

Bestimmung der Brennweiten von Zerstreuungslinsen und Linsensystemen - HEX



Die Aufgabe dieses Versuches liegt darin, die Brennweiten von Zerstreuungslinsen und Linsensystemen zu bestimmen.

Physik

Licht & Optik

Optische Geräte & Linsen



Schwierigkeitsgrad

schwer



Gruppengröße

1



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

40 Minuten



Allgemeine Informationen

Anwendung



Versuchsaufbau

Die Kenntnis über die Brennweite von Zerstreuungslinsen und Linsensystemen ist elementar in der medizinischen Optik. So können beispielsweise mit Hilfe einer Zerstreuungslinse Sehfehler korrigiert werden. Die Linse der Brille und die Augenlinse bilden dabei ein Linsensystem. Bei korrekter Einstellung der Gesamtbrennweite des Systems wird das Bild scharf auf der Netzhaut abgebildet.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE
excellence in science

Vorwissen



Die Schüler sollten Kenntnisse über die Brennweite einer Linse sowie eines Linsensystems haben.

Prinzip



Reelle Bilder entstehen nur mit Sammellinsen (konvexe Linsen), deren Brennweiten f immer positiv sind. Im Gegensatz dazu erzeugen konkave oder Zerstreuungslinsen ($f < 0$) nur virtuelle Bilder. Die Bestimmung ihrer Brennweite kann in Kombination mit einer Sammellinse erfolgen.

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE
excellence in science

Lernziel



Die Schüler werden lernen, die Linsenformel sowie das Bessel - Verfahren auf Zerstreuungslinse und Linsensysteme anzuwenden und somit die Brennweite bestimmen zu können.

Aufgaben



Die Aufgabe dieses Versuches liegt darin, die Brennweiten von Zerstreuungslinsen und Linsensystemen zu bestimmen.

Sicherheitshinweise

PHYWE
excellence in science

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

Theorie (1/4)

PHYWE
excellence in science

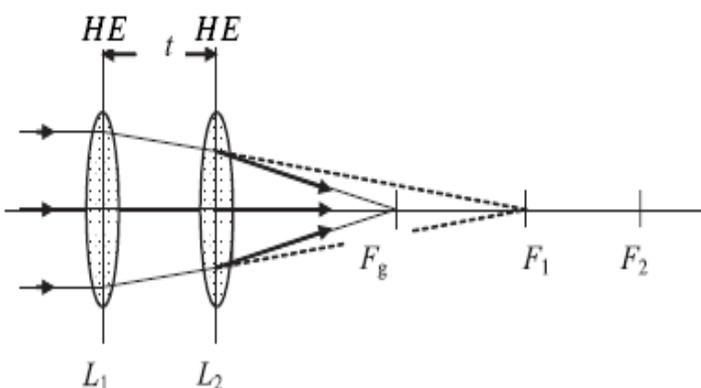


Abbildung 1

Hat eine Linse die Brennweite f , so bezeichnet man den Kehrwert $1/f$ auch als die Brechkraft D [$1\text{dpt} = 1/\text{m}$] der Linse.

Die Gesamtbrechkraft D_g eines Linsensystems, das aus zwei dünnen Einzellinsen der Brechkraften D_1 und D_2 besteht, deren optische Mittelebenen (Hauptebenen HE) sich im Abstand t voneinander befinden (Abb. 1), ergibt sich zu

$$D_g = D_1 + D_2 - t \cdot |D_1| \cdot |D_2| = \frac{1}{f_s}$$

$$= \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{t}{|f_1| \cdot |f_2|} .$$

Theorie (2/4)

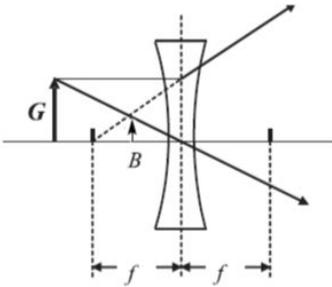


Abbildung 2

Stehen beide Linsen dicht beisammen ($t \ll f_1, f_2$), so addieren sich die Brechkraften der Einzellinsen.

$D_g = D_1 + D_2 = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$. Die Brechkraft D_s einer Sammellinse und damit ihre Brennweite ist immer positiv.

Im Gegensatz dazu haben Zerstreuungslinsen eine negative Brennweite und für die zugehörige Brechkraft gilt somit: $D_z < 0$ (Abb. 2). Besteht ein Linsensystem nur aus Sammellinsen, so entstehen immer reelle Bilder, denn in diesem Fall ist $D_g > 0$

Wird dagegen eine Sammellinse mit der Brechkraft D_s mit einer Zerstreuungslinse der Brechkraft D_z kombiniert, so muss stets $|D_s| > |D_z|$ sein, um eine reelle Abbildung erzielen zu können.

