



Technische Optik  
Praktikum Linsenfehler

Hans Herrmann      Felix Kayser      Hermann Pommerenke      Tino Steinmetz

4. Juni 2015

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Versuchsaufbau</b>	<b>3</b>
<b>3 Auswertung</b>	<b>4</b>
3.1 Sphärische Aberration . . . . .	4
3.2 Koma . . . . .	4
3.3 Astigmatismus . . . . .	4
3.4 Bildfeldwölbung . . . . .	4
3.5 Verzeichnung . . . . .	4
3.6 Chromatische Aberration . . . . .	4

## 1 Einleitung

Die Ausbreitung eines Lichtstrahls lässt sich prinzipiell durch folgende Geradengleichung beschreiben:

$$y(z) = y_1 + z \cdot \tan \Theta.$$

Für kleine Winkel gilt  $\tan \Theta \approx \Theta$  bzw.  $\sin \Theta \approx \Theta$ . Dies lässt sich leicht durch die Reihenentwicklung der Winkelfunktionen zeigen:

$$\begin{aligned}\sin \Theta &= \Theta - \frac{1}{3!} \Theta^3 + \frac{1}{5!} \Theta^5 - \dots \\ \tan \Theta &= \Theta + \frac{1}{3} \Theta^3 + \frac{2}{15} \Theta^5 + \dots\end{aligned}$$

Die Geradengleichung kann folglich für viele optische Systeme, deren Strahlen sich nahe der optischen Achse ausbreiten, durch eine paraxiale Näherung

$$y(z) = y_1 + z \cdot \Theta$$

ausgedrückt werden (Theorie 1. Ordnung).

Berücksichtigt man zusätzlich noch den 2. Summanden der Reihenentwicklung (kubische Abhängigkeit vom Winkel), ergibt sich die Theorie 3. Ordnung:

$$y(z) = y_1 + z \cdot \left( \Theta + \frac{1}{3} \Theta^3 \right)$$

Im Vergleich zur paraxialen Näherung können hierbei 6 einfache Aberrationen unterschieden werden; 5 davon sind achromatisch:

**Sphärische Aberration** bezeichnet den Abstand zwischen dem axialen Schnittpunkt eines gebrochenen Strahls und dem paraxialen Brennpunkt  $F'$  eines optischen Systems. Durch diesen Abstand, innerhalb dessen die gebrochenen Strahlen die optische Achse schneiden, lässt sich mit der betreffenden Optik keine absolut scharfe Abbildung erzeugen. Der Fehler entsteht durch die Verwendung einfach herzustellender sphärischer Linsen. Er kann vollständig vermieden werden, wenn asphärische Komponenten eingesetzt werden. Eine Linse, die keinerlei sphärische Abberation erzeugt, d.h. sämtliche achsenparallele Strahlen in  $F'$  brechen, hat eine durch ein Polynom 4. Grades beschriebene Oberfläche, die nur schwer zu fertigen ist. [Hec14, 416ff.], [FLS11, Vol. 1, 27-2ff.]

**Koma** bezeichnet einen Abbildungsfehler der bei Objektpunkten, die sich nicht auf der optischen Achse befinden, zu einem zum Außenrand der Optik gerichteten SSchweif" führt. Sie resultiert daraus, dass die Hauptebenen eines optischen Systems nur in achsennaher Umgebung ebene Flächen sind. Dadurch unterscheiden sich die Äquivalentbrennweiten und Transversalvergrößerungen für Strahlen, die die außeraxiale Bereiche einer Linse durchlaufen. [Hec14, 423ff.]

**Astigmatismus** tritt bei Objektpunkten auf, die nicht auf der optischen Achse liegen. Diese Erscheinung basiert darauf, dass sich die Geometrie der schräg auf das optische System einfallenden Strahlen in zwei senkrecht aufeinander stehende Ebenen aufteilen lässt, die unterschiedliche Brennweiten besitzen. Die Meridionalebene ist als die Ebene definiert, die sowohl den Hauptstrahl als auch die optische Achse enthält. Die Sagittalebene ist demzufolge die Ebene, die den Hauptstrahl enthält und senkrecht auf der Meridionalebene steht. Ein mit dem Astigmatismus behaftetes optisches System besitzt keine einzelnen Brennpunkt, sondern zwei senkrecht zueinander stehende Brennlinien. [Hec14, 428ff.]

