

Die Formeln, nach denen man eine achromatische Linsen- und Prismencombination berechnen kann, sind in den Anmerkungen gegeben. Sie sind entwickelt aus den Prismen- und Linsenformeln, die jedoch, wie wir früher gesehen haben, nur unter den einfachen Voraussetzungen, daß die Strahlen nahe bei der Axe einfallen und nur kleine Winkel mit derselben bilden, gültig sind. Werden diese Voraussetzungen nicht erfüllt, so ist auch der Achromatismus nicht erfüllt. Daher kommt es, daß Randstrahlen und schief gegen die Axe geneigte Strahlen chromatische Abweichung zeigen, wenn auch die Mitte der Linse achromatisch erscheint. Die chromatische Abweichung ist hier ganz der sphärischen Längenabweichung analog. Sie wächst im umgekehrten Verhältniß zur Brennweite und im directen Verhältniß des Quadrats der Oeffnung, und ähnlich wie dort kann dieselbe auch für Randstrahlen durch passende Wahl und Stellung der Blenden corrigirt werden.

3) Wölbung der Bildfläche.

Stellt man eine Camera mit irgend einer aplanatischen Linse auf einen Gegenstand scharf ein, so findet man, daß es nicht möglich ist, alle Theile des Bildes gleichzeitig scharf zu bekommen. Entweder ist der Rand unscharf und die Mitte scharf, oder umgekehrt. Dieser Fehler rührt keineswegs von der sphärischen Abweichung, denn er kommt

ist p'' negativ, demnach $p = \frac{p' p''}{p'' - p'}$, woraus sich ergibt $\frac{1}{p} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{p''}$; setzt man für p' und p'' die Radienformel (S. 153) ein, so erhält man

$$\frac{1}{p} = (n' - 1) \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right) - (n'' - 1) \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{R''} \right).$$

Setzt man hier für $n' n''$ die Brechungsexponenten für die verschiedenen farbigen Strahlen ein, so erhält man deren Brennweiten. Für den Fall nun, daß die Brennweiten für die indigofarbenen und gelben Strahlen dieselben sein sollen, erhält man die Bedingungsgleichung

$$(n'_i - 1) \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right) - (n''_i - 1) \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{R''} \right) = (n'_g - 1) \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right) - (n''_g - 1) \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{R''} \right),$$

woraus sich ergibt

$$(n'_i - n'_g) \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right) = (n''_i - n''_g) \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{R''} \right).$$

Für die Radienformeln wieder die Werthe $\frac{1}{p'}$ und $\frac{1}{p''}$ eingesetzt, erhält man

$$\frac{(n'_i - n'_g)}{(n' - 1) p'} = \frac{(n''_i - n''_g)}{(n'' - 1) p''},$$

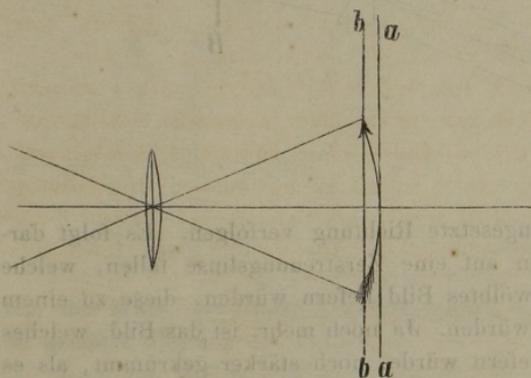
woraus sich die Werthe von p' und p'' leicht berechnen lassen. n' und n'' bedeuten hier die Brechungsverhältnisse der mittleren Strahlen. Den Ausdruck $\frac{(n_i - n_g)}{n - 1}$ nennt man auch das Zerstreungsvermögen. Die Brennweiten der Linsen eines Achromats müssen sich daher umgekehrt wie ihr Zerstreungsvermögen verhalten.

bei allen vollkommen aplanatischen Linsen vor, sondern von der Wölbung der Bildfläche*).

