

Versuch zum Einführungspraktikum Dünne Linsen

Tammo Rukat
Mtrknr.: 528345
MB Physik/Mathematik
Humboldt-Universität zu Berlin

05.02.2008

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung	2
2	Messwerte und Auswertung	2
2.1	Bestimmung der Brennweite von Sammellinsen nach der Abbildungsgleichung	2
2.2	Bestimmung der Brennweite der Sammellinsen nach der Methode von Bessel	3
2.3	Bestimmung der Brennweiten der Linsenkombinationen nach der Besselmethode	5
2.4	Vergleich der Messungen der Linsenkombinationen mit denen der Einzellinsen und Berechnung der Brennweite der Zerstreuungslinse	6
3	Vergleich der Genauigkeit der Bestimmungsmethoden der Brennweiten	7
4	Anlage	8

1 Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung

Im folgenden wollen wir mithilfe verschiedener Methoden die Brennweiten verschiedener Linsen unter Berücksichtigung der jeweiligen Messfehler bestimmen und die Ergebnisse diskutieren. Detaillierte Beschreibungen zum rechnerischen Vorgehen und zu den physikalischen Voraussetzungen sind dem Heft zum Einführungspraktikum zu entnehmen.

2 Messwerte und Auswertung

2.1 Bestimmung der Brennweite von Sammellinsen nach der Abbildungsgleichung

Für die folgende Brennweitenbestimmung wollen wir uns die Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

zunutze machen und die über die zu messende Gegenstandsweite (g) und Bildweite (b) die Brennweite (f) bestimmen. Beim ablesen der jeweiligen Entfernungen nehmen wir konstant einen absoluten Messfehler von $\pm 0,5\text{cm}$ an. Wir führen für jede der drei zu bestimmenden Linsen zehn Messungen durch und bilden, setzen die Messwerte in die angegebene Formel ein und bilden den Mittelwert.

Abstand [cm]	$g[\text{cm}] \pm 0,5\text{cm}$	$b[\text{cm}] \pm 0,5\text{cm}$	$f[\text{cm}^{-1}] \pm 0,33\text{cm}^{-1}$
80	30,5	49,5	18,87
90	26,8	63,2	18,82
100	25,2	74,8	18,85
110	24,2	85,8	18,88
120	23,3	96,7	18,78
130	22,9	107,1	18,87
			Mittelwert $(18.85 \pm 0,33)\text{cm}^{-1}$

Tabelle 1: Linse 2/4

Abstand [cm]	$g[cm] \pm 0,5cm$	$b[cm] \pm 0,5cm$	$f[cm^{-1}] \pm 0,33cm^{-1}$
80	10,8	69,2	9,34
90	10,5	79,5	9,28
100	10,4	89,6	9,32
110	10,3	99,7	9,34
120	10,1	109,9	9,25
130	10,0	120,0	9,23
			Mittelwert $(9.29 \pm 0,33)cm^{-1}$

Tabelle 2: Linse 2/1

Abstand [cm]	$g[cm] \pm 0,5cm$	$b[cm] \pm 0,5cm$	$f[cm^{-1}] \pm 0,33cm^{-1}$
80	13,8	66,2	11,42
90	13,5	76,5	11,48
100	13,1	86,9	11,38
110	13,0	97,0	11,46
120	12,8	107,2	11,43
130	12,5	117,5	11,30
			Mittelwert $(11.41 \pm 0,33)cm^{-1}$

Tabelle 3: Linse 2/2

2.2 Bestimmung der Brennweite der Sammellinsen nach der Methode von Bessel

Bei der Methode nach Bessel wird jeweils der Abstand zwischen den beiden Punkten gemessen, die ein scharfes Bild ergeben. Die Brennweite ermitteln wir nun über die Formel

$$f = \frac{l^2 - e^2}{4l}$$

wobei l die Gesamtstrecke zwischen Lichtquelle und Projektionsfläche, und e der oben erwähnte Abstand. Erneut rechnen wir mit einem Messfehler von $\pm 0,5cm$. Für die einzelnen Linsen erhalten wir:

l [cm] $\pm 0,5cm$	e [cm] $\pm 0,5cm$
100	48,8
105	55,5
110	61,0
115	67,0
120	72,2
125	77,3
130	83,9
135	89,4
140	94,6
145	98,1

Tabelle 4: Linse 2/4

l [cm] $\pm 0,5cm$	e [cm] $\pm 0,5cm$
100	78
105	83,5
110	88,5
115	93,5
120	98,5
125	103,5
130	108,5
135	113,5
140	118,4
145	123,7

Tabelle 5: Linse 2/1

l [cm] $\pm 0,5cm$	e [cm] $\pm 0,5cm$
100	73,6
105	79,0
110	85,0
115	89,3
120	94,4
125	99,4
130	104,7
135	109,8
140	114,9
145	120,1

Tabelle 6: Linse 2/2

Wir ermitteln mit der angegebenen Formel jeweils die Brennweiten f , und erhalten als Mittelwerte für die einzelnen Linsen:

- Linse 2/1: $(11.95 \pm 1)cm^{-1}$
- Linse 2/2: $(14.46 \pm 1)cm^{-1}$
- Linse 2/4: $(31.99 \pm 1)cm^{-1}$

2.3 Bestimmung der Brennweiten der Linsencombinationen nach der Besselmethode

Wir ermitteln nun die Brennweiten dreier Linsencombinationen die aus jeweils einer der oben bereits verwendeten Linsen und einer Zerstreuungslinse bestehen und verwenden dabei erneut die Besselmethode. Als Messwerte erhalten wir:

l [cm] $\pm 0,5cm$	e [cm] $\pm 0,5cm$	f [cm] $\pm 1cm$
80	42,2	14,43
85	55,7	12,13
90	61	12,16
95	66,2	12,22
100	70,7	12,50
105	76,7	12,24
110	81,9	12,26
115	87,3	12,18
120	92,1	12,33

