

V408

# **GEOMETRISCHE OPTIK**

Phuong Quynh Ngo  
phuong-quynh.ngo@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.07.2020

Abgabe:

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.0.1	Grundlagen . . . . .	3
2.0.2	Methode von Bessel . . . . .	5
2.0.3	Methode von Abbe . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>6</b>
3.0.1	Aufbau . . . . .	6
3.0.2	Durchführung . . . . .	6
3.0.3	Linse mit bekannter Brennweite . . . . .	6
3.0.4	Bestimmung der Brennweite nach Bessel . . . . .	7
3.0.5	Bestimmung der Brennweite nach Abbe . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>9</b>
	<b>Literatur</b>	<b>9</b>

# 1 Einleitung

In diesem Versuch werden die Brennweiten von verschiedenen Linsen und Linsensystemen mit unterschiedlichen Methoden untersucht.

## 2 Theorie

### 2.0.1 Grundlagen

Linsen bestehen in der Regel aus einem Material, das optisch dichter ist als das Umgebungsmaterial. Wenn ein Lichtstrahl auf eine Linse trifft, wird er beim Eintritt und Austritt aus dem Linsenmedium gebrochen. Es gibt zwei verschiedene Linsenarten. Die Sammellinse wird zum Linsenrand dünner. So bündelt sie ein paralleles Licht im Brennpunkt. Die Brennweite  $f$  und die Bildweite  $b$  sind positiv. Es entsteht also ein reelles Bild, das auf einem Schirm sichtbar gemacht werden kann.

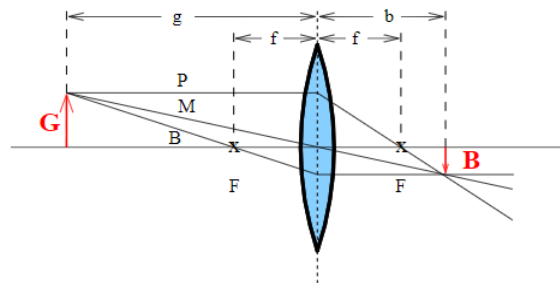


Abbildung 1: Bildkonstruktion zur Sammellinse.[1]

Die zweite Linsenart ist die Zerstreuungslinse, bei der die Brennweite  $f$  und die Bildweite  $b$  negativ sind. Es entsteht ein virtuelles Bild.

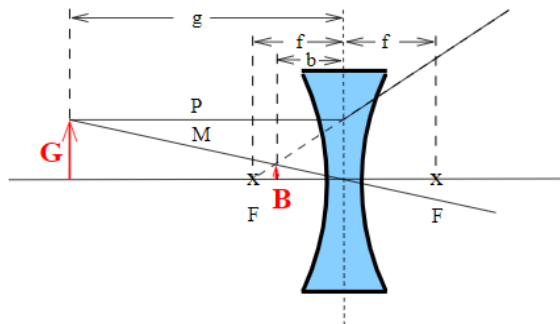
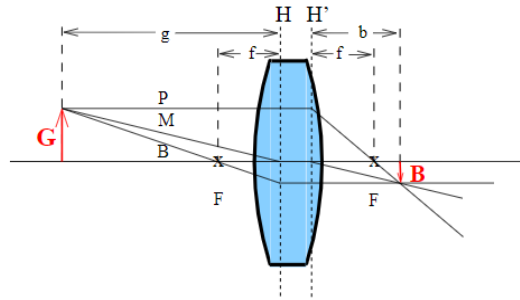


Abbildung 2: Bildkonstruktion zur Zerstreuungslinse.[1]

Bei dünnen Linsen, wie in Abbildung 1 und Abbildung 2, wird bei der Bildkonstruktion die Brechung auf eine Mittelebene reduziert. Dies ist bei dicken Linsen, wie in Abbildung 3 dargestellt, nicht möglich.



**Abbildung 3:** Bildkonstruktion zur dicke Linsen.[1]

Hierzu werden zwei Hauptebenen  $H$  und  $H'$  eingeführt. Es werden drei Strahlen konstruiert.

