

Die
Justirung und Prüfung von Fernrohrobjectiven.

Von
T. Cooke & Sons
Buckingham works, York.

Uebersetzt von Dr. R. Straubel.

Mit 29 in den Text gedruckten Abbildungen.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1894.

Die
Justirung und Prüfung von Fernrohrobjectiven.

Von
T. Cooke & Sons
Buckingham works, York.

Uebersetzt von Dr. R. Straubel.

Mit 29 in den Text gedruckten Abbildungen.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1894.

ISBN 978-3-662-32373-1
DOI 10.1007/978-3-662-33200-9

ISBN 978-3-662-33200-9 (eBook)

Die vorliegende, in der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ 1894 erschienene Veröffentlichung giebt bis auf wenige Streichungen die Uebersetzung einer englischen Schrift, welche trotz einzelner ihr anhaftender Mängel eine oft empfundene Lücke in brauchbarer Weise ausfüllen dürfte.

Jena, im Juni 1894.

Der Uebersetzer.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Justirung	1
Achromasie	9
Zentrirung	12
Astigmatismus	13
Sphärische Aberration	15
Zonale Aberration	16
Erscheinungen bei einem vollkommenen Objektiv	18
Das Bild eines Sternes	19
Mechanische Spannungen	23
Zusammenhang zwischen der Form der Flächen und der optischen Wirkung der Durchbiegung	27
Terrestrische Fernrohre und Reflektoren	29
Die „Schneidenmethode“	30

Dilettanten wie Fachastronomen müssen heutzutage, falls sie etwas leisten wollen, im Besitze eines Teleskopes sein. Ja noch mehr, ihre Instrumente müssen auch auf einer gewissen Höhe stehen und ausserdem richtig justirt sein.

Obwohl es nun keinem Zweifel unterliegt, dass der Refraktor die geeignetste und zuverlässigste Art des Teleskopes ist, so ist doch andererseits nicht zu leugnen, dass die Qualität derselben starke Unterschiede aufweist. Ein grosser Theil der Objektive ist allerdings sehr gleichartig in seiner Leistungsfähigkeit, und wenn einzelne im Rufe ganz besonderer Güte stehen, so ist hieran bisweilen nur der Mangel authentischer Angaben schuld; solche aber können allein dem Laien ein hinreichendes Urtheil über die Qualität eines Objectives verschaffen. Andererseits haben wir auch gefunden, dass gelegentlich Objective ersten Ranges als mangelhaft betrachtet wurden, und zwar deshalb, weil die betreffenden Beobachter über die nothwendigen Justirungen ungenügend unterrichtet waren. Derlei Vorkommnisse waren die Veranlassung zur Abfassung des vorliegenden Schriftchens.



Fig. 1.

Kleinere Fernrohre mit einer Oeffnung von weniger als 7,5 cm (3 Zoll) besitzen meistens gar keine Justirungsvorrichtungen, da die relativ geringen Vergrösserungen, welche man dabei anwendet, eine vollkommene Justirung unnöthig erscheinen lassen; ferner werden grössere Objective, falls sie überhaupt mit Tubus zusammen bestellt werden, bereits möglichst gut justirt verschickt; gleichwohl tritt aus den verschiedensten Gründen früher oder später das Bedürfniss einer Neujustirung auf und es ist deshalb wichtig, dass ein Astronom, der Fernrohre beträchtlicher Oeffnung benutzt, im Stande ist, das Justiren haarscharf selbst auszuführen. Ohne eine vollständige Justirung kann nämlich auch das beste Instrument speziell in Bezug auf Auflösungsvermögen nicht das Maximum seiner Leistungsfähigkeit zeigen. Was heisst aber „Justiren“ speziell beim Teleskop-Objektiv? Man versteht darunter die Operation, die optische Axe des Objectivs durch den Mittelpunkt des Okulars zu legen; in einem nicht justirten Objekt liegt also die optische Axe mehr oder weniger seitlich vom Okular. (Vgl. Fig. 1, worin

oa die optische Axe bedeutet, die also durch die Justirung in die Lage *oa*₁ zu bringen ist.)

Die Kennzeichen schlechter Justirung sind äusserst deutlich, falls das Objektiv sehr beträchtlich geneigt ist; ist dies indess nicht der Fall, so ist eine sehr sorgfältige und kritische Benutzung des Auges erforderlich, um die letzten Reste der Justirung zu vollziehen. Ein Objektiv muss übrigens auch bereits sorgfältig justirt sein, bevor der Beobachter sich ein Urtheil über die Güte des Glases bilden kann; wenigstens müsste letzteres dann schon sehr schlecht sein.

Wir setzen im Folgenden durchgängig voraus, dass jedes Objektiv aus zwei Linsen besteht, einer positiven Linse aus Kronglas und einer negativen Linse aus Flintglas; denn die Vortheile, die man der Anwendung von mehr als zwei Linsen zugeschrieben hat, werden ausser bei kleineren zu speziellen Zwecken bestimmten Objektiven — mehr als aufgewogen durch die praktischen Nachteile der komplizirteren Konstruktion.

Alle zweitheiligen Objektive können — und besonders passend ist dies für unseren Zweck — in drei Klassen eingetheilt werden, deren verschiedenes Verhalten bei mangelhafter Justirung auch entsprechend verschiedene Behandlung erfordert.

I. Die erste Klasse ist die wichtigste und zahlreichste und enthält Objektive von der Art, wie sie im Querschnitt in Fig. 2, 3, 4, 5 dargestellt sind. Fig. 2 zeigt einen Typus, dessen Kron meniskusförmig und dessen Flint bikonkav ist. Dies hat in praktischer Beziehung den grossen Vortheil dreier Konkavflächen, die sehr genau geprüft werden können, andrerseits aber den grossen Nachtheil, insofern ein sehr kleines Gesichtsfeld zu besitzen, als die Bilder ausserhalb der Axe rasch schlechter werden; entsprechend diesem Fehler sind die Objektive schon höchst empfindlich gegen sehr geringe Verdrehungen, die auf einige der anderen Formen keinen bemerkbaren Einfluss besitzen.

Fig. 3 stellt eine Form dar, in welcher die Kronlinse den für eine gegebene Brennweite kleinstmöglichen Betrag an sphärischer Aberration besitzt.



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.

Falls gewöhnliches Kronglas benutzt wird, verhalten sich die Krümmungsradien ungefähr wie 1 : 6 bis 1 : 7¹/₂. Diese Form hat die Nachteile der vorigen, aber in geringerem Grade.

Fig. 4 stellt die Objektivform dar, welche wir selbst hauptsächlich anwenden. Nehmen wir die Brechungsindizes für die *D*-Linie zu 1,518 bzw. 1,620 an, so verhalten sich die Radien der Kronlinse wie 2 : 3, während die dem Kron benachbarte Fläche des Flint die Krümmung 2,815 besitzt und die vierte Fläche schwach konvex ist. Die Vortheile dieser Form sind sehr geringe Empfindlichkeit gegen Justirungsfehler und grosses Gesichtsfeld, soweit dies überhaupt bei Beibehaltung von zwei Konkavflächen möglich ist. Letzteres ist, wie erwähnt, in praktischer Hinsicht ein wichtiger Vortheil. Ferner wird die Korrektur der sphärischen Aberration fast ganz an der Innenfläche der Flintlinse bewirkt; es bleibt nur ein ausserordentlich kleiner Aberrationsrest und demnach kann der Radius der vierten Fläche zum Zwecke der Korrektur der chromatischen Aberration willkürlich verändert werden, ohne die Korrektur der sphärischen Aberration zu stören.

Fig. 5 zeigt eine Objektivform, in welcher die Kronlinse entweder beiderseits gleich oder vorne schwächer gekrümmt ist, während die vierte Fläche des Flint flach oder ein wenig konvex ist. Bisweilen sind die beiden inneren Krümmungen gleich und die Flächen können dann verkittet werden.

Diese Form bietet unnöthige praktische Schwierigkeiten, ist aber andererseits noch weniger empfindlich gegenüber schlechter Justirung als die vorhergehenden und bietet diesen gegenüber ein viel grösseres Gesichtsfeld. In grossen Instrumenten, wo das Gesichtsfeld im Verhältniss zur Grösse des Instruments sehr klein ist, hört dieser Vortheil jedoch auf, stärker in die Waagschale zu fallen.

II. Die zweite Klasse bildet ein Objektivtypus, wie ihn Fig. 6 zeigt. Derselbe variirt natürlich mit den optischen Eigenschaften der benutzten Gläser, aber das Hauptcharakteristikum dieser Form, vermöge dessen dieselbe eine besondere Klasse bildet, ist der Umstand, dass sie das grösstmögliche Gesichtsfeld besitzt und also verhältnissmässig gute Bilder in einiger Entfernung von der Axe liefert. Die Krümmungen müssen hierbei folgender Bedingung genügen:

Für zwei der optischen Axe parallele Strahlen, von denen der eine am Rande der Oeffnung und der andere in der Nähe der Mitte das Objektiv trifft, müssen die Sinus der Einfallswinkel an der ersten Fläche im selben Verhältniss stehen wie die Sinus der betreffenden Austrittswinkel an der vierten Fläche, oder in anderen Worten: Das Verhältniss zwischen dem Sinus des Einfallswinkels für irgend einen Strahl, der parallel der optischen Axe die erste Fläche trifft, und dem Sinus seines Austrittswinkels an der vierten Fläche muss für alle Strahlen eine konstante Grösse sein.¹⁾



Fig. 6.

Dieser Objektivtypus ist ganz besonders geeignet für photographische Zwecke, wo das Hauptbedürfniss möglichst grosses Gesichtsfeld ist.²⁾ Falls indess ein grosses Objektiv dieser Art zum Sehen benutzt wird, wo starke Vergrösserungen angewandt werden, wird es ernsthafte mechanische Nachtheile (siehe später) haben. Dazu kommt weiter noch die Schwierigkeit, überhaupt ein vollkommenes Objektiv mit drei konvexen Flächen herzustellen. — Für die Krümmungsverhältnisse mag folgendes Beispiel angeführt werden. Wird ein besonders dichtes und farbloses, aber wenig brechbares Kron von Schott & Gen. und ein gewisses leichtes Flint benutzt, so müssen die Krümmungsradien der vier Flächen sich wie 5 : 3 : 3,05 : 2,5 verhalten, falls neben grossem Gesichtsfelde gute Vereinerung der chemisch wirkenden Strahlen erzielt werden soll.

III. In diese Klasse gehört eine Objektivform, die dem letzten Typus ähnelt, deren Krümmungen aber noch mehr nach dem Okular zu ausgebaucht sind (vgl. Fig. 7). Dieselbe besitzt den Vortheil eines weiten Gesichtsfeldes nicht in



Fig. 7.

1) Wenn zwei parallele Strahlen die Kronlinse in verschiedenen Punkten von der Axe treffen, und ihre Entfernungen von der Axe gleich $\frac{1}{2}$ bzw. $\frac{1}{4}$ des Oeffnungsradius sind, so findet man, dass die Punkte, an denen sie an der vierten Fläche austreten, Entfernungen besitzen, die nicht mehr im Verhältniss von 2 zu 1 stehen. Vielmehr ist das Verhältniss $= \frac{2}{1}$ weniger einer Grösse, die für verschiedene Krümmungen wenig verschieden und beinahe unabhängig von der Dicke der Linsen ist. Wäre dies nicht der Fall, so würde es unmöglich sein, die obige Bedingung eines konstanten Sinusverhältnisses zu erfüllen, ausser, wenn der Radius der vierten Fläche der Brennweite gleich wäre.

2) Das Gesichtsfeld hängt natürlich auch von der Oeffnung ab.

demselben Maasse als der zweite Typus, während ihre Nachteile noch ausgesprochener sind, so dass eigentlich schwer einzusehen ist, weshalb man solche Formen verfertigt — ausser wenn man annimmt, dass die Verfertiger ein System vom zweiten Typus versucht hätten und ihnen dies missglückt wäre.

Es verdient bemerkt zu werden, dass der in Fig. 6 dargestellte Objektivtypus, bei dem die Sinus des Eintritts- und Austrittswinkels ein konstantes Verhältniss besitzen, insofern einen besonderen Platz einnimmt, als er den ersten durch eine Ausbauchung der Krümmungen charakterisirten Typus von dem dritten durch starke Einbauchung charakterisirten scheidet.

Die Erscheinungen, welche ein nicht justirtes Objektiv bietet, sind nun verschieden nach dem Typus, und dem entsprechend variirt auch die Justirung. In fünf von sechs Fällen wird ein Objektiv zweifellos dem ersten Typus angehören und für alle diese Objektive ist die nachstehend gegebene Methode zu benutzen.

Wir setzen voraus, dass jedes gute Objektiv von über 3 Zoll Oeffnung mit bestimmten Schrauben versehen ist, durch welche die Fassung oder Montirung

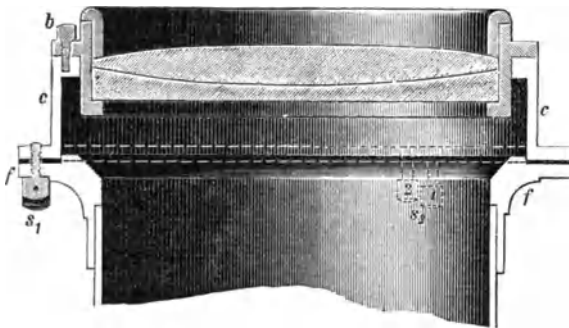


Fig. 8.

Fassung des Objektivs dar, welche an die Kontrefassung *c* mittels dreier Bajonett-

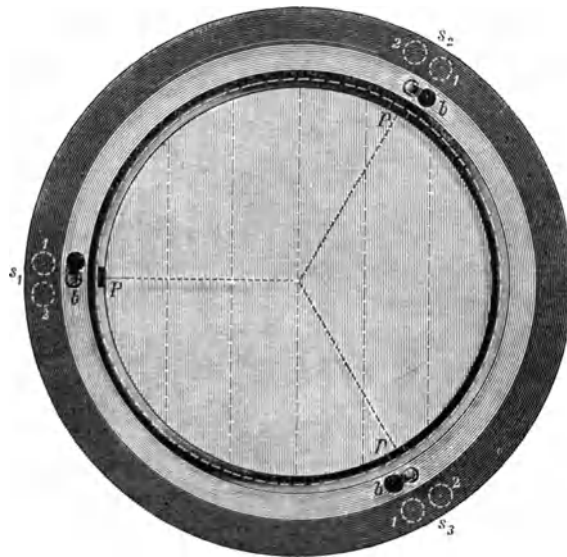


Fig. 9.

Entfernung zu halten; die andere (2) geht lose durch den Flansch *f*, besitzt aber in der Kontrefassung *c* Führung und dient dazu, diese an den Flansch *f*

so lange gedreht werden kann, bis die optische Axe mitten durch das Okular hindurch geht. Die allgemein benutzte Methode wird veranschaulicht durch Fig. 8 und 9, welche einen Querschnitt und eine Vertikalprojektion der Fassungen und ihres Zubehörs, so wie wir dieselben im Allgemeinen selbst anwenden, vorstellen. In Fig. 8 stellt der schraffierte Theil die

Nachdem die Fassung über die drei Schrauben *b* geglitten und darauf so gedreht ist, dass die schmaleren Enden der Bajonettschlitze unter die Schraubenköpfe gebracht sind, werden die letzteren angezogen und die Fassung ist fest. Aber die Kontrefassung *c - c*, welche die Fassung trägt, ist einer Bewegung gegenüber dem festen Flansch *f - f* fähig und zwar vermittelst dreier Paare von Kontreschrauben *s₁s₂s₃*. (Vgl. Fig. 9a.) Von jedem Paar Kontreschrauben geht eine (1) durch den Flansch *f* und drückt gegen die Kontrefassung *c*; dieselbe dient dazu, diese in einiger

heranzuziehen. Es ist klar, dass beim Anziehen beide Schrauben entgegengesetzte Wirkungen ausüben und die Kontrefassung fest in einer bestimmten Entfernung von dem festen Flansch f halten. Der Kürze halber wollen wir (1) die Druckschraube nennen, denn angezogen sucht sie die Kontrefassung von dem betreffenden Punkte zu entfernen; in ähnlicher Weise heisse (2) die Zugschraube, da sie angezogen die Kontrefassung dem festen Flansch zu nähern sucht.

Falls man die Kontrefassung näher an den Flansch bringen will, und zwar in der Nähe eines Paares von Kontreschrauben, so wird man zunächst die Druckschraube durch einen Schlüssel lockern, und die Zugschraube so lange anziehen oder einschrauben, bis der Widerstand der Druckschraube bewirkt, dass die Zugschraube mässig angezogen ist, worauf dann ein weiteres Anziehen aufzuhören hat. Um dagegen den Abstand zwischen der Kontrefassung und dem Flansch an der Stelle oder in der Nähe eines Paares von Kontreschrauben zu vergrössern, lockere man zunächst die Zugschraube hinreichend und schraube dann die Druckschraube bis zu einer geeigneten Spannung ein.

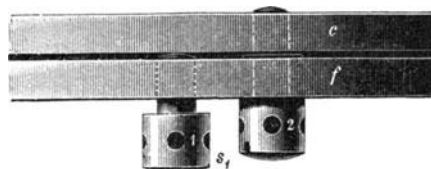


Fig. 9 a.

Aus Fig. 8 ist ferner klar, dass, falls das Objektiv in der Nähe der Schraube s_3 vom Okular zu weit ab steht, dies auf zweifache Weise geändert werden kann; entweder nämlich kann man die Flansche an der Stelle s_3 mittels der dortigen Kontreschrauben nähern, oder — falls eine grössere Annäherung der Flansche nicht angängig ist — an dem s_3 gegenüberliegenden Punkte entfernen; letzteres geschieht, indem man die Flansche vermittle der beiden Paare von Kontreschrauben $s_1 s_2$ entfernt. Um an die Kontreschrauben zu kommen, ist es bisweilen nöthig, den Objektivdeckel zu entfernen.

