

Aberrationen

Sven Verpoort und Ulrich Wittrock

Fachhochschule Münster, Labor für Photonik, Praktikum Technische Optik

Stand: 31.10.2019 Version: 13

In diesem Versuch werden Sie die Aberrationen kennen lernen. Im Fall der chromatischen und der sphärischen Aberration werden Sie deren Auswirkung quantitativ mittels einer Brennweitenmessung untersuchen.

1. Einführung

Für achsenferne Strahlen sowie für Strahlen die nicht symmetrisch durch ein optisches Element laufen, ist die Paraxialnäherung nicht mehr gut erfüllt. Der Grund ist, dass die Näherung des Sinus durch sein Argument, d.h. $\sin \alpha = \alpha$, für das Brechungsgesetz bei großen Einfallswinkel ($>10^\circ$) nicht mehr gerechtfertigt ist. Bei der Abbildung durch eine Linse bedeutet dies, dass ein Punkt der Gegenstandsebene nicht mehr scharf, sondern unscharf in die Bildebene abgebildet wird. Neben diesen monochromatischen Aberrationen gibt es auch noch chromatische Aberrationen.

Vorbereitung

- Erläutern Sie kurz die chromatische Aberration und die monochromatischen Aberrationen 3. Ordnung. Machen Sie jeweils eine kleine Skizze. [1-4]
- Wie wachsen die monochromatischen Aberrationen mit zunehmendem Feldwinkel und zunehmendem Durchmesser der Aperturblende (Tabelle aus der Vorlesung)?
- Wie können die Aberrationen minimiert werden?
- Wie lautet die Linsenmacherformel und welche Größen enthält sie?

2. Bestimmung der Brennweite

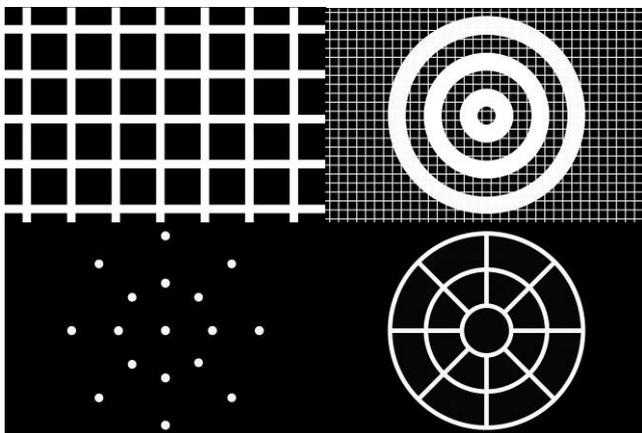


Abb. 1: Dias zum Nachweis der verschiedenen Aberrationen. Grob-Raster (l.o.), mm-Raster mit Zonen (r.o.), Löcherkranz (l.u.), Speichenrad (r.u.).

Um die Auswirkung der Aberrationen in der Bildebene quantitativ zu erfassen, werden Sie in diesem Versuch Brennweiten von dünnen Linsen bestimmen. Nutzen Sie hierfür die Abbildungsgleichung:

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (1)$$

Gemessen werden die Gegenstandsweite s und die Bildweite s' . Daraus lässt sich f bestimmen.

3. Versuchsdurchführung

3.1 *Justage* – Justieren Sie eine Experimentierleuchte mit Streuscheibe, ein Dia und eine 75 mm-Linse auf eine gemeinsame optische Achse und bilden Sie das Dia auf einen Schirm ab. Achten Sie darauf, dass alle optischen Komponenten senkrecht zur optischen Achse stehen. Nutzen Sie für den Abstand von der Linse zum Dia ungefähr $s = -90$ mm.

