

Nr. 408

Geometerische Optik

Sara Krieg
sara.krieg@udo.edu

Marek Karzel
marek.karzel@udo.edu

Durchführung: 07.05.2019

Abgabe: 14.05.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Theorie | 3 |
| 2 | Durchführung | 3 |
| 3 | Auswertung | 3 |
| 3.1 | Bestätigung des Linsengesetzes | 3 |
| 3.2 | Methode von Bessel | 5 |
| 3.3 | Methode von Abbe | 6 |
| 4 | Diskussion | 9 |

1 Theorie

[sample]

2 Durchführung

3 Auswertung

3.1 Bestätigung des Linsengesetzes

Bei der ersten Messung wurden g , b und B bestimmt. Unter Verwendung des Linsengesetzes kann zunächst $\frac{1}{f}$ und schließlich f bestimmt werden. Für die Linse bekannter Brennweite (0,150 m) ergibt sich somit Tabelle 1. Das Abbildungsgesetz kann überprüft werden, indem für jeden Messwert $V_1 = \frac{b}{g}$ und $V_2 = \frac{B}{G}$ bestimmt wird. Weiter wird die Differenz $|\Delta V|$ berechnet. Hierbei erkennt man, dass diese Differenz für jeden der Messwerte bei der Linse sehr klein ist.

Tabelle 1: Messwerte und Brennweite der Linse mit bekannter Brennweite.

| g / m | b / m | B / m | V_1 | V_2 | $ \Delta V $ | f / meter |
|---------|---------|---------|-------|-------|--------------|-------------|
| 0,25 | 0,465 | 0,0450 | 1,860 | 1,500 | 0,360 | 0.163 |
| 0,30 | 0,356 | 0,0260 | 1,867 | 0,867 | 0,320 | 0.163 |
| 0,35 | 0,300 | 0,0190 | 0,857 | 0,633 | 0,224 | 0.162 |
| 0,40 | 0,277 | 0,0160 | 0,693 | 0,533 | 0,159 | 0.164 |
| 0,45 | 0,257 | 0,0125 | 0,571 | 0,417 | 0,154 | 0.164 |
| 0,50 | 0,243 | 0,0110 | 0,486 | 0,367 | 0,119 | 0.164 |
| 0,55 | 0,233 | 0,0095 | 0,424 | 0,317 | 0,107 | 0.164 |
| 0,60 | 0,226 | 0,0080 | 0,377 | 0,267 | 0,110 | 0.164 |
| 0,65 | 0,218 | 0,0070 | 0,335 | 0,233 | 0,102 | 0.163 |
| 0,70 | 0,205 | 0,0065 | 0,293 | 0,217 | 0,076 | 0.159 |

Aus Tabelle ?? folgt somit für den Brennpunkt f als Mittelwert

$$(0,163 \pm 0,002) \text{ m.}$$

Werden die Wertepaare (g_i, b_i) auf die Achsen eines Koordinatensystems aufgetragen, und die zugehörigen Paare miteinander verbunden, so ergibt sich für die Linse bekannter Brennweite Abbildung 1.

Es ein Ausreißer zu erkennen (cyan Gerade), der beim Ablesen der Brennweite außer Acht gelassen wird. Der Schnittpunkt aller Geraden der Messwerte bestimmt den Brennpunkt f der Linse. Dieser Schnittpunkt wird so genau wie möglich abgelesen. Es ergibt sich der Punkt