Will man nun sehen, ob ein Objektiv gut justirt ist, so richte man das Fernrohr auf einen mässig hellen, ziemlich hoch stehenden Stern und bringe dessen Bild in die Mitte des Gesichtsfeldes des Okulars; letzteres sei dabei von mittlerer Stärke. Mag nun ein Objektiv auch noch so gut sein, so ist doch ein wirklich scharfes Bild des Sternes nicht zu erhalten, falls das Objektiv nicht justirt ist, vielmehr wird auch der relativ vollkommenste Bildpunkt ein fächerartiges Aussehen (vgl. Fig. 10c) von sehr markanter Form an Stelle des kleinen scheinbaren Scheibchens zeigen. Beim Ein- und Ausziehen des Okulars wird man ferner bemerken, dass das Licht des Sternes sich zu einem mehr oder weniger birnenförmigen Lichtfleck ausdehnt, dessen schmaleres Ende am hellsten ist. Die Erscheinung besitzt die gleiche Lage, einerlei ob das Okular „innerhalb oder ausserhalb des Fokus sich befindet“ und deutet darauf hin, dass das Objektiv auf der Seite des schmaleren und helleren Endes der birnenförmigen Figur dem Okular zu nahe ist. Liegt demnach z. B. dieses Ende zur Linken des Beobachters wie in Fig. 10a, so kann man den Fehler korrigiren, indem man entweder die Kontrefassung auf der betreffenden linken Seite entfernt, oder auf der entgegengesetzten Seite nähert. Die birnenförmige Lichtvertheilung entsteht dadurch, dass bei einem dem ersten Typus angehörigen, nicht justirten Objektiv diejenigen Strahlen, welche die dem Okular nächsten Theile des Objektivs (z. B. s_1 in Fig. 9) passiren, die kürzeste Vereinigungsweite haben, und diese letztere von da aus entsprechend den parallelen gestrichelten Sehnen bis zur anderen Seite fortwährend wächst. Darnach besitzen

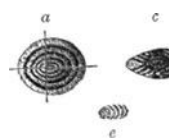


Fig. 10.

diejenigen Strahlen, welche die am meisten nach aussen verdrehten Theile des Objektivs passiren, die grösste Vereinigungsweite. Neben dem genannten existirt noch ein schärferes Justirungskriterium, welches man deshalb auch hauptsächlich in den feineren Stadien der Justirung anwenden wird, und dieses besteht darin, die Lage eines Sternes bei möglichst guter Einstellung recht genau zu beobachten und dann beim plötzlichen Aus- oder Einschrauben des Okulars sein Augenmerk darauf zu richten, ob die mehr oder weniger runde helle Scheibe sich symmetrisch um den früheren Ort ausbreitet, oder ob dies mehr nach der einen oder anderen Seite geschieht. In Fig. 10a hat sich die helle Ausbauchung rechts von der Lage des anvisirten Sternes, die durch ein schmales Kreuz markirt ist, entwickelt und es muss deshalb das Objektiv entweder rechts dem Okular genähert oder links von demselben entfernt werden.

Eine ganze Umdrehung an dem betreffenden Paar der Kontreschrauben kann ungefähr genügend sein, den Fehler zu korrigiren. Man muss dann von Neuem das Teleskop auf einen Stern richten und zwar am besten auf einen kleineren, dem Zenith nahestehenden, und eine weitere Prüfung an diesem in der Mitte des Gesichtsfeldes vornehmen.

Man wird dann wahrscheinlich finden, dass noch ein kleiner Fehlerrest vorhanden ist und besonders bei Anwendung stärkerer Vergrösserungen wahrnehmen, dass wiederum die Helligkeit sich etwas mehr nach der einen Seite



vom Sternort ausbreitet (vgl. Fig. 11); ist dieser Fehler gering, so muss man sehr sorgfältig und kritisch beobachten und das Aus- und Einziehen des Okulars innerhalb sehr enger Grenzen vornehmen, wie ein wenig Praxis bald lehren wird. Eine feinere Hantirung mit den Kontreschrauben wird indess erst am Schluss der Justirung nothwendig sein.

Auch ein sehr wenig erfahrener Beobachter wird bemerkt haben, dass die leuchtende Scheibe, welche ein „nicht im Fokus befindlicher“ Stern zeigt, nicht gleichmässig hell erscheint, sondern in ein System von Interferenzringen aufgelöst ist; je mehr der Stern aus dem Fokus ist und je grösser die leuchtende Scheibe wird, um so grösser ist auch die Zahl der sichtbaren Ringe. Für die letzten Stadien der Justirung ist es nun wichtig, zu beachten, dass kleine Justirungsfehler am leichtesten entdeckt werden können, falls der Beobachter das Okular nur soweit aus dem Fokus zieht, als nöthig ist, um bei Anwendung starker Vergrösserungen ein bis zwei Ringe sichtbar zu machen. Man kann dann die letzten Spuren ungleichmässiger Ausbreitung um den Sternort leicht entdecken und die entsprechenden kleinen Justirungen mit den Kontreschrauben bewirken. Bei einiger Sorgfalt wird der Beobachter ausserdem auch bemerken können, dass der Theil der leuchtenden Scheibe, der sich am weitesten von dem Orte des Sterns hinweg ausbreitet, am wenigsten hell ist, während die entgegengesetzte, dem Orte des Sterns nächste Seite, die grösste Helligkeit zeigt (vgl. Fig. 11); immerhin ist die charakteristische, excentrische Ausbreitung der Ringe in Wirklichkeit am schärfsten zu beobachten. Für Objektive des ersten Typus gilt also folgende Regel: Das Objektiv muss dem Okularende auf derjenigen Seite genähert werden, nach welcher sich das Sternbild beim Verlassen der schärfsten Einstellung (Aus- oder Einschrauben des Okulars) am stärksten ausbreitet; anstatt auf der genannten Seite das Objektiv zu nähern, kann man dasselbe natürlich auch auf der gegenüberliegenden entfernen.

Die Lehrbücher der Astronomie, welche die Justirung übrigens sämmtlich viel

zu kurz behandeln, geben gewöhnlich andere Vorschriften für die Untersuchung von Justirungsfehlern an. Der Beobachter soll nach ihnen die Konfiguration des Sternbildes im Fokus unter hohen Vergrößerungen untersuchen. Er würde dann das kleine Scheibchen nicht kreisrund, sondern oval und zwei bis drei Diffraktionsringe nicht symmetrisch ringsum, sondern auf einer Seite sehen, und dies soll ein Kennzeichen dafür sein, dass das Objektiv auf der Seite der Diffraktionsringe dem Okular genähert werden muss. Falls also der Stern ein Aussehen wie in Fig. 10a zeigt, wo die Ringe rechts liegen, müsste man schliessen, dass das Objektiv auf dieser Seite dem Okularende genähert werden muss. Diese Methode ist theoretisch unzweifelhaft richtig, aber praktisch der von uns gegebenen weit unterlegen und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, weil bei einigermaassen grossen Instrumenten eine ausnehmend gute Beobachtungsnacht erforderlich ist, um das Sternscheibchen und die umgebenden Ringe scharf zu untersuchen. Der Beobachter kann nämlich in einer gewöhnlichen Nacht sein Objektiv für hinreichend justirt halten und dann bei besserem Himmel belehrt werden, dass die Justirung lange nicht vollständig war. Wenn dagegen der Beobachter die von uns empfohlene Methode in einer Durchschnittsnacht sorgfältig anwendet, so wird er erstens sein Objektiv in viel kürzerer Zeit justiren können und zweitens wird dieses auch in einer wirklich guten Nacht die andern Proben bestehen und die Diffraktionsringe symmetrisch um das Scheibchen zeigen (vgl. Fig. 12a) — vorausgesetzt natürlich, dass das Objektiv wirklich gut ist.

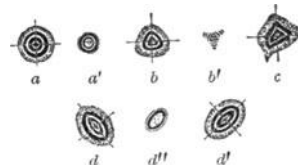


Fig. 12.

Falls es sich um ein grosses Teleskop handelt und der Tubus zum Zwecke der Justirung mit dem Okularende nach oben gedreht werden muss, kann leicht versehentlich an den falschen Schrauben gedreht werden. Man soll sich deshalb bei der Untersuchung die Richtung der stärksten Lichtausbreitung in Bezug auf irgend einen festen Punkt des Teleskoptubus wie Sucher, Deklinationsaxe, Deklinationsklemme u. s. w. merken.

Ist nun das Objektiv vollständig justirt, so wird man bei der Untersuchung des Bildes eines schwachen Sternes wahrnehmen, dass die Lichtausbreitung symmetrisch zum Sternort in der Brennebene erfolgt (vgl. Fig. 12, a, b, c, d und d', wo ein kleines Kreuz den Sternort in der Brennebene angiebt), und hierauf kommt es für die Justirung allein an. Es kann nämlich vorkommen, dass trotz symmetrischer Lichtausbreitung gegenüber dem Sternort in der Brennebene nichtsdestoweniger das Lichtscheibchen nicht rund, sondern oval (d und d') oder sogar unregelmässig (c) gestaltet erscheint. Solche Erscheinungen weisen dann auf Fehler entweder im Objektiv oder im Auge des Beobachters hin, und wir werden später Anleitung geben, um den Ort derselben zu finden und dem Beobachter einen klaren Begriff von der Qualität seines Instrumentes zu verschaffen.

Die angeführten Regeln bezogen sich auf die Justirung der Objektive vom ersten Typus. Noch einmal sei daran erinnert, dass ein Objektiv (2) eine viel sorgfältigere Justirung erfordert als (3), eine noch sorgfältigere als (4) und eine bei Weitem sorgfältigere als (5), und dass also der gleiche Betrag an Verdrehung — sagen wir z. B. 10' — der Reihenfolge der Nummern nach immer weniger und weniger schädlich sein wird.

Wenden wir uns jetzt zum zweiten Objektivtypus, wie er in Fig. 6 dargestellt und oben näher charakterisirt worden ist, so finden wir, dass dieser nicht

den gleichen Regeln wie der erste folgt. Auch bei beträchtlicher Neigung des Objektivs breitet sich vielmehr die von einem Sterne ausserhalb der Brennebene hervorgebrachte Lichtvertheilung symmetrisch gegenüber dem Orte schärfster Einstellung aus und erscheint nur mehr oder weniger oval. Fig. 12 *d* und *d'* zeigen die Erscheinung auf beiden Seiten der Brennebene und zwar liegt die grössere Axe des Ovals, falls es sich um die Einstellung innerhalb der Brennweite handelt, parallel zu der Axe, um die das Objektiv gedreht ist, während ausserhalb der Brennweite die grössere Axe des Ovals senkrecht zu der vorigen Richtung steht. Dieser astigmatische Fehler verhindert übrigens keineswegs die Benutzung dieses Objektivtypus zu photographischen Zwecken, bei denen ja in erster Linie grosses Gesichtsfeld erforderlich ist. Wird ein Objektiv dieses Typus zum Sehen konstruirt, und findet der Beobachter bei Anwendung hoher Vergrösserung, dass die leuchtende Scheibe, die von einem Stern innerhalb der Brennweite erhalten wird, ein aufrechtes und entsprechend ausserhalb der Brennweite ein waagerechtes Oval ist, und hat er sich ferner überzeugt, dass diese Erscheinung nicht einem Fehler in seinem Auge zuzuschreiben ¹⁾, sondern vom Objektiv verursacht ist, so ist entweder dieses an und für sich fehlerhaft oder nicht gehörig justirt. In letzterem Falle muss die Drehung des Objektivs um eine vertikale Axe erfolgen und zwar entweder im Sinne einer Annäherung links und Entfernung rechts oder umgekehrt; denn nur der Versuch kann hier zeigen, welche Bewegung erforderlich ist. Lässt sich der Astigmatismus durch Drehung nicht beseitigen, so ist man zu dem Schlusse gezwungen, dass das Objektiv selbst fehlerhaft ist. —

Was schliesslich den dritten Objektivtypus (Fig. 7) anbelangt, so zeigt es sich, dass dieser sich bei Justirungsfehlern gerade entgegengesetzt wie der erste verhält. Breitet sich demnach die leuchtende Scheibe exzentrisch gegenüber dem Sternort in der Brennebene aus, so muss gerade auf der Seite der stärkeren Ausbreitung das Objektiv entfernt werden. Liegt z. B. die stärkste Ausbreitung rechts, so muss das Objektiv entweder rechts vom Okular entfernt oder links demselben genähert werden. — Die ganze Justirung eines Objektivs darf, falls das Wetter fortwährend Beobachtungen von hochstehenden Sternen gestattet, selbst bei grossen Instrumenten nicht mehr als eine Stunde erfordern. Für Fernrohre ohne Uhrwerk giebt es vielleicht zum Zwecke der Justirung und nachfolgenden Prüfung keinen geeigneteren Stern als den Polarstern. Die Justirung vollzieht sich sehr leicht bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit, erfordert jedoch besonders in den allerfeinsten Stadien eine sehr sorgfältige Benutzung des Auges. Man muss deshalb für möglichst bequeme Körperhaltung sorgen, da jede gezwungene Lage oder Stellung die Genauigkeit der Beobachtung ausserordentlich beeinträchtigt. Auch dann werden allerdings dem Anfänger die letzten Mängel an Justirung immer noch unbemerkt bleiben, mag er sein Auge auch anstrengen, wie er will; ist er dagegen mit seinem Instrument vertraut geworden und hat er sein Auge gewöhnt, auf die Kennzeichen von Justirungsfehlern zu achten, so wird er ausserordentlich rasch dieselben bemerken und, wenn er seinen Stolz in ein gutes Instrument setzt, sie ebenso rasch auch verbessern; denn ein wirklich gutes Instrument kann bei hohen Vergrösserungen niemals das Maximum seiner Leistungsfähigkeit besitzen, falls noch irgend ein merklicher Justirungsfehler vorhanden ist.

Ist nun ein Objektiv vollständig justirt, so muss der Beobachter weiter

¹⁾ Dies geschieht durch eine einfache später angegebene Methode.

ein Urtheil über die optische Qualität seines Instruments zu gewinnen versuchen und wir werden deshalb jetzt hierzu Anleitungen und Erläuterungen geben. Die folgenden Bemerkungen beziehen sich gleichmässig ohne Unterschied auf alle Objektivtypen, die zu astronomischen Zwecken benutzt werden, und bei denen das Bild durch Okulare von beträchtlicher Vergrösserung betrachtet wird; dagegen lassen sie keine Anwendung auf Opernglasobjektive und eine nur sehr geringe auf photographische Objektive zu, bei denen das Bild keiner stärkeren Vergrösserung unterworfen wird.

Achromasie.

Bei der Prüfung eines Objektivs hat man vielleicht in erster Linie die Aufmerksamkeit auf den chromatischen Korrektionszustand zu richten. Da mit geringen Ausnahmen die an astronomischen Instrumenten benutzten Okulare Ramsdensche oder Huygens'sche¹⁾ sind, so ist hier zunächst darauf hinzuweisen, dass bei diesen die Stärke einen vollständig wahrnehmbaren Einfluss auf die scheinbare chromatische Korrektion eines Fernrohrbildes ausübt. Ein sehr verbreitetes Missverständniss besteht übrigens über die wahre Natur der sogenannten Achromasie dieser Okulare. Achromatisch sind dieselben nämlich nur in dem Sinne, dass sie auf seitliche d. h. vom Rande des Gesichtsfeldes ausgehende Büschel in der gleichen Weise wie auf axiale wirken. Wendet man ein solches Okular auf ein absolut achromatisches Bild an, wie man es z. B. bei einem Reflektor erhält, so tritt folgendes ein: Ein axiales Büschel, welches die Mitte der Vorderlinse senkrecht trifft, besteht bei seinem Austritt aus verschiedenfarbigen Büscheln mit gemeinsamer Axe d. h. alle farbigen Büschel scheinen aus derselben Richtung zu kommen; sie treten jedoch nicht aus, als ob sie von demselben Punkte ihrer gemeinsamen Axe kämen, wie es doch der Fall sein würde, falls das Okular im gewöhnlichen Sinne achromatisch wäre. Wenn z. B. die blauen Strahlen in der Nähe von F genau parallel austreten, so divergiren die rothen Strahlen in der Nähe von C . Genau das gleiche geschieht nun bei einem weissen Büschel, das vom Rande des Gesichtsfeldes ausgeht. Auch dieses tritt so aus, dass die farbigen Einzelbüschel, aus denen es besteht, aus derselben Richtung, aber nicht von demselben Punkte in jener Axe oder Richtung zu kommen scheinen; sind die Strahlen in der Nähe von F parallel, und kommen demnach scheinbar von einem unendlich entfernten Punkte, so divergiren die in der Nähe von C so, dass sie von einem nähergelegenen Punkte der gleichen Richtung zu kommen scheinen. Aus diesem Grunde wird auch das mit einem Reflektor erhaltene Bild bei Benutzung solcher Okulare nicht vollständig achromatisch, sondern mehr oder weniger unterkorrigirt aussehen. Dieser Mangel an Achromasie wird sich aber gleichmässig im ganzen Bildfelde zeigen, und gerade dieses charakteristische Verhalten hat dem Okular die Bezeichnung „achromatisch“ eingetragen. Würde nämlich das Bild durch eine einfache Linse von gleicher Fokallänge mit dem Huygens'schen Okular betrachtet und das Auge so hinter die Linse plazirt, dass es das ganze Gesichtsfeld zugleich übersähe, so würde das Bild des Sternes in der Mitte des Gesichtsfeldes ungefähr gleich stark gefärbt sein wie bei Benutzung eines Huygens'schen Okulares; die Bilder am Rande des Gesichtsfeldes würden hingegen bei einer einfachen Linse sehr undeutlich und in farbige Spektren ausgezogen erscheinen. Die Länge dieser Spektren nimmt nach dem Rande des Gesichtsfeldes hin zu und ihre rothen Enden sind nach der Mitte desselben gerichtet.