Der Parallelstrahl  $P$  verläuft parallel zur optischen Achse, wird dann an der Mittelebene oder Hauptebenene gebrochen und wird zum Brennpunktstrahl  $B$ , der durch den Brennpunkt der Linse verläuft.

Der Mittelpunktstahl  $M$  verläuft durch die Mitte der Linse und ändert seine Richtung nicht. Aus der geometrischen Bildkonstruktion ergibt sich folgendes Abbildungsgesetz

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}. \quad (1)$$

Dabei ist  $V$  der Abbildungsmaßstab,  $B$  die Bildgröße,  $G$  die Gegenstandsgröße,  $b$  die Bildweite und  $g$  die Gegenstandsweite. Für dünne Linsen gilt die Linsengleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}. \quad (2)$$

Für dicke Linsen wird die Mittelebene durch die Hauptebenen ersetzt, sodass die Brennweite, die Gegenstandsweite und die Brennweite zur jeweiligen Hauptebene bestimmt werden, so behält die Linsengleichung ihre Gültigkeit. Jedoch gilt Gleichung (2) nur für achsennahe Strahlen, da bei achsenfernen Strahlen das Licht stärker gebrochen wird, sodass Abbildungsfehler entstehen und das Bild des Gegenstandes nicht mehr scharf ist. Der Brennpunkt von achsenfernen Strahlen liegt näher an der Linse als der von achsennahen Strahlen. Dies wird als sphärische Aberration bezeichnet. Der Brennpunkt des blauen Lichtes liegt näher an der Linse als der vom roten Licht, da durch Dispersion das blaue Licht stärker gebrochen wird. Das wird chromatische Aberration genannt. Die Brechkraft wird berechnet durch

$$D = \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Die Einheit der Brechkraft ist Dioptrie (1 dpt = 1/m). Bei einem Linsensystem addieren sich die Brechkräfte

$$D = \sum_i^N D_i. \quad (4)$$

### 2.0.2 Methode von Bessel

Für die Bestimmung der Brennweite einer Linse nach der Methode von Bessel wird der Abstand zwischen Gegenstand und Bild gemessen, anschließend werden zwei Positionen der Linse gesucht, an denen ein scharfes Bild auf dem Schirm erscheint. Für diese beiden Linsenpositionen werden dann jeweils die Bildweite  $b$  und die Gegenstandsweite  $g$  gemessen. Die Brennweite der Linse lässt sich dann mit Hilfe folgender Formel berechnen

$$f = \frac{e^2 + d^2}{4e}. \quad (5)$$

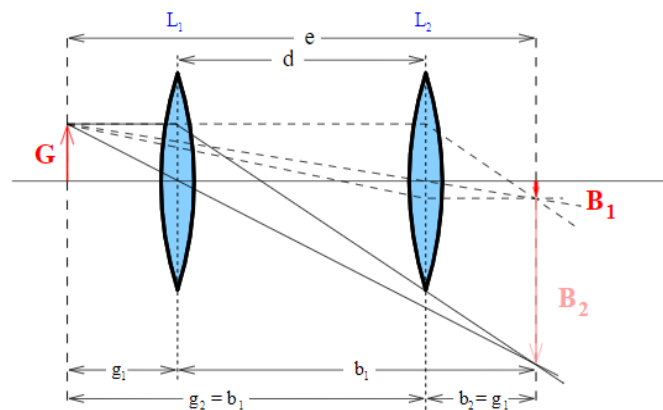
Dabei ist

$$e = g_1 + b_1 = g_2 + b_2 \quad (6)$$

der Abstand zwischen Gegenstand und Bild und

$$d = |g_1 - b_1| = |g_2 - b_2| \quad (7)$$

der Abstand zwischen Linsenposition 1 und 2.



**Abbildung 4:** Schematische Darstellung der Abstände bei der Methode von Bessel.[1]

### 2.0.3 Methode von Abbe

Bei der Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems nach der Methode von Abbe werden Brennweite und Lage der Hauptebenen aus dem Abbildungsmaßstab  $V$  bestimmt.