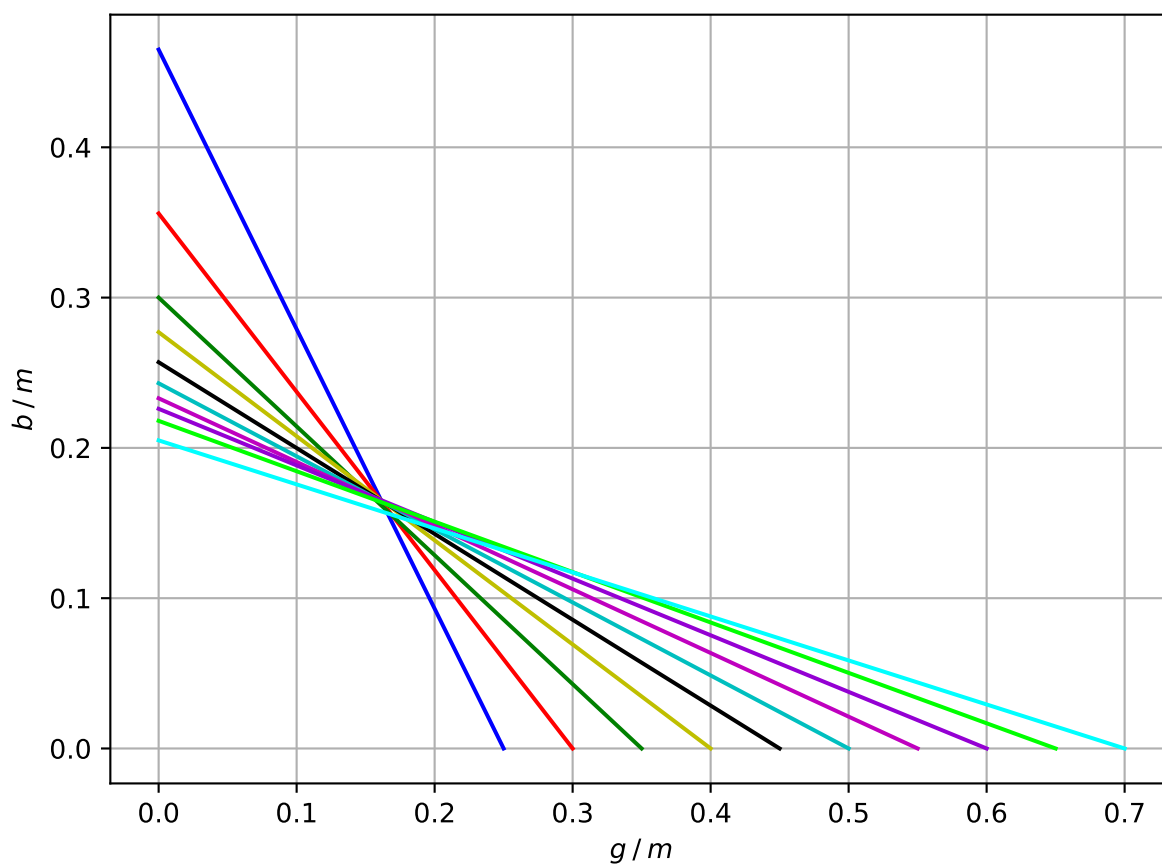


Abbildung 1: Wertepaare f bekannt.

$$(0,16 \text{ meter} | 0,16 \text{ m}).$$

und da die beiden Werte gleich sind, ergibt sich

$$f = 0,16 \text{ m}.$$

3.2 Methode von Bessel

Bei der zweiten Messung wurden die beiden Positionen mit scharfem Bild für ungefiltertes, blaues und rotes Licht nach der Methode nach Bessel bestimmt. Aus diesen Messwerten lässt sich nach Formel — die Brennweite der Linse bestimmen. Alles Messwerte, sowie die für die einzelne Messwerte berechneten Brennweiten sind in Tabelle 2, 3 und 4 dargestellt.