**Bildfeldwölbung**

**Verzeichnung**

**chromatische Aberration**

## 2 Versuchsaufbau

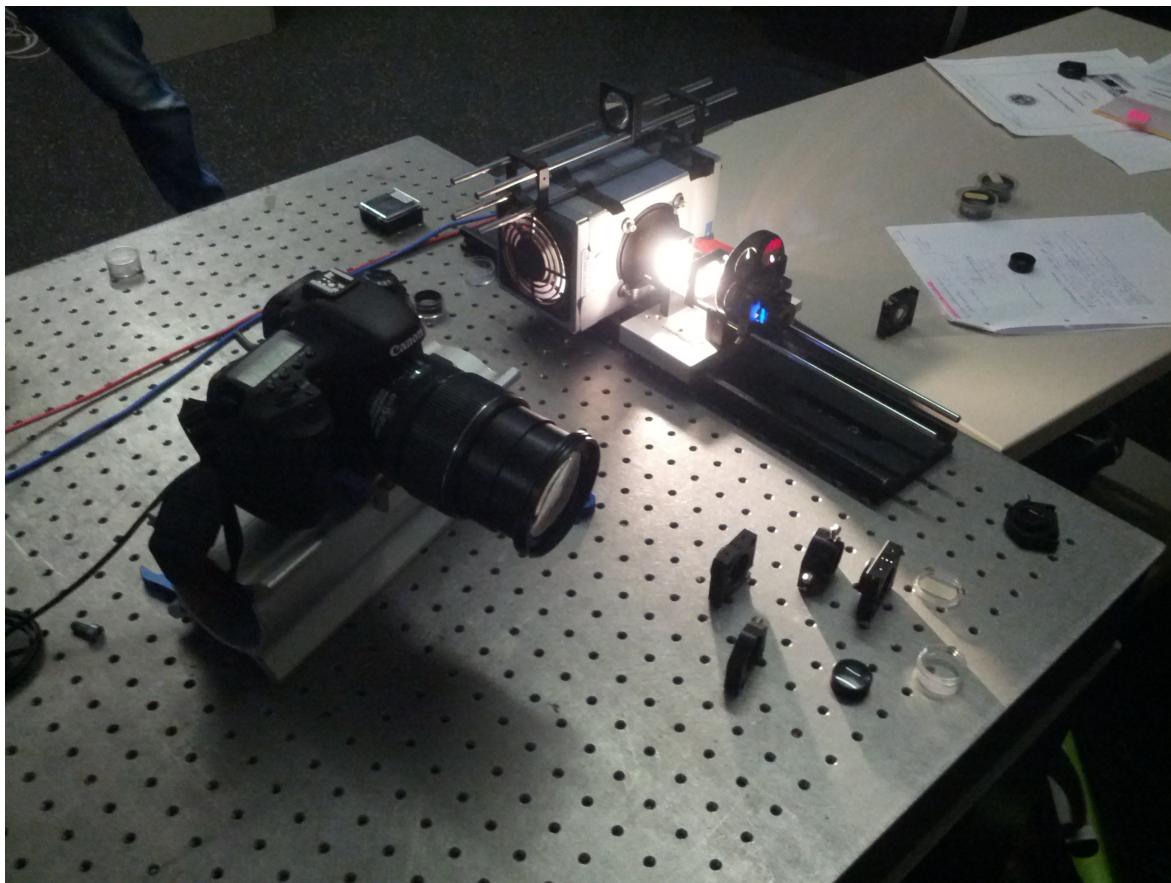


Abbildung 1: Der Versuchsaufbau

### 3 Auswertung

#### 3.1 Sphärische Aberration

#### 3.2 Koma

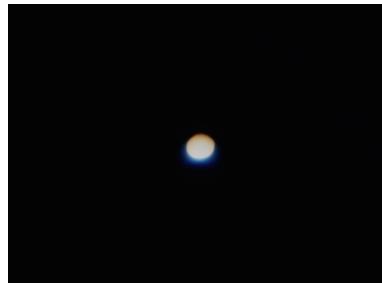


Abbildung 2: Starkes Koma am Außenrand der Linse

Abbildung 3: Schwaches Koma nahe der optischen Achse

Abbildung 4: Abbildung mit Korrektur der Koma

#### 3.3 Astigmatismus

#### 3.4 Bildfeldwölbung

#### 3.5 Verzeichnung

#### 3.6 Chromatische Aberration



Abbildung 5: Abbildung der Saggitalebene



Abbildung 6: Abbildung der Meridionalebene

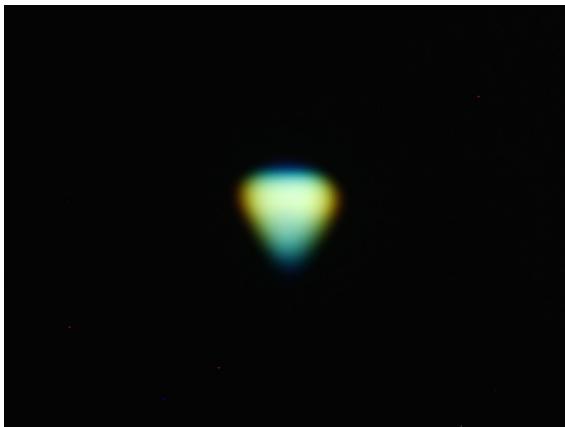


Abbildung 7: Fokus zwischen meridionaler und saggitaler Abbildung