Da die Gegenstandsweite und die Bildweite bei einem Linsensystem ebenso wie bei dicken Linsen mit Hilfe von Hauptebenen bestimmt werden und diese nicht bekannt sind, wird ein Punkt  $A$  bestimmt, von dem aus die Gegenstandsweite  $g'$  und die Bildweite  $b'$  gemessen werden können. Für diese Weiten gelten folgende Formeln

$$g' = g + h = f\left(1 + \frac{1}{V}\right) + h \quad (8)$$

und

$$b' = b + h' = f(1 + V) + h'. \quad (9)$$

Mit Hilfe dieser Abstände und dem Abbildungsmaßstab  $V$  kann die Brennweite  $f$  und die Lage der Hauptebenen bestimmt werden.

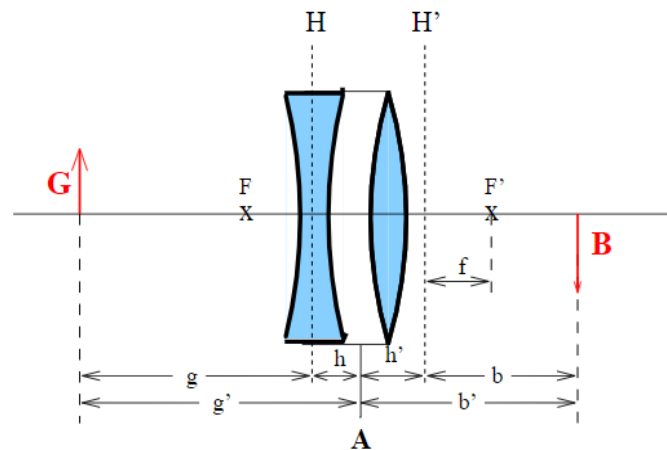


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Abstände bei der Methode von Abbe.[1]

## 3 Durchführung

### 3.0.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Lichtquelle, einer Bank, auf der die verschiedenen Linsen und der abzubildende Gegenstand gesetzt und verschoben werden kann, und einem Schirm, auf dem das Bild sichtbar gemacht wird. Die Bank ist mit einer Skala versehen und erlaubt dadurch eine Messung der Abstände zwischen den beteiligten Komponenten.

### 3.0.2 Durchführung

### 3.0.3 Linse mit bekannter Brennweite

Der Gegenstand und ein Schirm werden auf einer optischen Bank befestigt. Anfangs wird die Gegenstandsweite  $g$  festgesetzt. Damit ein scharfes Bild entsteht, wird der Schirm

verschoben. Dies wird für 14 Messungen durchgeführt und notiert.

### 3.0.4 Bestimmung der Brennweite nach Bessel

Anschließend wird nach Bessels Methode die Brennweite bestimmt. Der Aufbau bleibt gleich. Dieses mal wird der Abstand  $e$  zwischen Halogenlampe und Schirm festgesetzt. Es werden  $g_1$  und  $b_1$  Werte notiert, welche ein scharfes Bild erzeugen. Anschließend wird die Linse wieder verschoben bis weitere scharfe Bilder entstehen, dies sind die  $g_2$  und  $b_2$  Werte. Die Messung erfolgt für 11 Abstände  $e$ .

### 3.0.5 Bestimmung der Brennweite nach Abbe

Zuletzt wird nach Abbes Methode die Brennweite eines Linsensystems bestimmt. Hierfür wird neben der Halogenlampe ein Gegenstand, eine Sammellinse ( $f = 5 \text{ cm}$ ), eine Zerstreuungslinse ( $f = -10 \text{ cm}$ ) und ein Schirm auf der optischen Bank befestigt. Es wird ein Referenzpunkt  $A$  festgelegt indem beide Linsen aneinander gesetzt werden. Um wieder ein scharfes Bild zu erzeugen, wird der Schirm verschoben. Die Abstände  $g'$  und  $b'$  werden notiert. Für die Berechnung des Abbildungsmaßstabes wird die Größe des Gegenstandes vermessen. Durchgeführt wird die Messung für weitere 9 Gegenstandsweiten.