Tabelle 2: Besselmethode ungefiltertes Licht.

| e / m | g_1 / m | b_1 / m | g_2 / m | b_2 / m | $ g_1 - b_1 $ | $ g_2 - b_2 $ | f_1 / m | f_2 / m |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| 0,900 | 0,2120 | 0,6880 | 0,687 | 0,213 | 0,476 | 0,474 | 0,162 | 0,163 |
| 0,850 | 0,2170 | 0,6330 | 0,632 | 0,218 | 0,416 | 0,414 | 0,162 | 0,162 |
| 0,820 | 0,2240 | 0,5960 | 0,598 | 0,222 | 0,372 | 0,376 | 0,163 | 0,162 |
| 0,800 | 0,2270 | 0,5730 | 0,572 | 0,228 | 0,346 | 0,344 | 0,163 | 0,163 |
| 0,770 | 0,2310 | 0,5390 | 0,532 | 0,238 | 0,308 | 0,294 | 0,162 | 0,164 |
| 0,750 | 0,2365 | 0,5135 | 0,510 | 0,240 | 0,277 | 0,270 | 0,162 | 0,163 |
| 0,720 | 0,2470 | 0,4730 | 0,468 | 0,252 | 0,226 | 0,216 | 0,162 | 0,164 |
| 0,700 | 0,2550 | 0,4450 | 0,445 | 0,255 | 0,190 | 0,190 | 0,162 | 0,162 |
| 0,675 | 0,2720 | 0,4030 | 0,402 | 0,273 | 0,131 | 0,129 | 0,162 | 0,163 |
| 0,650 | 0,3070 | 0,3430 | 0,352 | 0,298 | 0,036 | 0,054 | 0,162 | 0,161 |

Tabelle 3: Besselmethode rotes Licht.

| e / m | g_1 / m | b_1 / m | g_2 / m | b_2 / m | $ g_1 - b_1 $ | $ g_2 - b_2 $ | f_1 / m | f_2 / m |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| 0,90 | 0,214 | 0,686 | 0,683 | 0,217 | 0,472 | 0,466 | 0,163 | 0,165 |
| 0,85 | 0,220 | 0,630 | 0,627 | 0,223 | 0,410 | 0,404 | 0,163 | 0,164 |
| 0,80 | 0,228 | 0,572 | 0,570 | 0,230 | 0,344 | 0,340 | 0,163 | 0,164 |
| 0,75 | 0,240 | 0,510 | 0,509 | 0,241 | 0,270 | 0,268 | 0,163 | 0,164 |
| 0,70 | 0,261 | 0,439 | 0,442 | 0,258 | 0,178 | 0,184 | 0,164 | 0,163 |

Aus diesen Tabellen ergeben sich als Mittelwerte für die Brennweiten

$$\begin{aligned}
 f &= (0,1621 \pm 0,0003) \text{ m}, \\
 f_{\text{rot}} &= (0,1639 \pm 0,0006) \text{ m}, \\
 f_{\text{blau}} &= (0,1627 \pm 0,0001) \text{ m}.
 \end{aligned}$$

Tabelle 4: Besselmethode blaues Licht.

| e / m | g_1 / m | b_1 / m | g_2 / m | b_2 / m | $ g_1 - b_1 $ | $ g_2 - b_2 $ | f_1 / m | f_2 / m |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| 0,90 | 0,212 | 0,688 | 0,687 | 0,213 | 0,476 | 0,474 | 0,162 | 0,163 |
| 0,85 | 0,218 | 0,632 | 0,631 | 0,219 | 0,414 | 0,412 | 0,162 | 0,163 |
| 0,80 | 0,227 | 0,573 | 0,572 | 0,226 | 0,346 | 0,346 | 0,163 | 0,163 |
| 0,75 | 0,236 | 0,514 | 0,511 | 0,239 | 0,278 | 0,272 | 0,162 | 0,163 |
| 0,70 | 0,250 | 0,445 | 0,442 | 0,258 | 0,195 | 0,184 | 0,161 | 0,163 |

3.3 Methode von Abbe

Bei der dritten Messung soll die Brennweite, sowie die Positionen der Hauptebene eines Linsensystems bestimmt werden. Aus den gemessenen Werten für B lässt sich der Abbildungsmaßstab V bestimmen. Daraus wiederum lassen sich die Größen $(1 + \frac{1}{V})$ und $(1 + V)$ berechnen. Diese Größen sind in Tabelle 5 eingetragen.

