Fachhochschule Jena, Fachbereich Grundlagenwissenschaften (GW)

PRAKTIKUMSANLEITUNG
VERSUCH GEOMETRISCHE OPTIK

O_G

Bearbeiter : E. Döpel, H. Hübner, B. Kley Version 21.09.2009

Bestimmung der Brennweite einer Linse

Prof. Dr. rer. nat. habil. E. Döpel
Prof. Dr.-Ing. habil. O. R. Hofmann
Dipl.-Lehrer B. Kley

gültig für die Fachrichtungen	AT, TI, KMT	im Fachbereich ET/IT
	MB, ME	im Fachbereich MB
	FT, PiUS, AO, WT	im Fachbereich SciTec
	MT, BT	im Fachbereich MT

	Bearbeiter 1	**2**	**3**
Name, Vorname			
Matrikel-Nr.			
Studiengang			
Prakt-GrNr			
Datum der Versuchsdurchführung			
Unterschrift			
Betreuer			
Vortestat Bestätigung der Messwerte			
Testat- Protokoll			

1 Ziel des Versuches

Die Realisierung der Abbildung eines Objektes mit (sphärischen) Linsen oder Wölbspiegeln ist eine der wichtigsten Aufgaben der Optik. Zur Bestimmung der Lage des Bildes und seiner Größe genügt es, das Licht durch Strahlen zu beschreiben und die Gesetze der geometrischen Optik anzuwenden.
Ziel des vorliegenden Versuches ist die Vertiefung der erworbenen Kenntnisse zu den Eigenschaften und Kenngrößen der optischen Abbildung. Die wichtigste dieser Kenngrößen, die Brennweite des abbildenden optischen Elementes, soll mit verschiedenen Methoden bestimmt werden.

2 Physikalische Grundlagen

Die Elemente zur Realisierung **optischer Abbildungen** nutzen die **Brechung** (Linsen) oder **Reflexion** (Spiegel) von Lichtstrahlen an sphärischen Grenzflächen. Die Richtungsänderung der Lichtstrahlen erhält man durch Anwendung des **Reflexions-** bzw. **Brechungsgesetzes** an dem Punkt, an dem der Strahl auf die Fläche trifft.
Für **paraxiale Strahlen** (d.h. Strahlen nahe der optischen Achse und im kleinen Winkel zu dieser) ist die Richtungsänderung unabhängig von der Einfallsrichtung. Die Reflexion bzw. Brechung erfolgt so, dass die von einem Objektpunkt ausgehenden **homozentrischen Strahlenbündel** auch nach Durchgang durch das abbildende Element homozentrisch bleiben (ideale Abbildung). Der Schnittpunkt dieser Strahlen im Bildraum ist der zum Objektpunkt konjugierte[1] Bildpunkt.
Bei weit geöffneten Bündeln bzw. großen Einfallswinkeln schneiden sich die Strahlen nach Durchgang durch das optische Element nicht mehr in einem Punkt. Dadurch entstehen **Abbildungsfehler** (Aberrationen, Abweichungen vom Strahlengang der idealen Abbildung). Durch geeignete Kombination mehrerer Elemente lassen sich diese weitgehend korrigieren. Neben den geometrisch-optischen Aberrationen verhindert auch die **Beugung** an den Rändern des optischen Systems eine ideale punktförmige Abbildung. Die Einflüsse der Beugung auf das Bild können mit einer großen Öffnung des Systems klein gehalten werden.

2.1 Gaußsche Kollineation

Die ideale geometrisch-optische Abbildung des **Objektpunktes** (O) in den **Bildpunkt** (O') wird durch das mathematische Modell der Gaußschen Kollineation beschrieben (vgl. Abb. 1). In diesem Modell wird das optische System durch ein **Hauptebenen**paar H, H' ersetzt, an dem die Ablenkung der Lichtstrahlen erfolgt. Diese Hauptebenen bilden sich mit dem Abbildungsmaßstab $\beta_H' = 1$ aufeinander ab. Ihr Abstand i ergibt sich ergibt sich aus Brechzahl, Mittendicke und den Krümmungsradien der Linse und beträgt bei einer symmetrischen Einzellinse etwa 1/3 der Linsendicke[2]. Bei dünnen Linsen (Linsendicke klein gegen die Krümmungsradien) gilt näherungsweise $i \approx 0$, d.h. die beiden Hauptebenen fallen in der Mitte der Linsen zusammen.

[1] Objektpunkt und Bildpunkt sind über die optische Abbildung verbunden. Da der Strahlengang umkehrbar ist, können sich die Rolle von Objekt- und Bildpunkt auch vertauschen. Allgemein bezeichnet man Elemente (Punkte, Strahlen, Ebenen,...), die über die optische Abbildung verbunden sind, auch als zueinander konjugierte Elemente.
[2] Die Hauptebenen befinden sich bei unsymmetrischen Linsen auch unsymmetrisch zum Linsenkörper. Sie müssen nicht innerhalb der Linse liegen.

