

Abbildung mit Linsen (LIN)

Stichworte:

Geometrische Optik, Snellius'sches Brechungsgesetz, Abbildung eines Punktes durch Lichtstrahlen, Brennpunkte, Hauptpunkte, Hauptebene, reelle und virtuelle Bilder, Linsen und Linsensysteme, Bildkonstruktion mit Hauptkonstruktionsstrahlen, Abbildungsgleichungen, Abbildungsmaßstab, Methoden zur Brennweitenbestimmung, Abbildungsfehler, sphärische und chromatische Aberration.

Ziel des Versuchs:

- 1) Bestimmung der Brennweite einer dünnen Linse aus Gegenstands- und Bildweite.
- 2) Messung des Öffnungs- und Farbfehlers einer Linse mit dem Besselverfahren.
- 3) Bestimmung von Brennweite und Lage der Hauptebenen eines Linsenduplets mit Hilfe
 - der Newtonschen Abbildungsgleichung und
 - der Drehmethode.

Literatur:

Grundkenntnisse: Dobrinski, Krakau, Vogel; "Physik für Ingenieure"
Heywang, Treiber, Herberg, Neft; "Physik für Fachhochschulen .."
Hering, Martin, Stohrer; "Physik für Ingenieure"
Walcher; "Praktikum der Physik"

Weiterführend: Bergmann, Schäfer; Band III: "Optik"
Schröder: Technische Optik; Vogel-Fachbuch

1 Grundlagen der geometrischen Optik

1.1 Vorzeichenkonvention (nach DIN 1335)

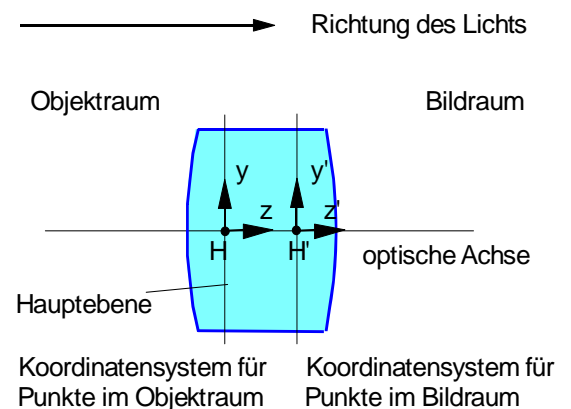
- Die Lichtrichtung verläuft von links nach rechts (+z-Achse).
- Alle Strecken, die von einem Bezugspunkt in Lichtrichtung gemessen werden, sind positiv. Bezugspunkte sind Hauptpunkte, Brennpunkte, Scheitelpunkte usw.
- Ebenso sind alle Strecken positiv, die nach oben gemessen werden.

Merkregel:

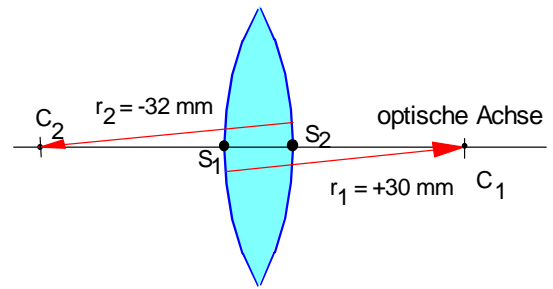
a) Strecken parallel zur z-Achse
hinter der Linse (Bildraum): **positiv**
vor der Linse (Objektraum): **negativ**

b) Strecken parallel zur y-Achse:
über der optischen Achse: **positiv**
unter der optischen Achse: **negativ**

- Die Hauptebenen verlaufen achsensenkrecht zu den Hauptpunkten (siehe Skizze).



- Die **optische Achse** ist durch die Krümmungsmittelpunkte C_1 und C_2 der brechenden Flächen festgelegt.
- Bei einem zentrierten optischen System liegen die Krümmungsmittelpunkte aller abbildenden Flächen auf einer Geraden (= optische Achse).
- Krümmungsradien sind gerichtete Strecken vom Linsenscheitel S zum Krümmungsmittelpunkt C (z.B. r_1 von S_1 nach C_1).



Eine **optische Abbildung** liegt vor, wenn die von einem Gegenstandspunkt ausgehenden Strahlen sich nach Durchlaufen des abbildenden Systems in einem Punkt treffen (*reelles Bild*) oder so weiterlaufen, als ob sie von einem Punkt herkommen würden (*virtuelles Bild*).

- Achsenparallel einfallende Strahlen schneiden die optische Achse im Brennpunkt F' (= Definition des *bildseitigen Brennpunktes* F').
- Strahlen die durch den Punkt \bar{F} auf der optischen Achse verlaufen, heißen Brennpunktstrahlen oder Brennstrahlen und verlassen die Linse achsenparallel. (= Definition des *objektseitigen Brennpunktes* \bar{F}).
- Mittelpunktstrahlen gehen ungebrochen durch die Linsenmitte.

1.2 Dünne Linsen

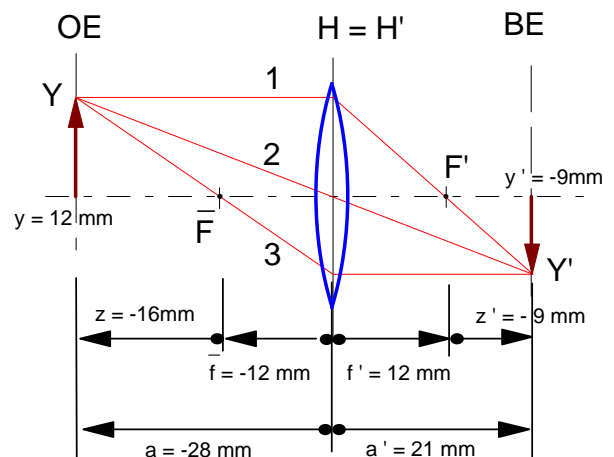
Bei dünnen Linsen ist die (Scheitel)-Dicke d der Linse sehr klein im Vergleich zu den Krümmungsradien r_1 und r_2 . Die brechenden Flächen können durch eine ebene brechende Fläche in der Linsenmitte, die Hauptebene, ersetzt werden. Die Brennweite f' , (\bar{f}) ist damit die Entfernung des Brennpunktes F' , (\bar{F}) von der Linsenmitte. (Genauer: Es gibt zwei Hauptebenen H und H' , die in diesem Fall zusammenfallen und näherungsweise in der Linsenmitte liegen ($H = H'$)).

Beispiel: Abbildung mit einer Sammellinse

Bildkonstruktion mit **Hauptkonstruktionsstrahlen**

- (1) Parallelstrahl wird Brennstrahl
- (2) Mittelpunktstrahl bleibt Mittelpunktstrahl
- (3) Brennstrahl wird Parallelstrahl

Die Strecken a , \bar{f} und y im Objekt- oder Gegenstandsraum werden vom Bezugspunkt H (\equiv Hauptpunkt) gemessen; a und \bar{f} sind hier negativ. Die Strecken a' , f' und y' im Bildraum werden vom Bezugspunkt H' gemessen; a' und f' sind hier positiv. OE = Objektebene; BE = Bildebene



Abbildungsgleichungen:

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{a'} - \frac{1}{a} \quad \text{mit} \quad \bar{f} = -f'$$

Abbildungsgleichung
(hauptpunktbezogen)

$$z \cdot z' = -f'^2$$

Newtonsche Abbildungsgleichung
(brennpunktbezogen)

$$\beta' = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}$$

Abbildungsmaßstab

Linsenmacherformel:

$$\frac{1}{f'} = -\frac{1}{\bar{f}} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n-1)^2}{n} \frac{d}{r_1 r_2}$$

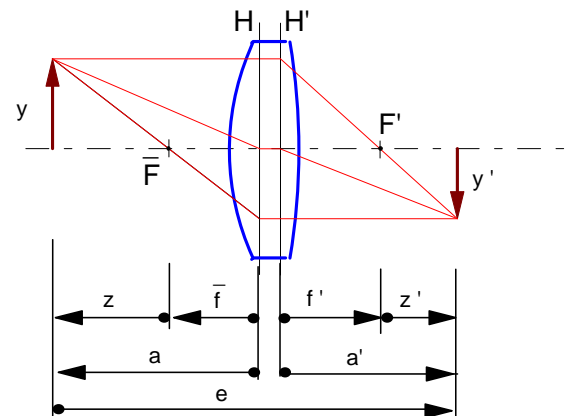
Bildseitige (f') bzw. objektseitige (\bar{f})
Brennweite einer Linse in Luft;
 r_1 und r_2 = Radien der Linse
 d = Scheiteldicke der Linse
 n = Brechzahl der Linse
($n_{\text{Objektraum}} = n_{\text{Bildraum}} = n_{\text{Luft}} = 1$)

1.3 Dicke Linsen

Zwei Hauptebenen H, H' ersetzen die zwei brechenden Flächen einer dicken Linse. Diese können auch außerhalb der Linse liegen.

Die oben angegebenen Abbildungsgleichungen gelten auch für dicke Linsen, wenn a, \bar{f} bzw. a', f' auf die Hauptpunkte H bzw. H' bezogen werden.

Analog erfolgt die Konstruktion mit den Hauptkonstruktionsstrahlen. Zwischen den Hauptebenen verlaufen die Konstruktionsstrahlen parallel zur opt. Achse (siehe Skizze).



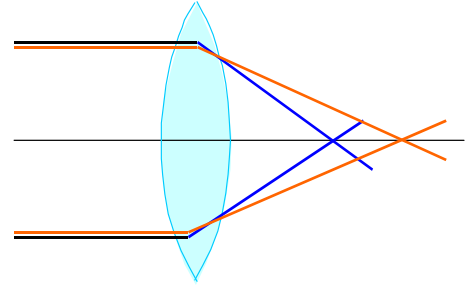
1.4 Linsenfehler

Einfache sphärische und insbesondere dicke Linsen zeigen Abbildungsfehler, die dazu führen, dass nicht alle Strahlen, die von einem Gegenstandspunkt ausgehen in einem einzigen Bildpunkt vereinigt werden (= mathematische Definition der Abbildung). Die Strahlen werden nur noch in der Umgebung des Bildpunktes abgebildet und verursachen Unschärfe, Verzerrung oder Farbunterschiede. Wir wollen hier die zwei wichtigsten Abbildungsfehler kennen lernen.

Chromatische Aberration

Die Abhängigkeit der Brechzahl von der Wellenlänge des Lichtes führt dazu, dass blaues Licht stärker gebrochen wird als rotes Licht. Der Brennpunkt für blaues Licht rückt damit näher an die Linse heran.

Durch eine Kombination von zwei Linsen mit verschiedenen Brechzahlen und einer geschickten Wahl der Linsenradien kann dieser Fehler zum Teil korrigiert werden. Eine solche Kombination aus zwei zusammengeklebten Linsen nennt man **Achromat**. (z.B. Sammellinse aus Kronglas und Zerstreuungslinse aus Flintglas).



