

Von jedem Punkt des Gegenstandes (im Bild 1 ist das nur für die Pfeilspitze gezeigt) gehen Lichtstrahlenbündel aus, die auf die Linse treffen. Im Bild 1 wurden drei Strahlen des Bündels ausgewählt, deren durch die Lichtbrechung veränderter Verlauf hinter der Linse sich sofort angeben lässt. Der Parallelstrahl (S_p) verlässt die Linse durch den Brennpunkt F' , der Mittelpunktstrahl (S_M) erleidet keine Richtungsänderung und der Brennpunktstrahl (S_B) verlässt die Linse parallel zur optischen Achse. Alle drei vereinigen sich in einem reellen Bildpunkt. Ist dessen Lage so bestimmt, kann natürlich der Verlauf weiterer (in Bild 1 nicht dargestellter) Strahlen des Bündels angegeben werden.

Das Verhältnis $\frac{B}{G}$ heißt Abbildungsmaßstab γ . Nach Bild 1 gilt

$$\gamma = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} . \quad (2-1)$$

Betrachtet man in Bild 1 die beiden ähnlichen Dreiecke I und II, so erkennt man die Proportion

$$\frac{G}{f} = \frac{G}{f'} = \frac{B}{b-f'} . \quad (2-2)$$

Unter Verwendung von (2-1) folgt aus (2-2) die bekannte Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} . \quad (2-3)$$

Durch Umformung lassen sich aus (2-3) die beiden Gleichungen

$$g = g\left(f, \frac{1}{\gamma}\right) = f \cdot \left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (2-4)$$

und

$$b = b(f, \gamma) = f \cdot (1 + \gamma) \quad (2-5)$$

gewinnen, auf die später zurückgegriffen werden soll.

Die Bildkonstruktion mit Hilfe des Hauptebenenmodells eines Linsensystems ist nun (und darin liegt der Sinn dieses Modells) der an der dünnen Linse sehr ähnlich. Die (paraxialen) Strahlen werden an den Hauptebenen H und H' gebrochen. Diese haben einen gewissen Abstand ($h + h'$) voneinander (vgl. Bild 2). Zwischen den Hauptebenen erfolgt nur eine zur optischen Achse parallele Verschiebung der Strahlauffreffpunkte.

Die Gleichungen (2-1) bis (2-5) behalten auch für das Linsensystem ihre Gültigkeit, wenn die veränderte Zählweise der Entfernungen nach Bild 2 beachtet wird.

Man erhält mit Hilfe des Hauptebenenmodells einen wirklichkeitsgetreuen Strahlenverlauf außerhalb des Linsensystems. Der Verlauf der Strahlen innerhalb des Linsensystems ist natürlich völlig anders als im Hauptebenenmodell, er kann (und soll auch) von diesem nicht wiedergegeben werden.

3 Versuchsanordnung

Solange für das zu untersuchende Objektiv die Lage der Hauptebenen noch nicht bekannt ist, legt man willkürlich eine Marke M fest, auf die zunächst die Entfernungen bezogen werden. Die Marke M kann z. B. in die Frontebene des Objektivs gelegt werden, weil diese leicht zugänglich ist (siehe Bild 2).

In Bild 2 ist bei traditionell von links angenommenem Lichteinfall die positive Zählweise der Entfernungen durch die Pfeilrichtungen angegeben. Demzufolge würde z. B. $h < 0$ bedeuten, dass H nicht vor sondern hinter M liegt.

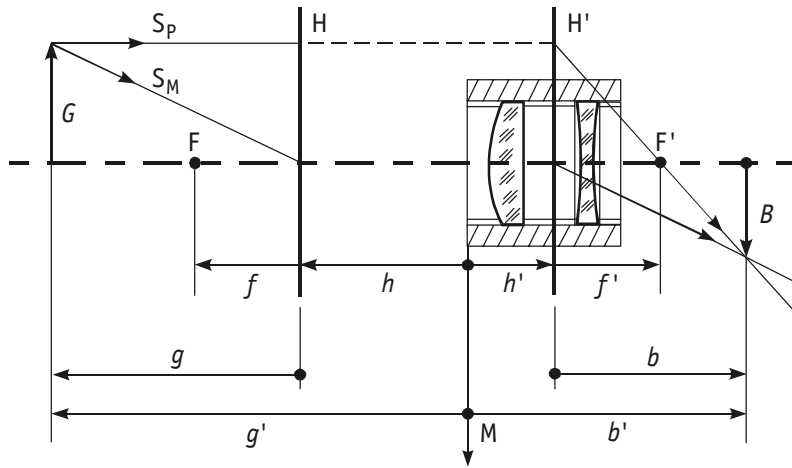


Bild 2 Lage der Hauptebenen und Zählweise der Entfernungen

Man entnimmt Bild 2 die Beziehungen $g' = g + h$ und $b' = b + h'$. Damit folgen aus (2-4) und (2-5) die Gleichungen

$$g' = f \frac{1}{\gamma} + (f + h) \quad (3-1)$$

und

$$b' = f \gamma + (f + h') \quad (3-2)$$

Stellt man mit Hilfe von Messwerten g' über $\frac{1}{\gamma}$ und b' über γ dar, sind nach (3-1) und (3-2) Geraden zu erwarten, aus denen f , h und h' bestimmt werden können.

