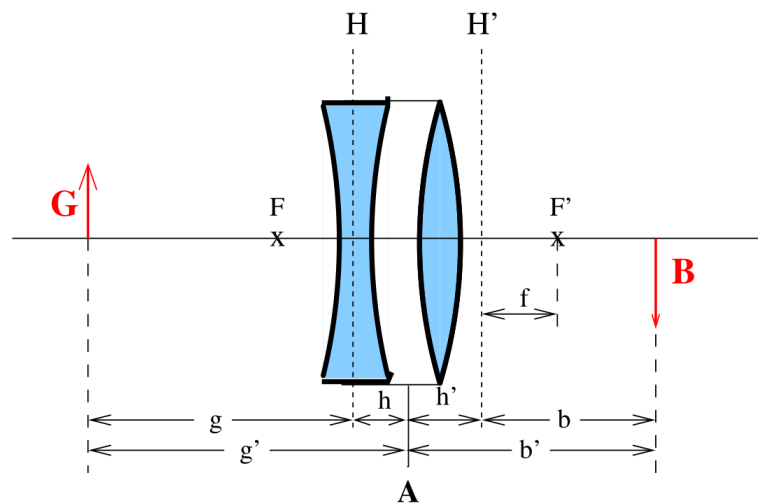


Abbildung 5: Aufbau des Linsensystems bei der Bestimmung der Brennweite mittels der Methode von Abbe.[1]

2 Versuchsaufbau und Durchführung

Bei dem Versuch wird ein Aufbau nach Abbildung 6 verwendet. Auf einer Schiene werden die verwendete Blende mit L-förmig angeordneten punktförmigen Spalten (2), die verschiedenen Linsen (3) sowie der Schirm (4) montiert. Die als Lichtquelle verwendete Halogenlampe (1) wird vor der Schiene aufgestellt. Mit der auf der Schiene vorhandenen Längenskala werden die verschiedenen Abstände gemessen.

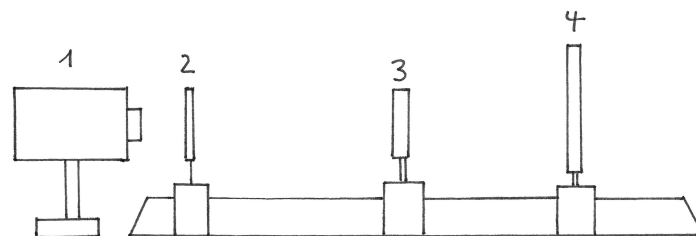


Abbildung 6: Schematische Darstellung des verwendeten Aufbaus bei den folgenden Messungen. [1]

2.1 Bestimmung der Brennweite durch Messung der Bild- und Gegenstandsweite

Zuerst wird eine Sammellinse mit bekannter Brennweite auf der Schiene montiert. Mit der Linse und der Längenskala werden dann verschiedene Gegenstandsweiten eingestellt, zu denen durch Verschieben des Schirmes zu einem Punkt auf dem das Bild scharf erscheint die entsprechenden Bildweiten gemessen werden. Diese Messung wird 10 mal für verschiedene Gegenstandsweiten durchgeführt. Bei den ersten fünf Messungen werden zudem Bild- und Gegenstandsgröße gemessen.

Anschließend wird eine dehnbare, mit Wasser gefüllte Linse auf der Schiene montiert. Während mit dem selben Verfahren wie bei der Sammellinse die Gegenstand- und Bildweite gemessen werden, wird mit einer Spritze ein konstanter Druck innerhalb der Linse aufrecht erhalten. Auch diese Messung wird 10 mal für verschiedene Gegenstandsweiten durchgeführt.

Danach wird mit der Linse noch einmal die Akkomodation des Auges betrachtet, indem bei konstanter Bild- und Gegenstandsweite der Druck in der Linse solange verändert wird, bis das Bild auf dem Schirm scharf erscheint.

2.2 Bestimmung der Brennweite mit der Methode von Bessel

Zuerst werden Blende und Schirm auf einen konstanten Abstand gebracht. Nun wird die Sammellinse zwischen Schirm und Blende verschoben, bis auf dem Schirm ein scharfes Bild zu sehen ist. Das dadurch entstehende Wertepaar aus Bild- und Gegenstandsweite wird notiert. Danach wird die Linse bei konstantem Abstand zwischen Schirm und Blende noch weiter verschoben, bis das Bild erneut scharf dargestellt wird. Das zweite Wertepaar wird ebenfalls notiert. Die Messung wird 10 mal für verschiedene Abstände zwischen Blende und Schirm durchgeführt.

Um die chromatische Abberation betrachten zu können, werden anschließend nacheinander ein roter und ein blauer Filter vor die Blende montiert. Für beide Filter wird die Messung fünf mal durchgeführt.

2.3 Bestimmung der Brennweite mit der Methode von Abbe

Bei dieser Methode wird zuerst ein Linsensystem aus Streu- und Sammellinse auf dem Schirm montiert. Dabei werden die Reiter beider Linsen direkt aneinander geschoben und der Berührungspunkt wird als Referenzpunkt A gewählt. Nun wird mithilfe des System eine bestimmte Gegenstandsweite eingestellt und der Schirm solange verschoben, bis das Bild scharf erscheint. Das entstehende Wertepaar aus Bild- und Gegenstandsweite sowie die Bildgröße werden notiert und die Messung anschließend neun mal für verschiedene Gegenstandsweiten wiederholt.

Literatur

- [1] TU-Dortmund. *Versuch V408: Geometrische Optik*. 9. Mai 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V408.pdf>.