

Bestimmung der Brennweiten von Sammellinsen - Linsenformel und Abbildungsmaßstab - HEX



Die Schüler sollen Lernen, die Linsenformel für dünne Linsen anwenden zu können und ebenfalls mit Hilfe des Bessel - Verfahrens die Brennweite bestimmen zu können.

Physik

Licht & Optik

Optische Geräte & Linsen



Schwierigkeitsgrad

schwer



Gruppengröße

2



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

30 Minuten



Allgemeine Informationen

Anwendung



Versuchsaufbau

Dieser Versuch soll den Zusammenhang zwischen Abbildungsmaßstab und Linsenbrennweite näherbringen mit zwei verschiedenen Methoden dargelegt, woraus sich die Linsenformel ergibt. Einen ersten Eindruck von Abbildungen mit einer Sammellinse wurde bereits durch den Versuch "Reelle Bilder an einer Sammellinse" (P1435803) vermittelt. Dabei wurde die Bildgröße in Abhängigkeit der Gegenstandsweite untersucht, wobei es dabei nur um die Bildgröße und weniger um die Brennweite der Linse ging.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE
excellence in science

Vorwissen



Die Schüler sollten Kenntnisse über den Abbildungsmaßstab und die Brennweite einer Linse haben.

Prinzip



Fällt Licht parallel auf einen Glaskörper und wird dann in einem Punkt, dem Brennpunkt, gesammelt, handelt es sich bei dem Körper um eine sogenannte Sammell- oder auch konvexe Linse. Die Eigenschaften dieser Linsen sind sehr wichtig für den Bau optischer Instrumente.

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE
excellence in science

Lernziel



Die Schüler sollen Lernen, die Linsenformel für dünne Linsen anwenden zu können und ebenfalls mit Hilfe des Bessel - Verfahrens die Brennweite bestimmen zu können.

Aufgaben



1. Bestimmung von Abbildungsmaßstab und Brennweite einer Sammellinse mit der Linsenformel für dünne Linsen.
2. Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse nach dem Bessel-Verfahren.

Sicherheitshinweise

PHYWE
excellence in science

Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise für das sichere Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Theorie (1/3)

PHYWE
excellence in science

Ein Gegenstand G wird durch eine dünne Sammellinse der Brennweite f auf einem Schirm durch achsennahe Strahlen scharf abgebildet. Je nach Entfernung des Gegenstandes zum Linsenmittelpunkt ergeben sich reelle vergrößerte, verkleinerte oder auch virtuelle Bilder. In Abb. 1 wird die Bildentstehung dargestellt, wobei sich der Gegenstand in Abb. 1a innerhalb der doppelten Brennweite befindet, während er in Abb. 1b außerhalb der selben liegt. Mit den sogenannten drei Hauptstrahlen (Mittelpunkts-, Brenn- und Parallelstrahl) kann die Abbildung konstruiert werden. Je nach Lage des Gegenstandes sind diese dann vergrößert oder verkleinert, aber immer auf dem Kopf stehend und seitenverkehrt (reelle Bilder). Virtuell wird die Abbildung, wenn G innerhalb der einfachen Brennweite steht.

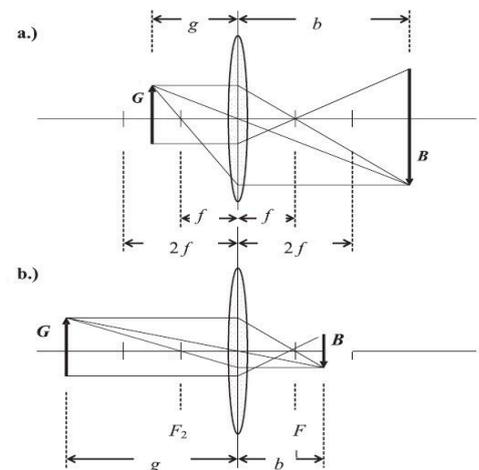


Abbildung 1

Theorie (2/3)

Für das Abbildungsgesetz gilt : $A = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$

mit dem Abbildungsmaßstab A , der Bildweite b und der Gegenstandsweite g . Mit Hilfe der Abb. 1 kann außerdem folgende Relation aufgestellt werden:

$$\frac{B}{b-f} \text{ und } \frac{G}{g-f} = \frac{B}{f}.$$

Durch Umstellen beider Gleichungen erhält man die Linsenformel.

$$\text{Linsenformel für dünne Linsen: } \frac{1}{f} = \frac{b+g}{b \cdot g} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}.$$

Ist die Entfernung zwischen Gegenstand und Abbildungsebene fest und größer als $4f$, so erhält man für zwei verschiedene Linsenpositionen scharfe Abbildungen. Dabei liegen die beiden Linsenorte symmetrisch zur Mittellinie von d . Sie sind also jeweils um $e/2$ von dieser entfernt (Abb.2).

