

Versuch 408 - Geometrische Optik

**TU Dortmund, Fakultät Physik
Anfänger-Praktikum**

Jan Adam

jan.adam@tu-dortmund.de

Dimitrios Skodras

dimitrios.skodras@tu-dortmund.de

08.Januar 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theorie	1
2.1	Linsen - Arten und Eigenschaften	1
2.2	Abbildungsfehler - sphärisch und chromatisch	2
3	Durchführung	3
3.1	Versuchsaufbau	3
3.2	Messung von Gegenstandsweite und Bildweite	3
3.3	Methode von Bessel	4
3.4	Methode von Abbe	5
4	Auswertung	6
5	Diskussion	8

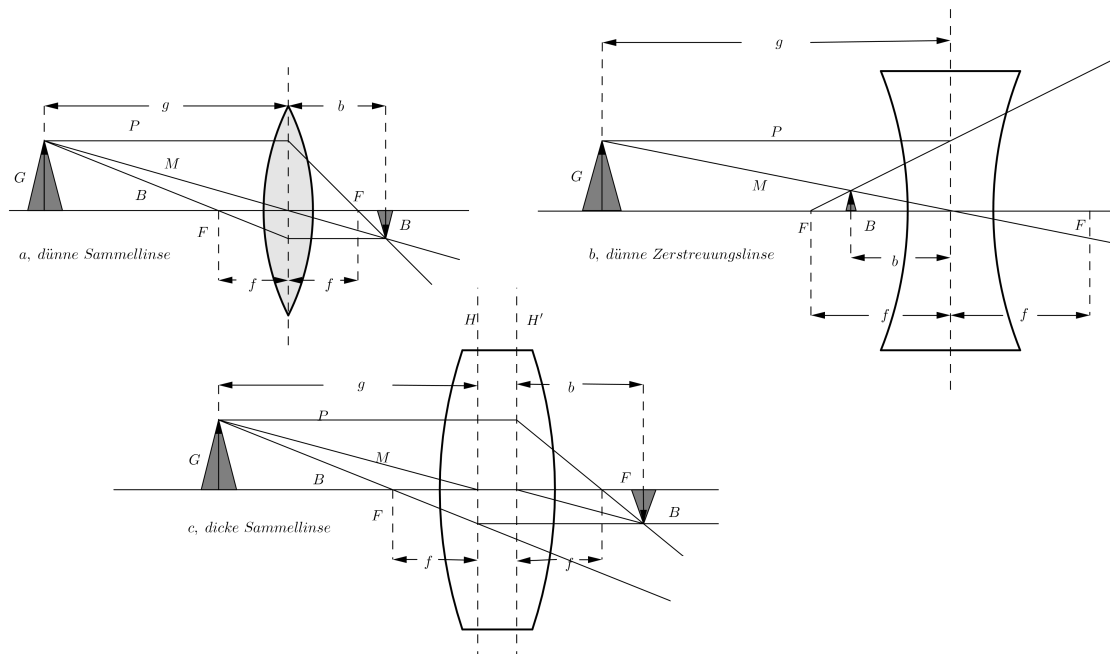
1 Einleitung

Die geometrische Optik ist als Grenzfall der Wellenoptik ein Bereich der Physik, welcher sich des Strahlenmodells des Lichts bedient und den Weg des Lichts auf ausschließlich geometrische Art und Weise formuliert. Neben der Verifizierung des Abbildungsgesetzes und der Linsengleichung, werden im Zuge des Experiments die Methoden von Bessel bzw. Abbe verwandt, um die Brennweite einer Sammellinse oder eines Linsensystems zu bestimmen.

2 Theorie

2.1 Linsen - Arten und Eigenschaften

Kernstück der geometrischen Optik sind die Linsen, welche grundsätzlich aus optisch dichterem Material als Luft bestehen. Nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz wird Licht an der Grenzfläche solcher Materialien verschiedener optischer Dichte gebrochen. Wie das Licht gebrochen wird, hängt vom Winkel des einfallenden Strahls ab. So unterscheidet man zwischen Sammellinsen und Streulinsen.