Tabelle 5: Messwerte Methode nach Abbe

| g' / m | b' / m | B / m | V | $1 + \frac{1}{V}$ | $1 + V$ |
|-----------------|-----------------|----------------|------|-------------------|---------|
| 0,20 | 0,740 | 0,0570 | 1,90 | 1,526 | 2,90 |
| 0,25 | 0,555 | 0,0340 | 1,13 | 1,882 | 2,13 |
| 0,30 | 0,470 | 0,0230 | 0,77 | 2,304 | 1,77 |
| 0,35 | 0,433 | 0,0180 | 0,60 | 2,667 | 1,60 |
| 0,40 | 0,395 | 0,0190 | 0,63 | 2,579 | 1,63 |
| 0,45 | 0,385 | 0,0120 | 0,40 | 3,500 | 1,40 |
| 0,47 | 0,372 | 0,0125 | 0,42 | 3,400 | 1,42 |
| 0,50 | 0,370 | 0,0100 | 0,33 | 4,000 | 1,33 |
| 0,55 | 0,353 | 0,0090 | 0,30 | 4,333 | 1,30 |
| 0,60 | 0,350 | 0,0080 | 0,27 | 4,750 | 1,37 |

Weiter wird g' gegen $(1 + 1/V)$ und b' gegen $(1 + V)$ aufgetragen, woraus Abbildung 2 und 3 resultieren.

Es wurde jeweils eine lineare Regression mittels Python durchgeführt. Die dabei erhaltenen Parameter geben hierbei nach Formel — und — direkt den Brennpunkt und die Lage der Hauptebenen an. Es ergibt sich für