Abbildung 8: Korrektur des Astigmatismus

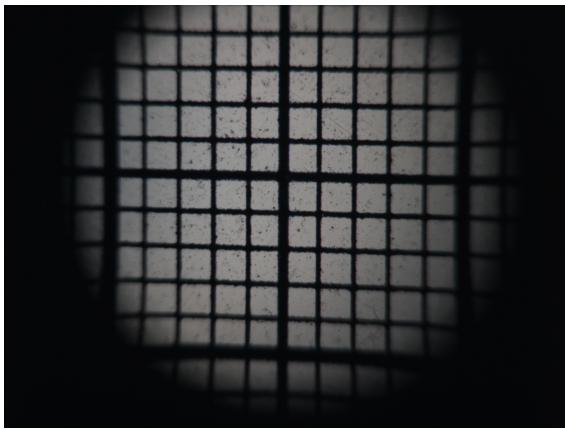


Abbildung 9: Unschärfe am Außenrand des Gitters

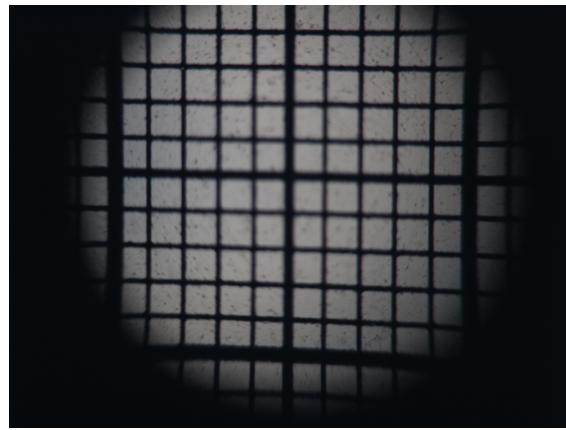


Abbildung 10: Unschärfe in der Mitte des Gitters

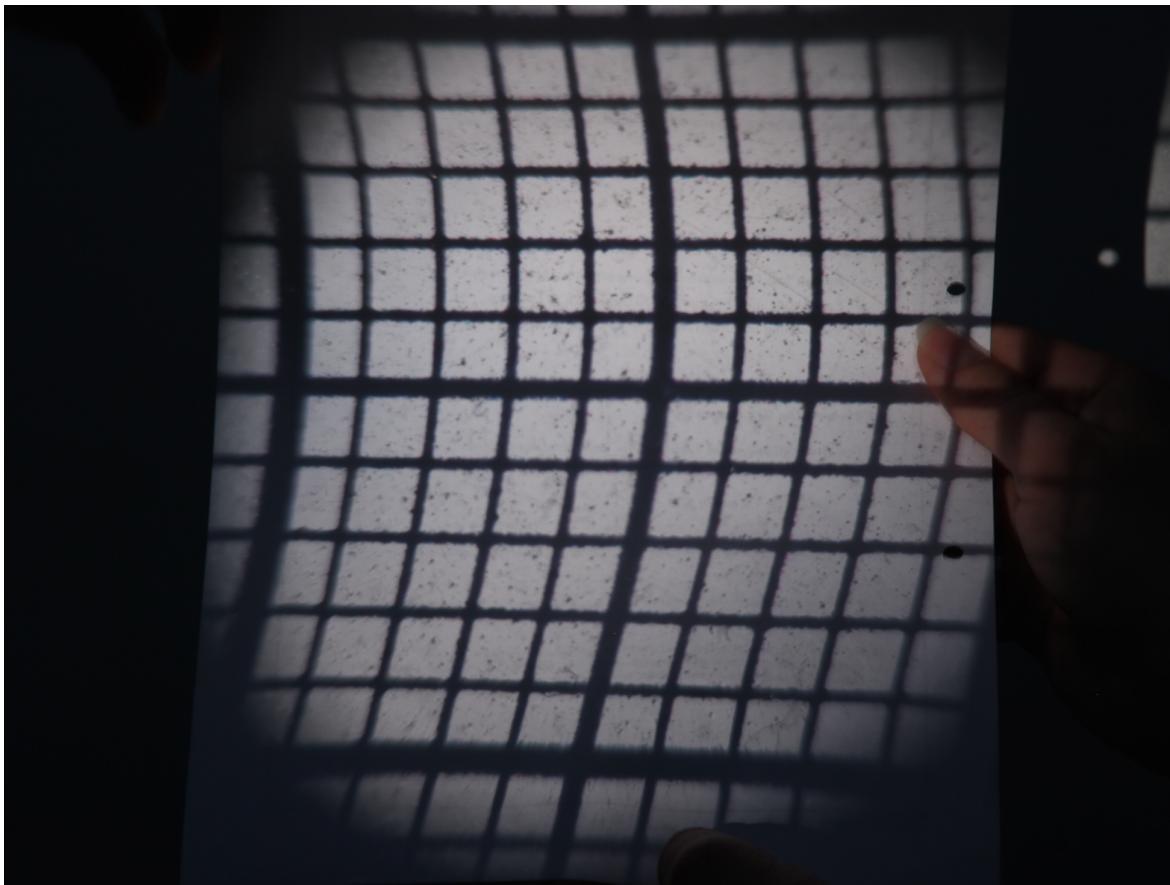


Abbildung 11: Korrektur der Bildfeldwölbung durch gekrümmten Projektionsschirm



Abbildung 12: Am Rand des Gitters erkennbare Krümmung



Abbildung 13: Korrektur der Verzeichnung

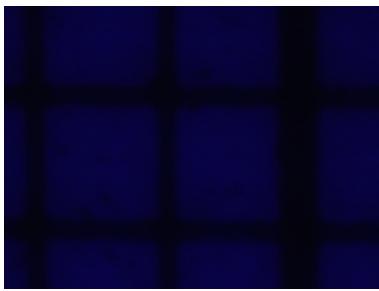


Abbildung 14: Fokussierte Abbildung der blauen Wellenlängen (gewöhnliche Linse)

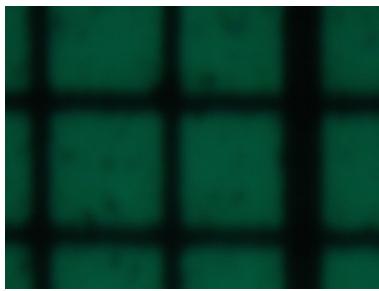


Abbildung 15: Leicht defokussierte Abbildung der grünen Wellenlängen (gewöhnliche Linse)

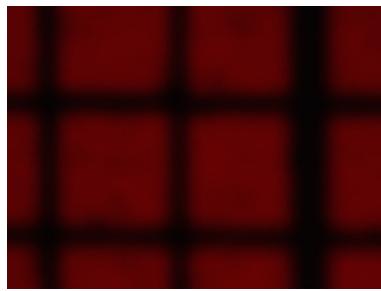