Abbildungung 1: Bildkonstruktionen: a, dünne Sammellinse - b, dünne Streulinse - c, dicke Sammellinse

Charakterisiert sind Linsen durch ihre Brennweite f . sie ist die Distanz von der Mittelachse der Linse, in der paralleles Licht von einer Sammellinse in einem Punkt, dem Brennpunkt, gebündelt wird. Wenn die Brennweite, sowie die Bildweite b positiv sind, entsteht ein reelles Bild (a.). Sind sie negativ, entsteht ein virtuelles Bild (b.). Die beiden

Bildkonstruktionen in 1 für dünne Linsen sind durch die Reduktion der Brechung an der Mittelebene realisierbar. Hingegen bei dicken Linsen ist dies nicht durchführbar. Daher werden die Hauptebenen H und H' hergenommen, an denen die Brechung geschieht. Zur Konstruktion werden der Parallelstrahl P , der Mittelpunktstrahl M , sowie der Brennstrahl B zu Hilfe genommen. Aus diesen Konstruktionen leitet sich das Abbildungsgesetz ab

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

V = Abbildungsmaßstab, B = Bildhöhe, G = Gegenstandshöhe, g = Gegenstandsweite

Hieraus ergibt sich für dünne Linsen die Linsengleichung zu

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

Bei dicken Linsen werden zur Erhaltung der Gültigkeit der Linsengleichung die Brennweite, die Gegenstandsweite, sowie die Bildweite zur jeweiligen Hauptebene bestimmt.

2.2 Abbildungsfehler - sphärisch und chromatisch

Die Annäherung der Reduktion auf die Mittelebene bzw. die Hauptebenen ist für sich nur für achsennahe Strahlen zulässig. So kommt es bei achsenfernen Strahlen zu Abbildungsfehlern, oder Aberrationen, was zur Folge hat, dass das Objekt nicht scharf abgebildet werden kann. Bei sphärischen Aberrationen kommt es dazu, dass der Brennpunkt achsenferner Strahlen näher an der Linsenachse liegt, als jener der achsennahen. Somit laufen sie nicht alle im selben Punkt zusammen.

Chromatische Aberration ist ebenfalls ein Nichtzusammentreffen verschiedener Strahlen. Hierbei werden die verschiedenen Wellenlängen λ verschieden stark am Linsenmaterial gebrochen, was auf einen wellenlängeabhängigen Brechungsindex zurückzuführen ist. Diese Erscheinung wird Dispersion genannt.

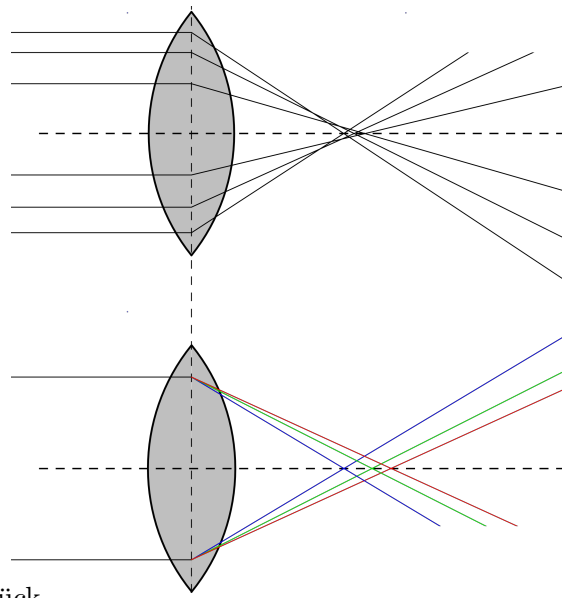


Abbildung 2: sphärische (oben) und chromatische (unten) Aberration

3 Durchführung

3.1 Versuchsaufbau

Das vorliegende Experiment benutzt die Gesetze der geometrischen Optik. Maßgeblich für Untersuchungen in diesem Bereich ist eine Lichtquelle, ein abzubildendes Objekt (Perl L), sowie ein optisches Element, welches den Strahlengang beeinflusst und schließlich ein Schirm zur Visualisierung. Die genannten Bauteile sind in Abbildung 3 dargestellt. Das optische Element und der Schirm sind auf der optischen Bank mittels Reitern verschiebbar.