3.2 *Chromatische Aberration* – Bestimmen Sie die Brennweite einer dünnen Plankonvexlinse ($f \approx 83$ mm) für drei verschiedene Farben. Nutzen Sie für den Abstand von der Linse zum Dia ungefähr $s = -100$ mm. Es stehen Ihnen 5 verschiedene Farbfilter zur Verfügung (drei Kantenfilter und zwei Bandfilter). Kombinieren Sie jeweils zwei davon, um drei Bandpassfilter mit Maxima bei etwa 400, 500 und 600 nm zu erzeugen (siehe Abb. 2). Messen Sie für die drei Farben jeweils die Brennweite der dünnen Linse aus, indem Sie ein Dia scharf abbilden. Um die Genauigkeit zu erhöhen, wiederholen Sie jede Messung 5 Mal. Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse. Entsprechen sie Ihren Erwartungen? Führen Sie eine Messung der Brennweite auch ohne Farbfilter mit weißem Licht durch.

3.3 *Sphärische Aberration* – Verwenden Sie denselben Aufbau wie in 3.2 (hier wieder die 75 mm-Linse benutzen) aber mit rotem Licht, um nicht gleichzeitig den Farbfehler zu vermessen. Stellen Sie eine Kreisblende (Metallplatte mit Loch) direkt vor die Linse. Bilden Sie die Mitte des Speichenrads (Abb. 1) scharf ab (5 Wiederholungen).

Tauschen Sie die Kreisblende gegen eine Ringblende und wiederholen Sie den Versuch. Entsprechen die

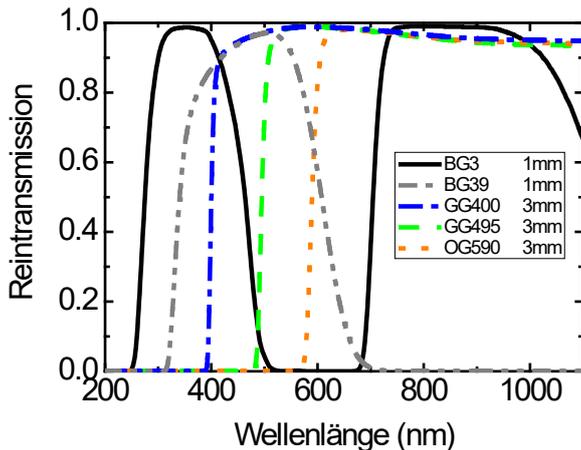


Abb. 2: Reintransmissionsgrad für verschiedene Filter als Funktion der Wellenlänge. Daten aus Ref. [5].

Ergebnisse Ihren Erwartungen? Entfernen Sie schließlich die Blende und vergleichen Sie die Qualität der Abbildung mit und ohne Blende. Wiederholen Sie den gesamten Versuch mit umgedrehter Linse.

3.4 *Koma* – Verwenden Sie den Aufbau aus 3.3, aber ohne Farbfilter und Blenden. Tauschen Sie das Speichenrad gegen den Löcherkranz aus (Abb. 1). Stellen Sie auf das mittlere Loch scharf. Dokumentieren Sie Ihre Beobachtungen mit einer Digitalkamera. Was würden Sie beobachten, wenn es sich um reines Koma handeln würde?

3.5 *Bildfeldwölbung* – Nutzen Sie den Aufbau aus 3.4. Tauschen Sie den Löcherkranz gegen das mm-Raster mit Zonen aus (Abb. 1). Stellen Sie zunächst auf das Raster der innersten Zone scharf. Notieren Sie die Schirmposition. Danach bilden Sie die anderen Zonen scharf ab und notieren erneut die Positionen. Hat Ihr Bildfeld eine konkave oder konvexe Wölbung? Dokumentieren Sie die Messungen mit einer Digitalkamera.

3.6 *Verzeichnung* – Nutzen Sie den Aufbau aus 3.5 (75 mm-Linse). Tauschen Sie das Millimeter-Raster mit Zonen gegen das Grob-Raster (Abb.1). Stellen Sie eine Kreisblende direkt vor die Linse und bilden Sie das Dia scharf ab. Verschieben Sie nun die Blende zum Gegenstand hin und beobachten das Bild. Dokumentieren Sie die Beobachtungen mit der Digitalkamera. Wiederholen Sie den Versuch. Stellen Sie nun allerdings die Blende hinter die Linse und verschieben Sie sie zum Schirm hin.