Der reelle Objektraum erstreckt sich links der objektseitigen Hauptebene und der reelle Bildraum rechts der bildseitigen Hauptebene. Die **optische Achse** ist die Symmetrieachse des optischen Systems und durchstößt senkrecht die Hauptebenen in den **Hauptpunkt**en H und H'. Die Lage der konjugierten Objekt- und Bildpunkte wird in zwei Koordinatensystemen beschrieben, die ihren Ursprung in den jeweiligen Hauptpunkten haben (vgl. Abb. 1). Die optische Achse bildet eine Koordinatenachse dieser Systeme. Ihre Richtung wird durch die Lichtrichtung (bei der technischen Darstellung üblicherweise von links nach rechts) bestimmt. Alle gegen die Lichtrichtung gemessenen Abstände (a, a') sind nach DIN 1335 negativ. Die zweite Koordinate (y, y') zeigt nach oben und gibt den Abstand der Punkte von der optischen Achse an (vgl. Abb.1).
Die zueinander konjugieren Objektraumgrößen (Punkte, Abstände und Winkel) und konjugierte Bildraumgrößen werden (nach DIN 1335) durch das gleiche Symbol wie die analogen Größen des Objektraumes gekennzeichnet, werden aber zur Unterscheidung mit einem Hochkomma versehen (z.B. Objektweite $a \rightarrow$ Bildweite a').
Weitere für die Abbildung ausgezeichnete Ebenen sind die beiden **Brennebenen**. Objektpunkte in der objektseitigen Brennebene erzeugen Bildpunkte im Unendlichen. Umgekehrt entstehen die Bilder unendlich ferner Objektpunkte in der bildseitigen Brennebene. Die Achspunkte der beiden Brennebenen sind der objekt- bzw. bildseitige **Brennpunkt** $\bar{F}$ bzw. F'. Die Abstände dieser beiden Brennpunkte von den entsprechenden Hauptpunkten sind die objekt- bzw. bildseitige **Brennweite** $\bar{f}$ bzw. f'. Für optische Systeme mit gleicher Brechzahl im Objekt- und Bildraum ($n = n'$) gilt unter Beachtung der **Vorzeichenkonvention** $f' = -\bar{f}$, was im Weiteren zugrunde gelegt wird.

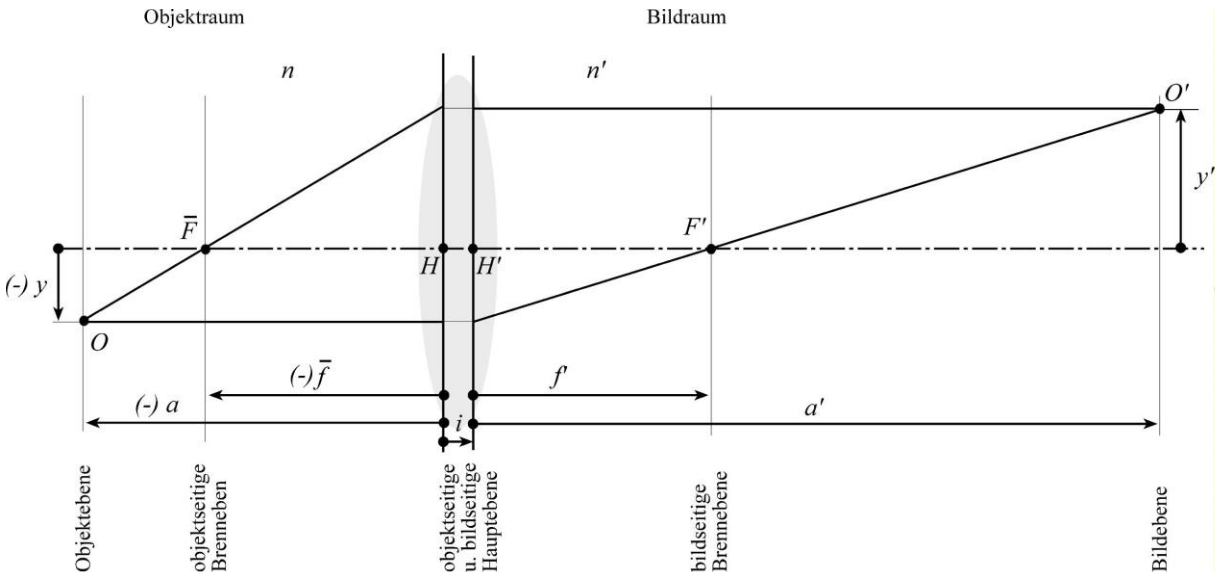


Abb. 1: Kenngrößen der Gauß'schen Kollineation am Beispiel der Abbildung mit einer Sammellinse. Das Zeichen (-) ist ein Hinweis darauf, dass in dieser Zeichnung die entsprechenden Größen gemäß Vorzeichenkonvention negativ zu nehmen sind.

