

# Linsen

Linsen begegnen uns im Alltag recht häufig. Kurz- und Weitsichtigen ermöglichen Sie ein scharfes Bild von ihrer Umgebung, in Photoapparaten bilden Sie einen Gegenstand auf den Film ab, etc.

## Ziel

- Sie untersuchen einige grundlegende Abbildungseigenschaften dünner Linsen.
- Sie lernen verschiedene Möglichkeiten kennen, wie man einen nichtlinearen Zusammenhang bestätigen kann.

## Grundlagen

Optische Linsen bestehen meist aus Glas oder durchsichtigem Kunststoff mit zwei kugelförmigen Oberflächen. Die Gerade durch die zwei Kugelmittelpunkte heisst optische Achse der Linse.

## Linsenformen

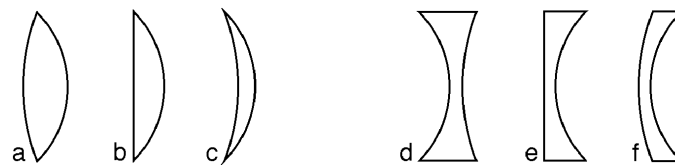


Abbildung 1: Sammellinsen sind in der Mitte dicker als am Rand. Es gibt sie in den Ausführungen (a) bikonvex (beidseits nach aussen gebogen), (b) plankonvex und (c) konvexkonkav (Brille für Weitsichtige). Zerstreuungslinsen sind in der Mitte dünner als am Rand. Sie können (d) bikonkav (beidseits nach innen gebogen), (e) plankonkav oder (f) konkavkonvex sein (Brille für Kurzsichtige).

## Konstruktion

Fallen Lichtstrahlen parallel zur optischen Achse auf eine Sammellinse, so werden sie an der Vorder- und Hinterseite so gebrochen, dass sie durch den hinteren Brennpunkt (Fokus) laufen. Bei dünnen Linsen kann man so tun, als ob die Brechung an einer Ebene stattfinden würde, der sog. Hauptebene. Der Schnittpunkt Hauptebene und optischer Achse heisst Hauptpunkt  $H$ . Der Abstand Hauptpunkt-Brennpunkt heisst Brennweite  $f$ . In graphischen Darstellungen kann man die Linse reduzieren auf optische Achse, Hauptebene und zwei Brennpunkte (vorderer und hinterer Brennpunkt, symmetrisch zur Hauptebene).

Kennt man das Verhalten dreier charakteristischer Strahlen, so kann man alle anderen Eigenschaften der Linse ableiten.

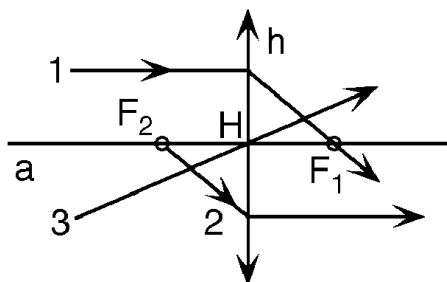


Abbildung 2: Regeln für die drei charakteristischen Strahlen einer dünnen Sammellinse: 1. Achsenparallel einfallende Strahlen werden an der Hauptebene  $h$  so abgelenkt, dass sie durch den hinteren Brennpunkt  $F_1$  laufen. 2. Strahlen durch den vorderen Brennpunkt  $F_2$  werden an der Hauptebene so abgelenkt, dass sie parallel zur optischen Achse  $a$  weiterlaufen. 3. Strahlen durch den Linsenhauptpunkt  $H$  werden nicht abgelenkt.

## Formeln

Mit Hilfe der drei charakteristischen Strahlen kann man zeigen, dass jeder Punkt eines Gegenstandes auf einen Bildpunkt abgebildet wird.

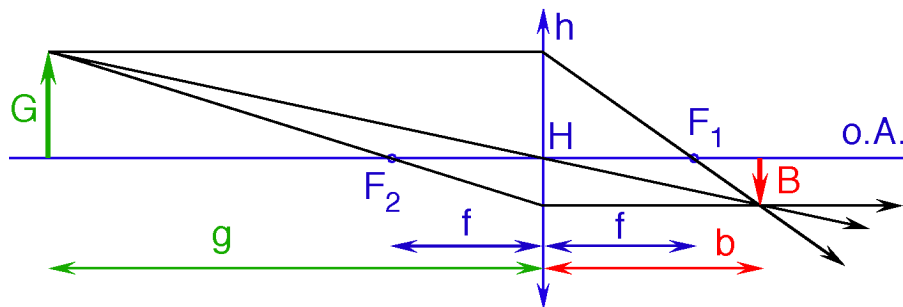


Abbildung 3: Alle Strahlen, die von einem Punkt des Gegenstands (Objekt) ausgehen, werden in einem Punkt des Bildes wieder versammelt, wenn der Gegenstand weiter als eine Brennweite  $f$  von der Linse entfernt ist. Das Objekt stehe im Abstand  $g$  (Gegenstandsweite) vor der Hauptebene  $h$  der dünnen Sammellinse. Es habe die Ausdehnung  $G$  (Gegenstandsgrösse) quer zur optischen Achse (o.A.). Das Bild entsteht im Abstand  $b$  (Bildweite) hinter der Linse. Es hat die Breite  $B$  (Bildgrösse) quer zur optischen Achse gemessen.