Sphärische Aberration

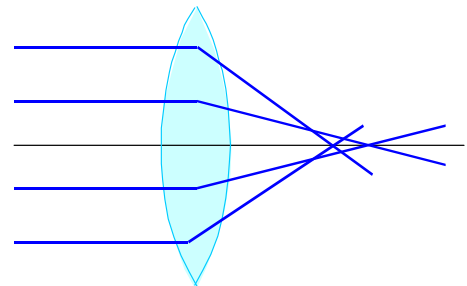
Auch bei der Verwendung von monochromatischem Licht treten bei Linsen mit sphärischen (= kugelförmigen) brechenden Flächen Abbildungsfehler auf. Ein achsenfernes Parallelstrahlbündel wird stärker gebrochen als ein achsennahes. Die Brennweiten von achsenfernen Strahlen sind somit kürzer.

Die sphärische Aberration kann verringert werden, wenn man die achsenfernen Strahlen ausblendet (Lichtverlust!).

Abhilfe schaffen auch asphärische Linsen, bei denen der Krümmungsradius nach außen hin abnimmt.

Expertentipp:

Verwendet man anstelle einer bikonvexen Sammellinse z.B. eine plan-konvexe Linse und wendet die konvexe Seite dem einfallenden Parallel-Lichtbündel zu, wird die sphärische Aberration ebenfalls verringert.

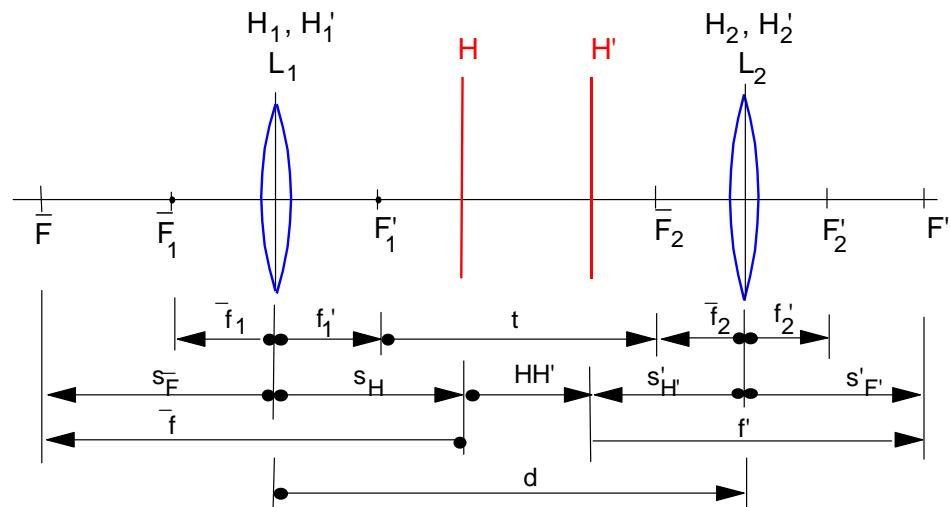


1.5 Linsenduplet

In der Optik werden häufig zwei oder mehrere Linsen zu einem Linsensystem zusammengefügt. Ein Linsensystem ist durch den Abstand der Linsen, ihren Brennweiten und der Lage der Hauptebenen gekennzeichnet. Für jedes Linsensystem lassen sich **eine Systembrennweite f** bzw. \bar{f} und **zwei Hauptebenen H und H'** angeben. Damit kann das Linsensystem wie eine einzelne dicke Linse behandelt werden.

Bei zwei Linsen spricht man von einem Linsenduplet. Im Versuch 3 "Linsenduplet" werden die beiden Linsen als unendlich dünn betrachtet. Für die Systemdaten dieses "idealen" Linsenduplets gelten die im folgenden angegebenen Formeln (siehe Vorlesung):

Schematische Darstellung:



Optische Tubuslänge: $t = F_1' \overline{F_2} = d - f_1' - f_2'$; $(d = H_1' H_2 = t + f_1' + f_2')$

Systembrennweite: $\frac{1}{f'} = -\frac{1}{\overline{f}} = \frac{1}{f_1'} + \frac{1}{f_2'} - \frac{d}{f_1' \cdot f_2'}$; $f' = -\frac{f_1' \cdot f_2'}{t}$

Systembrechkraft: $D = D_1 + D_2 - d \cdot D_1 \cdot D_2 = -t \cdot D_1 \cdot D_2$

Abstand der Hauptebenen: $HH' = d + s'_{H'} - s_H = \frac{d^2}{t}$

Lage der Hauptebenen: $s_H = H_1 H = \frac{d \cdot f'}{f_2'} = -\frac{d \cdot f_1'}{t}$
 $s'_{H'} = H_2' H' = -\frac{d \cdot f'}{f_1'} = \frac{d \cdot f_2'}{t}$

Lage der Systembrennebenen: $s_{\overline{F}} = -f_1' \left(1 + \frac{f_1'}{t}\right)$; $s'_{F'} = f_2' \left(1 + \frac{f_2'}{t}\right)$