Das Bild liegt nämlich nicht auf einer Ebene gleich der matten Scheibe, sondern auf einer mehr oder weniger gekrümmten Fläche, und beim Verrücken der matten Scheibe wird nur der Theil des Bildes auf derselben scharf erscheinen, welchen die matte Scheibe berührt oder schneidet. Der Pfeil in Figur 20 stellt solch ein gekrümmtes Bild dar. Bringt man die matte Scheibe an die Stelle aa , so erscheint nur der mittlere Theil scharf, in der Stellung bb aber nur der Rand.

Wir haben in dem Capitel über sphärische Abweichung an einem Beispiel gezeigt, wie dieses gekrümmte Bild entstehe (s. S. 161). Es wurde da-

Fig. 20.



selbst erörtert, wie diese Bildkrümmung je nach der Stellung der Linse sehr verschieden ist. Es ist leicht einzusehen, daß auch die Gestalt der Linse von Einfluß ist. Bei Linsen mit sehr beschränktem Gesichtsfeld (wie die astronomischen) ist die Bildwölbung nicht von Bedeutung, sehr auffallend offenbart sie sich aber

in der photographischen Praxis, wo die Strahlen oft einen bedeutenden Winkel mit der Axe bilden. Die Mittel, sie wegzuschaffen resp. auf ein Minimum zu reduciren, bestehen

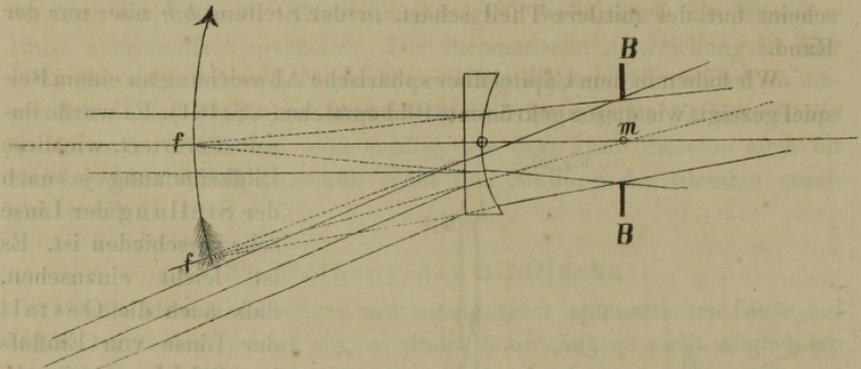
1) in der passenden Wahl der Linsen- und Blendenstellung. Auf S. 161 ist gezeigt, daß für eine planconvexe Linse mit Vorderblende der Krümmungsradius des Bildes gleich $3r$ ist, wenn die Linse ihre plane Seite den Objecten zukehrt, dagegen kleiner als $2r$, wenn die Stellung von Linse und Blende die entgegengesetzte ist. Demnach ist das Bild im ersten Fall ein viel flacheres.

2) Durch passende Wahl der Linsenform. Wie es in Bezug auf sphärische Abweichung eine Linse bester Form giebt, so existiren auch Linsen bester Form in Bezug auf Vermeidung der Bildwölbung, und hat die Erfahrung ergeben, daß die Menisken, deren concave Seite dem Objecte zugekehrt ist, das ebenste Bild liefern. Solche Linsen sind z. B. die Dallmeyer'schen Landschaftslinsen.

*) Wir bedienen uns hier des Ausdrucks Wölbung, weil „Krümmung“ der Bildfläche gar zu häufig mit Krümmung der Linien im Bilde (siehe Verzeichnung) verwechselt wird.

3) Durch Linsencombination. Wie oben gezeigt worden ist, giebt eine Sammellinse ein gewölbtes positives Bild eines ebenen Gegenstandes. In ähnlicher Weise liefert eine Zerstreuungslinse ein gewölbtes negatives Bild (Fig. 21), welches aufrecht ist und mit dem (hier weit entfernt gedachten) Gegenstande auf derselben Seite der Linse liegt, indem die Strahlen auf der andern Seite divergirend austreten.*) Nun bleiben die optischen Erscheinungen dieselben, wenn

Fig. 21.



die Strahlen die entgegengesetzte Richtung verfolgen. Es folgt daraus, daß, wenn Strahlen auf eine Zerstreuungslinse fallen, welche verlängert ein solches gewölbtes Bild liefern würden, diese zu einem ebenen Bilde vereinigen würden. Ja noch mehr, ist das Bild, welches die Strahlen verlängert liefern würde, noch stärker gekrümmt, als es die Linse für sich allein erzeugen würde, so wird das Resultat ein concaves Bild sein.

