Vorbereitung

Geometrische Optik
Versuch P1-31,40,41

Iris Conradi
Gruppe Mo-02

14. November 2010

In Abbildung 1 sind wichtige Kenngrößen einer Linse dargestellt (wobei im Folgenden $a^{'} = a^{*}$ verwendet wird und e den Abstand zwischen Gegenstand und Bild bezeichnet), da diese im Folgenden verwendet werden. Die Hauptebenen der Linse erhält man indem man den Strahlengang eines parallel zur optischen Achse einfallenden Strahles betrachtet. Wenn man nun den einfallenden und den ausfallenden Strahl verlängert als gäbe es keine Brechung, liegt der Schnittpunkt auf der Hauptebene. Die Hauptebene ist senkrecht zur optischen Achse (und schneiden diese in H und $H^{'}$).

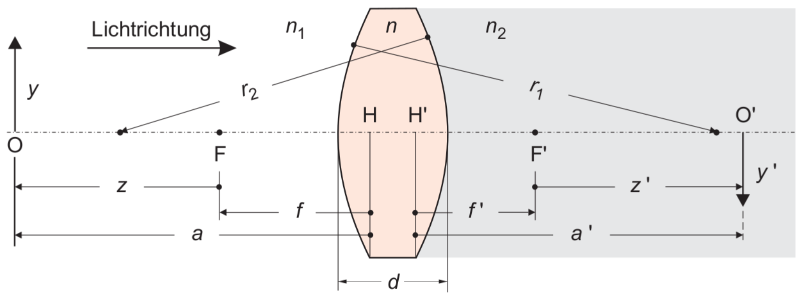

Abbildung 1: Kenngrößen

Nun soll kurz die Konstruktion eines Strahlengangs an einer dünnen Linse erläutert werden (vergleiche Abbildung 2). Das verwendete Verfahren heißt Listingsche Bildkonstruktion.
Es werden drei Strahlen betrachtet die von einem speziellen Objektpunkt zu einem Bildpunkt verlaufen. Der erste Strahl fällt parallel zur optischen Achse ein, wird an der Hauptebene gebrochen und geht dannn durch den Brennpunkt. Als nächstes wird ein Strahl gezeichnet der nicht gebrochen wird, er geht genau durch den Schnittpunkt von Hauptebene und optischer Achse (den Hauptpunkt). Dort wo sich die beiden gezeichneten Strahlen schneiden liegt der Bildpunkt. Nun wird noch der Strahl gezeichnet der durch den vorderen Brennpunkt einfällt und parallel ausfällt.

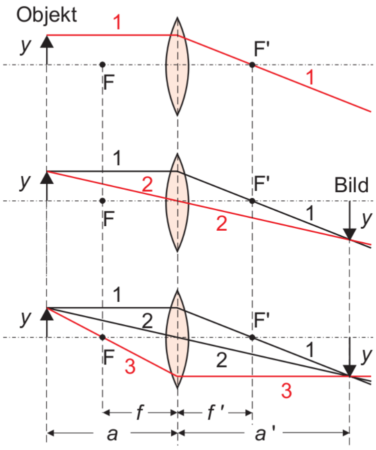

Abbildung 2: Konstruktion eines Strahlengangs

Inhaltsverzeichnis

1 Brennweitenbestimmungen

Parallel zur optischen Achse auf die Linse auftreffende Strahlen treffen hinter der Linse in einem Punkt zusammen, dieser Punkt heißt Brennpunkt. Der Abstand zwischen diesem Punkt und dem nähergelegenen Hauptpunkt (bei dünnen Linsen fallen die Hauptpunkte

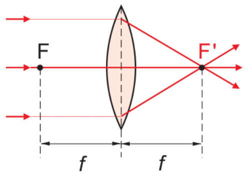

Abbildung 3: Brennweite

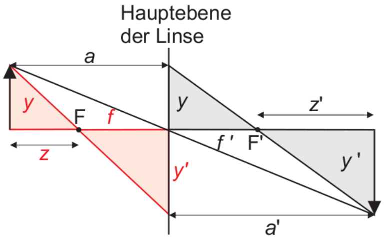

Abbildung 4: Abbildung zum Bestimmen der Gleichung (1)

zusammen). Dies ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Brennweiten auf den verschiedenen Seiten der Linse unterscheiden sich nur dann, wenn dort verschiedene Medien sind.

1.1 Brennweitenbestimmung einer dünnen Linse mit Maßstab

Man kann die Brennweite nun einfach messen, indem man einen Schirm hinter die Linse stellt und die Entfernung so anpasst, dass nur ein kleiner Punkt zu sehen ist. Der Abstand zwischen Hauptpunkt und Schirm stellt die Brennweite dar.
Als Lichtquelle kann auch das Sonnenlicht verwendet werden, da die Strahlen parallel zueinander sind.