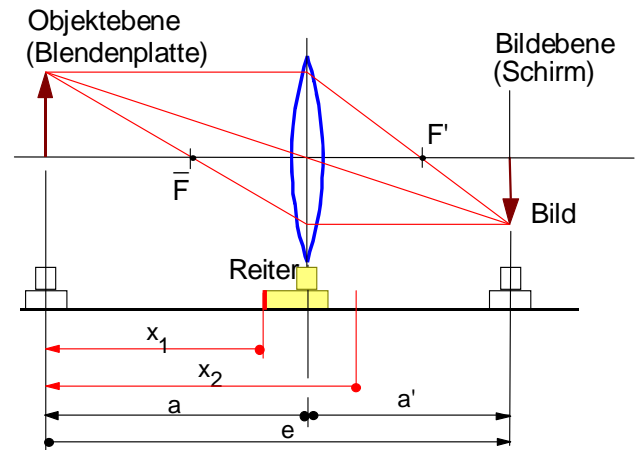
2 Versuche mit Linsen

Die einzelnen Versuche werden auf einer optischen Bank durchgeführt. Als Objekt dienen Öffnungen in einer Blendenplatte, die mit Hilfe von Glasfasern beleuchtet werden. Die Bilder werden auf einen weißen Schirm oder auf eine Mattscheibe projiziert (matte Seite zum einfallenden Licht - warum?). Bei schwachen Lichtverhältnissen ist damit auch eine Betrachtung im Durchlicht möglich.

Bei allen Aufbauten auf der optischen Bank ist darauf zu achten, dass die einzelnen optischen Bauteile auf einer gemeinsamen optischen Achse, die parallel zur Dreikantschiene verläuft, justiert sind.

2.1 Versuch 1: Messung der Brennweite einer dünnen Linse

Die optischen Elemente werden auf verschiebbaren Reitern gehalten und nach nebenstehender Skizze zu einem optischen System angeordnet.



Versuchsdurchführung:

- Überlegen Sie, welchen Bereich man für den Abstand e anstreben sollte, um hohe Messgenauigkeiten (z.B. Tiefenschärfe) zu erhalten.
- Messen Sie den Abstand e und erzeugen Sie ein scharfes vergrößertes Bild auf dem Schirm des Verschiebereiters (Farbsäume beobachten!). Messungenauigkeiten notieren.
- Messen Sie den Abstand x_1 zwischen einer (beliebigen) Kante des optischen Reiters und der Objektebene.
- Reiter mit Linse um 180° drehen, erneut (bei unverändertem Abstand e) scharf stellen und an *derselben Kante* des Reiters die Entfernung x_2 zur Objektebene messen.
- Verschieben Sie den Reiter und erzeugen Sie ein scharfes verkleinertes Bild. Messen Sie erneut x_1 und x_2 für die verkleinerte Abbildung.
- Führen Sie diese Messungen für drei verschiedene Abstände e durch und notieren Sie Messungenauigkeiten der Messgrößen.

Tragen Sie die Messwerte z.B. nach folgendem Muster in das Protokoll ein.

Messwerte für Versuch 1:	$\frac{e}{\text{mm}}$	$\frac{x_1}{\text{mm}}$	$\frac{x_2}{\text{mm}}$	$\frac{a}{\text{mm}}$	$\frac{f'}{\text{mm}}$

Auswertung der Messungen

Es gilt: $a = (x_1 + x_2) / 2$

$$a' = e + a$$

$$f' = \frac{aa'}{a - a'} = \frac{a(e + a)}{-e}$$

Vorzeichen beachten!

(e gilt als positive Größe - siehe Abb.)

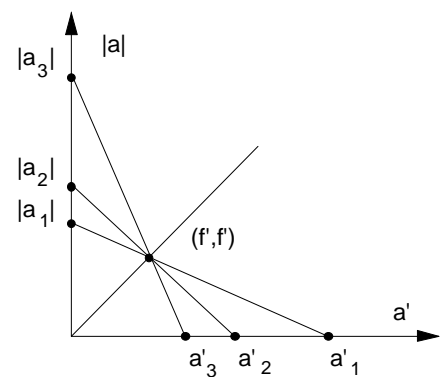
- a) Berechnen Sie die Brennweite f' der dünnen Linse und führen Sie eine Messunsicherheitsabschätzung durch.
Bei welchen Abständen a im Vergleich zu f' ist die höchste Messgenauigkeit zu erreichen ?
- b) Welche Krümmungsradien $r_1 = -r_2 = r$ hat die Linse ?

- c) Ermitteln Sie die Bildweiten a' und tragen Sie a und a' als Achsenabschnitte in ein Diagramm ein (siehe Skizze).

Verwenden Sie den gleichen Maßstab auf beiden Seiten und verbinden Sie die zugehörigen Paare mit Geraden.

Der Schnittpunkt der Geraden mit der Winkelhalbierenden des Achsenkreuzes liegt bei (f', f') !

- Beweisen Sie durch Rechnung diesen Sachverhalt.
- Schätzen Sie graphisch den Fehler von f' aus der "Unschärfe" des Schnittpunktes bei (f', f') ab.



Kontrollfragen:

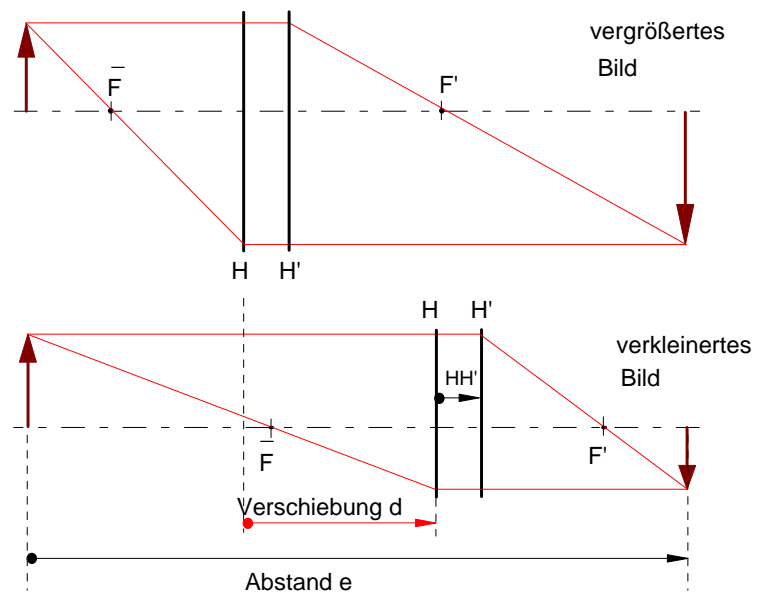
- a) Warum gab es Farbsäume?
- b) Wieso darf man drehen? (= Vertauschen von \bar{f} und f')
- c) Welche Fehlerquellen hat diese Art der Brennweitenbestimmung?
- d) Wie groß ist der minimale Abstand e von Objekt und Bild?
(Hinweis: Lösung durch Extremwertberechnung)

2.2 Versuch 2: Linsenfehler nach dem Besselverfahren

Es gibt bei festem Abstand e zwischen Objekt und Bild zwei Linsenstellungen für ein scharfes Bild. Der Abstand d dieser beiden Lagen kann leicht aus der Verschiebung einer (beliebigen) Reitermarke abgelesen werden.

Für die Brennweite der (dicken) Linse ergibt sich dann.¹

$$f' = \frac{1}{4} \left[(e - HH') - \frac{d^2}{e - HH'} \right]$$



Versuchsdurchführung:

- Nehmen Sie die dicke Plankonvexlinse, ein Rotfilter und die *Lochblende*.
- Wählen Sie einen geeigneten Abstand e und ermitteln Sie durch Verschieben der Linse (Linse dabei nicht drehen) den Abstand d , der zu einer vergrößerten bzw. verkleinerten Abbildung des Objektes gehört.
- Wiederholen Sie das für Blaulicht.
- Wiederholen Sie den Versuch für eine *ringförmige Blende* (Rotlicht und Blaulicht).

Tragen Sie die Messwerte z.B. nach folgendem Muster in das Protokoll ein.

Farbe	Blendentyp	$\frac{e}{\text{mm}}$	$\frac{x_1}{\text{mm}}$	$\frac{x_2}{\text{mm}}$	$\frac{d = x_2 - x_1}{\text{mm}}$

Versuchsauswertung

- Bestimmen Sie die Brennweite f' der dicken Linse für die verschiedenen Farben und Blenden. (Vernachlässigen Sie in der Auswertung den Hauptebenenabstand HH' - wann ist dies zulässig?)
- Konstruieren Sie diesen Sachverhalt maßstäblich für einen roten bzw. blauen Parallelstrahl, sowie einen achsennahen und einen achsenfernen Parallelstrahl. Recherchieren Sie Werte für n_{rot} und n_{blau} aus Dispersionskurven (Literaturwerte).
- Nennen Sie die Ursachen für diese Linsenfehler und Maßnahmen zur Abhilfe. Wie hängt der Brechungsindex n von der Wellenlänge ab? Welches Licht (rot oder blau) hat die kürzere Brennweite?

¹ Nach Skizze und wegen der Symmetrie gilt: $|a| + a' = e - HH'$ und $a' - d = |a|$. Einsetzen von $|a|$ und a' in die Abbildungsgleichung liefert obige Beziehung.

2.3 Versuch 3: LINSENDUPLET

2.3.1 Versuch 3.1: Berechnung der Systemdaten

Am Praktikumsplatz liegt ein Linsenduplet mit zwei Sammellinsen und ein Duplet mit einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse bereit.

Duplet 1: $f_1 = +200 \text{ mm}$; $f_2 = +150 \text{ mm}$; $d =$

Duplet 2: $f_1 = -100 \text{ mm}$; $f_2 = +100 \text{ mm}$; $d =$

Messen Sie die Abstände d der Linsen und berechnen Sie mit Hilfe der in 1.5 angegebenen Formeln vor dem Versuch die Systemdaten (f' , s_H , s'_H , $s_{\bar{F}}$, $s'_{\bar{F}}$) der beiden Linsenduplets.

2.3.2 Versuch 3.2: Messung der Brennweite einer "dicken" Linse mit Autokollimation und der Newtonschen Abbildungsgleichung

Verwenden Sie bei diesem Versuch für die Bildebene ebenfalls (wie für die Gegenstandsebene) eine weiße, beleuchtete Lochplatte.

Die Lochplatten von Gegenstands- und Bildebene und die Linse sind zunächst auf eine optische Achse zu justieren.

Dies ist z.B. der Fall, wenn bei ausreichend großem Abstand e zwischen Objektebene und Bildebene ($e > 4f' + HH'$), die Lage des vergrößerten bzw. verkleinerten Bildes auf dem Schirm zusammenfällt.

Autokollimation

Ein **Kollimator** erzeugt ein paralleles Lichtbündel (= kollimiertes Licht).

Eine Strichmarke in der Fokalebene wird damit ins Unendliche projiziert.

Autokollimation ist ein optisches Verfahren, bei dem ein Objekt, z.B. eine Strichmarke beobachtbar auf sich selbst abgebildet wird. Das Bild liegt dann in derselben Ebene wie der Gegenstand.