Theorie (3/3)

Mit diesem sog. Bessel-Verfahren lässt sich die Brennweite einer Linse ebenfalls bestimmen.

Aus der Abb. 2 folgt:

$b_1 + g_1 = d$ und $b_1 - \frac{e}{2} = \frac{d}{2}$. Zusammen lassen sich die Gleichungen nach b_1 und g_1 auflösen:

$$g_1 = \frac{d-e}{2} \text{ und } b_1 = \frac{d+e}{2}.$$

Setzt man dies nun in die Linsenformel für dünne Linsen ein und stellt nach f um, erhält man die Brennweite nach dem Bessel-Verfahren.

$$\text{Brennweite nach dem Bessel-Verfahren: } f = \frac{d^2 - e^2}{4d}$$

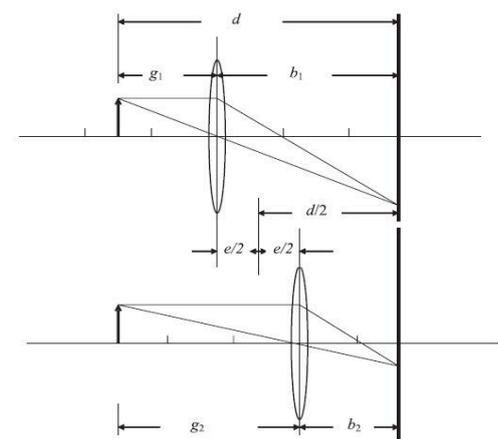


Abbildung 2

Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	Optische Profilbank, l = 1000 mm	08370-00	1
2	Experimentierleuchte LED HEX1	08130-99	1
3	Reiter für optische Profilbank	09822-00	2
4	Fassung mit Skale auf Reiter	09823-00	2
5	Linse in Fassung, f = +100 mm	08021-01	1
6	Blendenhalter, aufsteckbar	11604-09	1
7	Perl L	11609-00	1
8	Schirm, weiß, 150 mm x 150 mm	09826-00	1
9	Maßband, l = 2 m	09936-00	1



Aufbau und Durchführung

Aufbau (1/2)

- Abb. 3 zeigt den Versuchsaufbau.
- Die Experimentierleuchte wird mit senkrechten Haltestiel in die Stirnbohrung des Reiters bei 2,0 cm am Kopfende der optischen Bank eingesetzt und befestigt. Mit dem horizontalen Schieber wird die Leuchte bis an den Anfang der Ummantelung geschoben, sodass der Gegenstand vollständig ausgeleuchtet werden kann.
- Die Leuchte wird mit ihrem Netzteil mit einer Stromquelle verbunden.



Abbildung 3

Aufbau (2/2)

PHYWE
excellence in science

- Dicht vor dem Austrittstubus der Leuchte wird ein Reiter ohne Winkelskala positioniert (Markierung bei 15 cm). Auf diesen wird der Blendenhalter mit eingesetztem Perl L als Gegenstand gesetzt. Zu Beachten ist hier die Verschiebung der tatsächlichen Lage des Perl L um 0,5 cm zur Reiterposition.
- Die zu untersuchende Linse ($f = +100$ mm) wird mit dem Reiter auf der opt. Bank befestigt, während der Schirm in einem Reiter für die Stativbank befestigt wird.



Abbildung 3

Durchführung

PHYWE
excellence in science

Zur besseren Messbarkeit ist es von Vorteil, den langen Schenkel des Perl L horizontal zu legen.