1.2 Besselsches Verfahren

Die im vorhergehenden Versuch angewendete Methode zur Bestimmung der Brennweite ist ungenau, da man den Hauptpunkt abschätzen muss. Somit muss eine Möglichkeit gefunden werden nur mit leicht abmessbaren Größen die Brennweite zu bestimmen.
Mit dem 2. Strahlensatz, angewendet auf Abbildung 4 ergibt sich die Gleichung (1).

Außerdem gilt natürlich $a^* = e - a$.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a^*} = \frac{1}{f} \tag{1}$$

$$\frac{a^* + a}{a \cdot a^*} = \frac{1}{f} \tag{2}$$

$$a^2 - ea + ef = 0 \tag{3}$$

$$a_{1/2} = \frac{e}{2} \frac{+}{-} \frac{e}{2}\sqrt{1 - \frac{4f}{e}} \tag{4}$$

Es gibt also zwei Positionen an denen man die Linse aufstellen kann um ein scharfes Bild zu erhalten.
Aus Gleichung (4) kann man erkennen, dass man e immer größer als 4f wählen muss, um ein Bild zu erhalten (Radikant darf nicht negativ sein). Bei $e = 4f$ gibt es nur eine mögliche Linsenposition.
Wenn man $^e/_f$ sehr groß wählt, dann liegen die beiden Positionen für die Linse sehr nah am Ort des Objektes bzw. sehr nah am Schirm.

$$|a_1 - a_2| = d = e\sqrt{1 - \frac{4f}{e}} \tag{5}$$

$$f = \frac{e}{4}\left(1 - \frac{d^2}{e^2}\right) \tag{6}$$

Der Abstand e ist leicht zu bestimmen. Zur Bestimmung von d muss nur ein Punkt auf der Linse festgelegt werden an dem man die Position der Linse festmacht. Aufgrund der Differenzbildung ist der Punkt frei wählbar, er muss jedoch für beide Werte gleich sein.

Sphärische Aberration Die oben beschriebene Vorstellung, dass sich alle Strahlen in einem Brennpunkt sammeln gilt nur für Strahlen nah an der optischen Achse, die zu ihr auch nur einen vernachlässigbaren Winkel aufweisen.
Aufgrund der starken Krümmung der Linse werden Strahlen, die weitere von der Achse entfernt sind stärker gebrochen. So ergeben sich verschiedene Brennpunkte je nachdem welchen Strahlbereich eines parallelen Bündels man betrachtet.
Dieser Effekt wird sphärische Aberration genannt. Im Versuch wird dies mithilfe von Loch- und Scheibenblenden untersucht.

Chromatische Aberration Die Brechzahl weist im Allgemeinen eine Dispersion auf, d.h. sie ist abhängig von der Wellenlänge des einfallenden Lichts. Daher ergeben sich für verschiedene "Lichtfarben" verschiedene Brennpunkte.
Blaues Licht erfährt eine höhere Brechung und hat somit eine kleinere Brennweite als rotes.

1.3 Abbésches Verfahren

In diesem Versuch wollen wir Brennweite und Hauptebenenabstände eines Linsensystems berechnen. Dazu verwenden wir Gleichung (1) und eine Formel für den Abbildungsmaßstab (Verhältnis der Bild- zur Objektgröße), für den auch gilt: $\beta = \frac{a^*}{a}$. Informationen zu den zwei einzelnen Linsen sind nicht bekannt.
Zur Messung von x wird ein fixer Punkt K zwischen den Linsen verwendet. Die Größen sind in Abbildung 5 eingezeichnet.