## 4 Auswertung

Die Formel für den Mittelwert lautet

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (10)$$

Die Formel für die Standardabweichung lautet

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (11)$$

Die Formel für den Fehler des Mittelwertes lautet

$$\Delta \bar{x} = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (12)$$

Die Formel für den Fehler des Mittelwertes lautet

$$\Delta \bar{x} = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (13)$$

V

In Tabelle 1 sind die gemessenen Werte aufgeführt und die Ausgleichskurve ist in Abbildung 1 dargestellt.

**Tabelle 1:** Messdaten.

$N_{Linie}$	$D/\text{mm}$	$U/\text{V}$
1	0	-19,5
2	6	-16,1
3	12	-12,4
4	16	-9,6
5	24	-6,2
6	30	-2,4
7	36	1,2
8	42	5,1
9	48	8,3

Die Abstände werden umgerechnet durch die Formel

$$D = (N_{Linie} - 1) \cdot 6\text{mm}. \quad (14)$$

$$m = (1,7193 \pm 0,0197) \frac{\text{mm}}{\text{V}}$$
$$b = (33,8571 \pm 0,2102)\text{mm}.$$

Siehe Abbildung 6!



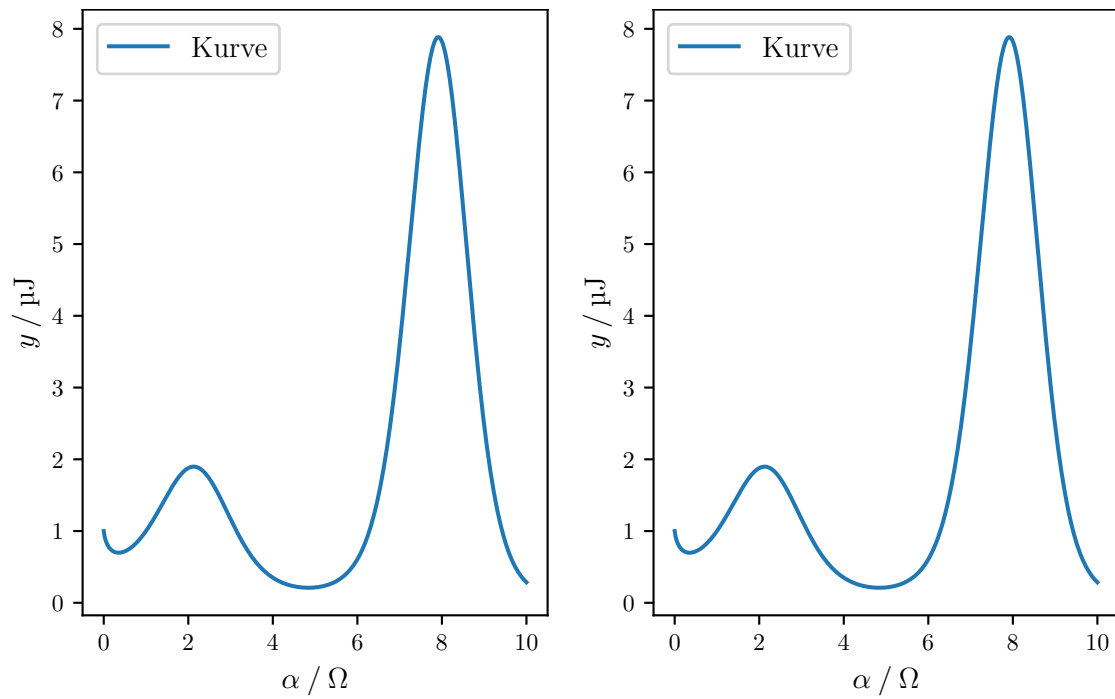


Abbildung 6: Plot.

## 5 Diskussion

### Literatur

- [1] *Geometrische Optik*. Eingesehen am 28.06.2020. URL: [https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1138337/mod\\_resource/content/1/V408.pdf](https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1138337/mod_resource/content/1/V408.pdf).