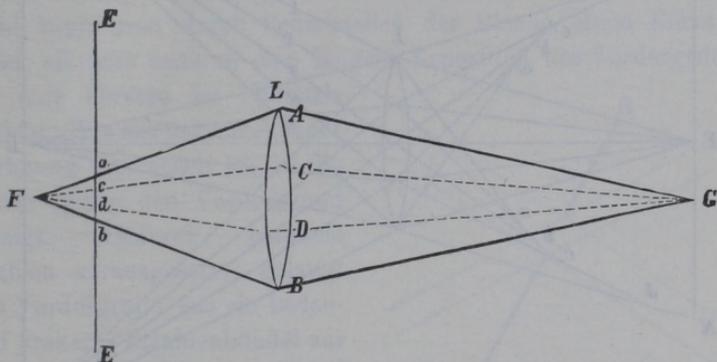


Brennweite zukommt. Nun sind aber die rothen und gelben Strahlen zwar diejenigen, welche stark sichtbar sind, also auf das Auge einwirken, während den blauen und violetten weniger diese Eigenschaft zukommt. Umgekehrt wirken aber gerade die letzteren Strahlen sehr heftig auf die photographische Platte ein, während die rothen und gelben nahezu gar keine Einwirkung hervorbringen. Es ist daher leicht einzusehen, dass bei einem Linsensysteme, wenn man die rothen und violetten Strahlen als Repräsentanten der grössten Verschiedenheiten der Wirkungen ansieht, zwei Hauptbrennpunkte vorhanden sein müssen, einer für rothe Strahlen, der besonders auf das Auge einwirkt, und der daher beim Einstellen des Bildes zur Geltung kommt, man nennt ihn den optischen Focus, und ein zweiter für blaue und violette Strahlen, der bei der Exposition durch seine Wirkung auf die Platte zur Geltung kommt, dieser ist der chemische Focus. Letzterer wird aber bei Systemen, welche nicht entsprechend corrigirt sind, für die Aufnahme störend auftreten und unscharfe Bilder ergeben. Auf eine einfache Weise lässt sich die Differenz der Brennweiten für rothe und blaue Strahlen auf folgende Weise zeigen. Man bringt in einem Rahmen in derselben Ebene ein rothes und ein blaues Glas an und zeichnet auf jedes einen schwarzen Pfeil. Mit einer nicht achromatischen Linse von grösserer Brennweite stellt man nun ein Pfeilbild scharf ein, dann wird das andere unscharf erscheinen und umgekehrt und zwar beträgt diese Differenz bei Flintglaslinsen ungefähr $\frac{1}{20}$ der Brennweite.

Die Bildfläche.

An dem Experiment mit der Linse von grossem Durchmesser, durch die das Bild mehrerer Kerzenflammen auf einem Schirm erzeugt wird, haben wir bereits gesehen, dass die Bildfläche der Linse nicht eben sondern gekrümmt ist. Es soll hier gleich erwähnt werden, was man unter Tiefe versteht. Es ist dies die Eigenschaft einer Linse, Bilder von Gegenständen, die sich in verschiedener Entfernung befinden, auf derselben Fläche zu entwerfen. Es ist jedermann bekannt, dass beim Einstellen von Gegenständen in grösserer Entfernung ein Verschieben der Visirscheibe in gewissen Grenzen statthaft ist, ohne dass die Schärfe des Bildes wesentlich darunter leidet. Es ist leicht einzusehen, dass sich die Tiefe einer Linse mit der Oeffnung derselben verändert und dass Linsen mit geringerem Durchmesser grössere Tiefe besitzen