Mit Hilfe der Strahlensätze kann man folgende Gesetze herleiten:

$$m = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (\text{Abbildungsgesetz})$$

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (\text{Linsenformel})$$

mit:  $G$ : Gegenstandsgrösse,  $B$ : Bildgrösse,  $F$ : Brennpunkte im Abstand  $f$  von der Linse,  $g$ : Gegenstandsweite,  $b$ : Bildweite,  $m$ : Abbildungsmassstab (Verhältnis von Bildgrösse zu Gegenstandsgrösse).

**Für Sammellinse ( $f > 0$ ) gilt** Für  $b = g = 2f$  erhält man Abbildungsmassstab 1:1.

Für  $g > f$  ist das Bild reell, d.h. man kann es sichtbar machen, indem man an die Stelle des Bildes eine Mattscheibe platziert. Für  $g < f$  ist das Bild virtuell: Wenn man es konstruiert, liegt es "auf der falschen Seite der Linse". Man kann es sehen, wenn man durch die Linse Richtung Gegenstand schaut. Virtuelle Bilder können nicht auf eine Mattscheibe geworfen werden.

## Literatur

- Duden Physik Abitur, Abschnitt 5.3 "Bilder und optische Geräte"
- <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/optische-linsen>

## Material

Optische Bank mit Massstab, Scheinwerfer zur Beleuchtung des Objekts, gelochte Metallscheibe (Musterblende) als Objekt, verschiedene Sammellinsen mit Haltern, Mattscheibe.



Optische Oberflächen (Linsen, Spiegel) sind empfindlich. Vermeiden Sie Berührungen, denn Ihr Handschweiss kann sich in die Oberfläche einätzen. Fingerabdrücke müssen baldmöglichst entfernt werden.

## Messungen

- Stellen Sie eine Blende mit Schlitzmuster vor die Lampe. Das leuchtende Muster dient als Gegenstand, der abgebildet werden soll. Montieren Sie dann auf der optischen Bank eine Sammellinse (halten Sie die Nummer der verwendeten Linse im Protokoll fest) und eine Mattscheibe als Bildschirm.
- Überzeugen Sie sich, dass es bei grossem Blende-Mattscheibe Abstand zwei Linsenpositionen mit scharfer Abbildung gibt. Überzeugen Sie sich, dass es kein scharfes Bild mehr gibt bei zu kleinem Blende-Bildschirm Abstand.
- Bilden Sie mit der Sammellinse das durchleuchtete Muster scharf auf der Mattscheibe ab. Lesen Sie die Positionen von Objekt, Linse und Bild auf der Skala ab (also Gegenstandsweite  $g$  und Bildweite  $b$ ). Bestimmen Sie die Abmessungen des Lochmusters mit einem Massstab (=Gegenstandsgrösse  $G$ ). Bestimmen Sie die Abmessungen des Bilds auf der Mattscheibe (=Bildgrösse  $B$ ). Wiederholen Sie die Messung für insgesamt zwölf verschiedene Anordnungen.

## Auswertungen

- Zeichnen Sie den Strahlengang für eine der ausgemessenen Anordnungen massstäblich auf, und lesen Sie die Brennweite aus der Konstruktion ab.
- Prüfung des Abbildungsgesetzes: Berechnen Sie aus den Verhältnissen  $B:G$  und  $b:g$  den Abbildungsmassstab. Stimmen die Werte für alle Messungen überein?
- Prüfung der Linsenformel: Bestimmen Sie aus den Bildweiten  $b$  und Gegenstandsweiten  $g$  die Brennweite  $f$  der Linse. Gibt es jedes Mal dasselbe? Welche Brennweite hat die Linse wirklich? Führen Sie eine Fehlerrechnung durch.
- Tragen Sie in einem Diagramm den Kehrwert der Bildweite ( $1/b$ ) als Funktion von des Kehrwerts der Gegenstandsweite ( $1/g$ ) auf. Wie müssten die Punkte liegen, falls die Linsengleichung erfüllt ist? Führen Sie eine lineare Regression durch. Welche Bedeutung haben der Achsenabschnitt und die Steigung der Regressionsgeraden. Bestimmen Sie aus der Graphik die Brennweite.
- Zeigen Sie durch eine formale Rechnung, dass das Produkt aus Gegenstands- und Bildweite proportional zu deren Summe ist. Prüfen Sie dies anhand eines Diagramms für Ihre Messwerte nach und bestimmen Sie mit einer linearen Regression die Brennweite der Linse.
- Zeigen Sie durch eine formale Rechnung, dass für das Quadrat der Brennweite gilt:

$$f^2 = (g - f) \cdot (b - f)$$

Tragen Sie die Differenzen  $g - f$  und  $b - f$  in einem doppelt-logarithmischen Diagramm gegeneinander auf. Begründen Sie, dass eine Gerade in dieser Darstellung einer Potenzfunktion entspricht. Führen Sie eine Potenzregression durch und interpretieren Sie die Koeffizienten.

## Bedingungen

Falls Sie einen Bericht schreiben, geben Sie diesen mit der vollständigen Auswertung ab. Für eine Auswertung ohne Bericht bearbeiten Sie mindestens die Aufgaben 1) bis 4) ohne Fehlerrechnung.  
Abgabetermin ist: