



### III.

## Fehler des von einer Linse erzeugten Bildes.

---

### Kugelgestaltsfehler oder sphärische Aberration.

In den Betrachtungen über die einfache Linse geht man stets von der Voraussetzung aus, dass die auf die Linse auffallenden Strahlen mit der optischen Achse derselben einen sehr kleinen Winkel einschliessen. Daher gelten die unter dieser Voraussetzung abgeleiteten Formeln nur für Linsen mit kleiner Oeffnung. In der Praxis ist jedoch die Sache anders. Die Oeffnungen der photographischen Objective können durchaus nicht als klein angenommen werden, und noch viel weniger die auf dieselben einfallenden Strahlen als Centralstrahlen. Dadurch entstehen Fehler im Bilde der Linse, welche von der Kugelgestalt derselben herrühren, wovon man sich durch ein einfaches Experiment überzeugen kann. Man erhält planconvexe Linsen mit 20—25 cm Durchmesser käuflich, welche zu Condensatoren bei Strassenlocomotivlaternen verwendet werden. Es sind dies gegossene und daher billige Linsen. Diese eignen sich besonders zur Demonstration der Kugelgestaltsfehler. Stellt man etwa in 150 cm Entfernung vor solch einer Linse als leuchtendes Object eine brennende Kerze auf und versucht ihr Bild auf einen Schirm einzustellen, so ist dies überhaupt nicht möglich. Setzt man aber der Linse einen Carton vor, der eine runde Oeffnung von 2—3 cm Durchmesser trägt, so gelingt es, gleichgiltig, an welcher Stelle der Linse die Oeffnung zu liegen kommt, jedesmal ein deutliches Bild einzustellen, weil durch den Carton die Oeffnung der Linse bedeutend kleiner gemacht wurde. Schneidet man in einem Carton zwei Oeffnungen so aus, dass eine in die Mitte die andere an den Rand der Linse zu liegen kommt, und stellt ein, so wird man zwei ganz deutlich getrennte Bilder der Kerzen-

flamme erhalten, ein Beweis dafür, dass die Linse nur infolge der bedeutenden Krümmung fehlerhaft ist, und besonders dass Rand- und Centralstrahlen nicht dieselben Brennpunkte besitzen. Bei Linsen von geringeren Dimensionen und präciser Ausführung ist natürlich dieser Unterschied nicht so bedeutend, aber immerhin gross genug, um Unschärfen zu veranlassen.

Noch ein zweites, sehr interessantes Experiment lässt sich mit einer grossen Linse anstellen. Stellt man in ca. 3 bis 4facher Entfernung der Brennweite etwa 5 Kerzen in gerader Linie senkrecht zur Achse auf, so dass die mittlere in die Richtung der Achse fällt, und versucht auf einem Schirm scharf einzustellen, so wird man finden, dass man entweder nur die mittleren Kerzen deutlich einstellen kann, und die am Rand unscharf werden, oder dass es nur gelingt, die am Rand befindlichen mit hinreichender Schärfe einzustellen, dann aber das Bild der mittleren verschwommen ist. Stellt man die mittlere Kerze scharf ein und nähert die andere entsprechend der Linse, so erhält man fünf scharfe Flammenbilder. Die Kerzen stehen dann aber nicht mehr in gerader Linie, sondern im Bogen. Belässt man aber die Kerzen in ihrer ursprünglichen geraden Richtung und krümmt den Schirm entsprechend concav zur Linse, so erhält man ebenfalls scharfe Bilder. Man ersieht aus diesen Versuchen noch, dass die Bildfläche einer Linse nicht eben, sondern gekrümmt ist.

Wir müssen dementsprechend, wenn wir parallele Strahlen, welche auf die Linse fallen, betrachten, Rand- und Centralstrahlen unterscheiden und sagen: Rand- und Centralstrahlen haben verschiedene Brennweiten. Diese Abweichung hängt unmittelbar vom Krümmungsradius und vom Durchmesser der Linse ab. Wir haben, um die Fehler stark zu vergrössern und sichtbar zu machen, eine Linse von kurzer Brennweite und grosser Oeffnung verwendet. Je kleiner nun der Krümmungsradius im Verhältniss zum Durchmesser der Linse ist, desto grösser ist der Fehler der sphärischen Abweichung. Um dieses Verhältniss günstig zu gestalten, das heisst die sphärische Aberration auf ein Minimum zu reduciren, wird man bestrebt sein müssen, den Krümmungsradius einer Linse möglichst gross zu machen, die Oeffnung aber klein. Da aber bei derselben Brennweite diejenigen Linsen einen grösseren Krümmungsradius haben, die aus stärker brechenden Glassorten geschliffen sind, so liegt ein zweites Mittel zu Behebung des Fehlers in der Wahl stark brechender Glasarten.

Ein weiteres Mittel zur Behebung dieses Fehlers liegt in der Combination der Linsen. Wir haben den Fehler bisher nur an der convexen als der bilderzeugenden Linse beobachtet und festgestellt. Er tritt aber auch an der concaven Linse auf, aber dem Charakter der Linse entsprechend im entgegengesetzten Sinne. Eine solche Correctur kann selbst durch Linsen aus gleichen Glassorten bewirkt werden. Doch ist es vortheilhafter, weil dadurch gleichzeitig die chromatische Abweichung corrigirt wird, verschiedene Glassorten zu verwenden. Eine Combination aus einer Convex- und Concavlinse, welche so berechnet ist, dass sie die sphärische Aberration aufhebt, nennt man ein aplanatische Linse. Bei der Correctur ist aber stets die chromatische Abweichung mehr in Rechnung zu ziehen als die sphärische, daher es geschehen kann, dass die sphärische Abweichung übercorrigirt wird, eventuell auch dass sie zu wenig behoben wird. Doch ist es unmöglich, Convexlinsen durch Convexlinsen zu corrigiren.

Treffen aber die Lichtstrahlen nicht senkrecht auf die Linse, sondern unter bedeutenden Winkeln, so sind die Abweichungen für verschiedene Richtungen der Durchmesser verschieden. Das Maximum und Minimum derselben ist durch zwei aufeinander senkrechte Durchmesser bestimmt. Den Durchmesser des Maximums findet man, wenn man durch den leuchtenden Punkt und die Achse der Linse eine Ebene hindurchlegt. Je weiter sich der leuchtende Punkt von der Achse entfernt, um so grösser wird die Abweichung und der runde Kreis im Brennpunkt geht allmählich in eine Ellipse über, die sich in einer Richtung zuspitzt und bei einer gewissen Entfernung in ein sogenanntes Coma übergeht. Diese Erscheinung zeigen auch die aplanatischen Systeme bei schief auffallenden Strahlenkegeln.

### Chromatische Aberration.

Wir haben bereits beim Durchgange eines parallelen Strahlenbündels durch ein Prisma gesehen, dass verschiedenfarbige Strahlen verschiedene Brechbarkeit besitzen, und zwar besitzen die violetten Strahlen höheren Brechungsindex als die rothen. Bei der Ableitung der Linsenformel findet man, dass die Brennweite nicht nur von den Krümmungsradien, sondern auch von den Brechungsexponenten der verwendeten Glassorten abhängig ist. Da aber dieselben für rothe und violette Strahlen verschieden sind, so ist es natürlich, dass jeder Farbe eine andere