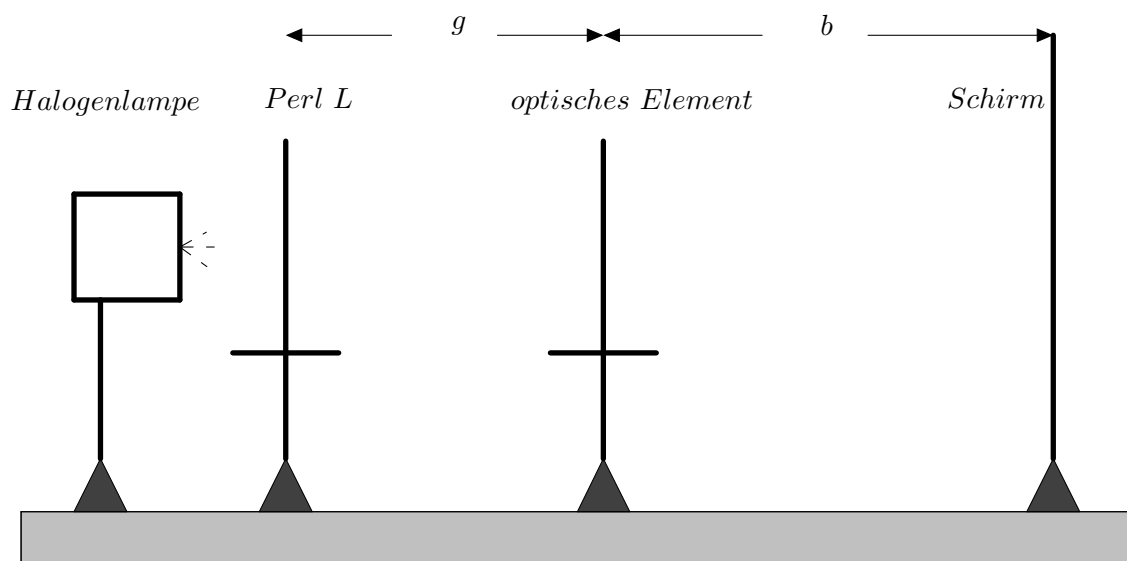


Abbildung 3: Versuchsaufbau mit verschiebbarem optischem Element und Schirm

3.2 Bestimmung der Brennweite durch Messung der Gegenstandsweite und Bildweite

Im ersten Versuchsteil ist das optische Element eine Sammellinse bekannter Brennweite f . Nachdem die Gegenstandsweite g eingestellt ist, wird der Schirm entsprechend verschoben, sodass das entstehende Bild scharf ist. Die Distanz vom Schirm zur Linse ist die Bildweite b . Die Linsengleichung (2) soll verifiziert werden. Die Messungen werden anschließend für eine Linse unbekannter Brennweite wiederholt.

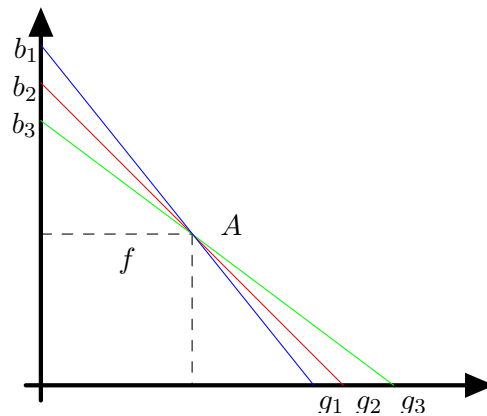


Abbildung 4: Die Präzision der Geraden durch A ist ein Maß für die Messgenauigkeit.