Der Gegenstand der Größe G ist eine Kontaktkopie einer in der Bildebene angebrachten transparenten Messskale, beide Skalen haben also den gleichen Skalenswert. Die Skalen und das Objektiv sind auf Reitern montiert, die sich auf einer optischen Schiene verschieben lassen. Die Positionen von Gegenstand, Bild und Objektiv sind mit Hilfe von Zeigern auf einem Längenmaßstab abzulesen, wobei die Position des Objektivs durch die Position der Marke M bestimmt wird. Man wählt für jede Abbildung zunächst eine Objektivposition. Dann stellt man das Bild scharf und notiert dessen Position. In der Bildebene sind gleichzeitig die schwarzen Striche der Messskale und die (aufgrund des Filters) grün leuchtenden Striche des Bildes der Objektskale sichtbar. Die Beobachtung kann durch Zuhilfenahme einer Lupe und einer Hilfsbeleuchtung erleichtert werden.

Man bringt (durch Verschieben des Objektes senkrecht zur optischen Achse) eine selbst zu wählende (aber möglichst große) Anzahl z' von Skalenteilen des Bildes mit der dazugehörigen Anzahl z von Skalenteilen der Messskale zur Deckung und berechnet daraus den Abbildungsmaßstab

$$\gamma = \frac{z}{z'} \quad (3-3)$$

und den Kehrwert $\frac{1}{\gamma}$. Aus den Positionen von Gegenstand, Objektiv und Bild berechnet man g' und b' .

Das Einstellen des Bildes (einschließlich der Ermittlung von γ , $\frac{1}{\gamma}$ und b') wird bei jeder Abbildung mehrmals vorgenommen, um subjektive Einstellfehler zu verringern. Die Messungen werden nun für verschiedene g' und somit also für verschiedene γ wiederholt und man untersucht auf diese Weise die Abhängigkeiten $g' = g' \left(\frac{1}{\gamma} \right)$

und $b' = b'(\gamma)$ für das im Versuch benutzte Objektiv der Brennweite f .

Die Berechnung der Ausgleichsgeraden zu den Gl. (3-1) und (3-2) erfolgt anschließend am PC.

4 Aufgaben

- 4.1 Für verschiedene Abbildungsmaßstäbe γ sind mit einem Linsensystem (Objektiv) reelle Bilder einer Objektskale auf einer Mattscheibe zu erzeugen. Dabei sind jeweils die Gegenstandsweite g' und mehrfach die Bildweite b' und der Abbildungsmaßstab γ zu messen.
- 4.2 Mit den Ergebnissen von 4.1 sind g' und b' als Funktionen von $\frac{1}{\gamma}$ bzw. γ darzustellen. Aus beiden Darstellungen ist die Brennweite f einschließlich ihres Fehlers durch Ausgleichsrechnung zu bestimmen.
- 4.3 Die Hauptflächenlagen h und h' sind (ohne Fehler) anzugeben.

5 Fragen

- 5.1 Nennen Sie Gründe für die geringe Abbildungsgüte von Einzellinsen.
- 5.2 Ein Lichtstrahl trifft aus beliebiger Richtung eine beliebige Stelle einer dünnen Sammellinse. Man konstruiere den Strahlenverlauf hinter der Linse.
- 5.3 Welche Unterschiede bestehen zwischen reellen und virtuellen Bildpunkten?
- 5.4 Das von einer dünnen Sammellinse erzeugte Bild eines Objektes hat die Bildweite $b = -f$. Wo steht das Objekt?
- 5.5 Ein Parallelstrahl, ein Mittelpunktstrahl und ein Brennpunktstrahl fallen auf eine dünne Zerstreuungslinse. Wie laufen diese drei Strahlen hinter der Linse weiter?
- 5.6 Eine Zerstreuungslinse ($f_2 = -30 \text{ mm}$) steht $D = 10 \text{ mm}$ hinter einer Sammellinse ($f_1 = 20 \text{ mm}$). Berechnen Sie die Systembrennweite f .
- 5.7 Ein Gegenstand steht in der halben Brennweite vor einer dünnen Sammellinse. Man konstruiere das Bild.
- 5.8 Ein Linsensystem hat die Brennweite $f > 0$ und den Hauptebenenabstand $\frac{f}{2}$. Konstruieren Sie das Bild eines bei $g = 2f$ vor H befindlichen Objektes.
- 5.9 Wie bestimmt man aus der Geraden $b' = f\gamma + (f + h')$ die Brennweite f und die Hauptflächenlage h' ?
- 5.10 Zwei gleiche dünne Linsen ($f > 0$) im Abstand $\frac{f}{2}$ bilden ein Linsensystem. Man konstruiere die Hauptebene H .

Literatur

- [1] Recknagel, A. : Physik/Optik
Verlag Technik, Berlin, 1990
ISBN 3-341-00844-6
- [2] Geschke, D. (Hrsg.) : Physikalisches Praktikum
Teubner-Verlag, Leipzig, 2001
ISBN 3-519-10206-4
- [3] Hering, E. u. a. : Physik für Ingenieure
Springer-Verlag, Berlin, 2004
ISBN 3-540-21036-9