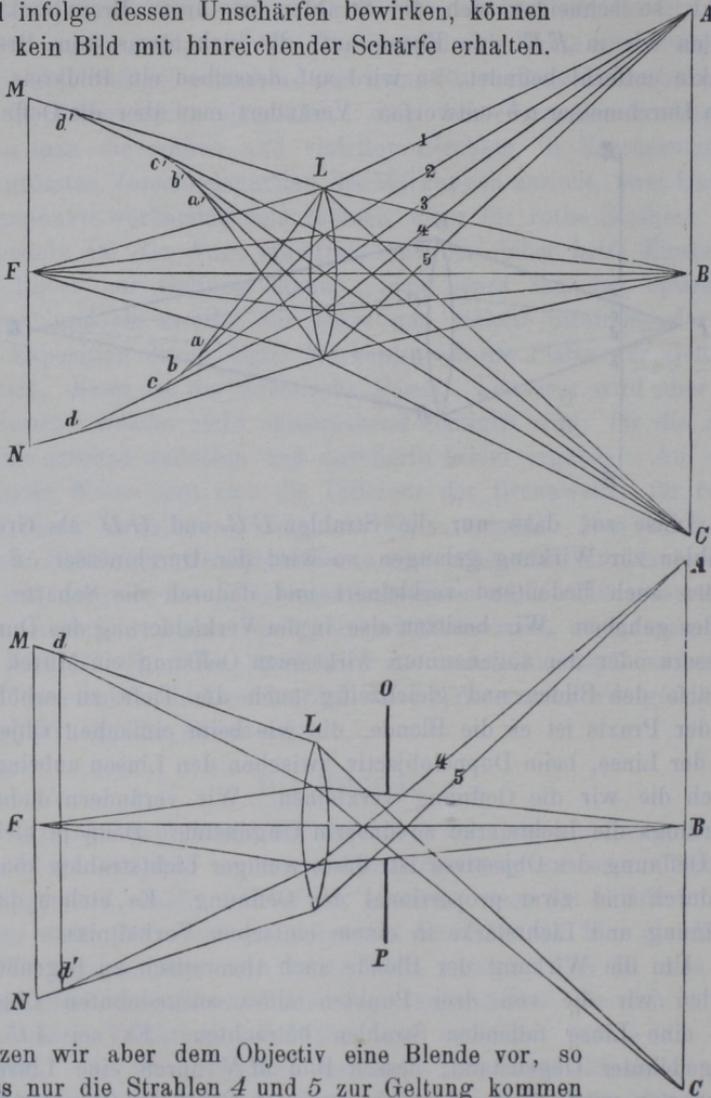
müssen, als solche mit grösserem Durchmesser. Wenn wir den Gang der Lichtstrahlen, die von einem Punkt G auf eine Linse fallen, betrachten und annehmen, dass dieselbe mit voller Oeffnung wirkt, so schneiden sich die Strahlen in ihrem Brennpunkt F . Stellen wir in EE eine Ebene auf, die sich etwas vom Brennpunkte entfernt befindet, so wird auf derselben ein Bildkreis von dem Durchmesser ab entworfen. Verändert man aber die Oeffnung



der Linse so, dass nur die Strahlen GC und GD als Grenzstrahlen zur Wirkung gelangen, so wird der Durchmesser cd des Bildes auch bedeutend verkleinert und dadurch die Schärfe des Bildes gehoben. Wir besitzen also in der Verkleinerung des Durchmessers oder der sogenannten wirksamen Oeffnung ein Mittel, die Schärfe des Bildes und gleichzeitig auch die Tiefe zu erhöhen. In der Praxis ist es die Blende, die wir beim einfachen Objectiv vor der Linse, beim Doppelobjectiv zwischen den Linsen anbringen, durch die wir die Oeffnung verkleinern. Wir verändern dadurch allerdings die Lichtstärke zu unserm Ungunsten. Denn je kleiner die Oeffnung des Objectives ist, desto weniger Lichtstrahlen können hindurch und zwar proportional der Oeffnung. Es stehen daher Oeffnung und Lichtstärke in einem einfachen Verhältniss.

Um die Wirkung der Blende auch theoretisch zu begründen, wollen wir die von drei Punkten eines ausgedehnten Objects auf eine Linse fallenden Strahlen betrachten. Es sei AC ein ausgedehnter Gegenstand, dessen Bild MN durch eine Linse L entworfen wird. Betrachten wir etwa den Gang der Grenzstrahlen 1 und 5 , ferner den Gang des durch den optischen Mittelpunkt gehenden Strahles 3 und je eines zwischenliegenden Strahles 2 und 4 , so werden wir finden, dass durch den Durchschnitt je zweier aufeinanderfolgenden Strahlen, Bildpunkte a, b, c, d und N