Theorie (3/4)

Ist dieses gegeben, so kann man mit Kenntnis der Brechkraft einer Sammellinse mit Hilfe der Linsenformel die unbekannte Brechkraft der Zerstreuungslinse durch Abbilden eines Gegenstandes bestimmen.

Für dünne Linsen und Linsensysteme gilt bei Abbildung mit achsennahen Strahlen die Linsenformel:

$$\frac{1}{f} = \frac{b+g}{b \cdot g} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} .$$

Mit bekannten Gegenstandsweiten g und den zugehörigen Bildweiten b kann die Brennweite bestimmt werden.

Zur Messung der Brennweite eines Linsensystems kann auch ein weiteres Verfahren genutzt werden, wenn die Entfernung d zwischen dem Gegenstand und der Abbildungsebene größer als $4f$ ist.

Bei einem gegebenem Abstand d von Gegenstand und Abbild kann man für zwei Stellungen des Linsensystems ein scharfes Bild (vergrößert und verkleinert) erhalten.

Theorie (4/4)

Bezeichnet man mit e die Differenz dieser beiden Stellungen (Abb. 3), so gilt für die Brennweite:

$$f = \frac{d^2 - e^2}{4d} .$$

Dieses nach dem Mathematiker und Astronom Bessel benannte Verfahren, bietet den Vorteil, dass nicht die Stellung des Linsensystems absolut bestimmt werden muss, sondern nur die Differenz der beiden Stellungen.

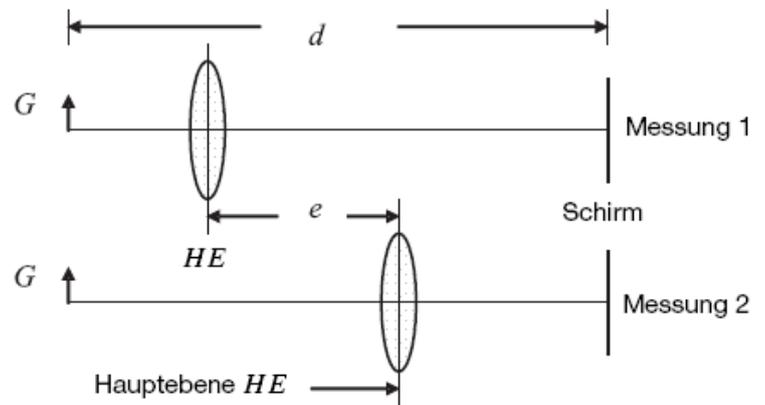


Abbildung 3

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	Linse in Fassung, f = +200 mm	08024-01	1
7	Linse in Fassung, f = +300 mm	08023-01	1
8	Linse in Fassung, f = -200 mm	08028-01	1
9	Blendenhalter, aufsteckbar	11604-09	1
10	Perl L	11609-00	1
11	Schirm, weiß, 150 mm x 150 mm	09826-00	1



Aufbau und Durchführung

Aufbau

- Experimentierleuchte mit horizontalem Stiel in die Bohrung in Reiter stecken und festschrauben. Und so verschieben das der weiße Strich sich bei 2,3cm auf der opt. Bank befindet.
- Die Leuchte an eine Stromquelle anschließen.
- Dicht vor dem Austrittstabus der Leuchte wird eine Fassung mit Skale positioniert, auf der der Blendenhalter mit eingesetztem Perl-L montiert wird.
- Die zu untersuchende Linsensysteme und Schirm werden mit den Reitern auf die Stativbank befestigt.



Versuchsaufbau

Durchführung (1/2)

PHYWE
excellence in science

Es ist von Vorteil, den langen Schenkel des Perl-L horizontal zu legen. Mit Hilfe des Schiebers am Leuchtgehäuse wird nun die Lampe so verschoben, dass das Perl-L, das immer ortsfest bleibt, gerade ausgeleuchtet wird.

Es sind die resultierenden Brennweiten zweier Linsensysteme zu bestimmen. Das eine System besteht aus den zwei Sammellinsen mit den Brennweiten $f_1 = +100\text{mm}$ und $f_2 = +300\text{mm}$, das andere aus Linsen mit den Brennweiten $f_1 = +50\text{mm}$ und $f_2 = -50\text{mm}$.

Sind die Fassungen der Linsen korrekt ineinander gesteckt, so beträgt der Abstand ihrer Hauptebenen $t = 14\text{mm}$.

Nun sind für verschieden Positionen der Linsensysteme durch Verschieben des Schirmes scharf, vergrößerte und verkleinerte Abbildungen zu erzeugen.