Im Rahmen dieser idealen optischen Abbildung ist eine **geometrische Konstruktion** des Strahlenganges (nach Listing) mit Hilfe folgender Regeln möglich:
- Der Achsenabstand konjugierter Strahlen ist in den Hauptebenen gleich, d.h. trifft ein beliebiger Strahl aus dem Objektraum in einem bestimmten Abstand von der Achse auf die

objektseitige Hauptebene, so tritt er auf der bildseitigen Hauptebene im gleichen Abstand – allerdings abgelenkt – wieder aus.
- Ein Strahl, der durch einen Hauptpunkt H geht, wird nicht abgelenkt, sofern im Objekt- und Bildraum des optischen Systems die gleiche Brechzahl $n = n'$ vorliegt. Er tritt in H' parallel versetzt aus.
- Ein achsenparalleler Strahl wird im konjugierten Raum zum Brennpunktstrahl.
- Zueinander parallele Strahlen schneiden sich im konjugierten Raum in der jeweiligen Brennebene.

Der **Abbildungsmaßstab** $\beta' = \frac{y'}{y}$ ist durch das Verhältnis von **Bildweite** a' zur **Objektweite** a bestimmt:

(1) $$\beta' = \frac{a'}{a}$$

Die Bild- bzw. Objektweite ist der Abstand des Bildes bzw. Objektes von der entsprechenden Hauptebene.
Den Bildort errechnet man mit Hilfe der **Linsengleichung**:

(2) $$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'} \ .$$

Die Brennweite eines optischen Elementes ist bei der idealen Abbildung der einzige Parameter, der seine abbildenden Eigenschaften charakterisiert.

2.2 Brennweitenbestimmung von Sammellinsen

Die Objekt- und Bildweite a bzw. a' sowie die Brennweiten $\overline{f}$ und f' sind streng genommen jeweils von den Hauptebenen zu nehmen. Bei den zu vermessenden Linsen ist die Lage der Hauptebenen (z.B. in Bezug auf die Scheitel) zunächst aber nicht bekannt. Somit schließt eine Bestimmung der Brennweite indirekt auch immer eine Bestimmung der Lage der Hauptebenen ein. Bei symmetrischen Bikonkav- oder Bikonvexlinsen ist der Abstand der Hauptebenen vom Linsenscheitel näherungsweise jeweils 1/3 der Linsendicke. Bei dünnen Linsen (Linsendicke klein gegen die Krümmungsradien der Oberflächen) kann man die Linsendicke sogar vernachlässigen und in guter Näherung annehmen, dass beide Hauptebenen in der Linsenmitte zusammenfallen.

2.2.1 Bestimmung der **Brennweite dünner Linsen aus der Linsengleichung**
a) Es liegt nahe, die Brennweite einer Linse direkt durch Auswertung der Linsengleichung (2) zu bestimmen. Besonders einfach wird diese Auswertung bei Abbildung eines weit entfernten Gegenstandes. Das Bild erscheint dann nach Gleichung (2) näherungsweise in der bildseitigen Brennebene. Aber auch bei beliebiger endlicher Objekt- bzw. Bildweite sollte sich beim Einsetzen dieser Wertepaare in die Linsengleichung immer die gleiche Brennweite ergeben. Außerdem sollte für jedes Wertepaar (a, a') der gemessene Abbildungsmaßstab $\beta' = y'/y$ gleich dem theoretischen Wert nach Gleichung (1) sein.
In der grafischen Darstellung der Bildweite als Funktion der Objektweite ($a' = f(a)$) erhält man eine Hyperbel, deren Asymptoten im Abstand der Brennweite parallel zu den Koordinatenachsen verlaufen. Die Messwerte werden aber wegen unvermeidlicher Messfehler immer ein wenig streuen. Diese Streuung der Messpunkte um die Hyperbel ist in einer solchen Darstellung aber schwer auszugleichen. Die grafische Darstellung wird zu einer Geraden, wenn man nicht die Messwerte selbst, sondern ihre reziproken Werte $y = 1/a'$ und $x = 1/a$ gegeneinander aufträgt. Die Linsengleichung (2) erhält dann die Form

(2a) $y = x + D'$ mit der Brechkraft $D' = \dfrac{1}{f'}$.