¹⁾ Gewöhnlich ist das Letztere der Fall.

Nehmen wir an, das Auge wäre achromatisch, so lässt sich zeigen, dass die Farben, die im Huygens'schen oder Ramsden'schen Okular ihren Ursprung haben, für das direkte Sehen sehr wenig störend sind; das gleiche gilt für die Farben einfacher Linsen gleicher Brennweite, sobald es sich nur um zentrale Büschel handelt. Ferner lässt sich zeigen, dass diese Färbungen für ein achromatisches Auge unabhängig von der Fokallänge, oder in anderen Worten, subjektiv gemessen unabhängig von der vergrößernden Kraft des Okulars sind.

Es lassen sich indess zwingende Beweise dafür erbringen, dass das menschliche Auge weit davon entfernt ist, achromatisch zu sein und dieser Mangel an Achromasie ist ein Faktor von grosser Bedeutung, dessen Einfluss auf den scheinbaren achromatischen Zustand von Teleskopen bei Anwendung verschiedener Vergrößerung oft übersehen worden ist.

Nehmen wir an, ein Beobachter betrachte das vom Reflektor erhaltene Bild eines Sternes nach einander mit einer Reihe von Huygens'schen Okularen, deren schwächstes ein die Pupille des Auges gerade ausfüllendes Lichtbüschel durchlässt,¹⁾ so wird er bei Anwendung desselben einen merklichen rothen Farbensaum um das Bild des Sternes sehen und ganz besonders deutlich wird die Erscheinung sein, falls er das Okular etwas einschiebt. Wendet er allmähig höhere und höhere Vergrößerungen an, so wird er bemerken, dass der rothe Saum oder die scheinbare Unterkorrektion mehr und mehr verschwindet, und dass bei sehr hohen Vergrößerungen nur eine ganz leichte Spur von rother Säumung übrig bleibt. Dieser relativ geringe Betrag ist ungefähr das, was im Okular selbst seinen Ursprung hat, während die stärkere bei schwächeren Vergrößerungen bemerkbare Färbung dem Auge zuzuschreiben ist. — Es ist nämlich einleuchtend, dass der Dispersionseffekt bei einem Strahle grösser ist, der am Rande der Pupille vorbeigeht und am Rande der Linse gebrochen wird, als bei einem Zentralstrahl, und deshalb wird ein Lichtbüschel, welches aus einem schwachen Okular austritt und breit genug ist, um die Pupille zu füllen, mehr unter dem Achromasiemangel des Auges leiden als ein sehr enges, vielleicht 0,5 mm breites Büschel, welches aus einem sehr starken Okular austritt. Sieht der Beobachter einmal völlig von der Benutzung eines Okulares ab und betrachtet das Bild eines Sternes mit blossem Auge, so wird er, wenn er sein Auge dem Bilde solange nähert, bis dieses zu einem Scheibchen anzuschwellen beginnt, dann einen fast gleich starken rothen Saum wie bei Benutzung des schwachen Okulares sehen und so einen Begriff von der Färbung erhalten, die dem Auge zuzuschreiben ist; denn an der vollkommenen Achromasie des von einem Reflektor erhaltenen Bildes kann man nicht zweifeln.

Es ist natürlich bei grossen Refraktoren sehr wichtig, dass das beste und farbloseste Netzhautbild bei den höheren Vergrößerungen, wie sie bei feineren Stern- und Planetenbeobachtungen angewendet werden, zu Stande kommt, und es ist deshalb üblich, die chromatische Korrektion des Objektivs darauf hin zu gestalten. Mit einer Vergrößerung gleich dem 20- bis 30fachen Betrage der in Zentimeter ausgedrückten Apertur sollte ein gutes Objektiv ein so vollkommen chromatisches Bild auf der Netzhaut geben, wie es eben mit dem zur Verfügung stehenden Material möglich ist. Es ist klar, dass das Objektiv streng genommen eine Kleinigkeit chromatisch überkorrigirt sein muss, wenn der Mangel an Achromasie im Okular und im Auge kompensirt werden soll; denn wie wir eben ge-

¹⁾ Die hierzu nöthige Vergrößerung ergibt sich, indem man die Oeffnung des Spiegels durch den Durchmesser der Augenpupille dividirt.

sehen haben, lässt die kombinierte Wirkung von Okular und Auge ein vollständig achromatisches Büschel chromatisch unterkorrigirt erscheinen. Aber es ist nicht ganz so klar, dass der Betrag an Ueberkorrektion im Objektiv bei schwächeren Vergrößerungen nicht zur Kompensation genügt, und bei stärkeren Vergrößerungen für diesen Zweck zu bedeutend ist. Und doch liegen die Dinge so. Es lässt sich nämlich, falls man die Sehbedingungen und die Wirkung des Okulars in Rechnung zieht, theoretisch beweisen, dass vollkommene Achromasie auf der Retina nur bei einer Vergrößerung, die übrigens willkürlich gewählt werden kann, möglich ist. Dies ist bei der Prüfung eines Objektivs auf seinen chromatischen Korrektionszustand zu berücksichtigen.

Ein Objektiv soll so korrigirt sein, dass die hellsten Strahlen des Spektrums, die ungefähr zwischen *C* (orange roth) und *F* (blaugrün) liegen, bei einer Vergrößerung gleich dem 20- bis 30fachen Betrag der Oeffnung zugleich auf der Netzhaut vereinigt werden. Ist dies der Fall, so haben die dunkleren Strahlen jenseits *C* ihren Vereinigungspunkt ein wenig dahinter, während die brechbareren Strahlen jenseits *F*, die dem Einflusse des Flint unverhältnissmässig stark unterworfen sind, ihren Vereinigungspunkt so weit hinter dem Hauptbrennpunkt haben, dass sie — und dies besonders unter höheren Vergrößerungen — sehr beträchtlich zerstreut und deshalb verhältnissmässig unmerklich werden.

Es giebt vielleicht keinen Stern, der sich mehr zur Prüfung des chromatischen Korrektionszustandes bei mittleren und grösseren Objektiven eignete, als der Polarstern. Richtet man ein Fernrohr auf diesen Stern und untersucht das Bild unter Anwendung der genannten Vergrößerungen, so sieht man, falls das Objektiv vollständig korrigirt und das Okular so weit eingeschoben ist, um 2 bis 3 Ringe erkennen zu lassen, eine gelblich weisse Scheibe, umgeben von einem sehr schmalen rothen Saum. Die entsprechende Erscheinung bei herausgezogenem Okular ist die gleiche gelblich-weiße Scheibe, aber ohne irgend eine Spur eines rothen Saumes. Nimmt der Beobachter das Ausziehen des Okulars mit grosser Vorsicht vor, so wird er überdies ein kleines hellrothes Sternscheibchen bemerken können, welches sich in demselben Momente bildet, wo der „Hauptbrennpunkt“ sich merklich auszubreiten beginnt. Es ist dies der Vereinigungspunkt der weniger brechbaren Strahlen jenseits *C*.

Zieht man das Okular noch ein wenig weiter heraus, so beginnt sich ein unbestimmter blauer „Brennpunkt“ in der Mitte zu bilden. Geht man dann noch weiter mit Ausziehen, bis sich ungefähr fünf bis sechs Ringe zählen lassen, so liegt ein blauer Schimmer über dem gelblich weissen Ringsystem, der die inneren Ringe überdeckt, den äusseren dagegen schwerlich erreicht und nach der Mitte zu heller und violett gefärbt ist.

Richtet man nun bei Anwendung des gleichen Okulares das Fernrohr auf einen blau-weissen Stern wie z. B. auf die Wega, so wird man schwerlich bei eingeschobenem Okular den früheren rothen Saum finden; denn das Licht der Sterne dieser Art ist arm an den weniger brechbaren rothen Strahlen. Richtet man andererseits das Fernrohr auf einen rothen Stern, wie *a Orionis*, so wird man finden, dass der bei eingeschobenem Okular sichtbare rothe Saum sehr markant und viel deutlicher als beim Polarstern ist. Diese rothen Sterne sind nämlich reich an den weniger brechbaren rothen Strahlen.

Wir erwähnen dies hier, weil viele Beobachter bei der Prüfung ihres Fernrohres an einem rothen Stern geneigt sein dürften, gerade da auf Unterkorrektion

des Objectives zu schliessen, wo dasselbe in Wirklichkeit so achromatisch wie möglich ist.

Wir wenden uns jetzt wieder zum Polarstern und beobachten den Einfluss einer Okularänderung. Setzen wir voraus, die Achromasie wäre so vollkommen wie nur möglich bei einer Vergrösserung gleich dem 20fachen Betrage der Oeffnung (in *cm*) und wir benutzten ein Okular, das die doppelte Vergrösserung giebt, so wird man bei eingeschobenem Okular keine Spur eines rothen Saumes sehen, vielmehr wird an dessen Stelle ein eben merklich grünlicher Saum sich vorfinden und demnach das Objectiv überkorrigirt erscheinen, was ja auch in der That der Fall ist. Bei Anwendung geringerer Vergrösserungen wird man dagegen finden, dass der bei eingeschobenem Okular sichtbare rothe Saum mit zunehmender Brennweite des Okulars breiter und deutlicher und demnach das Objectiv mehr und mehr unterkorrigirt erscheinen wird. Dies ist der Fall bis zu einer Vergrösserung gleich dem Verhältniss von Objectiv und Pupillendurchmesser und bei dieser wird die scheinbare Unterkorrektion ihr Maximum erreichen. Wie wir nämlich vorher auseinandergesetzt haben, ist der Ursprung dieser scheinbaren Unterkorrektion nicht im Okular, sondern im Auge zu suchen; denn die scheinbare Wirkung des Okulars in Bezug auf Färbung ist eine fast vollkommen konstante Grösse.

Aus den angeführten Gründen ist es nicht richtig, die Achromasie eines Objectives mit irgend einem beliebigen Okular zu untersuchen oder an irgend einem beliebigen Stern; wenigstens müsste dann der Beobachter mindestens annähernd wissen, welcher Antheil an der Gesamtwirkung auf Rechnung des Okulars und der vorwiegenden Farbe des Sternes zu setzen ist.

Falsche Zentrirung.

Wenn die beiden Linsen, aus denen ein Objectiv besteht, entweder falsch gefasst oder so mangelhaft in die Fassung eingepasst sind, dass die optischen Mittelpunkte nicht zusammenfallen, so beeinflusst dies in leicht bemerklicher Weise die Strahlenvereinigung. Schiebt man nämlich das Okular etwas ein, so kann man bemerken, dass die eine Seite des Ringsystems stärker roth erscheint als die andere, und dass entsprechend ein helles Objekt einen mehr oder weniger rothen Rand auf der einen und vielleicht auch einen grünen Saum auf der anderen Seite zeigt. Man hat dann immer zu schliessen, dass der Mittelpunkt der Flintlinse gegenüber dem der Kronlinse nach der Richtung verschoben ist, in welcher der rothe Saum am kräftigsten auftritt. Zeigt sich z. B. der rothe Saum rechts, so bedeutet dies, dass das Zentrum der Flintlinse nach rechts vom Zentrum der Frontlinse verschoben ist. Ist der Fehler bedeutend, so ist das Bild des Sternes in eine Art Spektrum auseinander gezogen. Bei der Untersuchung auf diesen Fehler ist es ausserordentlich wichtig, das Instrument auf einen dem Zenith nahestehenden Stern zu richten; es hat dies den Zweck, die atmosphärische Dispersion zu vermeiden. Richtet man nämlich ein vollkommen zentrirtes Objectiv auf einen Stern in der Nähe des Horizontes, so liefert derselbe keineswegs ein achromatisches Bild, sondern erscheint vielmehr in ein vertikales Spektrum mit dem rothen Ende nach oben ausgezogen. Und selbst in mittleren Höhen liefert ein grosses Fernrohr trotz vollkommener Zentrirung ein oben merklich mehr roth gefärbtes Bild von einem Sterne. Diese atmosphärische Dispersion kann übrigens leicht durch ein Prisma mit kleinem Winkel korrigirt werden, welches man mit der Kante nach oben hinter das Okular stellt.

Astigmatismus.

Von fundamentaler Wichtigkeit ist die strenge Erfüllung der Bedingung, dass alle Strahlen, die das Objektiv in gleicher Entfernung von der Axe treffen, in gleicher Weise gebrochen werden. Bricht das Objektiv zwei Strahlen, die auf den entgegengesetzten Enden eines Durchmessers liegen und von der Axe gleich weit abstehen, stärker als die Strahlen, welche die entsprechenden Punkte eines zu dem ersteren senkrechten Durchmessers treffen, so nennt man das Objektiv astigmatisch.

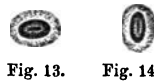
Ein Verstoss gegen die obige Bedingung ist schwerwiegender als irgend ein anderer. — Wir wählen denjenigen Durchmesser des Objectives, an dessen Enden die stärkste Brechung stattfindet und legen eine Ebene durch denselben und die optische Axe; diese Ebene heisse der erste Hauptschnitt. Legt man eine zweite Ebene (zweiter Hauptschnitt genannt) rechtwinklig zu der ersteren ebenfalls durch die optische Axe, so findet in dieser die schwächste Brechung statt.

Man wird sehen, dass der Einfluss solcher Verhältnisse auf das Bild eines leuchtenden Punktes ein sehr eigenthümlicher ist. Die kürzeste Vereinigungsweite der Strahlen liegt im ersten Hauptschnitt und die erste Wirkung ist die Bildung einer kurzen Brennlinie im zweiten Hauptschnitt. Betrachtet man dagegen die Vereinigung der Strahlen im zweiten Hauptschnitt, so lässt sich zeigen, dass eine zweite ungefähr der ersten gleiche Brennlinie im ersten Hauptschnitt entsteht. Anstatt einer runden Scheibe (wie Fig. 12a', S. 7) besteht das Bild eines Sternes demnach aus einer Linie in dem ersten und einer ähnlichen rechtwinklig zur ersteren liegenden Linie in dem zweiten Hauptschnitt. Fig. 12 d'' stellt ein solches in die Länge gezogenes Bild eines Sternes dar. Welche der beiden Brennlinien man sieht, hängt einfach davon ab, auf welche von beiden eingestellt ist. Es lässt sich ferner zeigen, dass ein mitten zwischen den beiden Brennlinien durch die Strahlen gelegter Querschnitt ein Kreis ist, dessen Durchmesser halb so gross wie jede der beiden Fokallinien ist; derselbe heisst der Kreis der kleinsten Zerstreuung und man wird wahrscheinlich auf ihn einstellen. Um den schädlichen Einfluss des Astigmatismus zu zeigen, wollen wir annehmen, ein Objektiv habe 15 cm (6 Zoll) Oeffnung und 225 cm Brennweite und zeige dabei eine Vereinigungsdifferenz für die beiden Hauptschnitte von 0,5 mm. Die Länge jeder der beiden Fokallinien wird dann 0,0333 mm und der Durchmesser des Kreises kleinster Zerstreuung 0,0166 mm sein, und diese Beträge sind gleich dem 3- bzw. 1½-fachen des Durchmessers, welchen das scheinbare Scheibchen in einem fehlerlosen Teleskop gleicher Grösse besitzen würde. Fig. 12 d'' zeigt das Bild eines Sternes, welches man bei Einstellung auf eine der Brennlinien sehen würde; der grössere Durchmesser ist dabei ungefähr viermal so gross wie der kleinste. Mit diesem Betrag an Astigmatismus würde der Kreis kleinster Zerstreuung ungefähr wie ein Sternscheibchen von mehr als der doppelten normalen Grösse erscheinen und deshalb das Instrument für die Beobachtung enger Doppelsterne unbrauchbar sein. Nun ist aber, gerade wie wir vorher bei Besprechung der Achromasie ausgeführt haben, die Vollkommenheit des Netzhautbildes der Punkt, auf den es ankommt, und es folgt deshalb daraus, dass das Objektiv vollständig frei von Astigmatismus ist, noch lange nicht, dass der Beobachter mit demselben gut sehen wird; denn das Auge des Beobachters kann ja noch astigmatisch sein. Thatsächlich ist ein noch dazu keineswegs unbedeutender Astigmatismus ein sehr häufiger Fehler des

menschlichen Auges, der auch vom Beobachter leicht entdeckt werden kann. Wir wollen deshalb im Folgenden die Kennzeichen des Astigmatismus im Fernrohr und im Auge beschreiben, um dem Beobachter die Möglichkeit zu verschaffen, beide zu erkennen und zu trennen.

