

Anfängerpraktikum V408

## **Geometrische Optik**

Helena Nawrath  
helena.nawrath@tu-dortmund.de

Carl Arne Thomann  
arnethomann@me.com

Durchführung: 14. April 2015      Abgabe: 21. April 2015

TU Dortmund – Fakultät Physik

## 1 Ziel

Versuchsziel ist es Brennweiten verschiedener Linsen zunächst mit Hilfe der Linsengleichung und anschließend mit der Methode nach BESSEL zu berechnen. Außerdem werden Brennweite und Lage der Hauptebenen eines Linsensystems nach ABBE bestimmt.

## 2 Theorie

Nach der geometrischen Optik, die immer gilt wenn alle Abmessungen einer Apparatur groß gegenüber der Wellenlänge sind, breitet sich Licht in Form von Strahlen aus. Ändert sich das Medium und damit die Dichte, in dem sich der Strahl ausbreitet, wird er nach dem SNELLIUS'schen Brechungsgesetz gebrochen. Meist genutztes optisches Element ist die Linse, deren Material die Dichte von Luft überschreitet. Je nach Form der Linsen weisen diese verschiedene Eigenschaften auf. *Sammellinsen* bündeln parallel eintreffende Lichtstrahlen im Brennpunkt und lassen ein reelles, sich hinter der Linse befindliches, Bild entstehen. Dabei sind der Abstand zwischen Gegenstand und Linse – Gegenstandsweite  $g$  – und Abstand zwischen Linse und Schirm – Bildweite  $b$  – positive Größen. *Zerstreuungslinsen* mit negativer Gegenstands-, Bild- und Brennweite erschaffen ein virtuelles Bild, welches vor der Linse liegt. Zeichnerisch wird der Strahlengang durch Parallel-, Brennpunkts- und Mittelpunktstrahl dargestellt. Durchquert ein Lichtstrahl eine dünne Linse wird er an der Mittelebene gebrochen. Die Brechkraft  $D$ , der Kehrwert der Brennweite mit der Einheit  $\text{dpt} = \frac{1}{\text{m}}$ , kann für dünne Linsen berechnet werden mit der *Linsengleichung*

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

Bei einer dicken Linse passiert die Brechung an zwei Hauptebenen  $H$  und  $H'$ , da der Strahl hier einen weiteren Weg im Medium zurücklegen muss, als es bei dünnen Linsen der Fall ist. Relativ zu den Hauptebenen werden hier  $b, b'$  und  $g, g'$  bestimmt. Über das *Abbildungsgesetz*

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (2)$$

mit Bildgröße  $B$  und Gegenstandsgröße  $G$  kann die Vergrößerung  $V$  des Bildes bestimmt werden. Natürlich treten bei der Brechung *Abbildungsfehler* auf. Zum Beispiel gilt die Näherung der geometrischen Optik nur für achsennahe Strahlen – achsenferne Strahlen befinden sich von der optischen Achse eines Systems weiter entfernt. Deswegen werden sie stärker gebrochen und besitzen einen näher an der Linse liegenden Brennpunkt. Dieses Phänomen wird *sphärische Aberration* genannt. Neben dieser tritt auch *chromatische Aberration* häufig auf. Wird nicht-monochromatisches Licht durch eine Linse

geschickt werden geringe Wellenlängen stärker gebrochen als größere Wellenlängen. Daher liegt beispielsweise der Brennpunkt roten Lichtes weiter von der Linse entfernt als der Brennpunkt blauen Lichtes.

## 2.1 Brennweitenbestimmung mit der Methode nach Bessel

Ist der Abstand  $e = g + b$  zwischen Gegenstand und Schirm konstant lassen sich zwei Linsenpositionen finden, die ein scharfes Bild erzeugen. Dabei können Gegenstands- und Bildweite symmetrisch vertauscht werden. Es gilt

$$b_1 = g_2 \text{ und } b_2 = g_1. \quad (3)$$

Ist außerdem der Abstand  $d = g - b$  zwischen beiden Linsenpositionen bekannt kann die Brennweite nach

$$f = \frac{e^2 - d^2}{4e} \quad (4)$$

berechnet werden.