Das ist eine Gerade der Form $y = mx + n$ mit dem Anstieg $m = 1$. Die Brechkraft der Linse kann man direkt am Schnittpunkt dieser Geraden mit der y-Achse ($y(0) = n = D'$) ablesen. Den Wert der Brechkraft kann man direkt in Dioptrien ablesen, wenn man bei der Bildung der reziproken Werte a' und a in Metern nimmt. Als Beispiel ist in Abb. 2a ist diese Gerade für eine Linse der Brennweite $f' = 1\text{cm}$ ($D' = 100\text{m}^{-1}$) dargestellt. Für $a = -1{,}25\text{cm}$ ($1/a = -80\ \text{m}^{-1}$) liest man in der Grafik z.B. die Bildweite $a' = 5\ \text{cm}$ ($1/a' = 20\ \text{m}^{-1}$) (Messpunkt (1)). Auch die Rechnung nach Gleichung (2a) ($20\text{m}^{-1} = 100\text{m}^{-1} + (-80\text{m}^{-1})$) ist sehr einfach. Man kann in der grafischen Darstellung der Messwerte die Ausgleichsgerade nun entweder nach Augenmaß durch die etwas streuenden Messpunkte legen oder durch lineare Regression (Methode der kleinsten Abweichungsquadrate) berechnen.
Die Lichtwege sind umkehrbar. Die Linsengleichung (2) ist auch erfüllt, wenn man die Messwerte von Objekt- und Bildweite vertauscht. (Hierbei sind aber gemäß Vorzeichenkonvention die Vorzeichen nicht zu vertauschen.) Beim obigen Beispiel (siehe auch Abb. 2a, Messpunkt (2)) erhält man auch einen Messpunkt bei $a = -5\text{cm}$ und $a' = 1{,}25\text{cm}$. Mit diesem kleinen Trick kann man die Zahl der Messpunkte verdoppeln und diese zudem symmetrisch verteilen. Damit wird auch der Ausgleich der Messpunkte besser gelingen.

b) Es wird nun noch eine andere Methode der grafischen Bestimmung der Brennweite beschrieben. Trägt man in einem kartesischen Koordinatensystem auf der y-Achse mehrere gemessene Bildweiten a' und auf der x-Achse die zugehörigen Objektweiten a ab (negatives Vorzeichen beachten), so schneiden sich alle Verbindungsgeraden der Punktepaare im Punkt $(-f', f')$ - (vgl. Abb.2b). Die Gleichung für eine solche Gerade $y = mx + n$ ist bestimmt durch den Anstieg $m = -a'/a$ und den Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse $y(0) = n = a'$ (Gerade (1)). Aus
$y = -\dfrac{a'}{a}x + a' = -\dfrac{a'}{a}(x - a)$ erhält man den Anstieg $-\dfrac{a'}{a} = \dfrac{y}{x-a}$. Durch Umformung der Linsengleichung (2) erhält man für diesen $-\dfrac{a'}{a} = -\dfrac{f'}{f'+a} = \dfrac{f'}{-f'-a}$.
Setzt man diese beiden Ausdrücke für den Anstieg gleich, ergibt sich schließlich

(3) $$\frac{y}{x-a} = \frac{f'}{-f'-a}.$$

Für den Wert $x = -f'$ erhält man (unabhängig von der Objektweite a) immer $y = f'$. Alle Geraden schneiden sich also im Punkt $(-f', f')$, so dass man die Brennweite aus den Koordinaten dieses Schnittpunktes ablesen kann.
Bei der praktischen Durchführung der Auswertung, darf man die Messwerte wieder wie oben vertauschen (vgl. Abb. 2b, Gerade (2)), um eine symmetrische Darstellung zu erreichen. Zur genauen Bestimmung der Schnittpunkte erscheint es weiterhin zunächst günstig zu sein, wenn sich die Geraden unter einem großen Winkel schneiden, d.h. wenn sich eine sehr steile mit einer sehr flachen Geraden schneidet. Das bedeutet aber, dass die Werte für die Objekt- bzw. Bildweite sehr groß werden, die Achsen entsprechend grob geteilt werden müssen und der

Schnittpunkt (nahe am Koordinatenursprung) trotzdem nicht genau abgelesen werden kann. Ein guter Kompromiss ist in Abb. 2b dargestellt. Man sollte also lediglich Messwerte berücksichtigen, die bis zum drei- bis vierfachen Wert der (zuvor grob bestimmten) Brennweite reichen.