Abbildung 16: Defokussierte Abbildung der roten Wellenlängen (gewöhnliche Linse)



Abbildung 17: Fokussierte Abbildung der blauen Wellenlängen (Achromat)



Abbildung 18: Fokussierte Abbildung der grünen Wellenlängen (Achromat)

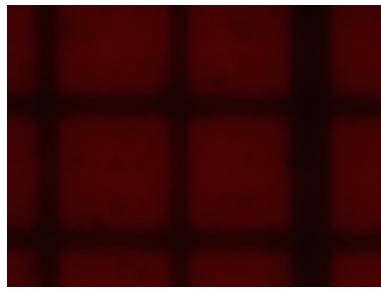


Abbildung 19: Fokussierte Abbildung der roten Wellenlängen (Achromat)

## Literatur

- [FLS11] R.P. Feynman, R.B. Leighton und M. Sands. *The Feynman Lectures on Physics: The New Millennium Edition*. Basic Books. Perseus Books Group, 2011. ISBN: 9780465023820. URL: <https://books.google.de/books?id=kz-51AEACAAJ>.
- [Hec14] E. Hecht. *Optik*. De Gruyter Studium. Oldenbourg Wissensch.Vlg, 2014. ISBN: 9783110347968. URL: <https://books.google.de/books?id=X3W8oAEACAAJ>.