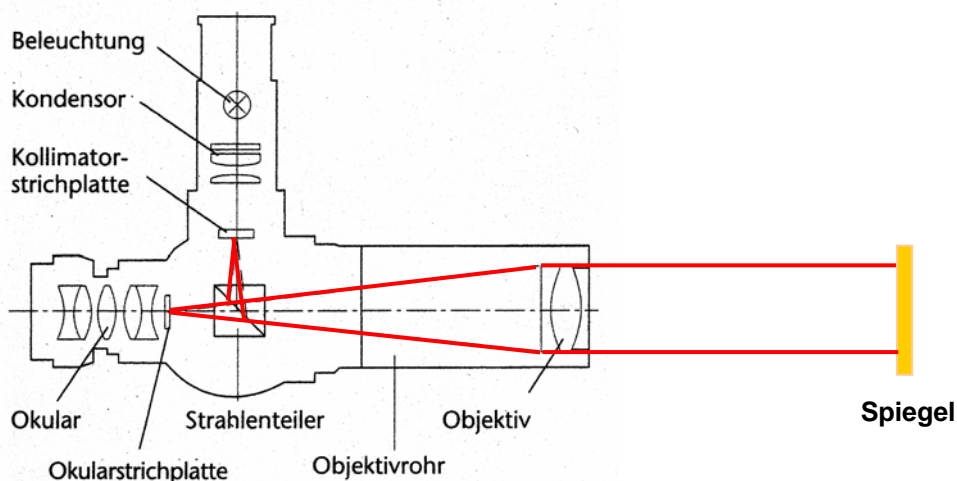


Bild: Autokollimator oder Autokollimationsfernrohr

Ein **Autokollimationsfernrohr** projiziert das Bild der Kollimatorstrichplatte im parallelen Strahlengang mit Hilfe eines Spiegels (der das Lichtbündel wieder in den Kollimator reflektiert) auf die Okularstrichplatte = Autokollimation. Auf der Okularstrichplatte entsteht das sog. Autokollimationsbild. Wird der Spiegel verkippt, fallen die Strahlen

schräg in das Objektiv ein und das Autokollimationsbild wandert aus der optische Achse. Damit lassen sich z.B. Winkel (Spiegelverkippen) hochgenau messen.

Durch folgende drei Schritte können $s_{\bar{F}}$, z , z' und $s'_{F'}$ gemessen werden (siehe Skizze).

1. Schritt

Das zu untersuchende Duplet wird als Autokollimator aufgestellt. Dazu stellt man hinter das Duplet einen Planspiegel und verschiebt das Duplet, bis das Objekt in der Objektebene auf sich selbst abgebildet wird. Der objektseitige Brennpunkt \bar{F} fällt dann mit der Objektebene zusammen.²

- Messen Sie den Abstand: Linse 1 - Objektebene ($=s_{\bar{F}}$) !

2. Schritt

Der Planspiegel wird entfernt und eine 2. beleuchtete Lochplatte wird als Bildebene BE so aufgestellt, dass $e > 4f' + HH'$ ist. Das Duplet wird nun nach rechts verschoben, bis das Objekt vergrößert in der Bildebene BE abgebildet wird. Die Verschiebung ist gleich z .

- Messen Sie dabei die Lageänderung ($=z$) des Duplets.

3. Schritt

Auf der linken Seite des Duplets wird nun wieder ein Planspiegel aufgestellt und die zweite Lampeneinheit (= Bildebene BE) als Lichtquelle benutzt. Das Duplet wird dann soweit nach rechts verschoben, bis man wieder Autokollimation erhält. Die Brennebene F' des Duplets liegt jetzt auf der weißen Lochplatte der zweiten Lampeneinheit und der Verschiebeweg ist z' .

- Messen Sie den Verschiebeweg nach rechts ($=z'$).
- Messen Sie den Abstand Linse 2 - Bildebene ($=s'_{F'}$).

Bei allen drei Schritten bleibt der Abstand Objektebene - Bildebene unverändert.

Beachten Sie bei allen vier gemessenen Größen die Vorzeichenregelung!

Berechnen Sie aus den im 1., 2. und 3. Schritt gemessenen Größen die Systembrennweite f' sowie Lage ($s_H, s'_{H'}$) und Abstand der Hauptebenen (HH') !

Bestimmen Sie die Messunsicherheit der Brennweite f' .

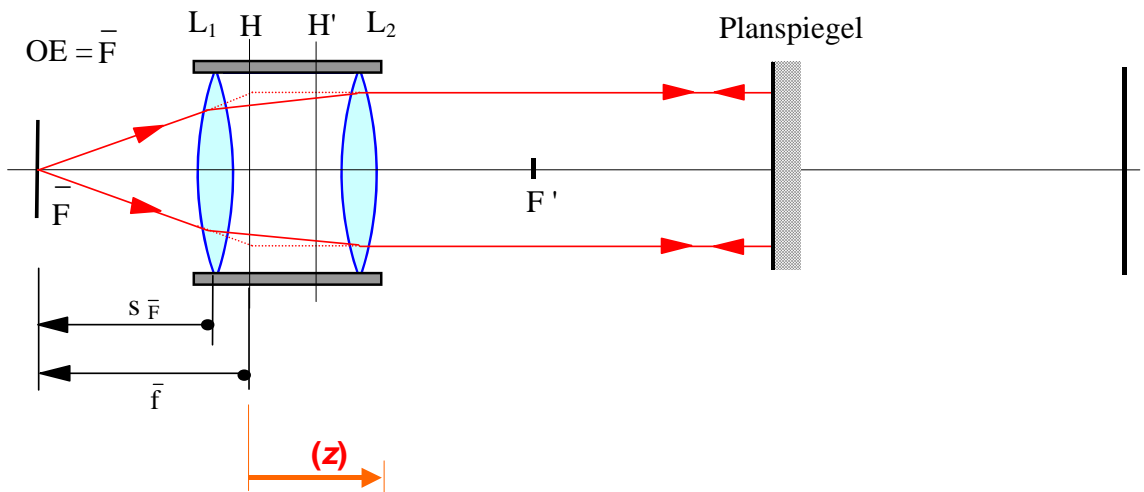
Verfahren Sie in der gleichen Weise mit dem zweiten Duplet (Zerstreuungslinse + Sammellinse).