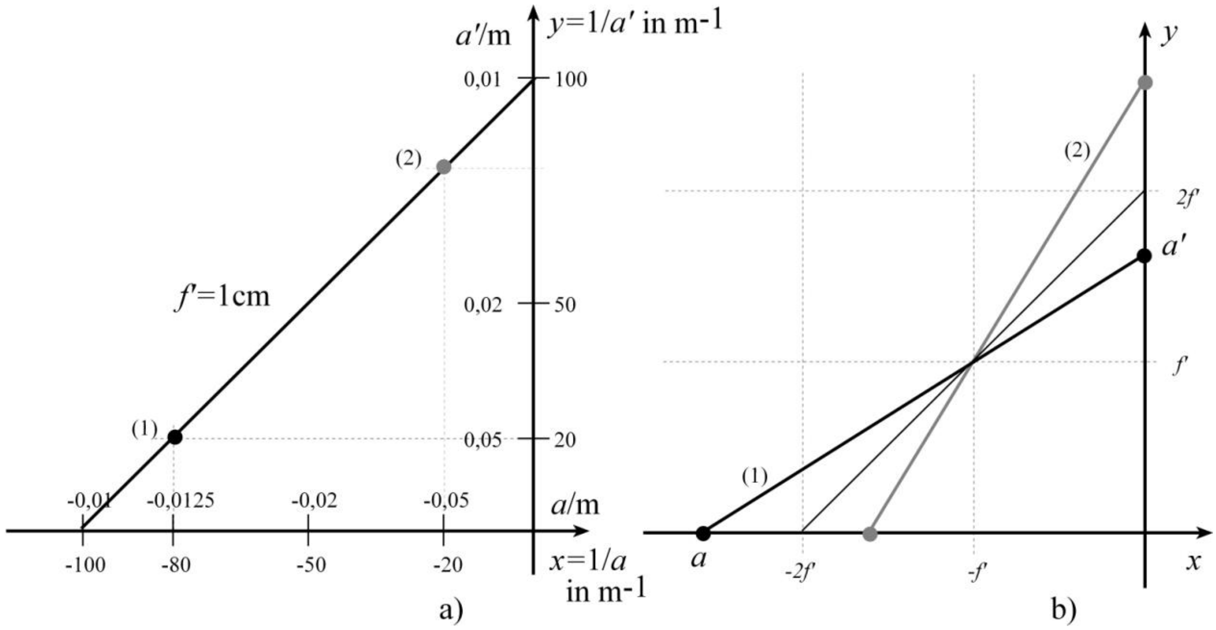


Abb. 2: Grafische Verfahren der Brennweitenbestimmung

2.2.2 Bestimmung der Brennweite **mit Hilfe eines Kollimators** (Abb. 3)

Befindet sich ein Objekt der Größe y in der objektseitigen Brennebene F_{koll} einer Kollimationslinse (Brennweite f'_{koll}), so entsteht sein Bild im Unendlichen. In der nachfolgenden Abbildung durch den Prüfling entsteht ein Bild der Größe y' in der bildseitigen Brennebene des Prüflings F'_P. Alle von einem beliebigen Punkt in der Brennebene des Kollimators F_{koll} ausgehenden Strahlen verlaufen zwischen Kollimator und Prüfling zueinander *parallel*. Das trifft auch auf die beiden von der Objektspitze herrührenden Hauptstrahlen für den Kollimator und den Prüfling zu (in Abb.3 hervorgehoben). Diese Hauptstrahlen bilden zusammen mit der optischen Achse und dem Objekt y bzw. Bild y' die zwei in Abb.3 dunkel markierten ähnlichen Dreiecke.

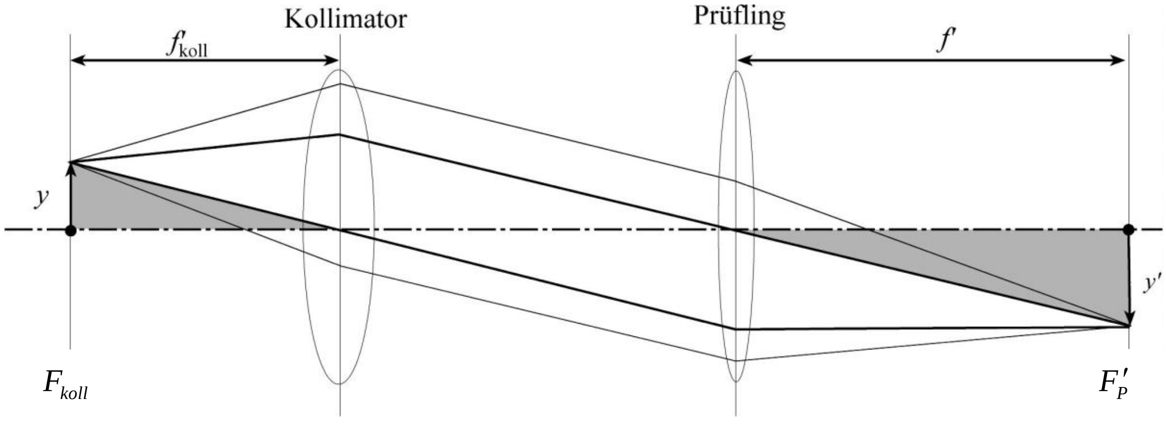


Abb. 3: Kollimator-Methode zur Brennweitenbestimmung

Die Anwendung des Strahlensatzes auf diese Dreiecke liefert die Brennweite des Prüflings