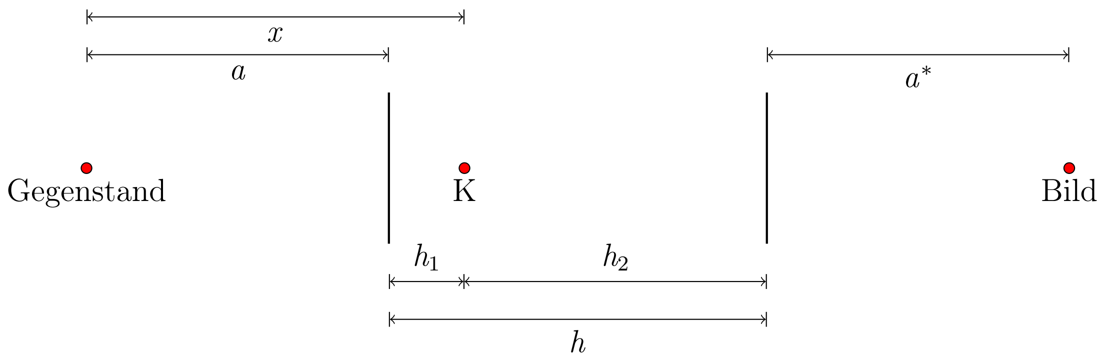

Abbildung 5: Messgrößen im Linsensystem

$$\frac{a}{f} = 1 + \frac{a}{a^*} \tag{7}$$

$$a = f\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \tag{8}$$

$$\text{mit} \qquad x = a + h_1 \tag{9}$$

$$x = h_1 + f\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \tag{10}$$

Nun benötigt man für jeden Linsenabstand zwei Wertepaare von x und β sodass man mit (10) zwei Gleichungen für die zwei Unbekannten h_1 und f hat. Es ist natürlich sinnvoll

mehrere Messungen zu machen und die Werte über eine lineare Regression zu erhalten. Um den Abstand h_2 zu bestimmen muss das Linsensystem um 180° gedreht werden. Die Gleichungen gelten analog.
So hat man die Brennweite f und den Hauptebenenabstand $h = h_1 + h_2$ für jeden Linsenabstand bestimmt.

Nun kann man mittels der Gleichung für die Brennweiten eines Linsensystems

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{h}{f_1 f_2} \tag{11}$$

aus dem Zusammenhang zwischen Brennweite und Hauptebenenabstand auch noch die Brennweiten der einzelnen Linsen berechnen.

2 Optische Instrumente

Die Winkelvergrößerung von Optischen Instrumenten ergibt sich aus dem Quotient der Sehwinkel mit und ohne Instrument. Diese Stellen die Winkel zwischen Strahl und optischner Achse dar. Wenn diese Winkel klein sind können sie jeweils durch den Tangens genähert werden.

2.1 Keplersches und Galileisches Fernrohr

Keplersches Fernrohr Ein Keplersches Fernrohr besteht aus zwei Sammellinsen, deren Brennebenen übereinanderliegen, sodass das Bild das von der Objektivlinse geworfen wird durch die Okularlinse als virtuelles Bild betrachtet wird (Umkehrbarkeit der Strahlengänge). Ein Keplersches Fernrohr ist für einen Punkt im Unendlichen scharfgestellt. Außerdem ist das Bild des Keplerschen Fernrohres umgekehrt.
Der Aufbau ist in Abbildung 6 gezeigt. Die Sehwinkel können jeweils als Quotient von der Größe des Zwischenbildes und der Brennweiten der Linsen dargestellt werden, sodass sich für die Vergrößerung ergibt:

$$\Gamma \approx \frac{f_1}{f_2} \tag{12}$$

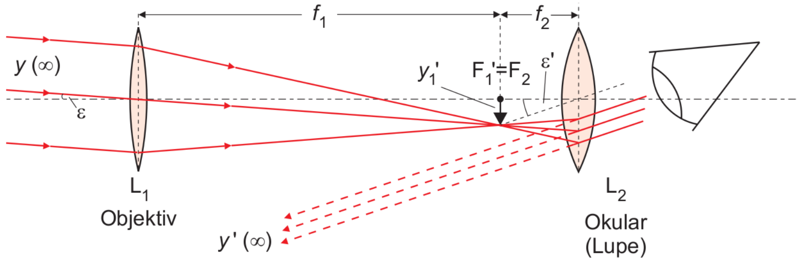

Abbildung 6: Keplersches Fernrohr

Galileisches Fernrohr Ein Galileisches Fernrohr ist aufgebaut wie ein Keplersches, jedoch wird als Okular eine Zerstreuungslinse verwendet (siehe Abbildung 7). Somit ist das Bild bei diesem Fernrohr nicht umgekehrt.
Für die Vergrößerung gilt der gleiche Zusammenhang.

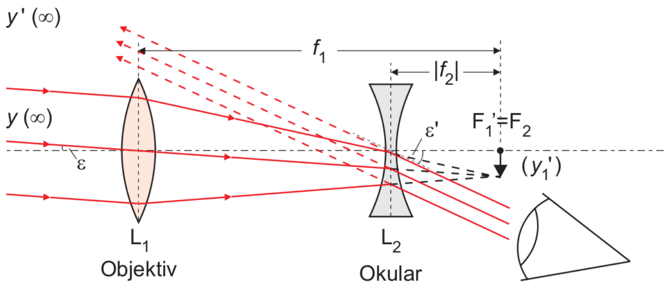

Abbildung 7: Galileisches Fernrohr

2.2 Projektionsapparat

Der Projektionsapparat soll zwei Funktionen erfüllen, zum einen soll das Dia vergrößert dargestellt werden, zum anderen soll es gut und gleichmäßig ausgeleuchtet sein.