3.3 Bestimmung der Brennweite einer Linse nach der Methode von Bessel

Bei der Methode von Bessel handelt es sich um ein Verfahren der Brennweitenermittlung mittels Fixierung des Gegenstand-Schirm-Abstandes. Innerhalb dieser Strecke werden zwei Linsenpositionen gesucht, bei denen das Bild scharf abgebildet wird. Es handelt sich bei den beiden Positionen um eine symmetrische Anordnung, sodass folgende Relation gilt

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

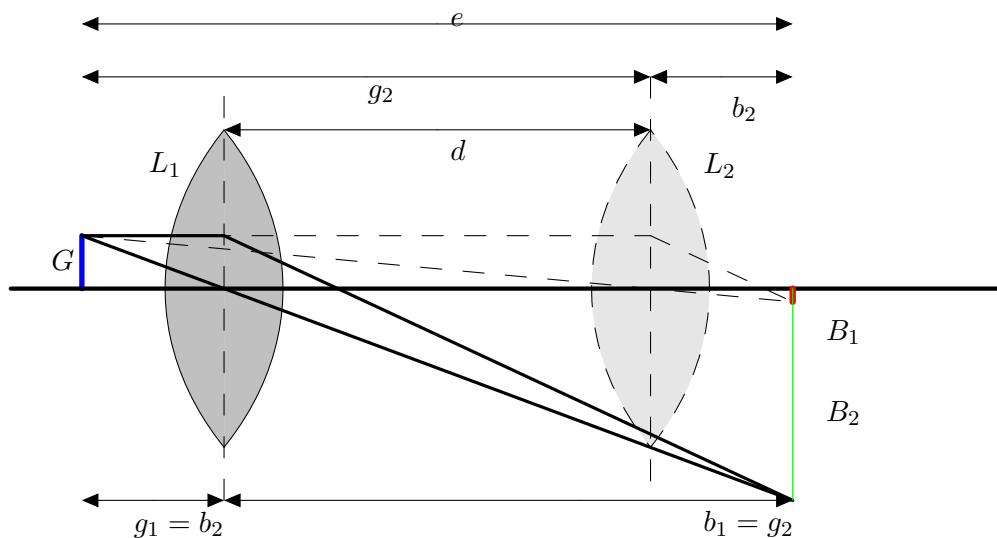


Abbildung 5: Zwei verschiedene Linsenstellungen mit je einem scharfen vergrößerten bzw. verkleinertem Abbild

Wie zuvor gesagt, werden die beiden Konfigurationen bei festem Gegenstand-Schirm-Abstand gesucht und für mehrere Distanzen wiederholt. Zur Ermittlung der Brennweite werden die Hilfsgrößen $e = g_1 + b_1$ und $d = g_1 - b_1$ eingeführt und wie folgt benutzt

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

Zusätzlich wird in diesem Versuchsteil die chromatische Abberation untersucht, indem ein Rot- bzw. Blaufilter zwischen Lampe und Objekt gehalten wird und nur die entsprechende Farbe zur Bildkonstruktion beiträgt.

3.4 Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems nach der Methode von Abbe

Die Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems wird nach der Methode von Abbe die Lage der Hauptebenen durch den Abbildungsmaßstab V ermittelt. g und b werden zu den jeweiligen Hauptebenen gemessen. Die Lage der Hauptebenen H und H' ist nicht bekannt. Ein frei wählbarer, im Linsensystem fixierter Punkt A wird verwandt, um die Gegenstandsweite g' und die Bildweite b' leicht abzulesen. Es gelten folgende in Abbildung ?? nachvollziehbare Relationen:

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

$$b' = b + h' = f \cdot (1 + V) + h' \quad (6)$$

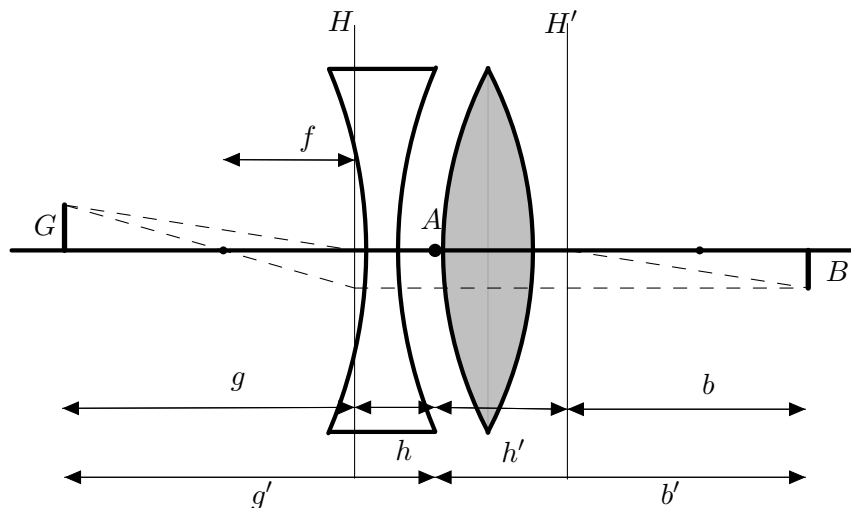


Abbildung 6: Das Linsensystem mit einer Streulinse und einer Sammellinse

4 Auswertung

Zunächst soll die Gültigkeit von Gleichung(1) und Gleichung(2) verifiziert werden. Dazu werden die Messwerte für die Gegenstandshöhe G , die Bildhöhe B , die Gegenstandsweite g und die Bildweite b aus der folgenden Tabelle entnommen und in die entsprechende Formel eingesetzt.

$V1$ und $V2$ sind die nach Gleichung (1) errechneten Längenverhältnisse von B zu G bzw. b zu g . Die Werte in f sind wiederum die errechneten Brennweiten in mm nach Gleichung (2)

G	g	b	B	V1	V2	f
3.0	11.7	65.1	16.3	5.43	5.59	98.82
3.0	13.0	40.9	9.0	3.00	3.14	98.63
3.0	14.0	33.8	7.0	2.33	2.41	99.00
3.0	15.0	28.9	5.5	1.83	1.92	98.69
3.0	16.0	25.3	4.6	1.53	1.58	98.01
3.0	17.0	23.3	3.9	1.30	1.37	98.29
3.0	18.0	21.6	3.3	1.10	1.20	98.08
3.0	19.0	20.1	3.1	1.02	1.06	97.67
3.0	20.0	19.0	2.9	0.97	0.95	97.44
3.0	21.0	18.2	2.6	0.87	0.86	97.36

Tabelle 1: Messwerte für Linse mit Brennweite $f=100$ mm

Anschließende Ausgleichs- und Fehlerrechnung ergeben schließlich als Brennweite der Linse:

$$97.7mm \pm 0.45mm$$

Dies entspricht einer Abweichung von 2,34% von den Herstellerangaben.

Die beiden Abbildungsverhältnisse $V1$ und $V2$ haben im Mittel eine Abweichung von 3,8% zueinander.

Für die unbekannte Linse ergibt sich nach Auswertung der Messwerte eine Brennweite von

$$259.0mm \pm 2.09mm$$

Nach Bessel lässt sich die Brennweite einer Linse ebenfalls nach Gleichung (4). Untersucht wird zudem, inwieweit Licht verschiedener Wellenlängen unterschiedlich stark gebrochen wird.

In folgender Tabelle stehen die gemessenen Werte für den Abstand d zwischen den beiden Linsenpositionen und für den Abstand e zwischen Gegenstand und Schirm, sowie die jeweiligen errechneten Brennweiten:

Für blaues Licht zeigt die Linse ein Brechungsverhalten wie bei einer Linse mit einer

g	b	f
10.0	41.0	267.71
10.5	34.6	263.11
11.0	29.8	259.64
11.5	26.7	258.00
12.0	25.2	258.46
12.5	22.7	257.29
13.0	21.7	258.24
13.5	20.1	258.32
14.0	19.0	259.07
15.0	18.2	262.76

Tabelle 2: Messwerte für Linse unbekannter Brennweite

45.0	16.5	97.47
50.0	23.4	97.62
55.0	29.7	97.41
60.0	35.3	98.23
65.0	41.1	97.69

Tabelle 3: Werte für blaues Licht (100 mm)

Brennweite von:

$$97.7mm \pm 0.323mm$$

45.0	15.8	98.63
50.0	23.2	98.20
55.0	29.5	98.08
60.0	35.3	98.23
65.0	40.8	98.48

Tabelle 4: Werte für rotes Licht (100 mm)

Für rotes Licht zeigt die Linse ein Brechungsverhalten wie bei einer Linse mit einer Brennweite von:

$$98.3mm \pm 0.22mm$$

Nach Abbe:

$$b' : f = 20,2mm \pm 0,54mm$$

$$g' : f = 18,4mm \pm 0,87mm$$

5 Diskussion