(4) $$f' = -\frac{y'}{y} \cdot f'_{koll} .$$

Für die Messung der Bildgröße y' ist es günstiger, wenn bei dieser zweistufigen Abbildung ein vergrößertes Bild entsteht, d.h. wenn die zweite Linse die größere Brennweite besitzt. Wenn $f' < f'_{koll}$ ist, geht man deshalb besser umgekehrt vor, d.h. man bildet zunächst mit dem Prüfling ins Unendliche und danach mit dem Kollimator in dessen bildseitige Brennebene ab. Gleichung (4) ist dann entsprechend umzustellen.

Bei dieser Methode bestimmt man im Gegensatz zu 2.2.1 die Brennweite, ohne die genaue Lage der Hauptebene kennen zu müssen. Allerdings muss die Lage der Brennebene der Kollimationslinse bekannt sein. Diese bestimmt man z.B. durch Autokollimation. Hierzu wird ein ebener, leicht zur optischen Achse verkippter Spiegel hinter den Kollimator gestellt. Der Abstand einer Lochblende (oder eines anderen geeigneten Objektes) vom Kollimator wird nun so lange verändert, bis ihr Bild neben dem Loch scharf erscheint. Genau dann befindet sich die Blende in der Brennebene des Kollimators.

2.2.3 **Besselsche Methode** zur Brennweitenbestimmung

Wählt man die Übertragungslänge s

(5) $$s = a_1' - a_1$$

zwischen Objekt- und Bildebene größer als die vierfache Brennweite des Prüflings, gibt es zwei Stellungen des Prüflings, bei der man eine reelle Abbildung realisieren kann (Abb. 4). Die Brennweite der Linse berechnet man aus s und der Linsenverschiebung e

(6) $$e = a_1' - a_2' \quad \text{zu}$$

(7) $$f' = \frac{1}{4}\left(s - \frac{e^2}{s}\right) .$$

Die strenge Ableitung von Gleichung (7) zeigt, dass die Größe s eigentlich durch die Differenz der Übertragungslänge s und dem (unbekannten) Hauptebenenabstand i zu ersetzen ist ($s \rightarrow s - i$). Gleichung (7) ist also ebenfalls nur eine Näherung für dünne Linsen.

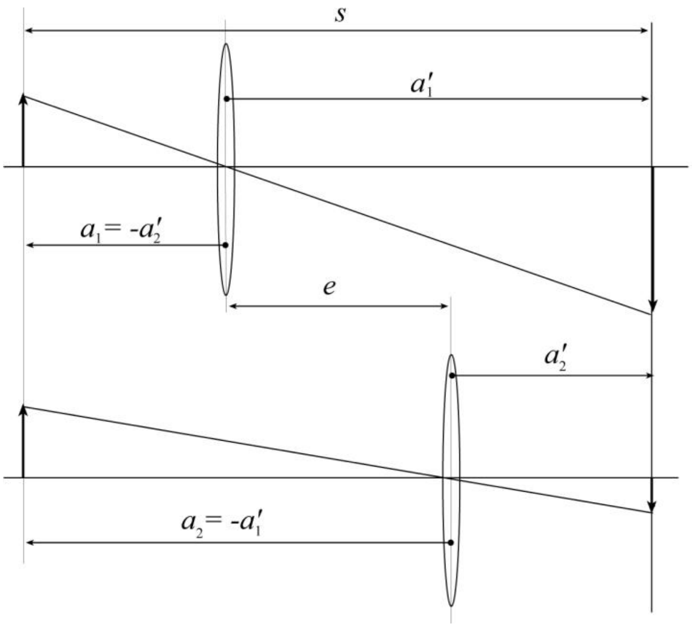


Abb. 4: Besselsche Methode zur Brennweitenbestimmung

2.2.4 Brennweitenbestimmung **aus zwei unterschiedlichen Abbildungsmaßstäben**

Der Abbildungsmaßstab einer optischen Abbildung hängt nach Gleichung (1) von dem Verhältnis der Bildweite zur Gegenstandsweite ab. Bestimmt man für zwei reelle Abbildungen (vgl. Abb. 5) die Veränderung der Bildgröße $\Delta y' = y_2' - y_1'$ und die erforderliche Verschiebung der Auffangebene $\Delta a' = a_2' - a_1'$, so gilt (mit der Objektgröße y) für die Prüflingsbrennweite

(8) $$f' = \left| y \frac{\Delta a'}{\Delta y'} \right| .$$

Keine der in diese Beziehung eingehenden Größen wird von der Hauptebene aus gemessen. Infolgedessen ist dieses Verfahren auch für unbekannte Hauptebenenlage (dicke Linsen oder Linsensysteme) anwendbar.