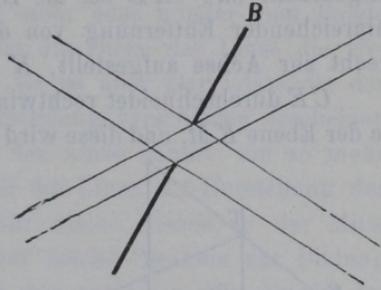
respective a' , b' , c' , d' und M vom Punkte C aus entstehen. Da jedoch an diesen Punkten die Strahlen nicht zu wirken aufhören, sondern fortschreitend auf der Fläche MN , statt Punkten Flächen erzeugen und infolge dessen Unschärfen bewirken, können wir kein Bild mit hinreichender Schärfe erhalten.



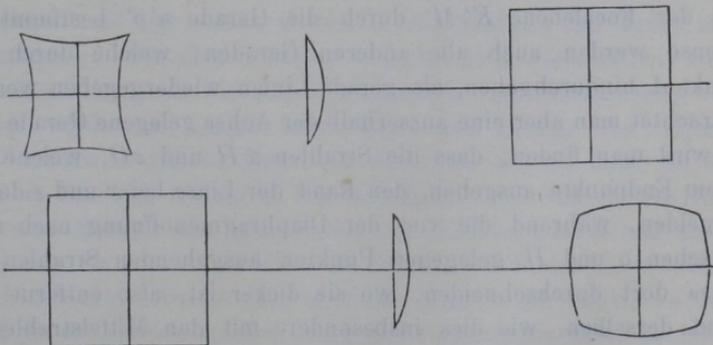
Setzen wir aber dem Objectiv eine Blende vor, so dass nur die Strahlen 4 und 5 zur Geltung kommen und bilderzeugend wirken, während alle andern gar nicht auf die Linse fallen, so findet nur mehr eine Bilderzeugung von d' bis M resp. d bis N statt und das Bild erscheint zwischen den Ebenen MN und $d d'$ gleichmässig scharf. Diese beiden Ebenen geben uns zugleich ein Mass der Tiefe an. Unmittelbar ersichtlich ist,

dass mit dem Abnehmen des Durchmessers der Blende die Schärfe und die Tiefe des Bildes wächst. Es wird also scheinbar das Bild verflacht und mehr in die Ebene der Visirscheibe verlegt.

Die Form der Blende ist unwesentlich. Eben so gut als runde Blenden sind drei- oder viereckige, sternförmige, elliptische Blenden verwendbar; auch kann man solche mit mehreren Oeffnungen ohne Nachtheil, allerdings auch ohne jeden Vortheil verwenden. Wohl kann man durch Schiefstellen der Blende einen Effect erzielen, als man dadurch eine längere Exposition des Vordergrundes und eine kürzere des Himmels erreicht. Wie aus nebenstehender Zeichnung ersichtlich ist, ist die Blende gegen den Vordergrund geneigt. Dadurch, parallele Strahlen vorausgesetzt, gelangt vom Vordergrund aus ein bedeutend breiteres Strahlenbündel zur Wirkung als vom Himmel, es wird also der Himmel relativ kürzer exponirt.



Ein wesentlicher Fehler der Linse, der in vielen Fällen die einfache Linse als Objectiv unbrauchbar macht, ist der Fehler der Verzeichnung. Derselbe wird durch die Dimensionen der Linse, insbesondere durch ihre Dicke hervorgebracht. Man kann ihn bereits beobachten, wenn man durch ein Vergrößerungsglas ein carrirtes Papier betrachtet. Man wird finden, dass die Linien, je mehr sie sich dem Rande der Linse nähern, umsomehr verkrümmt sind. Ein anderes Experiment, welches objectiv den Fehler zeigt, kann mit einer planconvexen Linse angestellt werden.