1. Für verschiedene Linsenpositionen sind durch Verschieben des Schirmes scharfe Abbildungen des Perl L zu erzeugen. Dabei sollten die Linsenpositionen so gewählt werden, dass sowohl vergrößerte als auch verkleinerte Bilder aufgenommen werden. Mit Hilfe des Maßstabes ist jeweils die Länge der Abbildung des großen L-Schenkels zu messen (Abstand der Mittelpunkte der äußeren Punkte des Ls). Außerdem sind Gegenstandsweite und Bildweite aufzunehmen.
2. Eine zweite Messreihe dient der Vergleichsmessung nach dem Bessel-Verfahren. Hierbei wird zunächst der Schirm in festen Abständen zum Gegenstand positioniert. Anschließend wird die Linse so verschoben, dass beide scharfen Bilder sichtbar werden (Verschiebung der Linse in beide Richtungen des Mittelstrahls des Schirm-Gegenstand-Abstandes). Für nähere Informationen kann Abb. 3 aus den Methoden zu Rate gezogen werden. Für beide Linsenpositionen die Gegenstandsweite aufnehmen.

Achtung: Bei der Messung muss jeweils beachtet werden, dass das Perl L um 0,5 cm von der Fußmarke des Reiters abweicht.

Auswertung (1/2)

Messung	Gegenstandsweite g/cm	Bildweite b/cm	Bildgröße B/cm	Gegenstandsgröße G/cm	Abbild. maßstab $A_1 = b/g$	Abbild. maßstab $A_2 = B/G$	A_2/A_1	Brennweite f/cm
1	13	53,5	12	3,0	4,11	4,0	0,97	10,46
2	15	34,5	6,5	3,0	2,3	2,17	0,94	10,45
3	17	27,4	4,6	3,0	1,61	1,53	0,95	10,49
4	19	22,9	3,4	3,0	1,20	1,13	0,94	10,38
5	21	20,3	2,6	3,0	0,97	0,87	0,89	10,32
6	23	18,5	2,2	3,0	0,80	0,73	0,91	10,25
7	25	17,1	1,7	3,0	0,68	0,57	0,83	10,15
8	27	16,2	1,5	3,0	0,6	0,5	0,83	10,13
9	29	15,9	1,4	3,0	0,55	0,47	0,85	10,27
10	31	15,1	1,2	3,0	0,49	0,4	0,82	10,15

Tabelle 1: Bestimmung von Abbildungsmaßstab und Brennweite einer Sammellinse

In der Tabelle 1 sind die Messwerte und die daraus resultierenden Ergebnisse für die Sammellinse mit der Brennweite $f = +100mm$ dargestellt. Die Brennweitenberechnung erfolgt mit Hilfe der Linsenformel aus dem Methodenteil.

Zur Bestimmung des Abbildungsmaßstabes wurde die Länge des großen L-Schenkels (Abstand der äußeren Ränder der entsprechenden Glasperlen) mit $3,0cm$ angesetzt. Für die Sammellinse (Typenangabe: $f = +10cm$) ergibt sich ein Mittelwert für die Brennweite von: $f = (10,3 \pm 0,06)cm$.

Auswertung (2/2)

Die Ergebnisse einer Vergleichsmessung nach dem Bessel-Verfahren zeigt die Tabelle 2.

Nach dem Bessel-Verfahren erhält man den Mittelwert: $f = (10,7 \pm 0,1)cm$.

Befindet sich der Gegenstand innerhalb der einfachen Brennweite, ist keine reelle Abbildung mehr zu erzielen.

Das Bild wird dann virtuell und die Linse wirkt als Lupe.

Liegt der Gegenstand bei $2f$, so entspricht die Bildgröße der Gegenstandsgröße ($B = G$). Die Abbildungen sind, ob verkleinert oder vergrößert, stets auf dem Kopf stehend und seitenverkehrt.

Messung	Abstand Gegenstand - Schirm d/cm	Linienposition 1 g_1/cm	Linienposition 2 g_2/cm	Differenz Position 2 - PPosition 1 e/cm	Brennweite m f/cm
1	80	13	68,3	55,3	10,44
2	75	13,3	63,3	50,0	10,42
3	70	13,6	58,0	44,4	10,46
4	65	13,9	52,7	38,8	10,46
5	60	14,2	47,4	33,2	10,41
6	55	14,7	41,6	26,9	10,46
7	50	15,4	36,0	20,6	10,38
8	45	16,8	30	13,2	12,7

Tabelle 2: Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse nach dem Bessel-Verfahren