Kontrollfragen:

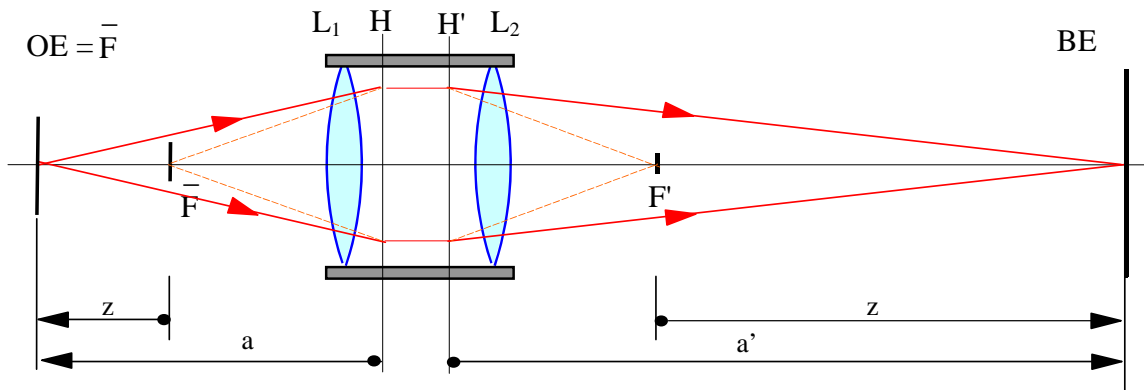
1. Welche zwei möglichen Bildgrößen treten im 2. Schritt auf ?
Begründen Sie Ihre Wahl.
2. Wie groß ist der minimale Abstand e von Objekt und Bild ?

² Achtung! Das Autokollimationsbild wird deutlicher, wenn Sie den Spiegel möglichst dicht hinter dem Duplet aufstellen. Prüfen Sie auch nach, ob die Abbildung wirklich durch Autokollimation und nicht durch Reflexe von den Oberflächen der Dupletlinsen zustande kommt. Dazu decken Sie den Planspiegel mit einem Stück Papier ab. Verschwindet das Bild nicht, kommt es durch einen störenden Reflex zustande.

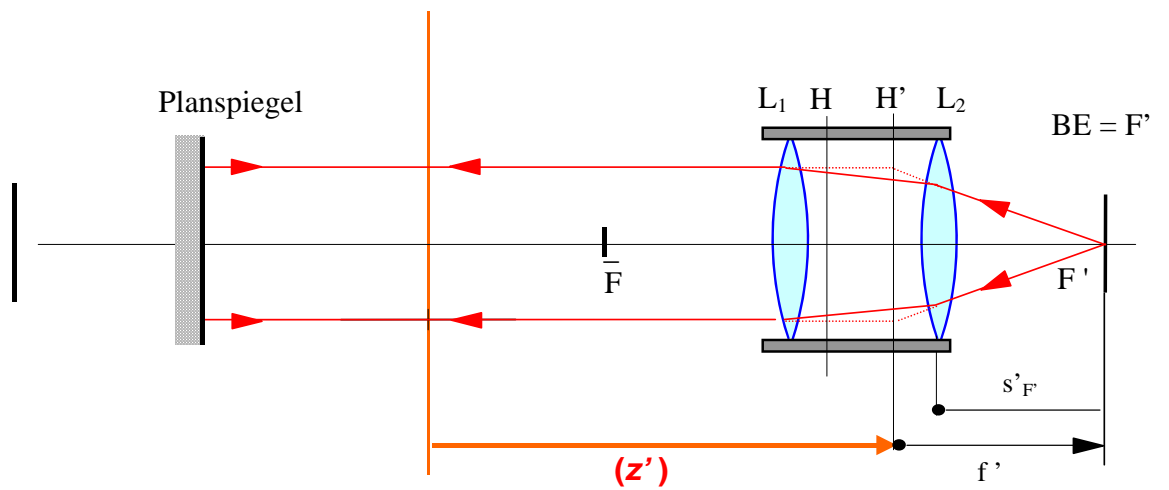
1. Schritt



2. Schritt



3. Schritt



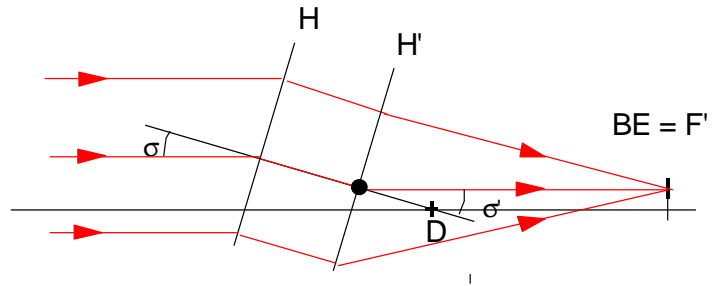
2.3.3 Versuch 3.3: Messung der Systemdaten mit Hilfe der Drehmethode

Schwenkt man ein Linsensystem um eine Drehachse D, die senkrecht zur optischen Achse steht, so bewegt sich das vom System entworfene Bild ebenfalls. Liegt jedoch der Hauptpunkt H' in der Drehachse, so bleibt bei kleinen Drehungen des Systems das Bild stehen.