Man wählt dazu am besten einen mässig hellen Stern in der Nähe des Zeniths, der demnach auch nicht stark funkelt, und bringt denselben bei Anwendung niedriger Vergrösserung in die Mitte des Gesichtsfeldes. Beim Einschieben und Herausziehen des Okulars durch den Brennpunkt hindurch sollte dann die leuchtende Scheibe bezw. das Ringsystem vollkommen rund erscheinen. Ist dies nicht der Fall, sondern erscheint dasselbe deutlich oval und liegen die Axen der beiden Ovale, die man zu beiden Seiten des Brennpunktes erhält, senkrecht zu einander, so ist mit grosser Wahrscheinlichkeit zu schliessen, dass das Auge des Beobachters astigmatisch ist. Um dies zu entscheiden, beobachtet man einfach, ob die Axe des Ovals bei einer Drehung des Kopfes um die optische Axe des Fernrohres sich mit dreht. Ist dies der Fall und erscheint der Astigmatismus überall gleich gross, so ist klar, dass der Fehler subjektiver Natur ist und im Auge liegt. Dreht dagegen die Erscheinung sich nicht mit dem Auge, sondern erscheint in fester Lage gegenüber dem Fernrohr, so liegt der Fehler in diesem letzteren. Will man besonders vorsichtig sein, so kann man auch das Okular drehen und beobachten, ob die Erscheinung die entsprechende Drehung mitmacht; sollte dieser Fall — wie kaum zu erwarten — eintreten, so liegt der Astigmatismus im Okular. Ist weder das Auge noch das Okular fehlerhaft, so muss es das Objektiv sein und zwar in bedenklichem Grade, da es bei schwacher Vergrösserung merklich ist. Findet weiter der Beobachter das Bild bei einer bestimmten Kopfstellung stark astigmatisch und bei einer dazu senkrechten frei von Astigmatismus und zwar auf beiden Seiten des Fokus, so bedeutet dies, dass sowohl Objektiv wie Auge astigmatisch und zwar in gleichem Grade astigmatisch sind. In diesem Falle kann sich nämlich der Astigmatismus bei einer bestimmten Augenstellung aufheben und bei der dazu senkrechten verdoppeln. Sollte weiter die Stärke des Astigmatismus mit der Augenstellung des Beobachters so veränderlich sein, dass das Bild in der einen Stellung sehr und in der anderen nur mässig schlecht erscheint, so würde dies bedeuten, dass der Astigmatismus des Auges und des Instrumentes ungleich sind und demnach eine Kompensation nicht stattfinden kann. Die Anwendung schwacher Vergrösserungen, die wir oben empfohlen haben, ist speziell dazu geeignet, den Astigmatismus im Auge zu entdecken und zwar aus dem einfachen Grunde, weil der Astigmatismus des Auges wie der jeder Linsenkombination um so grösser ist, je grösser die wirksame Augenöffnung ist. Bei schwachen Vergrösserungen ist nun vielleicht das in das Auge eintretende Lichtbüschel breit genug, um die Pupille ganz auszufüllen und demnach das Auge bis zu seiner vollen Oeffnung zu erproben, während bei starken Vergrösserungen, wo z. B. der Durchmesser des austretenden Lichtbüschels kaum 0,5 mm beträgt, nur ein kleiner Theil der Augenöffnung benutzt wird. Wenig zweckmässig sind dagegen geringe Vergrösserungen bei der Untersuchung des Objektivs auf Astigmatismus und man soll vielmehr zu diesem Zwecke so hohe Vergrösserungen anwenden, als es der Zustand der Atmosphäre nur irgend erlaubt. Ferner sind am besten wiederum Sterne in der Nähe des Zeniths. Die Lichtvertheilung kurz vor und hinter dem Brennpunkt wird wie in den Fig. 13 und 14 aussehen. Der Beobachter wird zunächst, gerade wie wir vorher auseinandergesetzt haben, untersuchen, ob der Astigmatismus im

Auge oder Instrument liegt. In ersterem Fall müsste derselbe schon sehr bedeutend sein, um bei so hoher Vergrößerung wahrgenommen zu werden und es wird meistens bei astigmatischen Kennzeichen das Objektiv fehlerhaft sein. Der Beobachter ist dann nicht in der Lage, auf Grund allgemeiner Vorschriften Abhilfe zu schaffen; denn der Fehler kann verursacht sein durch schlechte Kühlung, mangelhaftes Material, schlechten Schliff und fehlerhafte Fassung des Objektivs, die zu mechanischer Verzerrung Anlass giebt. Ist letzteres der Fall, so dürfte der Beobachter wohl berechtigt sein, Abhilfe zu versuchen. Bisweilen ist Astigmatismus sowohl in der Kron- wie in der Flintlinse vorhanden; ist derselbe in gleichem Betrage vorhanden, so kann man durch Verdrehen der einen gegenüber der anderen Linse eine Stellung finden, wo das Objektiv entweder fast oder ganz von Astigmatismus frei ist. Aus diesem Grunde tragen die Linsen mancher Objektive an den Rändern Marken, deren Zusammenfallen das Maximum der Leistungsfähigkeit anzeigt.



Wir haben besonders auf die Mittel, Astigmatismus im Auge zu entdecken, aufmerksam gemacht, weil dieser Fehler viel häufiger ist, als man gewöhnlich glaubt, und wir mit gutem Grunde annehmen, dass schon viele im Besitz guter Instrumente befindliche Beobachter getäuscht worden sind; denn dieser Fehler, von dem sie keine Ahnung haben, ist oft Schuld daran, dass sie nicht die Deutlichkeit beim Sehen erreichen und die Dinge am Himmel sehen, welche sie erwarten. Es ist deshalb für jeden beobachtenden Astronomen von grosser Wichtigkeit, dass er seine Augen auf jenen Fehler hin untersucht und, falls derselbe vorhanden, vom Augenarzte sich passende Gläser verschreiben lässt. Letztere können entweder in einer Brille getragen oder in einen über das Okular stülpbaren Deckel eingesetzt werden, der nach der Stellung des Beobachters gedreht werden kann. Auf diese Weise kann man Fehler im Auge unschädlich machen und die grösstmögliche Schärfe mit einem wirklich guten Fernrohr erreichen. Wir können hier noch erwähnen, dass die Grösse des Astigmatismus bei manchen Personen veränderlich ist, dass derselbe bisweilen an einem Tage ganz fehlt und an einem anderen in hohem Grade vorhanden ist. Sollte dies bei einem Beobachter der Fall sein, so kann dieser durch Benutzung von Zylinderlinsen verschiedener Stärke im Okulardeckel Abhilfe schaffen.

Sphärische Aberration.

Bei jedem Objektiv, das diese Bezeichnung in Wirklichkeit verdient, muss die sphärische Aberration der Kronlinse durch die der Flintlinse kompensirt sein, und nur der grössere oder geringere Grad der Vollkommenheit dieser Korrektion entscheidet darüber, ob es ein wirklich gutes oder ein Objektiv dritten Ranges ist.

Um sphärische Aberration nachzuweisen, richtet man, nachdem das Objektiv hinreichend abgekühlt ist (vgl. den späteren Abschnitt über „Mechanische Spannungen“), das Fernrohr am besten auf einen Stern von mässiger Helligkeit und untersucht die Beschaffenheit des Bildes ausserhalb der Brennebene bei mittlerer Vergrößerung. Am besten dürfte es dabei sein, wenn der Beobachter die Einstellungsebene so weit vom Fokus entfernt wählt, dass drei oder vier Ringe sichtbar sind. Die Anwesenheit von Aberration wird sich dann dadurch zu erkennen geben, dass die beiden äusseren Ringe massiver und heller erscheinen; besonders ist dies für den äussersten der Fall, falls die Einstellungsebene auf

einer bestimmten Seite des Brennpunktes liegt. Lässt man die Einstellungsebene vom Brennpunkt nach dem Objektiv zu wandern und findet dabei, dass die mittleren Ringe sehr schwach, die äusseren dagegen und vor Allem der alleräusserste massiv und hell aussehen, während vom Brennpunkt aus nach aussen die Erscheinung gerade komplementär ist, also die inneren Ringe heller und die äusseren schwächer aussehen als in der Brennebene, so muss man schliessen, dass die Randstrahlen kürzere Vereinigungsweite haben, als die Zentralstrahlen oder mit anderen Worten, dass positive Aberration vorliegt. Fig. 15 zeigt die Erscheinung innerhalb, Fig. 15a die (komplementäre) Erscheinung ausserhalb der Brennweite.



Fig. 15.



Fig. 15 a.

Sind hingegen die mittleren Ringe innerhalb der Brennweite fast so hell oder sogar heller als der äussere und dieser zart und schwach (vergl. Fig. 15a), während ausserhalb der Brennweite die Erscheinung komplementär ist und der äussere Ring massiv und hell aussieht, so hat man zu schliessen, dass die Randstrahlen sich und die Axe später schneiden als die Zentralstrahlen und dass demnach negative Aberration vorliegt. Ist der Betrag der sphärischen Aberration sehr gering, so lässt er sich am besten nachweisen, wenn man starke Vergrösserungen anwendet und sich nicht weiter vom Brennpunkt entfernt, als bis zwei Ringe oder auch nur ein Ring sichtbar sind.



Fig. 16.



Fig. 16 a.

Natürlich sind die Kennzeichen dann immerhin noch wenig deutlich. So stellt z. B. Fig. 16 die Erscheinung auf der einen und Fig. 16a die Erscheinung auf der anderen Seite des Brennpunktes dar, während bei vollständig aberrationsfreiem Objektiv die Erscheinungen auf beiden Seiten des Brennpunktes abgesehen von Farbenunterschieden völlig gleich sein würden (Fig. 20 und 20a, S. 18). Berücksichtigt man die Farbe, so muss man daran denken, dass die Ausbreitung des blauen Schimmers über den inneren Ringen, die ausserhalb der Brennweite eintritt, die scheinbare Helligkeit jener etwas erhöht. Ist nun ein Objektiv vollkommen, so werden die äusseren Ringe innerhalb der Brennweite etwas grösseren Kontrast gegenüber den inneren Ringen zeigen als ausserhalb derselben. Betrachtet man die Bilder durch ein gelbes Glas, welches die blauen Lichtstrahlen absorbiert, so sollte die Erscheinung innerhalb und ausserhalb der Brennweite die gleiche sein, wenigstens bis auf einen im ersteren Fall vorhandenen rothen Saum. Wenn nun aber auch das Bild bei sehr starker Vergrösserung aberrationsfrei erscheint, so wird dies doch schwerlich bei geringeren Vergrösserungen der Fall sein, vielmehr wird ein schwaches Okular positive sphärische Aberration, d. h. zu kurze Vereinigungsweite für die Randstrahlen zeigen. Freilich ist diese Wirkung kaum merklich.

Aberration kann in sehr verschiedenem Grade vorhanden sein; sie kann so stark sein, dass jeder Anfänger im Beobachten sie merkt, und auch so gering, dass die grösste Erfahrung im Fernrohrprüfen nöthig ist, um ihr Vorhandensein mit Sicherheit behaupten zu können. Jeder sorgfältige Beobachter sollte sie indess nachweisen können, falls sie einigermaassen stark vorhanden ist.

Zonale Aberration.

Ausser der Aberration, die in ungleicher Vereinigungsweite von Rand- und Zentralstrahlen besteht, giebt es noch einen weiteren Fehler, den man vielleicht am häufigsten bei Objektiven antreffen dürfte. Derselbe besteht darin, dass die Zonen, in die man ein Objektiv theilen kann, verschiedene Vereinigungspunkte

auf der optischen Axe haben. Je nach der Grösse des Fehlers wird die Strahlenvereinigung mehr oder weniger unbestimmt und verschwommen werden. Der Einfluss dieses Fehlers ist ungefähr derselbe wie bei der sphärischen Aberration, obwohl letztere das grössere Uebel sein dürfte. Die Länge des Theiles der optischen Axe, auf welchem die Vereinigungspunkte der verschiedenen Zonen liegen, kann als Maass für diesen Fehler gelten, wenn man voraussetzt, dass die relative Anordnung der Vereinigungspunkte dieselbe ist. Ein Objektiv, welches in zehn Zonen getheilt ist, deren Brennpunkte auf einer Strecke von 1 mm liegen, kann ein viel feineres „Korn“ haben als eines von drei Zonen, deren Brennpunkte auf einer Strecke von 2,5 mm liegen. Das Vorhandensein einer grossen Anzahl von Zonen in einem Objektiv braucht also, ausser wenn die Brennpunkte weit abstehen, keineswegs mit gutem Zeichnungsvermögen zu kollidiren; andererseits kann man freilich die feinste „Definition“ nicht erwarten, falls Zonen in beträchtlichem Grade vorhanden sind. Um Zonenaberration nachzuweisen, ist es am besten, das Teleskop bei mässiger Vergrösserung auf einen sehr hellen Stern zu richten und mit dem Okular den Brennpunkt zu durchwandern; nur ist es hier am vortheilhaftesten, erst Halt zu machen, wenn acht bis zwanzig Interferenzringe sich zählen lassen, da die unregelmässige Wirkung zonaler Aberration unter diesen Umständen am leichtesten sich entdecken lässt. Liegt zonale Aberration vor, so werden die Interferenzringe nicht regelmässig und in harmonischer Abstufung von der Mitte nach dem Rande des Systems erscheinen. Zählt man vom Rande nach innen, so wird man vielmehr z. B. den äusseren Ring dürftig und schwach finden, den folgenden oder die beiden folgenden unverhältnissmässig kräftig, dann wieder die folgenden zwei oder drei schwach und schliesslich die in der Mitte benachbarten wieder kräftig (vergl. Fig. 17). Geht man dagegen in die gleiche Entfernung auf die andere Seite des Brennpunktes, so wird man die komplementäre



Fig. 17. Fig. 17 a.

Erscheinung (Fig. 17a) sehen. Natürlich ist eine sehr grosse Mannigfaltigkeit bei diesem Fehler möglich. Am häufigsten ist vielleicht die Art, bei welcher das Objektiv in drei Zonen sich theilen lässt, von denen die äusserste und innerste fast genau gleiche Vereinigungspunkte haben, während eine mittlere, jedoch der ersteren näher liegende Zone kürzere Vereinigungsweite besitzt. Die Wirkung einer solchen Anordnung ist in Fig. 18 und 18a für den Raum jenseits und diesseits der Brennebene dargestellt. Eine andere häufige Art zonaler Aberration ist in den Fig. 19 und 19a dargestellt, die wiederum wie vorher Querschnitten innerhalb



Fig. 18. Fig. 18 a. Fig. 19. Fig. 19 a.

und ausserhalb der Brennebene entsprechen. Bei dieser Art ist der äussere Theil des Objectives nahezu richtig gestaltet, aber die Zentralstrahlen haben eine merklich grössere Vereinigungsweite. Es rührt dies daher, dass eine oder beide Flächen der Kronlinse in der Mitte abgeflacht sind, oder dass das Gegentheil beim Flint der Fall ist. Für die Deutung derartiger Erscheinungen kann man folgende Regel aufstellen: Eine helle Zone oder ein heller Fleck entsprechen bei einem Querschnitt innerhalb der Brennweite in ihrer Lage einer Zone oder einer Fläche, die zu kurze Vereinigungsweite besitzt, während diese Erscheinungen bei einem Schnitte ausserhalb der Brennweite einer Zone oder einer Fläche mit grösserer als der mittleren Vereinigungsweite entsprechen.

Alle diese verschiedenen Arten zonaler Aberration entstehen in Folge der

unvollkommenen Gestalt einer oder mehrerer Objektivflächen. Bei der gewöhnlichen Aberration, oder der regelmässigen Abstufung des Fehlers vom Rande nach der Mitte, kann dies zwar ebenfalls, aber braucht nicht der Fall zu sein. Denn einerseits können die Kugelflächen zu dem Zwecke, die sphärische Aberration vollständig aufzuheben, noch so sorgfältig berechnet und gearbeitet sein und doch wird dieser Zweck nicht erreicht, weil ein Fehler im Schliff passirt, der wegen seiner Regelmässigkeit schliesslich doch auf eine parabolische oder elliptische Fläche hinausläuft. Andererseits aber können auch die Flächen sphärisch vollkommen exakt gestaltet sein und es bleibt nichts destoweniger in Folge unrichtiger Rechnung ein so beträchtlicher Aberrationsrest, dass er nicht durch eine willkürliche praktisch ausführbare Abweichung von der rein sphärischen Gestalt der Fläche gehoben werden kann. Thatsächlich sind selten die berechneten Krümmungsradien so exakt ausgeführt, um nicht zur Hebung kleiner Aberrationsreste leichte Abweichungen von der rein sphärischen Gestalt der Fläche nöthig zu machen.

Die Erscheinungen bei einem vollkommenen Objektiv.

Falls alle Bedingungen der Vollkommenheit im Objektiv und im Auge eines Beobachters erfüllt sind, so wird dieser finden, dass die Ringsysteme, die ein heller Stern ausserhalb der Brennebene liefert, vollkommen kreisförmig erscheinen, und dass die einzelnen Ringe nach aussen zu allmähig und regelmässig kräftiger werden; nur der äusserste Ring ist etwas unverhältnissmässig breit und hell.

Sieht man davon ab, dass der blaue Schimmer bei einem Schnitt ausserhalb der Brennweite die inneren Ringe heller erscheinen lässt, so soll in erster Linie das Aussehen und die Anordnung der Ringe auf beiden Seiten vom Brennpunkt genau gleich sein. Fig. 20 und 20a stellen die Erscheinungen diesseits und jenseits der Brennebene dar, welche man bei starker Vergrösserung sehen soll; das Okular ist dabei so weit ausgezogen oder eingeschoben, dass zwei Ringe deutlich sichtbar sind und ein dritter im Begriff ist, sich in der Mitte zu bilden.



Fig. 20.



Fig. 20a.

Fig. 21 entspricht einer Okularstellung, bei der acht oder mehr Ringe sichtbar sind; sie giebt indess schwerlich die Zartheit und regelmässige Abstufung der Interferenzringe wieder, die man in einem vollkommenen Objektiv bei einem hellen Stern und bei ruhigem klarem Wetter beobachten kann. Es ist dies ungefähr derjenige Schnitt, der am meisten Unregelmässigkeiten in der Bildung der Ringe hervortreten lässt.



Fig. 21.

Je mehr der Beobachter mit einem Instrumente vertraut wird, und vor Allem, je öfter er seine Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Kennzeichen der Güte desselben richtet, um so kritischer wird er und sieht schliesslich ganz schwache Anzeichen von Unvollkommenheiten. Die exakte Prüfung eines Objektivs wird zwar immer ein ausnehmend gutes und scharfes Auge und gespannte Aufmerksamkeit verlangen, aber andererseits kann doch jeder einigermaassen sorgfältige Beobachter bei geeigneter Anleitung eine ganz gute allgemeine Idee von der Güte eines Objektivs bekommen.