Combinirt man demnach eine Sammellinse, welche ein gewölbtes Bild liefert, mit einer passend gewählten Zerstreuungslinse, so wird aus der Vereinigung beider ein ebenes Bild resultiren.

Man kann auf diese Weise die Bildwölbung freilich nicht vollständig aufheben, da sonst zu gleicher Zeit die Brechung aufgehoben würde.

Man corrigirt daher die Bildwölbung durch eine concave Linse und dazu benutzt man bei einfachen Linsen die Flintglaslinse, welche auch zur Correctur der chromatischen Abweichung dient. Einen besondern Einfluß hat hierbei auch die Stellung der Linsen zu einander, und planconvexe wie planconcave Linsen liefern viel

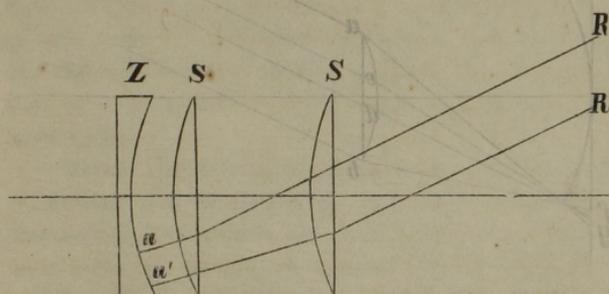
*) Die Construction dieses Bildes so wie sein Krümmungsverhältniß sind ganz analog dem des Bildes einer planconvexen Linse, s. S. 161. Kehrt die planconcave Linse ihre ebene Fläche den Gegenständen zu, so ist der Krümmungsradius gleich $3r$. Das Bild ist aufrecht und befindet sich auf derselben Linsenseite mit dem Gegenstande. Die Blende B müßte für den in der Figur angenommenen Fall hinter die Linse gesetzt werden.

stärker gekrümmte Bilder, wenn sie ihre gewölbte Seite den Gegenständen zukehren, als umgekehrt. Stellt man demnach die planconvexe Linse so, daß sie ein stark gewölbtes Bild liefert, so kann man dasselbe durch eine verhältnismäßig viel flachere planconcave Linse corrigiren.

Von ähnlichem Einfluß ist auch die Entfernung der Linsen von einander. Fällt z. B. ein schiefes Strahlenbündel auf eine Sammellinse S , so wird das Bündel nach der Brechung die Zerstreuungslinse in a treffen. Steht die Linse aber weiter entfernt, z. B. bei S' , so trifft das Bündel R nach der Brechung in S die Linse Z in a' .

In letzterem Falle fällt es demnach auf einen Punkt, der dem stärker zerstreuernden Rande der Linse Z näher liegt, und die

Fig. 22.



Folge davon ist, daß die Strahlen eine stärkere Zerstreuung, d. h. eine verhältnismäßig größere Focusverlängerung erfahren als die centralen Strahlen, die auch bei der zweiten Stellung

von der Mitte der Linse Z aufgenommen werden. Die Folge davon ist größere Ebnung der Bilder.