Erklärung:

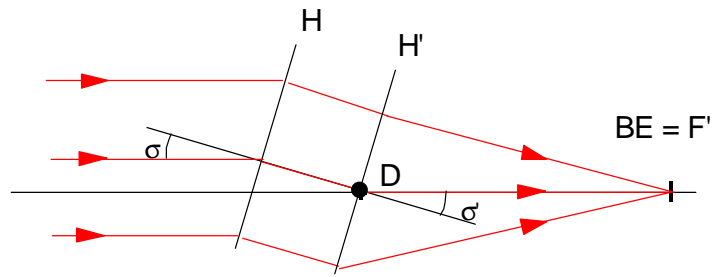
Jener Strahl eines einfallenden Parallelbündels, der durch den Hauptpunkt H geht, verläuft parallel versetzt durch den Hauptpunkt H'. Es gilt: $\sigma = \sigma'$ (sog. Knotenpunkteigenschaft der Hauptebenen, wenn sich zu allen Seiten der Linsen das gleiche Medium befindet).

Dreht sich das System um die Drehachse D, so bewegt sich der Hauptpunkt H' und damit F'.



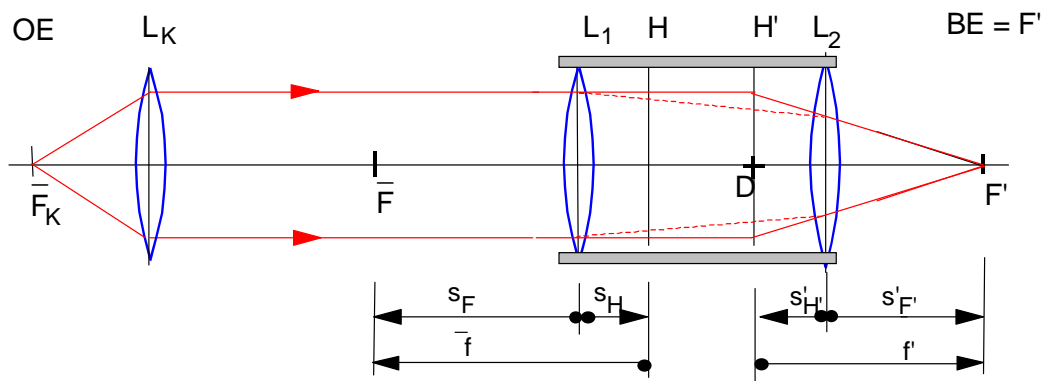
Liegt dagegen H' auf der Drehachse D, so führt bei kleinen Drehungen das Bild keine seitlichen Bewegungen aus.

Der Abstand Drehachse-Bildebene ist dann die gesuchte Brennweite f' .



Versuchsdurchführung:

Als Objektebene dient eine beleuchtete Lochplatte und als Bildebene eine Mattscheibe (matte Seite zum einfallenden Licht). Das Duplet wird verschiebbar auf einem Drehreiter angeordnet. Die Objektebene OE und die Linse L_K ($f' = 150$ mm) bilden einen Kollimator.



- a) Justieren Sie alle Bauteile auf eine gemeinsame optische Achse und erzeugen Sie mit der Hilfslinse L_K durch Autokollimation ein paralleles Lichtbündel.

b) Drehen und verschieben Sie das System solange, bis das Bild auf der Mattscheibe scharf ist und keine seitlichen Bewegungen mehr ausführt. Kontrollieren Sie beides zusätzlich mit einem Mikroskop.

- Messen Sie: Abstand Drehachse - Bildebene = f'
 Abstand Linse L_2 - Drehachse = s'_H
 Abstand Linse L_2 - Bildebene = s'_F

c) Um die objektseitigen Systemdaten zu erhalten, drehen Sie das Duplet um 180° und führen die obigen Messungen noch einmal durch. Die Vorzeichen aller gemessenen Größen sind zu beachten.

(Alternativ können Sie auch den Strahlengang umkehren, indem Sie die beleuchtete Lochplatte rechts verwenden. Damit muss das Duplet nicht um 180° gedreht werden und der Richtungssinn der objektseitigen Systemgrößen bleibt erhalten.)

Verfahren Sie in der gleichen Weise mit dem zweiten Duplet (Zerstreuungslinse + Sammellinse).

Versuchsauswertung

- Geben Sie in einer übersichtlichen Tabelle die Ergebnisse der Berechnungen und der Messungen an. Diskutieren Sie die Ergebnisse.
- Zeichnen Sie die beiden Systeme maßstäblich aufgrund der berechneten Daten !

	Rechnung		Newton Methode		Dreh-Methode	
	Duplet 1 (+200/+150)	Duplet 2 (-100/+100)	Duplet 1 (+200/+150)	Duplet 2 (-100/+100)	Duplet 1 (+200/+150)	Duplet 2 (-100/+100)
Duplet						
Brennweite f' in mm						
s_H in mm						
s'_H in mm						
$s_{\bar{F}}$ in mm						
s'_F in mm						

Kontrollfragen

1. Weshalb ist die Drehmethode um so genauer, je länger die Brennweite des Prüflings ist ?
2. Wenn in c) das Duplet um 180° gedreht wird (Drehachse und Bildebene sollen in ihrer Lage unverändert bleiben), muss wieder ein scharfes, ruhendes Bild durch Verschieben erzeugt werden. Welche optische Größe stellt diese Verschiebung dar ?