Man könnte die Frage aufwerfen, wozu braucht man denn eigentlich die Musterung des Sternbildes und der Interferenzringe ausserhalb der Brennebene? Denn das, was uns interessirt, ist doch nur die Güte des Bildes in dieser, und so lange als ein Objektiv hierin gute Bilder liefert, brauchen wir uns nicht um die übrigen Erscheinungen zu kümmern. — Man kann hierfür ver-

schiedene Gründe anführen; ein wichtiger Grund ist der, dass einerseits kein Objektiv ein ideales Bild geben kann, welches nicht alle jene Prüfungen ausserhalb der Brennebene besteht, und dass andererseits jedes Objektiv, welches sie besteht, sicher so vollkommen wie möglich ist. Weiter sind die meisten der von uns angeführten Fehler für ein geübtes Auge leichter sichtbar, wenn es die Erscheinungen ausserhalb der Brennebene, als wenn es sie in dieser untersucht. Der Hauptgrund aber ist der, dass die von uns empfohlene Methode nicht so sehr vom Wetter abhängig ist wie die direkte Betrachtung des Bildes in der Brennebene. Derselbe Grad des Flackerns, der es vollständig unmöglich macht, das scharf fokussirte Bild eines Sternes deutlich zu sehen, genügt nicht, um die breiteren Ringsysteme ausserhalb der Brennebene zu verwischen. Dieselben schwanken ja zweifellos, aber das Auge gewöhnt sich daran, zwischen dem dauernden Charakter und den zufälligen Verzerrungen in der Form und Vertheilung der Ringe zu unterscheiden.

Probirt ein Beobachter sein Instrument in einer sehr guten Nacht, in der er starke Vergrösserungen benutzen kann und er findet das Bild tadellos und entsprechend der gegebenen Beschreibung, so kann er natürlich auch mit einem Schlage sicher sein, dass er es mit einem Instrument ersten Ranges zu thun hat; nur muss er natürlich den gleichen Anblick bei allen Stellungen des Auges haben. Ist aber irgend ein Fehler in dem Bild, so wird er die Natur oder den Sitz desselben nicht angeben können, ohne die Erscheinungen ausserhalb der Brennebene zu untersuchen. Nur falls der Fehler in Astigmatismus, schlechter Justirung oder mangelhafter Zentrirung besteht, ist dies nicht der Fall, vielmehr können diese drei Fehler in einer ruhigen Nacht auch in der Brennebene erkannt werden.

Das Bild eines Sternes.

Fig. 22 stellt das unechte Scheibchen dar, welches ein Stern in der Brennebene eines vollkommenen Objectives liefert; der Stern ist dabei, insofern als er keine scheinbare Grösse besitzt, praktisch äquivalent einem mathematischen Lichtpunkt; trotzdem besitzt sein Bild Dimensionen, die bei starker Vergrösserung vollständig messbar sind. Die Grösse derselben hängt hauptsächlich oder fast ganz von dem Verhältniss zwischen der mittleren Wellenlänge des betreffenden Lichtes und dem Oeffnungswinkel des Objectivs ab. Auch die grösste Vollkommenheit des letzteren kann das Sternbild nicht verkleinern, während schon kleine Unvollkommenheiten genügen, um es zu vergrössern oder zu verzerren. Untersucht man das Sternbild mit sehr hoher Vergrösserung in einer wirklich guten Nacht, so findet man, dass es aus einem zierlichen runden Scheibchen mit zartem, deutlich roth gefärbtem Rande besteht. Es folgt dann nach einem dunklen Zwischenraum ein dünner heller Ring, der nur von Zeit zu Zeit vollständig zu sehen ist, und nach einem zweiten dunklen Zwischenraum ein zweiter Ring, der selten vollständig und viel weniger hell ist. Ist der Stern sehr hell, so kann man drei bis vier Ringe zählen, von denen die äusseren sehr schwer sichtbar und nur als Schimmer kenntlich sind. Theoretisch sollten die Ringe gefärbt erscheinen, und zwar grün an der Innen-, roth an der Aussenseite, aber es lässt sich dies, ausgenommen bei dem Scheibchen und dem nächsten Ringe, selten erkennen. Eine vollständige Erklärung des unechten Scheibchens und der mangelnden Ringe liefert die Wellentheorie des Lichtes.

Bei einem vollständig korrigirten Objektiv, dessen optische Axe auf



Fig. 22.



Fig. 23.

einen Stern gerichtet ist, konvergieren die Strahlen gegen den Brennpunkt f (Fig. 24). Denken wir uns ferner eine beliebige Kugelfläche, mit einem kleineren Radius als die Brennweite, um f als Mittelpunkt beschrieben, so stellt der Schnitt derselben mit dem Strahlenkegel eine Wellenfläche dar, d. h. eine Fläche, auf der die Aethertheilchen in jedem Augenblicke in gleicher Bewegungsphase sind. ab stelle den Schnitt einer solchen Wellenfläche kurz hinter dem Objektiv vor. Nach der Wellentheorie des Lichtes ist nun jeder Punkt oder jedes Aethertheilchen auf der Kugelfläche ab selbst als leuchtender Punkt zu betrachten, der nach allen Richtungen Licht strahlt. Wir wollen nun vorläufig annehmen, die Oeffnung

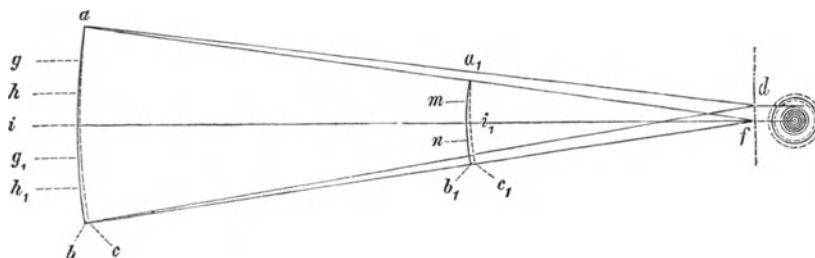


Fig. 24.

des Objektivs wäre ein Quadrat (Fig. 24 a) mit der Seite ab ; dann wird die Wellenfläche also quadratisch begrenzt sein. Es ist klar, dass die Aetherschwingungen, die von allen Punkten der Kugelfläche ab gleichzeitig und in gleicher Phase ausgehen, auch gleichzeitig und in gleicher Phase den Punkt f erreichen; denn f ist ja der Mittelpunkt der Kugelfläche. Hieraus ergibt sich die grosse Helligkeit im Punkt f ; dieselbe entsteht dadurch, dass alle Strahlen in diesem Punkte mit gleicher Phase ankommen. Nehmen wir jetzt einen Punkt d (in der Brennebene) in solcher Entfernung von f , dass die Entfernung bd gerade eine ganze Wellenlänge grösser als ad ist. Beschreiben wir mit dem Radius da eine Kugelfläche um d als Mittelpunkt, die db in c schneiden möge, so wird bc gleich einer ganzen Wellenlänge sein. Da df senkrecht zur optischen Axe liegt, so folgt, dass die Schnittlinie der beiden Kugeln, der auch der Punkt a angehört, ein Kreis ist, dessen Ebene senkrecht zur Ebene der Figur und parallel der optischen Axe if liegt. Ebenso werden die Linien gleicher Entfernung zwischen den beiden Kugeln Kreise sein, deren Ebenen der ersteren Ebene parallel sind.

Von einem entfernten Punkte der optischen Axe aus wird die Wellenfläche quadratisch erscheinen (Fig. 24 a). Die Seite gm ist hierin die Schnittlinie der

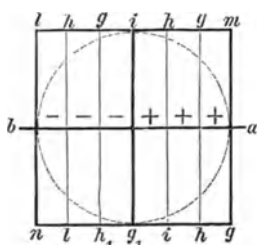


Fig. 24 a.

beiden um f und d beschriebenen Kugelflächen, und muss, obwohl sie einem Kreise angehört, geradlinig erscheinen, da sie von einem Punkte ihrer eigenen Ebene aus gesehen wird; in ähnlicher Weise ist die durch den Mittelpunkt gehende Linie ig_1 eine Linie, längs welcher die Entfernung zwischen den beiden Kugeln gleich einer halben Wellenlänge ist; wie man nämlich aus Fig. 24 sieht, ist die Entfernung der beiden Kugeln direkt proportional dem Abstände von a , da man sich näherungsweise ac durch Rotation von ab um den Punkt a und den Winkel $(bc)/(ab)$ entstanden denken kann und bei einer Rotation die Wege den Abständen vom Drehungspunkte proportional sind.

Das Licht, welches in einem bestimmten Augenblicke vom Streifen h_1b (Fig. 24) oder dem Rechteck ll (Fig. 24 a) nach d kommt, hat also gegenüber

dem vom Streifen ih oder dem Rechteck ii eine halbe Schwingung Verspätung und dies hat wegen der Gleichheit der Intensitäten in d vollständige Interferenz zur Folge; ebenso wird das Rechteck h_1h das Rechteck hh und g_1g das Rechteck gg kompensiren. Demnach wird in d vollständige Dunkelheit herrschen. Das gleiche Resultat würde man erhalten, wenn man die Wirkung der beliebigen Kugelwellenfläche a_1b_1 auf d betrachtete; auch hier würde db_1 um eine ganze Wellenlänge grösser als da_1 und damit die Bedingung vollständiger Interferenz vorhanden sein. Es ist klar, dass das sichtbare Licht in f nicht bis zum Punkte d reicht. Das Maximum der Helligkeit liegt nämlich in f und von da findet ein allmäliger Abfall bis zum Punkte d statt. Die scheinbare Grösse von fd vom Mittelpunkte des Objectivs aus gesehen, ist offenbar gleich $(bc)/(ab)$ oder gleich Wellenlänge/Oeffnung.

Für ein Objectiv mit quadratischer Oeffnung ($l n g m$) lässt sich demnach die genaue Entfernung des ersten dunklen Zwischenraumes vom Brennpunkte leicht angeben; sie ist gleich $\lambda F/A$ oder gleich dem Quotienten aus dem Oeffnungsverhältniss in die Wellenlänge und es entsteht demnach ein quadratisches Lichtscheibchen vom Durchmesser $2\lambda F/A$.

Setzen wir jedoch voraus, die Oeffnung bilde anstatt eines Quadrates einen Kreis von gleichem Durchmesser (Fig. 24a), so ist klar, dass die Interferenzbedingungen ganz andere sind, und es ist sehr viel schwerer, den Punkt vollständiger Interferenz d genau zu finden. Denn jetzt wird nur ein Bruchtheil des rechteckigen Streifens der Wellenfläche gg mit g_1g interferiren und ebenso nur ein Bruchtheil von ll mit ii , und nur h_1h und hh werden sich vollständig kompensiren. Der Punkt d wird also nicht dunkel sein, sondern einen Ueberschuss an Wellenbewegung besitzen, der von der Differenz zwischen der Fläche gi und den beiden Kreissegmenten in ll und gg herrührt. Um den Punkt d genau zu finden, ist eine sorgfältige Rechnung nöthig, aber soviel ist klar, dass df bei kreisförmiger Begrenzung grösser sein wird.

Sir George Airy hat durch eine genaue mathematische Untersuchung gefunden, dass in d vollständige Dunkelheit herrschen wird, falls die Differenz zwischen db und da gleich 1,2197 oder näherungsweise $\frac{6}{5}$ Wellenlänge sein wird. Theilt man also ab in sechs Theile, so wird der Punkt, wo die Entfernung der beiden Kugeln gleich einer Wellenlänge ist, ungefähr nach h_1 (Fig. 24) oder auf die dicke Linie links in Fig. 24b fallen. In der letzteren Figur sind die durch Buchstaben über dem Durchmesser bezeichneten in entgegengesetzter Phase wie die, bei denen die Bezeichnung unter dem Durchmesser steht, und der gesammte Interferenzeffekt derselben auf den Punkt d ist gleich Null. Nimmt man in Fig. 24 so an, dass $bc = 1,22$ Wellenlängen wird, so wird bei der Drehung der Figur um die Axe if der Punkt d einen Kreis um f beschreiben, der dem dunklen, das Scheibchen umgebenden Ringe entspricht (vergl. Fig. 24). Ausserhalb des dunklen wird ein heller Ring folgen, dessen Punkte den Orten entsprechen, an denen die Lichtbewegung von irgend einer Wellenfläche (a_1b_1) wieder einen Ueberschuss an Licht liefert.



Fig. 24 b.

Der lineare Durchmesser des ersten dunklen Ringes wird also gleich $2F1,22\lambda/A$ sein, worin wie früher F die Brennweite, A die Oeffnung und λ die Wellenlänge bedeutet, während der scheinbare Durchmesser vom optischen Mittelpunkt des Objectives aus sich zu $2 \cdot 1,22 \lambda/A$ ergibt.

Für ein Objektiv von 15 *cm* Oeffnung und 225 *cm* Brennweite ist demnach der lineare Durchmesser des ersten dunklen Ringes gleich $30 \cdot 1,22 \lambda$ oder, die Wellenlänge im hellsten Theile des Spektrums zu 0,000548 *mm* angenommen, gleich 0,0202 *mm*, während die scheinbare Grösse sich zu 0,000009 ergibt und demnach 1,86'' entspricht.

Da das „unechte“ Scheibchen in der Mitte am hellsten ist und von da nach dem dunklen Ringe zu allmählig an Helligkeit abnimmt, so ist klar, dass die scheinbare lineare Grösse sehr stark von der Helligkeit des betreffenden Sternes abhängt und bei einem hellen Sterne grösser als bei einem schwachen sein wird; freilich kann das Maximum derselben niemals den Durchmesser des ersten dunklen Ringes überschreiten. Additiv kommt ferner bei helleren Sternen die Irradiation hinzu. Thatsächlich erscheinen denn auch die Sternscheibchen bei schwachen Sternen viel kleiner als bei hellen und man wird vielleicht im Durchschnitt denselben die halbe Grösse des ersten dunklen Ringes zuschreiben können. In allen Objektiven, deren Brennweite ungefähr gleich dem 15fachen der Oeffnung ist, kann man demnach die lineare Grösse des Scheibchens zu 0,01 *mm* annehmen; dies entspricht bei 15 *cm* Oeffnung einer scheinbaren Grösse von 0,9'' und bei 30 *cm* von 0,45'' und demnach würden diese Beträge dem Auflösungsvermögen gegenüber Doppelsternen mittlerer Helligkeit entsprechen.

Aus der vorgetragenen Theorie der Bildung des „unechten“ Scheibchens und der Ringe folgt, dass die Grösse dieser für rothe Strahlen eine andere ist als für grüne und blaue, und zwar, dass die Dimensionen im Verhältniss der Wellenlängen stehen. Demnach decken sich die verschiedenfarbigen Bilder nicht und dies erklärt die Thatsache, dass das Scheibchen wie der erste helle Ring unter günstigen Umständen grünlich gefärbt erscheinen.

Da der scheinbare Durchmesser des ersten dunklen Ringes im Bogenmaass gleich $1,22 \lambda / \text{Oeffnung}$ ist, so steht derselbe im umgekehrten Verhältniss zur Oeffnung, was durch die Erfahrung voll bestätigt wird.

Interessant und instruktiv ist es, das Bild eines hellen Sternes in einem grossen mit Irisblende versehenen Fernrohr bei starker Vergrösserung zu betrachten. Mit voller Oeffnung sieht man das übliche kleine Scheibchen; sobald man aber die Oeffnung verkleinert, wird man Scheibchen wie Ringe sich merkbar ausbreiten sehen, und wenn die Oeffnung auf ein Viertel abgeblendet ist, so ist die Erscheinung auch viermal so gross, und ferner erscheinen die gefärbten Ränder und die Struktur des Scheibchens deutlicher, wenn auch lichtschwächer.

Diese Eigenschaft des Scheibchens, umgekehrt proportional der Oeffnung zu sein, haben wir benutzt, um sorgfältige mikrometrische Messungen am ersten dunklen Ringe zu machen, da Scheibchen wie Ringe bei Abblendung viel leichter und genauer messbar sind als bei voller Oeffnung. Wir geben hiervon einige Beispiele. Ein sechszölliges Objektiv (15 *cm*) von 227,5 *cm* Brennweite wurde auf einen hellen Stern gerichtet und bis auf eine quadratische Oeffnung von 37,5 *mm* Seite abgeblendet. Das Mittel aus vier Messungen ergab als Durchmesser der ersten — hier quadratischen — dunklen Linie 0,0675 *mm*, während die Formel $2F\lambda / A$ ($\lambda = 0,000548$ *mm*) 0,0665 als theoretischen Werth ergibt.

Darauf wurde eine kreisförmige Oeffnung von 30,5 *mm* Durchmesser vor das Objektiv gesetzt und das Mittel von vier Messungen ergab für den ersten dunklen Ring einen Durchmesser von 0,0975 *mm*, während die Formel 0,1000 *mm* liefert. In beiden Fällen wurde das Bild durch ein ungefähr 450mal vergrösserndes

Okular betrachtet und, um die Gewissheit zu haben, mit einer einigermaassen bestimmten Wellenlänge zu operiren, ein grünes Glas hinter das Okular gesetzt. Nach der spektroskopischen Untersuchung liess dieses Glas nur die zwischen D und E gelegenen Strahlen durch, und zwar lag das Maximum der Durchlässigkeit näher an E als an D und hatte ungefähr eine Wellenlänge von $0,000548\text{ mm}$. Da dies zugleich auch die hellste Stelle des Spektrums ist, eignet sich der obige Werth gut zur Berechnung der Grösse des ersten dunklen Ringes.