## 2.2 Brennweitenbestimmung mit der Methode nach Abbe

Über die Methode von ABBE können dicke Linsen oder auch Linsensysteme auf die Lage der Hauptachsen  $H$ ,  $H'$  und Brennweite  $f$  untersucht werden. Für die Abstände gelten die Beziehungen

$$g' = g + h = f \cdot \left(1 + \frac{1}{V}\right) + h, \quad b' = b + h' = f \cdot (1 + V) + h'. \quad (5)$$

# 3 Durchführung

## 3.1 Brennweiten verschiedener Linsen

In diesem Versuchsteil soll die Linsengleichung verifiziert werden. Eine Linse bekannter Brennweite wird ausgemessen und die berechnete Brennweite mit der Herstellerangabe verglichen. Dazu wird ein Gegenstand "Pearl L" auf einer optischen Bank vor einer Halogenlampe platziert. Zwischen Gegenstand und verschiebbarem Schirm wird eine Linse mit  $f_1 = 100 \text{ dpt}$  gestellt. Anschließend wird die Bildweite  $b_1$  für zehn verschiedene Gegenstandsweiten  $g_1$  gemessen, in dem für jedes  $g_1$  der Schirmabstand so variiert wird, dass der Gegenstand scharf abgebildet wird. Als nächstes wird eine Linse mit  $f_2 = 50 \text{ dpt}$  genutzt und der vorhergehend beschriebene Versuchsaufbau wiederholt.

### 3.2 Brennweitenbestimmung nach Bessel

Nun wird bei der Linse mit  $f = 100 \text{ dpt}$  der Abstand  $e = b + g$  zwischen Gegenstand und Schirm fest gehalten. Für zehn verschiedene  $g_2$  werden zwei Linsenpositionen gesucht, die ein scharfes Bild erzeugen.

### 3.3 Brennweitenbestimmung nach Abbe

## 4 Auswertung

| $g_1/\text{mm}$ | $b_1/\text{mm}$ | $f_1/\text{mm}$ | $g_2/\text{mm}$ | $b_2/\text{mm}$ | $f_2/\text{mm}$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 120             | 525             | 98,09           |                 |                 |                 |
| 130             | 390             | 98,64           | 60              | 2700            | 124,14          |
| 140             | 319             | 97,59           | 70              | 1570            | 117,98          |
| 150             | 277             | 96,96           | 80              | 1210            | 111,22          |
| 160             | 251             | 95,63           | 90              | 1040            | 104,35          |
| 170             | 227             | 97,20           | 100             | 920             | 97,65           |
| 180             | 204             | 97,71           | 110             | 870             | 90,20           |
| 190             | 198             | 97,31           | 120             | 800             | 82,83           |
| 200             | 192             | 97,30           | 130             | 770             | 75,04           |
| 210             | 186             | 97,50           | 140             | 750             | 67,01           |
| 220             | 177             | 97,67           | 150             | 720             | 58,70           |

**Tabelle 1:** Messung der Bild- und Gegenstandsweiten  $b_i$  und  $g_i$ , sowie die daraus berechneten Brennweiten.

| $e/\text{mm}$ | $g_1/\text{mm}$ | $f_1/\text{mm}$ | $g_2/\text{mm}$ | $b_2/\text{mm}$ | $f_2/\text{mm}$ |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 450           | 14,4            | 30,6            | 112,36          | 14,2            | 30,8            |
| 500           | 13,4            | 36,6            | 124,73          | 13,5            | 36,5            |
| 550           | 12,7            | 42,3            | 137,10          | 12,7            | 42,3            |
| 600           | 12,2            | 47,8            | 149,47          | 12,3            | 47,7            |
| 650           | 11,9            | 53,1            | 161,85          | 12,0            | 53,0            |
| 700           | 11,8            | 48,2            | 174,53          | 11,7            | 58,3            |
| 750           | 11,6            | 73,4            | 186,23          | 11,5            | 73,5            |
| 800           | 11,4            | 68,8            | 198,98          | 11,6            | 68,8            |
| 850           | 11,4            | 73,6            | 211,36          | 11,4            | 73,6            |
| 900           | 11,3            | 78,7            | 223,74          | 11,3            | 78,8            |