Tabelle 7: Linse 2/1 und Zerstreuungslinse

l [cm] $\pm 0,5cm$	e [cm] $\pm 0,5cm$	f [cm] $\pm 1cm$
80	40,1	14,97
85	39,6	16,64
90	52	14,99
95	57,5	15,05
100	63,3	14,98
105	68,7	15,01
110	74,1	15,02
115	79,6	14,98
120	84,9	14,98

Tabelle 8: Linse 2/2 und Zerstreuungslinse

l [cm] $\pm 0,5cm$	e [cm] $\pm 0,5cm$	f [cm] $\pm 1cm$
150	16,7	37,04
154	27,8	37,25
158	38,1	37,20
162	45,4	37,32
166	52,6	37,33
170	58,8	37,42
174	65,4	37,35
178	72,2	37,18
182	77,5	37,25

Tabelle 9: Linse 2/4 und Zerstreuungslinse

Als Mittelwerte erhalten wir

- Linse 2/1 und Zerstreuungslinse: $(12.49 \pm 1)cm^{-1}$
- Linse 2/2 und Zerstreuungslinse: $(15.18 \pm 1)cm^{-1}$
- Linse 2/4 und Zerstreuungslinse: $(37.26 \pm 1)cm^{-1}$

2.4 Vergleich der Messungen der Linsenkombinationen mit denen der Einzellinsen und Berechnung der Brennweite der Zerstreuungslinse

Allgemein lässt sich erkennen, dass die Brennweiten der einzelnen Linsen denen der Linsenkombinationen sehr ähnlich sind. Die Zerstreuungslinse scheint also nur einen geringen Einfluss auf den Gesamtbrennpunkt zu haben.

Zwischen den einzelnen Brennpunkten der Linsen und dem Gesamtbrennpunkt besteht der Zusammenhang

$$f_{ges} = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

wobei d der Abstand zwischen den beiden Linsen ist, der in unserem Versuch 5cm beträgt. Wir ermitteln nun aus der ermittelten Brennweite der jeweiligen Einzellinse (f_1) und ihrer Gesamtbrennweite mit der Zerstreuungslinse (f_{ges}) die Brennweite der Zerstreuungslinse (f_2). Umstellen der angegebenen Formel nach f_2 :

$$\Rightarrow f_2 = \frac{f_{ges}(f_1 - d)}{f_1 - f_{ges}}$$

Alle Elemente der Gleichung sind Fehlerbehaftet. Die Brennweiten jeweils um $\pm 1cm$, der Linsenabstand ist nicht genauer als auf $\pm 0,5cm$ zu bestimmen. Der resultierende Messfehler für f_2 ist sehr groß. Wir schätzen ihn lediglich ab, auf etwa $80cm^{-1}$

- Aus der Messung mit Linse 2/1: $\Rightarrow f_2 = (-160,8 \pm 80)cm^{-1}$
- Aus der Messung mit Linse 2/2: $\Rightarrow f_2 = (-199,5 \pm 80)cm^{-1}$
- Aus der Messung mit Linse 2/4: $\Rightarrow f_2 = (-190,8 \pm 80)cm^{-1}$
- Als Mittelwert erhalten wir: $f_2 = (183,8 \pm 80)cm^{-1}$

3 Vergleich der Genauigkeit der Bestimmungsmethoden der Brennweiten

Zu Beginn dieses Abschnitts wollen wir alle ermittelten Werte noch einmal tabellarisch darstellen (alle in cm^{-1})

Brennweite nach...	Linse 2/1	Linse 2/2	Linse 2/4
...Abbildungsmethode	$9.29 \pm 0,33$	$11,41 \pm 0,33$	$18.845 \pm 0,33$
...Bessel	11.95 ± 1	14.46 ± 1	31.99 ± 1
...Bessel im Linsensystem	12.49 ± 1	15.18 ± 1	37.26 ± 1
...Bessel result. (Zerstlinse.)	$-160,8 \pm 80$	$-199,5 \pm 80$	$-190,8 \pm 80$

Tabelle 10: Überblick über die ermittelten Brennweiten

Hier wird nochmal deutlich, dass der Messwert für Linse 2/4 bei den verschiedenen Methoden eine Abweichung von beinahe 100% hat. Dies ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf einen systematischen Messfehler zurückzuführen, weshalb wir dem Wert in der weiteren Auswertung kein Gewicht geben.

Des weiteren ist zur Messungenauigkeit zu sagen, dass die Messung nach der Abbildungsmethode eine höhere Genauigkeit ermöglicht. Hier sind (1) nur zwei Messungen notwendig (bei der Besselmethode 3) und (2) die mit Unsicherheiten belasteten Werte gehen nur additiv in das Ergebnis ein (nicht multiplikativ wie bei der Besselmethode). Aus zweifacher Anwendung der Besselmethode (wie in 2.4. geschehen) die Brennweite der Zerstreuungslinse zu ermitteln ist nur mit sehr großer Unsicherheit möglich. Hier wären weitere Messungen und ein Vergleich mit der Abbildungsmethode zweckmäßig.

4 Anlage

Verwendete Software:

- QtiPlot 0.9.6.2
- MikeTex 2.7
- TeXnicCenter 1.0
- OpenOffice 2.0

Weitere Anlage:

- Protokoll der Versuchsdaten

Anmerkung: In den Vorlesungen zum Praktikum wurden die Vorgehensweisen bei der Ermittlung von Fehlerfortpflanzung noch nicht behandelt, weshalb diese im vorliegenden Protokoll lediglich abgeschätzt wurden.