$$g' = g + h = f_1 \cdot \left(1 + \frac{1}{V}\right) + h,$$

$$b' = b + h = f_2 \cdot (1 + V) + h'$$

und somit

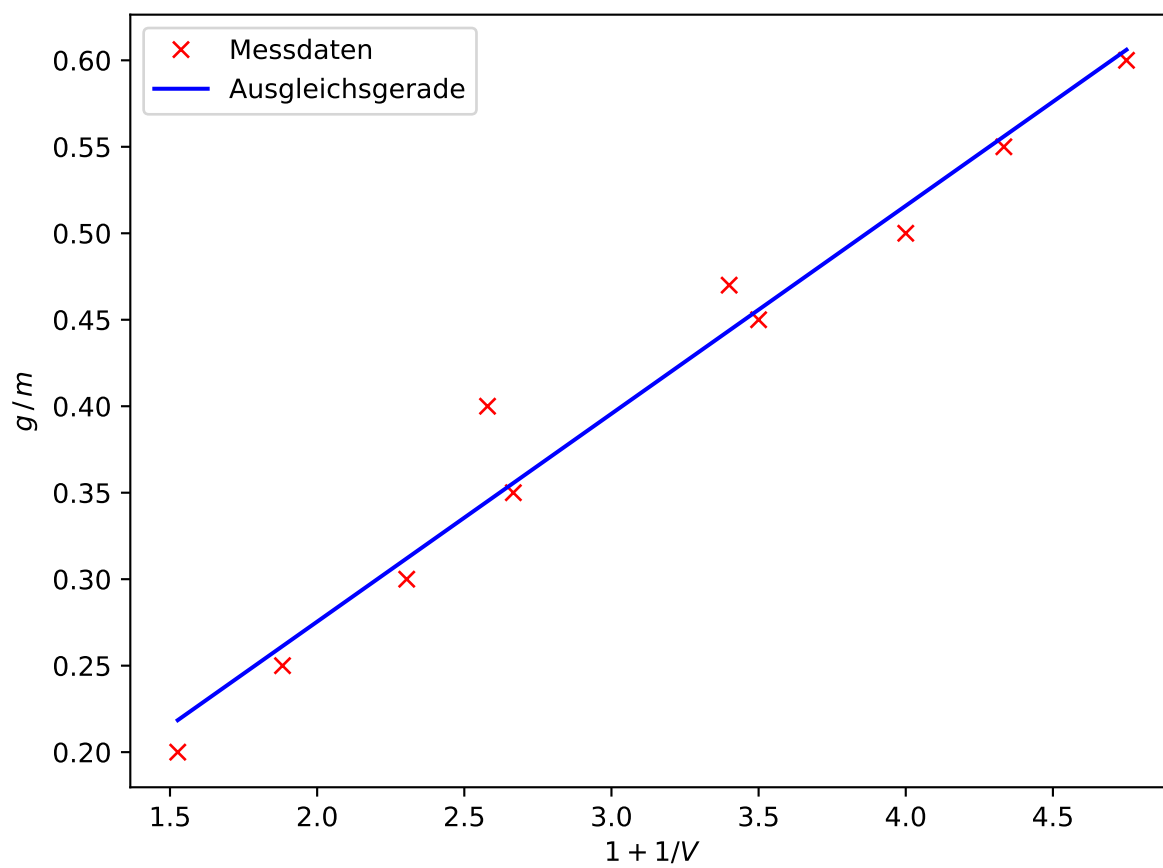


Abbildung 2: Messwerte g' gegen $1 + 1/V$.