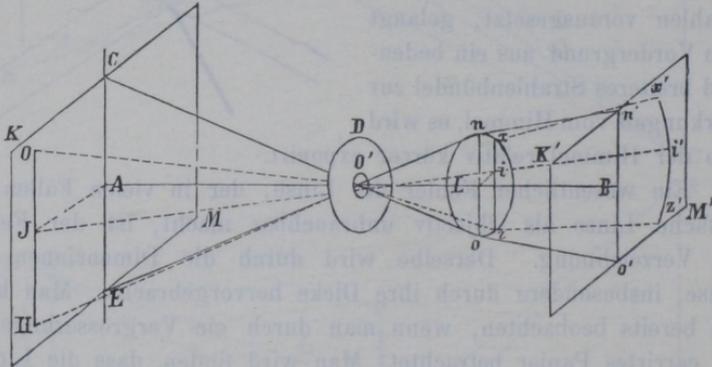


Man zeichne auf eine Tafel ein Quadrat von circa 1 m Seitenlänge und stelle dasselbe mit einer planconvexen Linse ein und zwar in

doppelter Weise, wenn man zuerst die convexe Seite dem Objecte nähert, so wird man finden, dass auf der Visirscheibe das Quadrat mit eingebogenen Kanten erscheint. Wendet man aber die plane Fläche dem Quadrat zu, so erscheint dasselbe auf der Visirscheibe mit ausgebogenen Kanten, wie es vorstehende Figuren zeigen.

Um den Fall auch theoretisch zu erörtern und zu zeigen, dass die Verzeichnung durch die Blende corrigirt werden kann, wollen wir annehmen, dass sich in L eine Sammellinse befinde, vor welcher man eine mit einer kleinen Oeffnung O' versehene Blende angebracht hat. AB sei die Hauptachse der Linse, KM eine in hinreichender Entfernung von der Linse befindliche Ebene, senkrecht zur Achse aufgestellt, $K'M'$ die Brennpunktebene.

CE durchschneidet rechtwinklig den Endpunkt A der Achse BA in der Ebene KM , und diese wird gerade in $n'o'$ auf der Brennpunktsebene



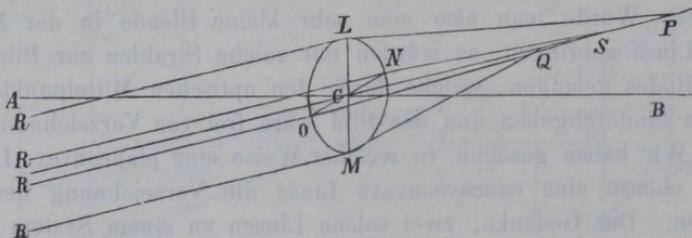
ebene reproducirt. Die Ebene der Strahlen Co und En , welche die Linse in zwei gleiche Theile theilt und zu ihr senkrecht ist, ist zugleich Ebene der gebrochenen Strahlen nn' und oO' , deren Durchschnitt mit der Focalebene $K'M'$ durch die Gerade $n'o'$ bestimmt ist. Ebenso werden auch alle anderen Geraden, welche durch den Punkt A hindurchgehen, als gerade Linien wiedergegeben werden. Betrachtet man aber eine ausserhalb der Achse gelegene Gerade OH , so wird man finden, dass die Strahlen xH und zO , welche von ihrem Endpunkte ausgehen, den Rand der Linse bei x und z durchschneiden, während die von der Diaphragmenöffnung nach allen zwischen o und H gelegenen Punkten ausgehenden Strahlen die Linse dort durchschneiden, wo sie dicker ist, also entfernt vom Rand derselben, wie dies insbesondere mit den Mittelstrahlen Ji der Fall ist. Ebenso werden die gebrochenen Strahlen, welche bei dem vorhergehenden Beispiel in einer zur Linse senkrechten

Ebene austreten, jetzt in einer geneigten Richtung zur Linse dieselbe verlassen, und in einer gekrümmten Fläche liegen, welche auf der Focalebene mit $x' i' z'$ bezeichnet ist und ihre concave Seite der Hauptachse der Linse zuwendet. Wäre die Linse aus concentrischen Ringen derselben Stärke zusammengesetzt, so würde die Brechung durch irgendwelchen Punkt ihrer Fläche bei demselben Einfallswinkel gerade so stattfinden, als wäre die Linse unendlich dünn. Infolge der ungleichen Dicke der Linse wird aber die Brechung für denselben Einfallswinkel eine ganz verschiedene sein, je nachdem der eintretende Strahl mehr oder minder vom Rande entfernt die Linse trifft. Daher ist die Dicke der Linse die Ursache der Verzerrung des Bildes. Es ist aber klar, dass die der Linse vorgesetzte Blende die Verzeichnung verschieden erscheinen lässt, denn je mehr man dieselbe der Linse nähert, um so mehr kommt auch nur der centrale Theil der Linse zur Herstellung des Bildes. Würde man also eine sehr kleine Blende in der Mitte der Linse anbringen, so würden nur solche Strahlen zur Bildung des Bildes gelangen, welche durch den optischen Mittelpunkt der Linse hindurchgehen und das Bild wäre frei von Verzeichnung.