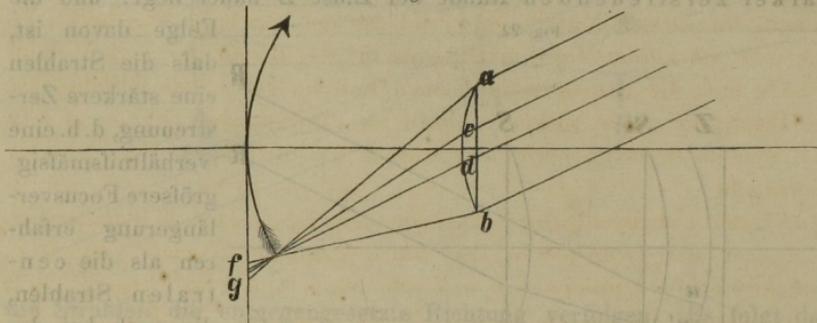
In dieser Weise sind die beiden Linsen der Hinterlinse des Portraitkopfs behufs der Correction der Feldkrümmung um ein gewisses Stück von einander entfernt. Zuweilen ist die Entfernung eine nicht richtig gewählte, dann kann man durch Variation derselben nicht selten eine Linse verbessern. Man schraubt die hintere Combination auseinander, nähert oder entfernt die Linsen mit Hülfe eingelegter Papier- oder Pappstreifen und macht Probeaufnahmen; hierbei findet man, bei welcher Linsenstellung das Objectiv am günstigsten wirkt.

Ferner ist hier das Petzval'sche Orthoskop zu erwähnen. Dieses ist eine Combination einer Sammellinse mit einer um ein gewisses Stück davon entfernten Zerstreuungslinse. Die Sammellinse kehrt ihre convexe Seite den Strahlen zu. Sie allein wird ein sehr gewölbtes Bild liefern, indem jedoch die schiefen Strahlen, welche von ihr ausgehen, auf den Rand der Concavlinse fallen, der stärker zerstreut als die Mitte, wird ihre Brennweite mehr verlängert, als die der Centralstrahlen, und als Folge davon resultirt ein ebenes Bild. In ähnlicher Weise wird bei den Dallmeyer'schen Tripelobjectiven durch Einführung einer negativen Zwischenlinse die Verlängerung des Focus der schiefen Strahlen und dadurch Ebenheit des Bildes

erzielt. Freilich ist diese bei keinem Objectiv eine vollkommene; die übrigbleibende Bildwölbung schadet jedoch nicht immer, bei Portraits z. B. brauchen nicht alle Punkte scharf zu sein, sondern nur die charakteristischen Theile. Anders ist es jedoch bei Aufnahme von Zeichnungen, Architekturen etc. Hier zwingt man die Schärfe über das ganze Bild durch kleine Blenden. Je kleiner die Blende, desto spitzer ist der Strahlenkegel, welchen irgend ein auffallender Strahlencylinder liefert, desto geringer ist die Unschärfe, welche bewirkt wird, falls man die matte Scheibe aus der Spitze der Kegel herausrückt.

Beifolgende Figur erläutert dies. Stellt man auf die Mitte des krummen Pfeilbildes scharf ein, so wird der Rand unscharf, bei gro-

Fig. 23.

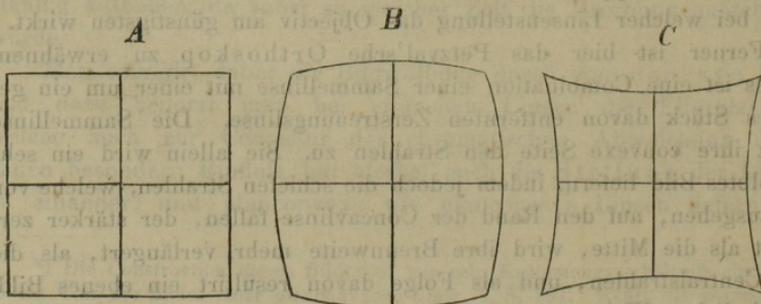


ßer Oeffnung ab ist die Unschärfe eine beträchtliche, sie bildet dann einen Zerstreungskreis vom Durchmesser fg . Bei kleiner Blende cd ist dagegen der Zerstreungskreis von viel geringerem Durchmesser, d. h. die Unschärfe viel geringer.

4) Die Verzeichnung.

Stellt man mit einer einfachen Linse mit Vorderblende auf ein Quadrat A scharf ein, so erscheint das Bild desselben nicht als Qua-

Fig. 24.



drat, sondern mit gekrümmten Seiten, fast wie eine Tonne (B). Die Linien sind nach auswärts gekrümmt. Nimmt man statt der Linse