Die theoretischen und die experimentell gefundenen Werthe sind in so naher Uebereinstimmung, als man bei der nur näherungsweise Bestimmung der Wellenlänge erwarten kann. Der Durchmesser des Scheibchens fand sich zu $\frac{2}{3}$ von dem des ersten dunklen Ringes und sein Rand war nicht scharf, sondern verblasste nach dem letzteren zu.

Ferner wurde auch der Durchmesser des ersten dunklen Ringes bei der vollen Oeffnung von 15 cm so gut, als es bei der Kleinheit möglich war, gemessen und fand sich zu $0,02$ (mit einem mittleren Fehler von ungefähr 10%), während der von der Formel $2F/A \cdot 1,22\lambda$ gelieferte Werth $0,0202\text{ mm}$ ist. Auch hier stimmt demnach die Theorie mit dem Experiment.

Will man sich über die sehr schönen Interferenzphänomene in der Brennebene eines Objektivs unterrichten, die man erhält, wenn man zusammengesetzte Oeffnungen verschiedener Gestalt vor das Objektiv setzt, so lese man Sir John Herschel's Artikel „Licht“ in der *Encyclopaedia Britannica* nach.

Man wird einsehen, dass ein Objektiv sehr sorgfältig und genau in Bezug auf Aberration korrigirt sein muss, wenn es das Scheibchen und die Ringe so gut zeigen soll, dass der Beobachter nicht in Zweifel ist, ob er wirklich auf die Brennebene eingestellt hat. Wenn z. B. ein Objektiv mit dem Oeffnungsverhältniss $\frac{1}{15}$ in dieser Beziehung so mangelhaft korrigirt wäre, dass die Differenz zwischen Rand- und Zentralstrahlen 3 mm betrüge, so würde der engste Strahlenquerschnitt $0,0052\text{ mm}$ Durchmesser besitzen, und dies ist mehr als die Hälfte des Scheibchens, das unter idealen Verhältnissen entstehen würde. Das Scheibchen selbst würde dann zweifellos viel grösser ausfallen als bei einem vollkommen korrigirten Objektiv. Eine noch stärkere sphärische Aberration würde auf jeden Fall schädlich sein und zwar um so mehr ins Gewicht fallen, je grösser die Oeffnung ist.

Mechanische Spannungen.

Jede die Linsen verzerrende Spannung kann die „Definition“ eines Objektivs in hohem Grade beeinträchtigen, indessen hängt, wie später gezeigt werden wird, die Höhe des verursachten Schadens sehr eng mit der Gestalt der Krümmungen und dem Dickenverhältniss der Kron- und Flintlinse zusammen.

Solche Spannungen können auf folgende Weisen entstanden sein:

1) Durch Druck der Fassung auf das Objektiv, sei es nun in der Ebene desselben oder senkrecht zu dieser. 2) Durch Ungleichheit der Temperatur in und ausserhalb des Objektivs. 3) Durch mangelhafte Kühlung des Linsenmaterials bei der Herstellung. 4) Durch Durchbiegung der Linsen zwischen ihren Auflagepunkten in Folge ihres Eigengewichtes; doch tritt dieser Fehler in höherem Grade erst bei den grösseren z. B. mehr als sechszölligen (15 cm) Objektiven hervor.

1. Ein Objektiv soll niemals in der Richtung seiner eigenen Ebene von der Fassung fest umschlossen sein; es soll vielmehr zwischen den Linsen und der Fassung bei gewöhnlicher Temperatur so viel Spielraum sein, dass bei den niedrigsten

Temperaturen, bei denen man das Objektiv voraussichtlich benutzt, die Fassung die Linsen gerade, ohne zu klemmen, berührt. Am besten ist es, wenn das Objektiv mit der Fassung nur an drei gleich weit von einander abstehenden Punkten seines Randes in Berührung kommt und die Fassung zu diesem Zwecke mit drei Vorsprüngen an ihrer inneren zylindrischen Fläche versehen ist. Sind diese fest, so muss der oben gekennzeichnete Spielraum vorhanden sein; hat man es indess mit einem Präzisionsinstrumente z. B. einem Durchgangsinstrumente zu thun, so dürfte es nöthig sein, dass einer der drei Vorsprünge mittels einer Sprungfeder



Fig. 25.

das Objektiv fortwährend gegen die beiden anderen anpresst und dadurch jede seitliche Verschiebung, welche die Genauigkeit der Kollimation stören würde, verhindert. Der hierzu nöthige Druck braucht nicht so stark zu sein, um schädlich zu wirken; auch kann schon an und für sich ein auf drei aequidistante Punkte gleichmässig vertheilter Druck niemals so schädlich sein als ein unregelmässig am Rande wirkender, der bei niedriger Temperatur bei fest schliessenden Fassungen ohne Vorsprünge vorhanden sein würde. Fig. 25 zeigt die Wirkung einer solchen Verzerrung.

Noch nöthiger ist bei Objektiven von mehr als 10 bis 12 *cm* Oeffnung, dass der Rand der Flintlinse sich nicht irgendwo aufs Gerathewohl auf den Flansch legen darf, sondern dass dieser letztere mit drei kleinen Vorsprüngen (*P, P, P* Fig. 9 a. S. 4) versehen ist, die in ihrer Lage denjenigen, welche die Linse seitlich begrenzen, entsprechen. Würde man nämlich selbst annehmen, dass der Flansch der Fassung mit mathematischer Genauigkeit gedreht wäre, so würde es doch nahezu unmöglich sein, die Flintlinse mit vollständiger Sicherheit ringsum zum Berühren zu bringen; thatsächlich würde nämlich das Flint auf irgend welchen zufällig vorhandenen Staubtheilchen ruhen; falls diese Staubtheilchen nun zufälliger Weise nahezu an den entgegengesetzten Enden eines Objektivdurchmessers liegen, würde offenbar die Linse sich beiderseits von dieser Linie durchbiegen und in der Nähe des Brennpunktes die durch Fig. 25a wiedergegebene stark astigmatische Erscheinung verursachen. In Folge der Anwesenheit von Staub ist demnach diese Methode, die Linse zu lagern, nicht sicher. Aber auch abgesehen vom Staub ist es, mag der Flansch auch noch so genau gearbeitet sein, nahezu unmöglich, sich darüber Gewissheit zu verschaffen, ob dieser nicht doch bei der Befestigung etwas verzogen worden ist. Aus diesen Gründen ist es nothwendig, die Linsen an drei äquidistanten Punkten zu lagern und seitlich zu begrenzen. Ferner darf auch die Kronlinse nicht irgendwo auf dem Rande des Flint ihr Lager finden, vielmehr soll man drei Auflagen aus Stanniol, Papier oder sehr dünnen Kartenblättchen machen und diese am Rande der Flintlinse direkt über den Vorsprüngen, die das Flint selbst tragen, festkleben. Dann wird das Gewicht der Kronlinse direkt durch das Flint hindurch auf die Unterstützungspunkte des letzteren übertragen. Schliesslich soll auch der Kontring oder obere Flansch, der das Kron von oben abschliesst, mit drei kleinen Vorsprüngen versehen sein, die gerade über den vorhin angegebenen zwei Sätzen von Unterstützungspunkten liegen müssen. Dieser obere Ring soll auf das Kron keinen grösseren Druck ausüben, als unbedingt erforderlich ist, um das Drehen der Linse beim Abwischen oder anderen Hanirungen zu verhindern. Man sieht, dass jeder Druck auf die Punkte des Objektivs, die direkt unter sich Unterstützungspunkte haben, geringe oder gar keine verzerrende Wirkungen auf die Linsen ausübt. Diese werden gehalten und unterstützt an drei gleich entfernten

Punkten und sind mit nichts anderem in Berührung. In Objektiven von 30 und mehr Zentimeter Oeffnung vermeidet man besser auch den Druck von Seiten des Kontreringes und gestattet dem Objektiv senkrecht zu seiner Ebene etwas Spielraum, denn das Gewicht der Linsen ist vollständig hinreichend, Drehungen zu verhindern.

2. Es ist äusserst wichtig zu wissen, dass ein sich abkühlendes Objektiv nicht das Maximum seiner Leistungsfähigkeit besitzen kann, und dass demnach ein Teleskop, welches man aus dem Hause heraus in die kalte Nachtluft bringt, erst eine Zeit lang stehen muss. Einem Sechszöller (15 *cm*) muss man z. B. mindestens eine halbe Stunde zur Temperatúrausgleichung lassen, ehe man erwarten kann, höhere Vergrösserungen mit Vortheil zu benutzen.

Wenn ein Objektiv im Tubus sitzt und niedrigerer Temperatur ausgesetzt wird, so kühlt es sich am schnellsten auf der Aussenseite des Kron ab und auch die Rückseite des Flint kühlt sich schneller ab als seine Innenseite. Die Krümmung der ersten Fläche wird demnach geringer und die der zweiten nimmt zu; ferner wird beim Flint die Vorderfläche flacher und die Hinterfläche tiefer. Die Gesamtwirkung davon ist die gleiche, als ob das Objektiv sphärisch unterkorrigirt wäre. Fig. 15 (S. 16) giebt die Erscheinung innerhalb der Brennweite und Fig. 15a die ausserhalb der Brennweite annähernd wieder, indess kann dieselbe in sehr kalten Nächten in Wirklichkeit noch viel schlimmer aussehen. Bei gegebener Temperaturdifferenz nimmt die Wirkung mit der Grösse des Objektivs zu; da indess die grossen Teleskope unveränderlich in Beobachtungsräumen aufgestellt sind, deren innere Temperatur fast mit der äusseren Lufttemperatur übereinstimmt, so ist der Temperatúrausgleich im Objektiv schon im Anfang sehr gering und das Instrument kann sofort benutzt werden. Trifft es sich dagegen, dass auf einen sehr heissen Tag plötzlich eine kalte Nacht folgt, so kann dies bei Anbruch der Nacht sehr beträchtliche Störungen im Objektiv zur Folge haben und es kann eine Stunde und darüber nach Oeffnung der Schieber (Laden) vergehen, ehe die Bilder gut erscheinen. Auch verursacht die Abkühlung des Tubus und der darin befindlichen Luft eigenthümliche, langsame Flackererscheinungen und unter Umständen ausgesprochene astigmatische Wirkungen, die aus der Wanderung von warmer Luft nach dem oberen Ende des Tubus hin zu erklären sind.

3. Es giebt sehr wenige grosse Scheiben, die bei der Prüfung mit polarisirtem Lichte nicht ein mehr oder weniger dunkles Kreuz zeigen; ist dieses Kreuz indess symmetrisch und fällt sein Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt der Scheibe oder Linse zusammen, so wird die hierdurch angezeigte mangelhafte Kühlung wahrscheinlich nicht merklich die Definition (das „Korn“) stören, denn die Aenderung der Dichtigkeit oder des Brechungsvermögens der Scheibe wächst in diesem Falle von der Mitte nach dem Rande; der hierdurch eingeführte Fehler entspricht vollständig sphärischer Aberration und kann demnach durch eine kleine Veränderung in den Flächen vollständig aufgehoben werden. Zeigt sich andererseits bei Anwendung polarisirten Lichtes ein sehr unregelmässiges, missgestaltetes Kreuz oder ein unregelmässig fleckiges Aussehen, so ist zu schliessen, dass auch die Kühlung sehr unregelmässig und mangelhaft ist und wahrscheinlich verlaufende Licht-Flügel und -Pinsel in und in der Nähe der Brennebene die Folge sein werden (vergl. Fig. 12c a. S. 7). Mängel in Folge schlechter Kühlung werden allgemein dann hervortreten, wenn im Objektiv Temperatúrausgleiche stattfinden. Bevor indess ein Verfertiger von Ruf an die Bearbeitung einer Scheibe für ein grösseres astronomisches Objektiv

geht, wird er diese in polarisirtem Lichte untersuchen und, falls er sie nicht für genügend hält, entweder zurückweisen oder von neuem kühlen.

4. Wir haben jetzt die wichtigen Wirkungen der Linsen in Folge ihres Eigengewichtes zu betrachten. Kaum erwähnt zu werden braucht, dass die Flintlinse weit mehr der Durchbiegung unterliegt als die Kronlinse, und zwar nicht allein wegen des schwereren Materials, sondern auch, weil ihre Gestalt sehr wenig den Anforderungen der Festigkeit entspricht, und drittens noch aus einem anderen später zu erwähnenden Punkte.

Die Durchbiegung oder das „Hängen“ einer Linse soll in zwei Fällen betrachtet werden: 1. Es ist Durchbiegung vorhanden vom Rand nach der Mitte oder von der Mitte nach dem Rand. Dies ist die einzig mögliche Art von Durchbiegung, falls die Linse in allen Punkten des Randes vollkommen aufliegt, und ihre Wirkung hat den Charakter von positiver oder negativer sphärischer Aberration. Aus diesem Grunde kann die Wirkung einer solchen symmetrischen Durchbiegung durch geeignete Flächengestalt wenigstens für ganz oder nahezu vertikale Lagen des Teleskops, in denen die Schwerkraft am meisten auf die Durchbiegung der Linsen hinwirkt, aufgehoben werden. 2. Die Durchbiegung hingegen, welche in dem Hängen der nicht unterstützten Theile des Randes besteht, ist von wesentlich verschiedener Wirkung. Ist die Kronlinse, wie oben angegeben, an drei Punkten unterstützt, so senken sich die dazwischen liegenden nicht unterstützten Theile etwas unter dem Einflusse ihres Eigengewichtes, während die drei unterstützten Theile relativ nach oben gebogen sind. Unter der Annahme, dass die Flintlinse vollkommen frei von Durchbiegung ist, hat dies die Wirkung, dass die Strahlen, welche die nicht unterstützten Theile des Randes passiren, eine zu grosse, und diejenigen, welche die unterstützten Theile des Randes passiren, eine zu kleine Vereinigungsweite bekommen. Untersucht man das Bild innerhalb der Brennweite, so wird man ein dreieckiges Ringsystem wie Fig. 12b (S. 7) bemerken, in dem die vorspringenden Ecken den nicht unterstützten Theilen des Kron entsprechen. Setzte man andererseits das Kron vollkommen frei von Durchbiegung voraus und betrachtete die Verbiegung des Flint, so würden natürlich die nicht unterstützten Theile ebenfalls herabhängen und die unterstützten Theile aufwärts gebogen sein. Dies hat die Wirkung, dass die Strahlen, welche die nicht unterstützten Theile des Randes durchsetzen, eine zu kleine, die anderen Strahlen eine zu grosse Vereinigungsweite bekommen. Nun fallen aber die unterstützten Stellen der Flintlinse mit den unterstützten Stellen der Kronlinse zusammen. Es sind daher die Wirkungen der Durchbiegung auf die Vereinigungsweite beim Flint gerade entgegengesetzt denen beim Kron und werden sich also bei gleicher Grösse aufheben. Haben wir also zwei Scheiben, so sollte ein bestimmtes Verhältniss zwischen der Dicke des Kron und des Flint vorhanden sein, damit die Durchbiegungen der beiden Linsen sich aufheben. Leider lassen sich die Bedingungen hierfür nicht mit Sicherheit berechnen, da die Grösse der Durchbiegung eine Funktion verschiedener Faktoren ist, unter denen sich auch die höchst unsichere, weil von der Kühlung stark abhängige Elastizität befindet. Thatsächlich heben sich bei vielen mittelgrossen Objektiven von 15 bis 20 *cm* Oeffnung die Durchbiegungen vollständig auf, während in anderen Fällen, besonders in guten Nächten, eine deutlich wahrnehmbare Neigung zur Dreiecksgestalt nachgewiesen werden kann. Dreht man in letzterem Falle die Linsen in ihrer Ebene, so zeigt sich, dass die Lage des Bildes

eine ganz deutliche Beziehung zu den Auflagepunkten hat, und man kann überdies sehen, ob die Krümmung des Kron oder die des Flint überwiegt. Die Erscheinung ausserhalb der Brennebene giebt Fig. 12b, die in der Brennebene ungefähr Fig. 12b oder 18 (S. 17) wieder. Ein Ueberwiegen der Durchbiegung der einen oder anderen Linse, welche bei einem Objektiv von 15 *cm* gar nichts ausmacht, würde bei einem Objektiv grösserer Oeffnung — z. B. von 30 *cm* oder darüber — höchst wahrscheinlich bereits genügen, um es für feine Doppelsternbeobachtungen unbrauchbar zu machen.

Wenn auch die Möglichkeit vorliegt, dass die Wirkung bei den Durchbiegungen sich nahezu aufhebt, so ist es doch bei Weitem das Beste, ein Objektiv unabhängig vom Zufall zu machen. Dies ist dadurch möglich, dass man für den Rand geeignete Zwischenunterstützungspunkte schafft, die durch besondere Gegengewichte so gehalten werden, dass das Gewicht jeder Linse sich gleichmässig auf sie vertheilt. Es ist klar, dass die Anwendung von mehr als drei festen Punkten mit dieser nothwendigen Bedingung unverträglich wäre.

Zusammenhang zwischen der Form der Flächen und der optischen Wirkung der Durchbiegung.

Es ist wohlbekannt, dass die Ablenkung eines Strahles, der ein Prisma „im Minimum“ durchsetzt, durch eine kleine Rotation des Prismas um seine Basis — z. B. von einem Grad — nicht merklich geändert wird.

Stellen wir andererseits das gleiche Prisma so zum Strahl, dass es beträchtlich aus der Lage des Minimums der Ablenkung entfernt ist, so wird eine Drehung um einen Grad einen sehr deutlichen Einfluss auf die Ablenkung haben. Diese wohlbekannte Thatsache lässt eine sehr wichtige Nutzenanwendung auf Objektive zu. Sind nämlich die Flächen so gewählt, dass in der Nähe des Randes ein Strahl das Objektiv im Minimum der Ablenkung durchsetzt, so haben die gewöhnlichen Durchbiegungen und Verzerrungen keinen Einfluss auf die Ablenkung desselben. Ein Prisma liefert das Minimum der Ablenkung, wenn der Strahl mit beiden Flächen gleiche Winkel einschliesst, und genau dasselbe ist bei einer Linse der Fall. Giebt also die Kronlinse das Minimum der Ablenkung für Randstrahlen, so wird die Vereinigungsweite durch Verzerrungen in Folge des Gewichtes oder in Folge mechanischer Spannungen nicht beeinflusst werden; bei grossen Objektiven sollte man deshalb diese Bedingung erfüllen. Soll eine Linse aus gewöhnlichem Kronglas für Randstrahlen das Minimum der Ablenkung liefern, so müssen, wenn man die einfallenden Strahlen parallel der Axe annimmt, die Krümmungsradien im Verhältniss von 8:25 stehen, und zwar muss die stärkere Krümmung den einfallenden Strahlen zugewandt sein.

Zur Erläuterung betrachten wir ein Objektiv, dessen Kronlinse die genannte Bedingung erfüllt; Fig. 26 möge den Querschnitt einer solchen Linse, deren Oeffnung wir zu 30 *cm* annehmen wollen, vorstellen.

Soll das Objektiv eine Brennweite von 450 *cm* haben, so wird die Brennweite des Kron ungefähr 172,5 *cm* betragen. Die Randstrahlen werden dann eine Ablenkung von ungefähr 5° erleiden. Legt man in den Schnittpunkten zwei Tangenten an die Kurven, so ist dadurch ein Prisma *bac* gegeben, dessen Wirkung auf den Strahl *rr* genau derjenigen der Linse gleich ist. Nehmen wir jetzt an, die Linse neige sich mit ihrem Rande nach rechts, wie das bei horizontaler Lage unter der Wirkung ihres eigenen Gewichtes der Fall sein würde, so werden die

beiden Tangenten die Lage der punktirten Linien in Fig. 26 einnehmen und das Prisma bac sich um einen kleinen Winkel drehen. Ist der Prismenwinkel $9^\circ 30'$ und der Brechungsexponent für den betreffenden Strahl 1,52, so wird die minimale

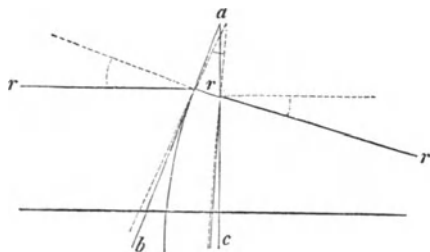


Fig. 26.

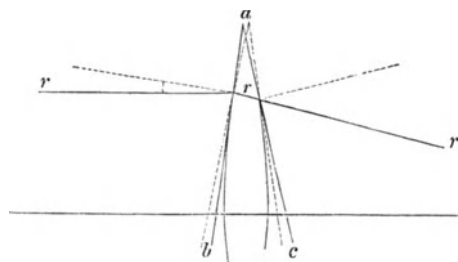


Fig. 26a.

Ablenkung $4^\circ 57' 42''{,}64$ betragen. Neigt sich nun die Linse so stark nach rechts, dass die Tangenten ba und ac eine Drehung von $30'$ erleiden, was in Wirklichkeit unmöglich vorkommen kann, so würde doch die Ablenkung nur um eine Bogensekunde wachsen.

Stellen wir jetzt das gleiche Prisma von $9^\circ 30'$ in die in Fig. 26a dargestellte Lage, so dass der Einfallswinkel an der ersten Fläche nur ungefähr ein Drittel von dem Austrittswinkel an der zweiten Fläche ist; dies würde ungefähr der Stellung des Kron in einem Objektiv des zweiten Typus Fig. 6 (S. 115) entsprechen, der ja bekanntlich den Vortheil grossen Gesichtsfeldes hat; das Verhältniss der Radien ist $5 : 3$ oder darüber, und die zweite Fläche bricht den Strahl ungefähr dreimal so stark als die erstere. Nehmen wir bei dieser Stellung eine Drehung nach rechts von der Grösse an, dass die Tangenten ba und ac gerade wie vorhin um $30'$ sich neigen, so wird die Ablenkung des Strahles um nicht weniger als 18 Bogensekunden sich ändern. Die gleiche Verdrehung also, welche die Ablenkung eines Strahles bei einer Linse mit minimaler Ablenkung um 1 Sekunde ändert, ändert sie bei umgekehrter Stellung der Linse um 18 Sekunden. Der Unterschied würde noch viel stärker sein, falls man an Stelle der ungeheuren Verzerrung, die einer Drehung um $30'$ entspricht, eine solche angenommen hätte, die für die letztere Grösse den wahrscheinlicheren Werth von $1'$ ergibt. Bedenkt man, dass bei einem Objektiv von 30 cm das Bild des Sternes nur eine halbe Sekunde Durchmesser hat, so ist klar, dass die Ablenkung eines Strahles von seinem eigentlichen Wege in Folge einer Verzerrung des Objektivs auch bei einem Betrage von nur einer Viertel-Sekunde dem Bilde bereits stark schaden würde.

Könnte man bei grossen Objektiven die Flächen so wählen, dass jede Linse von den Strahlen auf beiden Seiten unter gleichen Winkeln getroffen würde, so hätte man von Verzerrungen, einerlei ob dieselben durch die Schwere oder durch Temperaturungleichheiten verursacht würden, so gut wie gar nichts zu fürchten; man müsste vielmehr die Linsen bereits ausserordentlich starken Spannungen unterwerfen, ehe man eine Wirkung auf das Bild bemerken könnte. Obwohl es nun leicht genug ist, die obige Bedingung für das Kron zu erfüllen, so ist dies doch leider nicht für das Flint möglich; man müsste dann wenigstens zu einer ganz besonders schweren Sorte greifen, die aber in anderer Hinsicht wieder Einwürfe und praktische Schwierigkeiten bieten würde. Auf jeden Fall ist es bereits von grossem Vortheil, die Wirkungen einer Verzerrung allein im Kron zu beseitigen, denn das Flint kann wohl leichter am Rande gleichmässig unterstützt werden als das Kron und ist überdies in Bezug auf Verzerrung in Folge von Temperaturdifferenzen viel

weniger empfindlich; letztere treten nämlich gleichmässiger und allmäliger auf und dies liegt zum Theil an der Form und zum Theil daran, dass das Flint nicht in direkter Berührung mit der äusseren Luft ist. Uebrigens besitzt auch, falls das Kron für Randstrahlen sich im Minimum befindet, das Flint auf jeden Fall näherungsweise die Gestalt für das Minimum der Ablenkung.

Wir haben schon früher erörtert, dass ein Objektiv von der eben besprochenen Form, welche ungefähr zwischen den in Fig. 3 und 4 (S. 2) dargestellten liegt, nur ein verhältnissmässig kleines Gesichtsfeld mit guter Korrektion besitzt. Dies ist allerdings ein Grund gegen diese Form, aber man muss bedenken, dass bei grossen Objektiven das wirkliche Gesichtsfeld selbst bei den schwächsten Vergrösserungen im Verhältniss zur Grösse des Fernrohres sehr klein ist und demnach dieser Einwurf praktisch nicht viel zu bedeuten hat. Da indess diese Form selbst gegen die kleinsten Justirungsmängel sehr empfindlich ist, so würde es rathsam sein, die Justirung vom Okularende des Teleskops aus vornehmen zu können. In dem Maasse, als die Objektive sich von dem Typus Fig. 3 entfernen und den Typen Fig. 6 und 7 nähern, werden sie andererseits wieder mehr empfindlich gegen irgend wie hervorgebrachte Verzerrungen und Spannungen, was man auch praktisch voll bestätigt findet. Die meisten Beobachter haben keine Kenntniss von der Schwierigkeit, selbst kleinere Objektive so zu montiren, dass bei der Prüfung durch Reflexion keine Verzerrungen an den Flächen sich beobachten lassen. Glücklicherweise ist die Wirkung einer Verzerrung bei der Brechung nur ungefähr $\frac{1}{200}$ von der bei der Reflexion und zwar selbst bei der Form der Kronlinse, die in dieser Beziehung am ungünstigsten ist.¹⁾

Terrestrische Fernrohre.

Refraktoren, die für terrestrische Zwecke konstruirt sind, können auf die Qualität ihrer Objektive natürlich in der gleichen Weise wie zu astronomischen Zwecken bestimmte geprüft werden; freilich muss man sie hierbei mit ihren eigenen bildaufrichtenden Okularen benutzen, denn ein Objektiv muss beträchtlich chromatisch überkorrigirt sein, um mit einem bildaufrichtenden Okular ein achromatisches Bild zu liefern. Man darf deshalb bei der Prüfung eines solchen Objektivs mit einem Huygens'schen oder Ramsden'schen Okular von vornherein keine guten Resultate erwarten und vor allem nicht bei Anwendung starker Vergrösserungen und Benutzung von Sternen. Erscheint bei einem terrestrischen Fernrohr, welches man mit seinem richtigen, bildumkehrenden Okular in gewöhnlicher Weise anwendet, die Definition bereits mangelhaft, so kann man dasselbe eingehend an einem natürlichen oder künstlichen Stern prüfen. Letzteren erhält man, indem man eine glänzende Thermometerkugel in die Sonne bringt und zwar in einer Entfernung von mindestens 100 m. Das kleine virtuelle Sonnenbildchen in der Kugel zeigt dann alle Merkmale eines wirklichen Sternes, speziell das falsche Scheibchen und die Ringe. Das Sonnenbild in der Kugel hat nämlich, wenn die Kugel nicht ungewöhnlich gross oder die Entfernung zu nahe ist, im Fernrohr einen viel kleineren Durchmesser als das falsche Scheibchen.

¹⁾ Eine Aenderung von 30' in der Flächenneigung des oben erwähnten Prismas ändert den gebrochenen Strahl um 18'', den reflektirten um 2.30', das Verhältniss ist also $18''/3600'' = 1/200$.

Reflektoren.

Der Reflektor kann in genau der gleichen Weise geprüft werden wie der Refraktor. In der Brennebene sieht man das gleiche falsche Scheibchen und innerhalb und ausserhalb desselben die gleichen Ringsysteme. Auch Fehler in der Fläche und Verzerrungen offenbaren sich in der gleichen Weise wie beim Refraktor.

Die „Schneidenmethode“.

Es ist uns nicht bekannt, wer diese Prüfungsmethode zuerst erfunden hat, indess hat Wassall eine vollständige Auseinandersetzung ihrer Theorie und Benutzung vor der Liverpooleer astronomischen Gesellschaft gegeben und zugleich auch sehr partiisch und übertrieben ihre Ueberlegenheit über alle anderen Methoden behauptet. Da wir glauben, dass viele Dilettanten und zwar besonders diejenigen, die für sich selbst Reflektoren anfertigen, der Meinung von Wassall beipflichten, so wollen wir im Folgenden eine Vergleichung zwischen den beiden Methoden und ihren Vortheilen und Nachtheilen geben.

Die Theorie der von uns in dem Vorhergehenden gegebenen und vertheidigten Prüfungsmethode lässt sich leicht an den Fig. 27 und 28 verstehen; in denselben bedeutet oo die Oeffnung des Objektivs, l ein einfaches Okular, eee das Auge und b den Brennpunkt, in dem das Bild entsteht. Die von b divergirenden

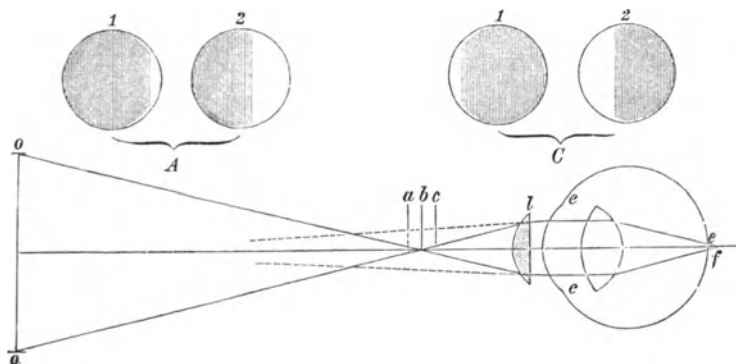


Fig. 27.

Strahlen werden durch die Linsen des Okulars und das Auge gebrochen und vereinigen sich wieder genau auf der Netzhaut; natürlich muss das Okular richtig auf b eingestellt und Okular wie Auge frei von sphärischer Aberration sein; letzteres

ist zwar bei stärkerer, indess vielleicht nicht bei schwächerer Vergrößerung der Fall.

Nehmen wir nun an, dass Okular und Auge um die Entfernung ba nach innen verschoben werden. Die von b kommenden Strahlen treten dann so stark divergent in das Auge, dass sie sich erst hinter der Netzhaut (in f) vereinigen und demnach eine leuchtende Scheibe anstatt eines Punktes bilden. Da ferner die Ebene, auf welche Auge und Okular genau eingestellt sind, nach dem Objektiv zu verlegt ist, so schneidet dieselbe aus dem Strahlenkegel einen Querschnitt heraus, und es folgt aus optischen Gesetzen, dass die Lichtscheibe auf der Netzhaut das wahre Bild und die genaue Wiedergabe dieses Querschnittes ist.

Gehen wir andererseits mit Okular und Auge um die Strecke bc nach aussen, so wird unsere Einstellungsebene in c (Fig. 28) liegen. Auf der Netzhaut wird eine leuchtende Scheibe vorhanden sein, die aus den Strahlen gebildet wird, die von b kommen, sich vor der Netzhaut vereinigen und dann wieder divergieren. Gleichzeitig lässt sich zeigen, dass die Scheibe auf der Netzhaut ein genaues Abbild des von der Ebene c aus dem Strahlenkegel herausgeschnittenen Querschnittes

ist. Vereinigen sich die von oo kommenden Strahlen genau in b , so ist klar, dass Schnitte durch den Strahlenkegel auf entgegengesetzten Seiten und in gleichen Abständen von b , abgesehen von der Farbe, in jeder Beziehung gleich, und bei einem vollständig achromatischen

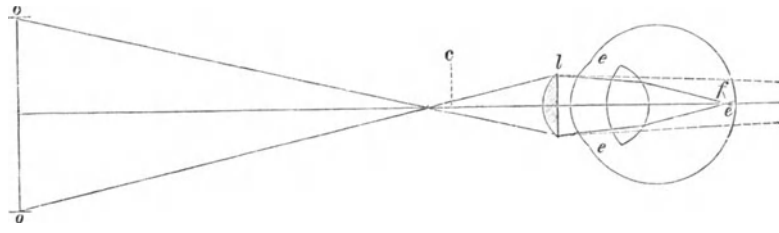


Fig. 28.

Objektiv absolut gleich sein werden. Die leuchtende Scheibe auf der Netzhaut muss ferner eine gewisse Grösse haben, ehe sie gross genug erscheint, um in ihren Details untersucht werden zu können, und diese Grösse steht für ein gegebenes Okular in einem bestimmten Verhältniss zu der Grösse der Querschnitte in a und c ; nimmt man ein doppelt so starkes Okular, so ist klar, dass auch das Verhältniss zwischen linearer Grösse des Netzhautbildes und dem Durchmesser der Schnitte in a und c verdoppelt sein wird, und dass demnach Okular und Auge jetzt auf einen mitten zwischen b und c gelegenen und halb so grossen Querschnitt des Strahlenkegels eingestellt sein können, ohne dass die Grösse des Bildes auf der Netzhaut sich verändert. Je höhere Vergrösserungen also benutzt werden, um so näher können die zu untersuchenden Querschnitte durch den Strahlenkegel an der Brennebene b liegen, und zwar ist die Entfernung umgekehrt proportional der Vergrösserung. Es ist klar, dass, falls die Strahlen sich nicht genau im Brennpunkt b vereinigen, diese Schnitte bei starker Vergrösserung sehr deutlich diesen Fehler zeigen werden. Handelt es sich um geringe sphärische Aberration, so wird die Helligkeit bei einem Schnitte innerhalb der Brennweite (Fig. 16 a. S. 16) nach dem Rande zu grösser sein als bei einem entsprechenden Schnitte ausserhalb der Brennweite (Fig. 16 a), letzterer wird nach dem Rande zu etwas verwaschen erscheinen.¹⁾

In Fig. 29 ist ein Fall sehr starker Aberration dargestellt, wie man ihn vielleicht bei einem

rein sphärischen Spiegel erhalten würde. Der Brennpunkt für die Zentralstrahlen liegt in f , der für die Randstrahlen in a , so dass af die gesamte Longitudinalaberration ist. Der kleinste Zerstreungskreis muss

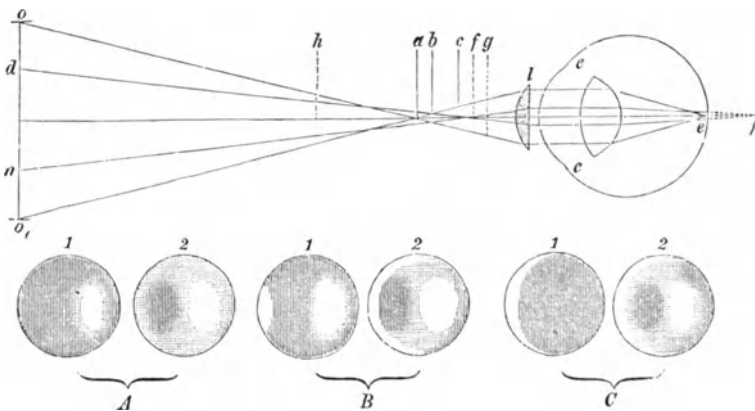


Fig. 29.

dann in b , um $\frac{1}{4}$ der Strecke af von a entfernt liegen, während der um die gleiche Strecke von f entfernte Punkt c dem Axenschnittpunkt der mitten zwischen Zen-

¹⁾ Wenn Aberrationen in einem Objektiv vorhanden sind, so lässt sich zeigen, dass ein Querschnitt durch den Strahlenkegel in einer gewissen Entfernung vom Brennpunkt Variationen und Unregelmässigkeiten in seiner Helligkeit, sogenannte Zonenbildung zeigt, und dass die relative Helligkeit der verschiedenen Theile des Querschnittes im umgekehrten quadratischen Verhältniss

trum und Rand den Spiegel treffenden Strahlen entspricht. Sind Auge und Okular auf a eingestellt, so werden natürlich die Randstrahlen, die sich in a schneiden und dort einen wenn auch schlecht begrenzten hellen Punkt bilden, sich wieder zu einem solchen auf der Netzhaut vereinigen, während die anderen auf dieser einen verschwommenen Hof bilden; diese letzteren divergiren nämlich von den zwischen a und f liegenden Punkten, und müssen demnach ihre Vereinigungspunkte hinter der Netzhaut haben. Daraus lässt sich erkennen, dass das Netzhautbild dem durch den Strahlenkegel in a gelegten Schnitt ähnlich sein muss.

Wir wenden uns jetzt zur Erläuterung der „Messerschneidenmethode“. Bei dieser nimmt man ein so schwaches Okular, dass das Auge auf einen Querschnitt wie g oder h eingestellt sein kann, ohne dass dieser zu gross oder zu lichtschwach erscheint. Liegen die Schnitte weit genug vom Brennpunkt, so wird die Lichtvertheilung ziemlich gleichförmig und regelmässig. Man kann auch vom Okular ganz absehen und das Auge an einen Punkt kurz hinter f bringen, wo das Licht den Spiegel bis zum Rand ausfüllt. Ein Messer werde dann mit seiner Schneide senkrecht zur Ebene des Papiers von rechts nach links quer durch den Strahlenkegel in der Ebene a geführt. Die ersten getroffenen Strahlen werden die in der Nähe von d sein und das Auge sieht demnach eine leuchtende Scheibe A_1 mit einem dunklen Fleck rechts von der Mitte. Erreicht die Messerschneide genau die Mitte, so wird der dunkle Fleck noch bleiben; dagegen werden die äussersten Randstrahlen sämtlich gleichzeitig abgeschnitten und nur die Strahlen um n entgehen vollständig dem Messer. Die Scheibe wird demnach wie in A_2 aussehen.

Bringt man das Messer in die Ebene b und durchschneidet den kleinsten Zerstreungskreis, so werden zunächst die Strahlen von d und o_1 gleichzeitig abgeschnitten (B_1). Erreicht die Schneide die Axe, so ist sie im Begriff, gleichzeitig das ganze Licht der Zone, deren Brennpunkt b ist, abzuschneiden, und diese Zone beträgt ungefähr $\frac{7}{8}$ der ganzen Oeffnung. Nur die Strahlen von n und vom rechten Rande entgehen noch, und wir haben einen Anblick wie in B_2 .

der Axenentfernungen zwischen dem Schnitt und den Schnittpunkten der betreffenden Strahlen mit der Axe steht.

Wenn z. B. ein Objektiv eine Zone besitzt, deren Strahlen die Axe $0,25\text{ mm}$ vor dem Brennpunkte schneiden, und man betrachtet einen Querschnitt, der 5 mm innerhalb der Brennweite liegt, so dass also die Entfernung dieses Schnittes von dem Schnittpunkt der Strahlen der Zone $4,75\text{ mm}$ beträgt, so wird die Helligkeit des Schnittes an der Stelle, wo er von den Zonenstrahlen durchsetzt wird, sich zur übrigen Helligkeit wie $(5,00)^2 : (4,75)^2$ oder ungefähr wie $10 : 9$ sich verhalten. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass eine solche Zone mit einem Plus von 11% Helligkeit der Beobachtung nicht entgehen kann und vor allem nicht, wenn ihr Vorhandensein durch eine entsprechende Zone mit einem Minus von 10% Helligkeit, die sich in einem Schritte 5 mm hinter dem Brennpunkt befindet, bestätigt wird. Die obige Regel gilt indess nur für einen Lichtpunkt, wie z. B. einen Stern. Hätte man auf einen Gegenstand von endlicher Grösse eingestellt, so würden die Helligkeitsänderungen in einem Querschnitt durch den Strahlenkegel durch $d^2 / (D/r + d)^2$ dargestellt werden; darin bedeutet d den Durchmesser des vom Objekt entworfenen Bildes (z. B. einer Planetenscheibe), D die Axenentfernung des Querschnittes von dem Schnittpunkte irgend eines Strahles mit der Axe und r das Verhältniss der Brennweite zur Oeffnung. Es zeigt sich, dass mit wachsendem d die Helligkeitsdifferenzen in den verschiedenen Theilen des Querschnittes, die von dem Korrektionszustand des Objektivs abhängen, mehr und mehr zu verschwinden suchen. Diese Komplikation tritt dadurch ein, dass die elementaren Strahlenkegel sich mehr und mehr überdecken. Ist d indess gerade gross genug, um die Interferenzringe sich überdecken zu lassen und ausserhalb der Brennebene eine kontinuierliche Helligkeit zu erzeugen, so findet man, dass die Unregelmässigkeiten in Folge der sphärischen Abweichung sich mindestens so unverkennbar zeigen als bei Benutzung eines Sternes und sorgfältiger Musterung der Interferenzringe.

Bringt man die Schneide in die Ebene c , so werden zunächst die Strahlen von o_1 abgeschnitten und wir erhalten C_1 . Wird die Axe erreicht, so werden alle Strahlen der Zone dn , die ihren Vereinigungspunkt in c hat, gleichzeitig abgeschnitten, und es bleibt nur das Licht zwischen der Mitte und n und das am linken Rande (C_2). Bezüglich der Figuren ist daran zu erinnern, dass alle negativ sind, also dunkle Partien an Stelle heller stehen und umgekehrt.

Wenden wir uns jetzt zu Fig. 27, wo vorausgesetzt ist, dass alle Strahlen genau im Punkte b sich vereinigen, so sieht man sofort, dass, falls die Schneide sich in der Ebene a bewegt, zuerst die Strahlen auf der äussersten rechten Seite der Oeffnung abgeschnitten werden, und dass in jedem Stadium die noch nicht abgeschnittenen Strahlen links von einem Kreisbogen und rechts von einer vertikalen (der Schneide parallelen) Geraden begrenzt werden. A_1 und A_2 (Fig. 27) stellen bezw. die erste Berührung und den Fall dar, dass die Schneide gerade die Axe erreicht hat. Geht die Schneide jedoch durch die ausserhalb der Brennweite gelegene Ebene c , so ist klar, dass die Erscheinungen gerade umgekehrt sein werden, denn die ersten abgeschnittenen Strahlen werden von der linken Seite der Oeffnung stammen und der Schatten demnach auch von der linken Seite vorrücken. Auf diese Weise kann der Beobachter immer entscheiden, ob die Schneide sich vor oder hinter der Brennebene befindet und durch Verschiebung derselben längs der optischen Axe die Stellung finden, wo alle Strahlen vom Objektiv oder Spiegel gleichzeitig abgeschnitten werden; dieser Ort entspricht natürlich dem Brennpunkt. Zeigt sich also nicht die geringste Neigung irgend eines Theiles der leuchtenden Scheibe, früher als die anderen zu verschwinden, so ist man bis auf einen ausserordentlich kleinen Fehler sicher, dass die Schneide in der Brennebene sich befindet.

Dies ist die genaueste Methode, den Brennpunkt zu finden. Bei Objektiven, deren Brennweite ungefähr gleich dem 15fachen der Oeffnung ist, lässt sich unter günstigen Umständen der Brennpunkt mit einem Maximalfehler von $0,12\text{ mm}$ bestimmen und dies ist eine der Hauptanwendungen dieser Methode.

Eine weitere Anwendung dieser Methode ist von den Verfertigern von Reflektoren gemacht worden, nämlich auf die Bestimmung der Radien der verschiedenen Zonen parabolischer Reflektoren grosser Oeffnung. Bisweilen ist es nämlich unbequem oder auch ganz unmöglich, dies auf die beste Art und Weise, nämlich mit Hilfe eines Sternes zu thun. Ein vollständig richtiger Reflektor hat bekanntlich parabolische Gestalt und demnach wachsen die Radien der einzelnen Zonen nach dem Rande zu. Man montirt nun eine Messerschneide und einen künstlichen Stern im Krümmungsmittelpunkt und fängt das Licht nach seiner Reflexion mit blossem Auge auf; der Spiegel ist dann voll Licht und die Schneide lässt sich benutzen, um die Brennpunkte der verschiedenen Zonen zu finden; falls nämlich das Licht irgend einer Zone gleichzeitig verschwindet, geht die Schneide durch den Brennpunkt derselben. Die Abstände des Brennpunkts der verschiedenen Zonen müssen bei parabolischer Gestalt und unbeweglichem künstlichem Stern gerade doppelt so gross sein wie die theoretischen Differenzen zwischen den betreffenden Radien; bewegt sich der künstliche Stern mit der Schneide, so müssen sie den letzteren gleich, also nur halb so gross sein wie im ersteren Falle.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass die Schneide fest montirt und einer exakten, messbaren Bewegung parallel der optischen Axe (mit Hilfe einer feinen Schraube) fähig sein muss. Befindet sie sich im Brennpunkt, so kann eine

seitliche Bewegung von $\frac{1}{40}$ mm dem ganzen Unterschied zwischen vollem Licht und voller Dunkelheit entsprechen und es ist deshalb ferner eine äusserst feine Bewegung senkrecht zur Axe nothwendig.

Man hat zu Gunsten dieser Prüfungsmethode oft angeführt, dass sie (in der durch Fig. 29 erläuterten Weise angewandt) geeignet sei, kleine Fehler in einem Spiegel oder einem Objektiv zu entdecken. Die Fehler zeigen sich in Form von unregelmässigen Erscheinungen, wie sie in den Figuren *A*, *B*, *C* dargestellt sind, wenn auch vielleicht in weniger ausgesprochenen Formen. Es ist nun zwar sicher, dass die Fehler auf diese Weise gefunden und die gesehenen Erscheinungen nach einem guten Stück Denkarbeit auch interpretirt werden können, aber es ist eben hierzu unnütz viel Zeit und Geduld erforderlich, während die von uns empfohlene Methode direkter, rascher, leichter anwendbar und auch (wenigstens wenn sie von einem erfahrenen Beobachter ausgeführt wird) eingehender und strenger ist. Die Schneidenmethode ist sicher in manchen Fällen gut anwendbar, aber trotzdem kann man nach einem Vergleich beider Methoden zuversichtlich behaupten, dass, um Fehler in der Arbeit zu finden, die direkt das Bild untersuchende Methode entschieden vorzuziehen ist. Erscheint ein Objektiv bei direkter Prüfung fehlerlos, so wird alles Quälen mit der Schneidenmethode kein anderes Resultat haben, als dass die ganze Lichtscheibe gleichmässig verschwindet; zeigt dagegen ein Objektiv einen kleinen Aberrationsrest bei direkter Untersuchung, so kann dieser doch leicht der Schneidenmethode entgehen. Interessant ist es zu erfahren, dass einer der genauesten Beobachter, der Rev. W. H. Dawes, die feste Ueberzeugung hatte, dass keine Methode der Objektivprüfung so streng sei wie die direkte, das Bild betrachtende.

Es gibt noch eine weitere sogenannte Methode, um ein Objektiv oder einen Spiegel auf Aberration zu prüfen, und wir wollen über sie einige Worte sagen. Wir haben gehört, dass einzelne Beobachter vermittels eines in der Mitte durchlochten Pappdeckels die Oeffnung ungefähr auf den dritten Theil abblenden und mit irgend einem Okular ein Objekt einstellen, dann an Stelle des Pappdeckels eine Scheibe von der Grösse der vorigen Oeffnung über die Mitte des Objektivs bringen und nun sorgfältig untersuchen, wie stark die Okularstellung geändert werden muss, um das Bild wieder deutlich zu bekommen. Ist irgend eine Veränderung nothwendig, so wird dann sofort auf positive oder negative Aberration geschlossen.

Nichts kann vollständiger irreführen als dieses Verfahren und zwar aus dem einfachen Grunde, weil bei einem stark abgeblendeten Objektiv jeder abbildende Strahlenkegel so eng ist, dass die Okularstellung innerhalb beträchtlicher Grenzen geändert werden kann, ohne die Bildschärfe zu gefährden. Daher ist es unmöglich, den Brennpunkt mit solcher Sicherheit zu bestimmen, um Schlüsse auf Verschiedenheit der Vereinigungspunkte der Rand- und Zentralstrahlen darauf zu gründen. Der Beobachter kann sich übrigens leicht selbst von der Nichtigkeit dieser Prozedur überzeugen, indem er die Reihenfolge umkehrt, also zuerst die Mitte und dann die äussere Zone bedeckt, und wiederum nachsieht, ob das Bild noch scharf eingestellt ist. Ist das nicht der Fall, sondern muss die Okularstellung geändert werden, um ein wirklich deutlicheres Bild zu bekommen, so ist das Objektiv geradezu erschreckend schlecht und würde bei der gewöhnlichen direkten Prüfung bei voller Oeffnung ausserhalb der Brennebene einen dichten hellen Fleck um die Mitte der leuchtenden Scheibe zeigen; diesem würde auf der

anderen Seite des Brennpunktes eine dunklere Lücke entsprechen und ein so charakteristisches Verhalten könnte auch dem Blicke des wenig geübten Beobachters nicht entgehn. Wir haben das Wort „deutlicheres“ oben betont, weil bei einem z. B. auf ein Drittel abgeblendeten Objektiv das falsche, einen Bildpunkt darstellende Scheibchen dreimal so gross ist als bei voller Oeffnung, und deshalb der Beobachter von vornherein erwarten muss, das Bild weniger scharf und weniger gut umrissen zu finden und nicht schliessen darf, dass eine bessere Einstellung möglich sei. Jedes wirklich gute Fernrohr- oder Mikroskop-Objektiv sollte die grösste Schärfe, „das feinste Korn“ bei voller Oeffnung geben, denn jede Verkleinerung dieser ist, ganz zu schweigen von der Bildhelligkeit, theoretisch ein Aufgeben an Definition.

Diese Kniffe mit Pappscheiben und Diaphragmen sind sämmtlich dazu angethan, um irre zu führen; ist überhaupt zonale Aberration vorhanden, so wird nach Naturgesetzen, die sich an den mannigfaltigen komplizirten Lichterscheinungen erprobt haben, dieselbe mit voller Sicherheit an der unregelmässigen Anordnung und Helligkeit der Interferenzringe zu beiden Seiten der Brennebene erkannt werden.¹⁾

¹⁾ Anmerkung. Die Lehre von der Interferenz des Lichtes lässt von vornherein erwarten, dass jeder zu einem Punkte konvergierende Strahlenkegel in eine Reihe in sich zusammenhängender, ausserordentlich dünner und abwechselnd heller und dunkler Kegelflächen oder Schalen aufgebrochen wird, deren Spitzen auf der optischen Axe liegen. Die inneren Schalen haben natürlich ihre Spitzen in grösserer Nähe des Objektivs. Ein Querschnitt durch den Strahlenkegel muss dann naturgemäss ein Ringsystem sein und die Zahl der Ringe hängt von der Zahl der Strahlen, die die Einstellungsebene durchschneidet, ab, also auch von der Entfernung vom Brennpunkt. Soweit ist die Sache klar; andererseits aber erscheint es äusserst schwer, einen Grund dafür anzugeben, dass diese Interferenzringe achromatisch sind; denn die Lehre von der Interferenz würde für jede Farbe ein besonderes System von Schalen und Ringen fordern. Da z. B. die Strahlen in der Nähe von *F* und *C* Lichtvertheilungen liefern müssten, die im Verhältniss ihrer Wellenlängen, also im Verhältniss von 3:4 stehen, so sollte man eine ähnliche Erscheinung wie die Newton'schen Ringe erwarten; indess ist davon nichts zu bemerken.

Ob die hellen und dunklen Schalen in der Richtung senkrecht zum Objektiv genau konisch sind, oder ob ein Längsschnitt durch die Axe Kurven zeigen würde, lässt sich nicht leicht feststellen.

Um die Feinheit dieser Ringe zu erläutern, sei bemerkt, dass wir bei einem Objektiv von 12,5 *cm*, als das Okular 5,2 *mm* eingeschoben war, sechs Interferenzringe zählen konnten. Das Verhältniss des Oeffnungsradius zur Fokallänge war 1:29, also der Radius des anvisirten Querschnitts *a* des Strahlenkegels $\frac{1}{29} \cdot 5,2 = 0,18$ *mm* und der Abstand je zweier Ringe 0,03 *mm*.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Organ

für

Mittheilungen aus dem gesammten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung

der zweiten (technischen) Abtheilung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Redaktion: Prof. Dr. A. Westphal in Berlin.

Erscheint in monatlichen Heften von etwa 5 Quartbogen.

Preis des Jahrgangs (12 Hefte) M. 20,—.

Zeitschrift

für den

Physikalischen und Chemischen Unterricht.

Unter der besonderen Mitwirkung

von

Dr. E. Mach,

Professor an der deutschen Universität zu Prag,

und

Dr. B. Schwalbe,

Professor und Direktor des Dorotheenstädtischen
Realgymnasiums zu Berlin,

herausgegeben

von

Dr. F. Poske.

Erscheint sechs Mal jährlich in Heften von 6—7 Bogen 4⁰ und bringt sowohl Original-Abhandlungen und -Aufsätze, als auch Berichte über die wichtigsten Veröffentlichungen auf den Gebieten der Wissenschaft und des Unterrichts.

Preis des Jahrgangs (6 Hefte) M. 10,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.