Die Vergrößerung wird mittels des Abbildungsmaßstabes bestimmt $\beta = \frac{y^*}{y} = \frac{a^*}{a}$, wobei y^* die Größe des Bildes und y die Größe des Objektes beschreibt.

Um eine gleichmäßige Ausleuchtung zu erreichen wird das Dia direkt hinter einem Kondensor aufgestellt. Da das Bild bei der Vergrößerung umgekehrt wird, muss es falschherum in den Projektor eingelegt werden. Der schematische Aufbau eines solchen Projektors ist in Abbildung 8 dargestellt.

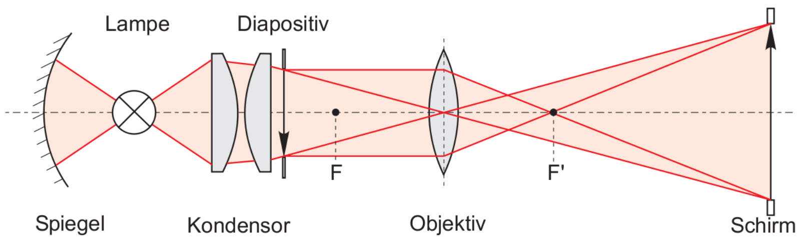

Abbildung 8: Projektionsapparat

2.3 Mikroskop

Mithilfe eines Mikroskops (einfacher Aufbau siehe Abbildung 9) sollen kleine Gegenstände, die sich in der Nähe befinden, vergrößert dargestellt werden. Durch ein Objektiv

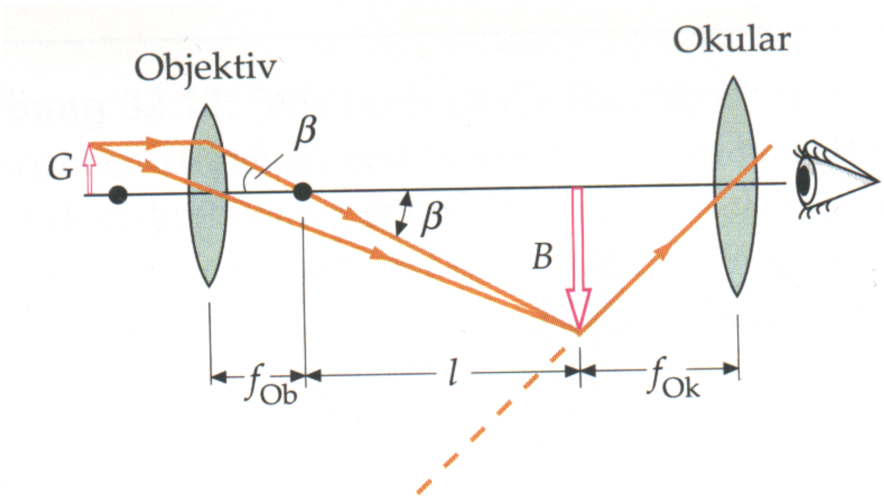

Abbildung 9: Mikroskop

wird ein Zwischenbild (umgekehrt) erzeugt, welches sich dann in dem Brennpunkt einer

weiteren Sammellinse befindet und somit vergrößert mit parallelen Strahlen beim Betrachter ankommt. Es erscheint weit entfernt (im Unendlichen).
Das Objekt befindet sich nahe der Brennebene des Objektivs.

Die Vergrößerung des Mikroskops erhält man aus der Multiplikation des Abbildungsmaßstabes des Objektivs und der Winkelvergrößerung des Okulars. Sie ist also:

$$V = \frac{a^*_{Objektiv}}{a_{Objektiv}} \cdot \frac{\frac{h_{Zw.bild}}{f_{Okular}}}{\frac{h_{Zw.bild}}{b}} \tag{13}$$

$$V = \frac{a^*_{Objektiv}}{a_{Objektiv}} \cdot \frac{b}{f_{Okular}} \tag{14}$$

wobei b die Entfernung von Zwischenbild zum Betrachter darstellt.
Die Auflösung eines Mikroskops wird durch die Wellenlänge des Lichtes begrenzt.

3 Quellen

- Eichler, Kronfeld, Sahm: Das Neue Physikalische Grundpraktikum
- Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage
- W. Walcher: Praktikum der Physik, 7. Auflage
- Westphal: Physikalisches Praktikum, 13. Auflage
- Die Bilder wurden entnommen aus Eichler, Kronfeld, Sahm: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, nur das Bild zum Mikroskop stammt aus Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage.