

Dünne Linsen

Was sind Linsen?

Linsen sind meist Glaskörper, die lichtdurchlässig sind und einfallende Lichtstrahlen ablenken. Die Ablenkung der Strahlen ist dabei vom Betrag des Einfallwinkels zum Lot im Einfallspunkt gleich groß.

Wenn über Linsen gesprochen wird, muß zwischen zwei Arten von Linsen unterschieden werden, und zwar zwischen Sammellinsen (konvex) und Zerstreuungslinsen (konkav). Bei einer konvexen Krümmung der Linse werden die parallel einfallenden Strahlen in einem Brennpunkt gesammelt, z.B. eine Lupe sammelt die Lichtstrahlen in ihrem Brennpunkt und bringt Papier zum Brennen. Von diesem Phänomen stammt auch der Begriff Brennpunkt. Wohingegen die konkave Krümmung eine Zerstreuung zur Folge hat und daraus nur ein, gedachter Brennpunkt resultiert, der sich auf der Seite der Quelle befindet. Aus diesen Zusammenhängen ist zu erkennen, daß sich die Wölbungsart einer Linse konträr zu gewölbten Spiegeln verhält. Das liegt daran, daß eine Linse ein durchlässiges Medium ist und ein Spiegel reflektiert.

Brechkraft

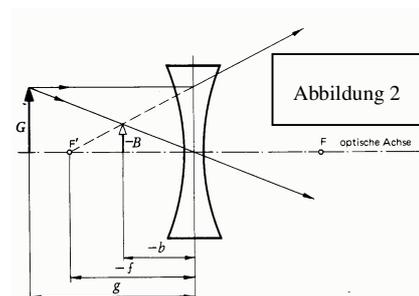
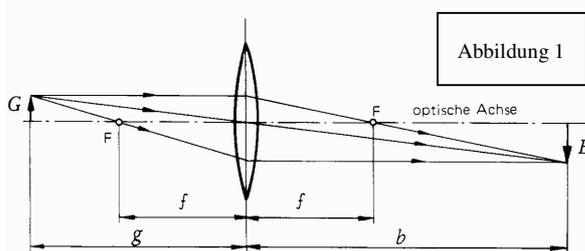
Die Brechkraft ist ein Maß dafür, wie stark einfallende Strahlen gebrochen (abgelenkt) werden. Sie ist außerdem umgekehrt proportional zum Brennpunkt. Das heißt, daß alle Strahlen, die parallel zur optischen Achse verlaufen sich im Brennpunkt hinter der Linse sammeln. Dieser Schluß ist auch reversibel (umkehrbar), das bedeutet, daß Strahlen, die durch den Brennpunkt verlaufen hinter der Linse parallel zur optischen Achse liegen. Die optische Achse ist eine gedachte Linie, bei denen die Lote der Linse einen 180° Winkel einschließen.

$$D = \frac{1}{f}$$

D	Brechkraft	[D]= m ⁻¹ = dpt (Dioptrie)
f	Brennweite	[f]=m'

Weitere Größen in der Optik

g	Gegenstandsweite	[g] = m
b	Bildweite	[b] = m
B	Bildgröße	[B] = m
G	Gegenstandsgröße	[G] = m
α	Abbildungsmaßstab.	[α] = -



Bei der Betrachtung der Abbildung 1 kann man auch erkennen, daß ein projiziertes Bild um 180° gedreht ist, d.h. auf dem Kopf steht. Desweiteren lassen sich aus der Geometrie und der Abbildung auch folgende Formeln herleiten.

$$\frac{1}{|f|} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \qquad \frac{G}{B} = \frac{g}{b} \qquad \frac{G}{f} = \frac{B}{b-f} \qquad |\alpha| = \left| \frac{B}{G} \right|$$

Die oben angegebenen Formeln können experimentell für konvexe Linsen nachgewiesen werden, aber für eine konkave Krümmung ist eine direkte Bestimmung nicht möglich. Der Grund dafür besteht darin, daß mit einem solchen Linsentyp keine sichtbaren Abbilder erzeugt werden können, sondern nur virtuelle. Dies ist auch in der Abbildung 2 recht schön herauszulesen. Darum werden Zerstreuungslinsen immer in Kombination mit Sammellinsen bestimmt. Dadurch ergibt sich folgender Zusammenhang:

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

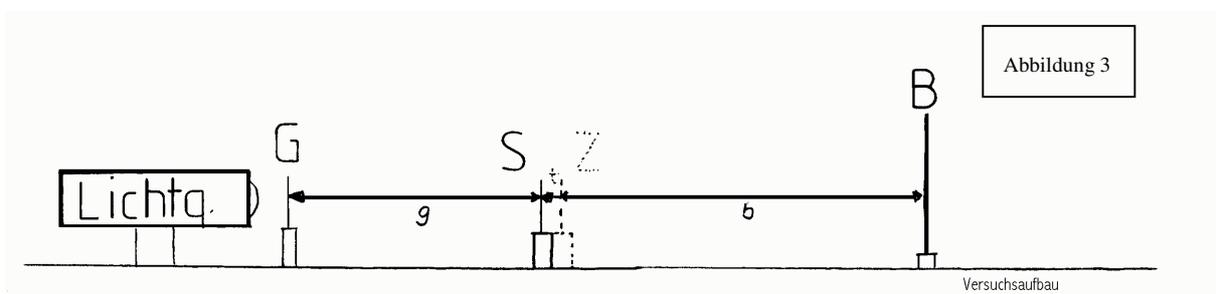
Wobei f_1' = Brennweite der Sammellinse ist und f_2' = Brennweite der Zerstreuungslinse ist.

Eine weitere Art die Brennweite einer Linse zu bestimmen ist das Bessel-Verfahren. Hierbei wird ein geeigneter Abstand e zwischen Urbild und Abbild festgelegt, bei dem es zwei Scharfstellungen gibt aber mit einem anderen Abbildungsmaßstab. Dabei wird der positive Abstand zwischen den beiden Linsenstellungen als d bezeichnet. Die Formel dazu lautet dann:

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

Versuchsdurchführung:

Der Versuch wurde wie auf der folgenden Zeichnung aufgebaut und durchgeführt. Dabei wurden die Linsen laut Versuchsbeschreibung je Messung ausgetauscht und angeordnet.



- S = Sammellinse (A, B oder C)
- Z = Zerstreuungslinse Z
- G = Gegenstandsbild
- B = Abbild

Hierbei wurden folgende Meßwerte aufgezeichnet und errechnet:

α	Nur Sammellinse A					Sammellinse A mit Zerstreuungslinse Z				
	<1	<1	~1	>1	>1	<1	<1	~1	>1	>1
g/mm	442	384	296,5	221	198,5	420	510	400	286	330
b/mm	237	254,5	309,7	503	623	360	310	380	664	500
G/mm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
B/mm	10	13	20,5	46	63	18	13	20	50	32
1/g in 1/mm	2,26	2,60	3,37	4,52	5,04	2,38	1,96	2,50	3,50	3,03
1/b in 1/mm	4,22	3,93	3,23	1,99	1,61	2,78	3,23	2,63	1,51	2,00
1/ α	2,0000	1,5385	0,9756	0,4348	0,3175	1,1111	1,5385	1,0000	0,4000	0,6250
Meßfehler	0,25 mm		Abstand Linsen A Z (t):			50 mm				
1/(g+0,25mm)	2,26	2,60	3,37	4,52	5,03	2,38	1,96	2,50	3,49	3,03
1/(g-0,25mm)	2,26	2,61	3,38	4,53	5,04	2,38	1,96	2,50	3,50	3,03
1/(b+0,25mm)	4,21	3,93	3,23	1,99	1,60	2,78	3,22	2,63	1,51	2,00
1/(b-0,25mm)	4,22	3,93	3,23	1,99	1,61	2,78	3,23	2,63	1,51	2,00

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{442\text{mm}} = 0,0023 \frac{1}{\text{mm}} \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{237\text{mm}} = 0,0042 \frac{1}{\text{mm}} \quad \left| \frac{1}{\alpha} \right| = \left| \frac{G}{B} \right| = \left| \frac{20\text{mm}}{10\text{mm}} \right| = 2$$

Brennweite der Zerstreuungslinse Z:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1'} + \frac{1}{f_2'} - \frac{t}{f_1' \cdot f_2'}$$

$$\frac{f_2'}{f} - \frac{f_2'}{f_1'} = 1 - \frac{t}{f_1'}$$

$$\frac{f_1' \cdot f_2' - f' \cdot f_2'}{f_1' \cdot f'} = 1 - \frac{t}{f_1'}$$

$$f_2' = \frac{f(f_1' - t)}{f_1' - f'} = \frac{200\text{mm} \cdot (150 - 50)\text{mm}}{(200 - 150)\text{mm}} = \underline{\underline{400\text{mm}}}$$

Die Brennweiten lassen sich einfach aus den Diagrammen ablesen, indem einfach die Schnittpunkte auf den waagrechten Achsen nimmt und wie folgt Auswertet.:

1/g – 1/b – Diagramm: f=1/Schnittpunkt

1/a – g – Diagramm: f=Schnittpunkt

$$\implies f_A = 1/0,0067\text{mm}^{-1} = 149,25\text{mm}$$

$$f_{AZ} = 1/0,00515\text{mm}^{-1} = 194,17\text{mm}$$

$$\implies f_A = 155\text{mm}$$

Die hier auftretenden Differenzen sind dadurch zu erklären, daß die angewandte Lineare Regression nicht in der richtigen Geraden durchgeführt wurde, da die lineare Regression eine Vielzahl von verschiedenen gleichartigen Geraden ergibt. Der auftretende relative Fehler beträgt ca. 3,8% (1-(155mm/149,25mm)=0,0385 => 3,8%)

Strahlenverlauf bei einer Lupe:

Die Lupe ist eine Sammellinse mit Kurzer Brennweite. Das Maß der Vergrößerung bestimmt die Brechkraft der Linde. Nach DIN versteht man unter einer Lupe eine Linse, die einen Vergrößerungsfaktor von mindesten drei aufweist. Die Wirkungsweise einer Lupe ist recht einfach, denn sie führt Strahlen, die sich streuen über in parallele, die von der Linse im Auge weiter verarbeitet werden (siehe Abb. 9.43a). In der Abb. 9.43b ist zu erkennen, daß die Lupe kein virtuelles Bild liefert sondern ein reelles, vergrößertes Bild zeigt. Eine weitere Eigenschaft der Lupe ist es, das die Vergrößerung nicht nur von der Linse abhängt sondern auch von den Abständen Auge – Linse – Gegenstand. Deshalb wird die Vergrößerung der Lupe durch die Normalvergrößerung angegeben, dies wird durch die Scharfstellung des Auges auf Unendlich und der Gegenstand in der Brennebene der Linse liegt. In einer Formel ausgedrückt sieht das dann wie folgt aus.

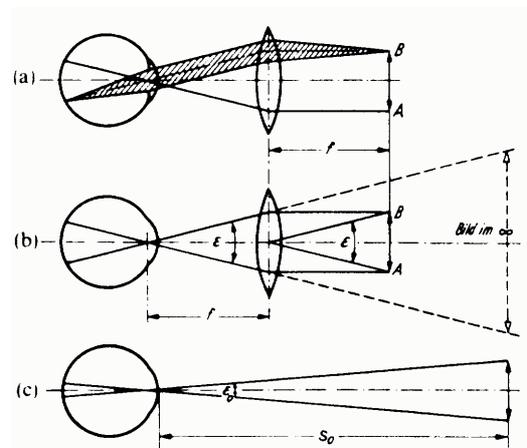


Abb. 9.43 a-c. Die Lupe

$$\Gamma'_L = -\frac{a_B}{f'}$$

Bessel-Verfahren

Bei der Durchführung des Versuches nach dem Bessel-Verfahren wurde dieselbe Anordnung wie vorher verwendet. Allerdings variiert der Abstand zwischen Leinwand und Urbild. Als Meßergebnis dienen die Abstände zwischen den Scharfstellungen d und der Abstand zwischen Urbild und Abbild auf der Leinwand.

	d	e	Brennweite/mm	Brechkraft/mm ⁻¹
Linse A/mm	565	950	153,49	0,0065
Linse B/mm	132	270	51,37	0,0195
Linse C/mm	225	880	205,62	0,0049
Linsen A und Z/mm	400	950	195,39	0,0051

Fehler = 0,25mm

Brennweite :

$$f = \frac{1}{4} \cdot \left(e - \frac{d^2}{e} \right) = \frac{1}{4} \cdot \left(950\text{mm} \pm 0,25\text{mm} - \frac{(565\text{mm} \pm 0,25\text{mm})^2}{950\text{mm} \pm 0,25\text{mm}} \right) = \underline{\underline{153,49\text{mm} \pm 0,4\text{mm}}}$$

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{1}{4} \cdot \left(e - \frac{d^2}{e} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{4} \cdot \left(950\text{mm} \pm 0,25\text{mm} - \frac{(565\text{mm} \pm 0,25\text{mm})^2}{950\text{mm} \pm 0,25\text{mm}} \right)} = \underline{\underline{6,514 \cdot 10^{-3} \text{mm}^{-1} \pm 2,5\text{mm}^{-1}}}$$

Versuchskritik:

Der Versuch ist als solches recht gut zu bearbeiten gewesen, bis auf kleine Mängel in der Versuchsanleitung: Formel für die indirekte Bestimmung der Zerstreulinse; Literaturangabe: Physik Gerthsen, Kneser, Vogel; 9.2.3 => 9.2.4

Literaturangaben:

- Physik; Gerthsen, Kneser, Vogel; Kapitel 9.2.4
- Physik Formeln und Tabellen; G. Gerhart, H. Karsten; 7. Auflage Seiten 18ff
- Physik für Ingenieure; Hering, Martin, Stohrer; 3. Auflage; Seite 429ff