3.7 *Astigmatismus* – Tauschen Sie das Grob-Raster gegen das Speichenrad aus. Verwenden Sie anstelle der 75-mm-Linse ein Linsenpaar bestehend aus einer 83-mm-Linse (12 dpt) und einer -1000-mm-Zylinderlinse (-1 dpt). Nutzen Sie keine Blende. Versuchen Sie auf alle Speichen gleichzeitig scharf zu stellen. Warum gelingt es Ihnen nicht? Drehen Sie die Zylinderlinse. Was beobachten Sie? Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse mit einer Digitalkamera.

4. Protokoll und Versuchsauswertung

4.1 *Theorieteil* – Die Vorbereitungskästen bilden den Theorieteil Ihres Protokolls.

4.2 *Versuchsaufbau und Durchführung* – Skizzieren Sie den Aufbau mit allen verwendeten Komponenten zu den einzelnen Versuchsteilen. Dokumentieren Sie das Vorgehen zu den einzelnen Messaufgaben nur stichpunktartig.

4.3 *Versuchsauswertung und Fehlerrechnung* – Zu 3.2: Bilden Sie jeweils den Mittelwert und die Standardabweichung der gemessenen Werte und bestimmen Sie daraus die Brennweite f und deren Fehler. Schätzen Sie daraus mit Hilfe der Linsenmacherformel die Differenz der Brechzahlen für blaues und rotes Licht ab. Lesen Sie hierzu den ungefähren Wert des Brechungsindex für blaues Licht aus der Dispersionskurve für NBK7-Glas oder BK7-Glas im Schott-Katalog ab.

Zu 3.3: Bilden Sie den Mittelwert und die Standardabweichung der gemessenen Werte und bestimmen Sie daraus die Brennweite f und deren Fehler. Wie sollte man laut Ihren Ergebnissen eine Plankonvexlinse einbauen, um die sphärische Aberration zu minimieren?

Zu 3.4-3.7: Stellen Sie die aufgenommenen Bilder dar und diskutieren Sie, inwieweit Ihre Beobachtungen mit den erwarteten Abbildungsfehlern übereinstimmen.

5. Literatur

- [1] W. Demtröder: Experimentalphysik II, Springer (2004), 3. Auflage, Kap. 9.5.6
- [2] Eichler, Kronfeldt, Sahn: Das Neue Physikalische Praktikum, Springer (2001), Kap. 33.
- [3] E. Hecht: Optik, Oldenbourg (2005), 4. Auflage, Kap. 6.3.
- [4] F. Pedrotti, L. Pedrotti, W. Bausch, H. Schmidt: Optik für Ingenieure, Springer (2002), 2. Auflage, Kap. 5.
- [5] Glaskatalog der Firma Schott.
<http://www.schott.com/>

Die Referenzen [1] und [4] stehen auf der Webseite zu diesem Versuch zum Download bereit.

6. Stückliste

Komponente	#	Firma
Blendenhalter	1	Eigenbau
Dia	4	Eigenbau
Dialhalter	2	Frederiksen/Thorlabs
Experimentierleuchte	1	Frederiksen
Farbfilter	5	Schott
Kreisblenden, $\varnothing = 6, 10$ mm	2	Eigenbau
Linse, $f = 75.00$ mm	1	Thorlabs
Linse, $f = 83.33$ mm	1	Oculus
Linse, $f = -1000$ mm, Zylinder	1	Oculus
Linsenhalter	1	Eigenbau/Thorlabs
Linsenhalter 2*	1	Thorlabs

Maßband	1	N.N.
Optikenhalter	5	Thorlabs
Optische Schiene, 1.0 m	1	Owis
PC	1	HP
Reiter	6	Owis
Ringblenden	2	Eigenbau
Schirm	1	Eigenbau
Stange mit 90°-Klemme	1	Thorlabs
Streuscheibe	1	Thorlabs
Webcam	1	Philips