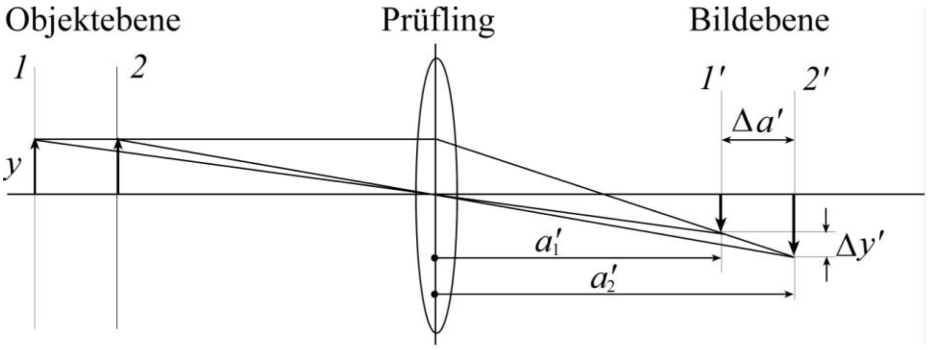
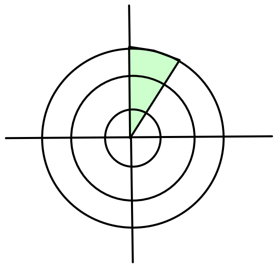


Abb. 5: Brennweitenbestimmung über Abbildungsmaßstab

3 Aufgabenstellung

1. Realisieren Sie mit einem Prüfling zehn verschiedene Abbildungsmaßstäbe und messen Sie die zugehörigen Objekt- und Bildweiten sowie Objekt- und Bildgrößen.
a) Berechnen Sie aus den gemessenen Wertepaaren (a, a') die Brennweite nach Formel (2).
b) Bestimmen Sie die Brennweite über beide grafische Verfahren nach 2.2.1 a) und b). Schätzen Sie jeweils die Genauigkeit der so bestimmten Brennweite ab.
c) Vergleichen Sie die aus Objekt- und Bildgröße ermittelten Abbildungsmaßstäbe mit den aus Objekt- und Bildweite ermittelten. Entscheiden und begründen Sie, welche Methode den genaueren Wert liefert.
2. Ermitteln Sie die Brennweite eines Prüflings mit Hilfe eines Kollimators (nach 2.2.2 mit der evtl. modifizierten Gl.(4)).
3. Bestimmen Sie die Brennweiten einer dünnen Linse (Prüfling) nach der Methode von Bessel (nach 2.2.3) für drei unterschiedliche Übertragungslängen s. Die Übertragungslänge darf einerseits einen Mindestwert nicht unterschreiten, sollte aber im Interesse der Genauigkeit auch nicht zu groß werden. Überprüfen Sie diese Aussage und wählen Sie die drei Übertragungslängen so, dass der Messfehler möglichst klein wird!
4. Ermitteln Sie die Brennweite eines Prüflings aus der Veränderung des Abbildungsmaßstabes nach 2.2.4. Erfassen Sie zwei Datensätze werden Sie diese aus.
5. Fassen Sie die Ergebnisse zusammen und vergleichen Sie die verschiedenen Messmethoden bezüglich der erreichten Genauigkeit. Welchen Wert und welche Genauigkeit würden Sie für die Brennweite des Prüflings in einem Datenblatt angeben?

4 Hinweise zur Durchführung des Versuches



- Als Objekte stehen Folien mit konzentrischen Ringen zur Verfügung (siehe nebenstehenden Abbildung). Die Durchmesser der Ringe betragen von innen nach außen <u>5,4mm</u>, <u>11mm</u> und <u>16,5mm</u>.
- Achten Sie auf einen zentrierten Strahlengang (das Zentrum aller Elemente auf einer Geraden)!
- Nutzen Sie die Kanten der Linsenfassungen als Bezugspunkte zur Messung der Strecken.
- Achten Sie beim Scharfstellen des Bildes auf die Bildfeldwölbung. Da die Gesetze der idealen Abbildung am besten in Achsennähe erfüllt sind, sollte man den innersten Ring auswerten. Wenn allerdings das Bild klein und die Bildfeldwölbung gering ist, sollte man natürlich lieber die größeren Ringe messen.
- Die Fehlerrechnung zu Aufgabe 1 soll durch statistische Auswertung der aus den 10 Wertepaaren berechneten Brennweiten erfolgen. Bei den anderen Methoden können Sie während der Versuchsdurchführung kritisch abschätzen, wie genau die Messwerte bestimmt werden können (Ablesegenauigkeit, Schärfeberreich,…) und welche Auswirkungen diese Variationen auf die Genauigkeit der ermittelten Brennweite f' haben. Beachten Sie dabei auch die eventuell auftretenden systematischen Fehler durch die endliche Linsendicke und die Unkenntnis der Lage der Hauptebenen.
- Wegen der unterschiedlichen Genauigkeit der mit den verschiedenen Verfahren ermittelten Werte für f' sollten Sie Ihre Erfahrungen bei der Durchführung und Auswertung des Versuches berücksichtigen. Zum Beispiel können Sie sich (im einfachsten Fall) für das Ergebnis entscheiden, dem Sie das größte Vertrauen schenken.