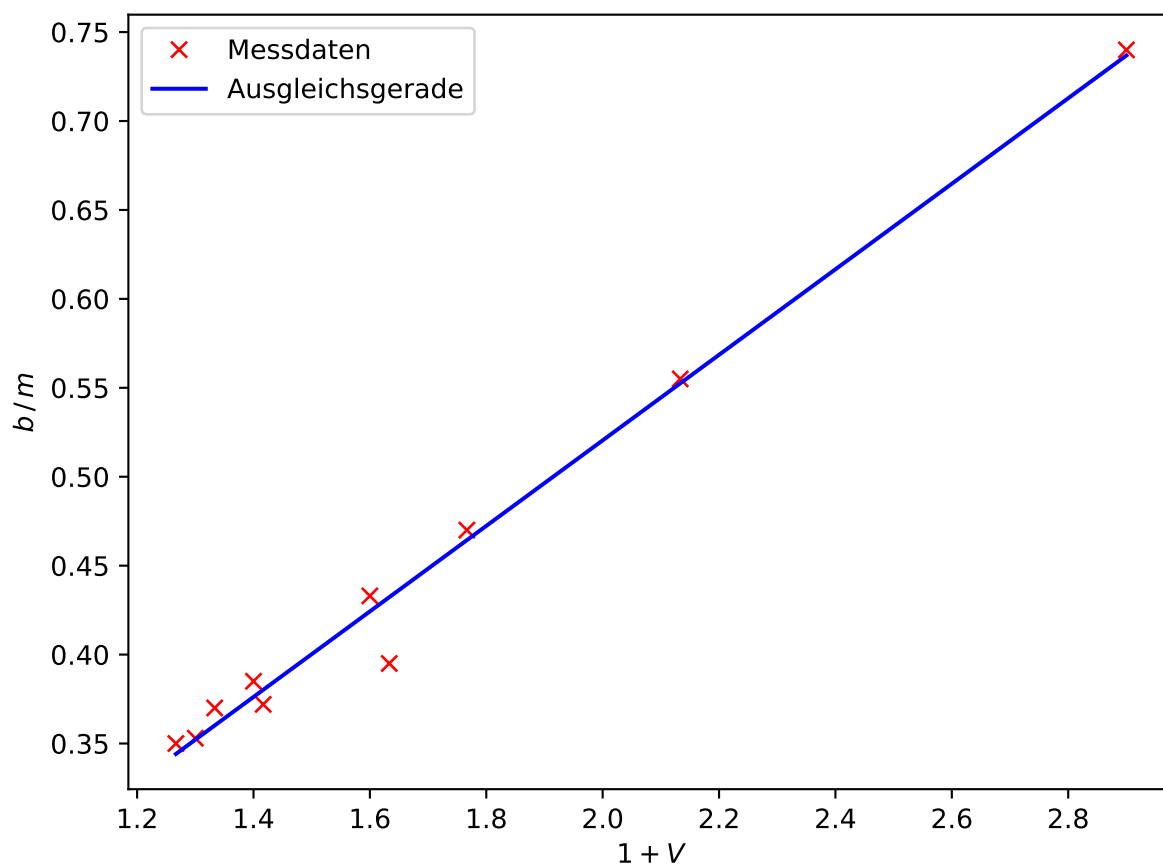


Abbildung 3: Messwerte b' gegen $1+V$.

$$\begin{aligned}
f_1 &= (0,120 \pm 0,009) \text{ m}, \\
f_2 &= (0,240 \pm 0,011) \text{ m}, \\
h &= (0,035 \pm 0,028) \text{ m}, \\
h' &= (0,040 \pm 0,020) \text{ m}.
\end{aligned}$$

Es ist erkennbar, dass f_1 und f_2 nicht denselben Wert besitzen, sodass für die letztliche Bestimmung der Brennweite der Mittelwert gebildet wird. Es folgt somit

$$f = (0,180 \pm 0,060) \text{ m}.$$

Die Position der Hauptebenen h und h' beziehen sich auf den Referenzpunkt A . Dieser hat gerade die Mittelebene der dünnen Sammellinse.

4 Diskussion

In der ersten Messung sollte die bekannte Brennweite von $f = 0,150 \text{ m}$ verifiziert und das Abbildungsgesetz bestätigt werden. Aufgrund der sehr kleinen Differenz ΔV kann das Abbildungsgesetz bestätigt werden. Bei der ersten Messung wurde eine Brennweite von

$$f_{\text{exp}} = (0,163 \pm 0,002) \text{ m}$$

festgestellt. Dies weicht nur um 8,67 % von der tatsächlichen Brennweite von $f_{\text{theo}} = 0,150 \text{ m}$ ab. Beim Bestimmen der Brennweite als Schnittpunkt der Gerade wurde diese zu

$$f_{\text{Sch}} = 0,16 \text{ m}$$

bestimmt. Die Werte der Brennweiten unterscheiden sich bei den beiden Verfahren lediglich um 1,87 % bzw. um 1,84 %.

Bei der Verifizierung der Brennweite mittels der Methode nach Bessel, wurde diese zu

$$f = (0,1621 \pm 0,0003) \text{ m}$$

bestimmt. Diese weicht um 8,06 % von der tatsächlichen Brennweite ab. Generell können all diese Abweichungen durch ein möglicherweise falsch angesetztes Augenmaß zur Bestimmung, ob das Bild scharf ist, erklärt werden. Weiter wurden die Brennweite der Linse für rotes und blaues Licht bestimmt. Es ergaben sich die Brennweiten

$$\begin{aligned}
f_{\text{rot}} &= (0,1639 \pm 0,0006) \text{ m}, \\
f_{\text{blau}} &= (0,1627 \pm 0,0001) \text{ m}.
\end{aligned}$$

Diese liegen sehr nah zusammen und weichen fast gar nicht voneinander ab.

Bei der Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems nach der Methode nach Abbe ergeben sich zwei Werte f_1 und f_2 für die Brennweiten, aus denen ein Mittelwert gebildet wurde:

$$f = (0,180 \pm 0,060) \text{ m.}$$

Dieses Ergebnis liegt im erwarteten Bereich von ungefähr 0,200 m, da ein sehr kleiner Abstand zwischen den beiden Linsen gewählt wurde und die Brechkräfte sich dann aufaddieren.