**Tabelle 2:** Messung der Bild- und Gegenstandsweiten  $b_i$  und  $g_i$  nach Bessel in Abhängigkeit vom Abstand  $e$ .

| $e/\text{mm}$ | $g_{1r}/\text{mm}$ | $b_{1r}/\text{mm}$ | $f_{1r}/\text{mm}$ | $g_{2r}/\text{mm}$ | $b_{2r}/\text{mm}$ | $f_{2r}/\text{mm}$ |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 50            | 143                | 307                | 111,88             | 306                | 144                | 111,89             |
| 60            | 126                | 424                | 113,00             | 424                | 126                | 113,00             |
| 70            | 118                | 532                | 114,38             | 531                | 119                | 114,38             |
| 80            | 117                | 633                | 115,82             | 636                | 117                | 115,82             |
| 90            | 115                | 735                | 115,45             | 739                | 111                | 115,45             |

**Tabelle 3:** Messung der Bild- und Gegenstandsweiten  $b_{ir}$  und  $g_{ir}$  von rotem Licht nach Bessel in Abhängigkeit vom Abstand  $e$ .

| $e/\text{mm}$ | $g_{1b}/\text{mm}$ | $b_{1b}/\text{mm}$ | $f_{1b}/\text{mm}$ | $g_{2b}/\text{mm}$ | $b_{2b}/\text{mm}$ | $f_{2b}/\text{mm}$ |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 50            | 366                | 134                | 97,15              | 132                | 368                | 97,15              |
| 60            | 477                | 123                | 97,19              | 122                | 478                | 97,19              |
| 70            | 782                | 118                | 15,63              | 116                | 784                | 15,63              |
| 80            | 784                | 116                | 58,88              | 114                | 786                | 58,89              |
| 90            | 788                | 112                | 97,31              | 111                | 789                | 97,31              |

**Tabelle 4:** Messung der Bild- und Gegenstandsweiten  $b_{ib}$  und  $g_{ib}$  von blauem Licht nach Bessel in Abhängigkeit vom Abstand  $e$ .

| $g'/\text{mm}$ | $b'/\text{mm}$ | $B/\text{mm}$ | $V/\text{mm}$ |
|----------------|----------------|---------------|---------------|
| 200            | 790            | 80            | 2,67          |
| 250            | 551            | 44            | 1,47          |
| 300            | 480            | 31            | 1,03          |
| 350            | 416            | 25            | 0,83          |
| 400            | 398            | 20            | 0,67          |
| 450            | 380            | 17            | 0,57          |
| 500            | 370            | 15            | 0,50          |
| 550            | 346            | 13            | 0,43          |
| 600            | 348            | 11            | 0,37          |
| 650            | 336            | 11            | 0,37          |

**Tabelle 5:** Messwerte zur Bestimmung der Brennweite des Linsensystems nach (abbe).

## 5 Diskussion

## Literatur

- [1] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. In: *Computing in Science and Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://link.aip.org/link/?CSX/9/90/1>. Version 1.3.1.
- [2] Eric Jones, Travis Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. 2001. URL: <http://www.scipy.org/>. Version 0.14.0.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>. Version 2.4.5.
- [4] Travis E. Oliphant. „Python for Scientific Computing“. In: *Computing in Science and Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://link.aip.org/link/?CSX/9/10/1>. Version 1.8.1.
- [5] The GIMP Team. *GIMP: GNU Image Manipulation Program*. URL: <http://www.gimp.org/>. Version 2.8.10.

Die verwendeten Plots wurden mit *matplotlib*[1] und die Grafiken mit *GIMP*[5] erstellt sowie die Berechnungen mit *Python-Python-Numpy*, [4], *Python-Scipy*[2] und *Python-uncertainties*[3] durchgeführt.