5 Messprotokoll und Versuchsauswertung

zu **Aufgabe 1**: Abbildungsgleichung

- Tragen Sie die Messwerte in die oberen Zeilen folgender Tabelle ein - die unteren Zeilen dienen der Auswertung

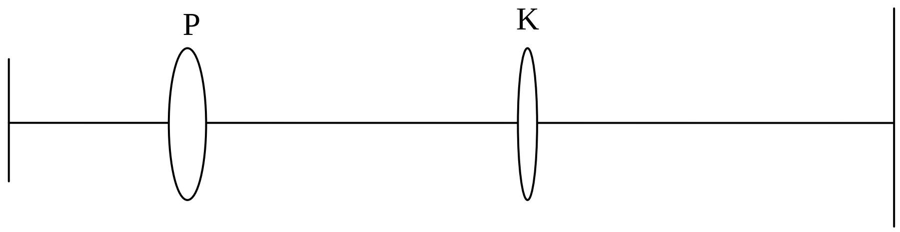
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a in mm											
a' in mm											
y in mm											
y' in mm											
$1/a$ in m^{-1}											
$1/a'$ in m^{-1}											
$\beta_1 = a'/a$											
$\beta_2 = y'/y$											$\bar{f}'$
f' in mm											

statistischer Fehler $\Delta f'$:

grafische Darstellungen nach 2.2.1 a) und b) zu **Aufgabe 2**: Kollimator-Methode

	f'_{koll} in mm	y in mm	y' in mm	f_P' in mm
Messwerte				
Fehler				

Bezeichnen Sie die Messgrößen in der folgenden Skizze:



zu **Aufgabe 3**: Bessel-Verfahren

	s in mm	x_1	x_2	$e = \Delta x$ in mm	f' in mm
1					
2					
3					
				Ergebnis mit Fehlerangabe	

zu **Aufgabe 4**: Abbildungsmaßstab

y in mm	$\Delta y'$ in mm		$\Delta a'$ in mm		f' in mm
				Ergebnis mit Fehlerangabe	

zu **Aufgabe 5**: Vergleich und Zusammenfassung

	AbbGl (analytisch)	AbbGl (grafisch a)	AbbGl (grafisch b)	Kollimator	Bessel	Abb.-maßstab
Brennweite f' in cm						

Die Brennweite der Linse beträgt (mit Fehlerangabe)

Diskussion

____

____

____

____

____

____

____

____

6 Schwerpunkte zum Kolloquium

Wichtige Begriffe sind im Text **fett** hervorgehoben.

- Reflexions- und Brechungsgesetz, Reflexion und Brechung von Lichtstrahlen an sphärischen Grenzflächen, paraxiale Näherung
- die ideale optische Abbildung und ihre Kenngrößen (Objektpunkt, Bildpunkt, optische Achse, Brennpunkte, Brennebenen, Brennweiten, Hauptebenen, Vorzeichenkonvention)
- dünne und dicke Linsen (Klassifikation, Abhängigkeit der Brennweite von den Linsenparametern,…)
- Berechnungen im Rahmen der idealen optischen Abbildung (Linsengleichung, Abbildungsmaßstab, …)
- Strahlkonstruktionen (nach Listing)
- Grenzen der idealen optischen Abbildung (Bildfehler, Beugung, …)
- Methoden zur Bestimmung der Brennweite (Auswertung der Linsengleichung, Kollimator-Methode, Autokollimation, Besselmethode, Auswertung des Abbildungsmaßstabes) und ihr Vergleich

7 Literatur

1. Becker, J., Jodl, H.-J.: Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Ingenieure, VDI-Verlag, Düsseldorf 1991
2. Geschke, D.: Physikalisches Praktikum, B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden 2001
3. Eichler, H.J., Kronfeldt, H.-D., Sahm, J.: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, Springer-Verlag 2006
4. Walcher W., Praktikum der Physik, B.G.Teubner 2006
5. Flügge, J.: Einführung in die Messung optischer Grundgrößen; Verlag G. Braun, Karlsruhe
6. Hofmann, C.: Die optische Abbildung, Akademische Verlagsgesellschaft Geest&Portig, Leipzig 1980
7. E. Hering, R. Martin, M. Stohrer, Physik für Ingenieure, Springer-Verlag 2002