Durchführung (2/2)

PHYWE
excellence in science

ACHTUNG: Bei der Bestimmung der Orte von Gegenstand und Linsensystem muss folgendes berücksichtigt werden:

- die korrekte Position des Perl-L liegt 1cm vor der Strichmarke am Fuß des entsprechenden Halters
- die Mittelebene eines Linsensystems liegt ca. $0,35\text{cm}$ vor der Strichmarke des Reiters

Die Gesamtbrennweite des Systems aus den zwei Sammellinsen ist einmal nach der Linsenformel und zum Vergleich nach dem Bessel-Verfahren zu bestimmen. Die Messung mit der Kombination aus Sammel- und Zerstreuungslinse erfolgt nur nach der Bessel-Methode.

Auswertung (1/4)

In der Tabelle 1 sind die Messwerte und die daraus resultierenden Ergebnisse für ein Linsensystem dargestellt, das aus zwei Sammellinse mit den Brennweiten $f_1 = +100\text{mm}$ und $f_2 = +300\text{mm}$ bestand.

n	Linsenformel			Bessel-Methode		
	g/cm	b/cm	f_g/cm	d/cm	e/cm	f_g/cm
1	16,0	16,3	8,07	70,0	51,4	8,06
2	17,0	15,7	8,16	68,0	49,2	8,10
3	18,0	14,6	8,06	66,0	46,9	8,17
4	19,0	14,0	8,06	64,0	45,0	8,09
5	20,0	13,3	7,99	62,0	43,0	8,04
6	21,0	13,0	8,03	60,0	40,6	8,13
7	22,0	12,5	7,97	58,0	38,5	8,11
8	23,0	12,2	7,97	56,0	36,4	8,09
9	24,0	11,9	7,96	54,0	34,1	8,12
10	25,0	11,6	7,92	52,0	31,9	8,11

Tabelle 1

Auswertung (2/4)

Die Brennweitenberechnung erfolgt sowohl mit Hilfe der Linsenformel als auch nach der Bessel-Methode. Für die Gesamtbrennweite f_g ergeben sich folgende Mittelwerte:

Auswertung nach der Linsenformel:

$$f_g = (8,02 \pm 0,14)\text{cm}; \Delta f/f = \pm 1,7 \%$$

Auswertung nach der Bessel-Methode:

$$f_g = (8,10 \pm 0,07)\text{cm}; \Delta f/f = \pm 0,86 \%$$

Der Abstand der Hauptebenen HE der beiden Sammellinsen beträgt $t = 14\text{mm}$.

Mit diesem Wert und den Angaben der Brennweiten berechnet sich die Brennweite des Linsensystems zu:

$$D_g = (1/10 + 1/30)\text{cm}^{-1} + 1,4(1/10 \cdot 1/30)\text{cm}^{-1} = 0,138\text{cm}^{-1} \quad \text{und} \quad f_g = 1/D_g = 7,25\text{cm}$$

Auswertung (3/4)

Es zeigt sich, dass der experimentell bestimmte Wert von f_g nach der Bessel-Methode eine bessere Übereinstimmung mit dem errechneten Wert liefert.

Die Tabelle 2 enthält die nach der Bessel-Methode ermittelten Messwerte für ein Linsensystem, das aus einer Sammellinse $f = +50\text{mm}$ und einer Zerstreuungslinse $f = -50\text{mm}$ besteht.

Der Mittelwert der Gesamtbrennweite beträgt: $f_g = (15,19 \pm 0,21)\text{cm}$; $\Delta f_g / f_g \approx \pm 1,4 \%$

Mit diesem Wert ergibt sich für die Brennweite f_z der Zerstreuungslinse mit $t = 14\text{mm}$: $f_z = -17,86\text{cm}$.

Es ist von Vorteil, den langen Schenkel des Perl-L horizontal zu legen. Mit Hilfe des Schiebers am Leuchtgehäuse wird nun die Lampe so verschoben, dass das Perl-L, das immer ortsfest bleibt, gerade ausgeleuchtet wird.

Auswertung (4/4)

Die nachfolgende Tabelle enthält die nach der Bessel-Methode ermittelten Messwerte für ein Linsensystem, das aus einer Sammellinse $f = +50\text{mm}$ und einer Zerstreuungslinse $f = -50\text{mm}$ besteht.

n	Bessel-Methode		
	d/cm	e/cm	f_g/cm
1	96,0	58,0	15,24
2	93,0	55,0	15,12
3	90,0	51,0	15,28
4	87,0	47,0	15,4
5	84,0	44,0	15,24
6	81,0	40,5	15,19
7	78,0	36,5	15,23
8	75,0	33,5	15,01
9	72,0	29,5	14,98

Tabelle 2: Brennweite f_g eines Linsensystems, das aus einer Sammellinse $f = +50\text{mm}$ und einer Zerstreuungslinse $f = -50\text{mm}$ besteht.