Wir haben gesehen, in welcher Weise eine planconvexe Linse und ebenso eine concavconvexe Linse die Verzeichnung herbeiführen. Der Gedanke, zwei solche Linsen zu einem System vereint zur Aufhebung der Verzeichnung zu verwenden, ist daher sehr naheliegend und wurde zuerst von den Optikern Harrison und Schnitzer im Jahre 1862 und von Steinheil in München 1865 zur Anwendung gebracht. Im Allgemeinen bildet diese Vereinigung zweier Linsen das Princip der aplanatischen Objective.

Ein weiterer Fehler im Bilde der Linse wird als Astigmatism bezeichnet. Er hat seinen Grund in der Stellung der Linse zum Gegenstande. Um diesen Fehler experimentell festzustellen, klebe man eine Oblate, wie sie zum Verschliessen von Briefcouverts verwendet wird, auf irgend eine Fläche und bringe das Objectiv einer Camera in gleiche Höhe mit derselben an und stelle so ein, dass das Bild der Oblate in den Mittelpunkt der Visirscheibe fällt. Man wird finden, dass eine Bewegung der Visirscheibe um einige Millimeter vor- oder rückwärts die Schärfe des Bildes nicht sonderlich beeinflusst. Dreht man aber die Camera am Stativ, so dass das Bild der Oblate an den Rand der Visirscheibe fällt, so ist es überhaupt nicht mehr möglich, scharf einzustellen. Dieser Fehler des Objectivs wird als Astigmatism bezeichnet.

Denken wir uns durch $LOMN$ eine Convexlinse mit der Achse AB dargestellt und geneigt zu dieser Achse einen Punkt R , den wir als so weit entfernt annehmen wollen, dass die von ihm ausgehenden Strahlen als parallel gedacht werden können. Legen wir durch diesen Punkt und durch die Hauptachse der Linse eine Ebene, so wird die Linse im Durchmesser LM geschnitten. Rechtwinklig zu diesem denken wir uns den Durchmesser ON , durch den hindurch und durch den Punkt R ebenfalls eine Ebene gelegt werden soll. Lassen wir zuerst den Strahl RC durch den optischen Mittelpunkt der Linse hindurchgehen, so wird derselbe die Linse ungebrochen passieren und daher können wir ihn ebenfalls als Achse RP annehmen. Denken wir uns ferner nach den Endpunkten des Durchmessers LM die Strahlen RL und RM gezogen, so schneiden diese den Hauptstrahl in den infolge der sphärischen Aberration getrennten Punkten P und Q .



Die zu den Endpunkten des zweiten Durchmessers ON gezogenen Strahlen haben aber eine symmetrische Lage und werden den Hauptstrahl im Punkte S durchschneiden. Blenden wir die Linse ab oder nehmen wir eine kleine Oeffnung an, so verschwinden die Punkte P und Q , den wir bezüglich des ersten Durchmessers gefunden haben, aber der Punkt S bleibt. Wir sehen demnach, dass es für einen ausser der Achse gelegenen Punkt zwei Brennpunkte und zwei Brennpunktsdistanzen giebt. Die eine in der Ebene, die durch die Hauptachse und den leuchtenden Punkt hindurchgeht, die andere in der hierzu senkrechten Ebene, die durch den optischen Mittelpunkt der Linse geht. Diese Eigenschaft der Linse, zwei Brennpunkte zu besitzen, wird als Astigmatismus bezeichnet.

Um die Astigmatismus zu verringern, kann man entweder Blenden anwenden, wodurch die wirksame Oeffnung der Linse verringert wird, oder man wählt die Krümmungsradien der äusseren Oberfläche so, dass die einfallenden Strahlen mit denselben als Einfallslothe kleine Winkel einschliessen.

