

VII. Kapitel.

Untersuchungsmethoden der photographischen Linsen und die hierzu dienlichen Apparate.

Man kann die Untersuchung eines photographischen Linsensystems in zwei Classen theilen, die erste hätte die Elemente des Systems als: Aequivalente Brennweite, Apertur, die Radien der Linsen, Scheiteldistancen der Flächen, die Eigenschaften des zu den Linsen verwendeten Materials, zum Gegenstand. Für den Photographen möchten indess die Radien, Scheiteldistancen gar keinen und die Materialeigenschaften nur ein beschränktes Interesse haben. Wenn die übrigen Elemente erst von sämtlichen Optikern hinreichend zuverlässig angegeben werden, so fallen auch diese Untersuchungen fort, mit denen man eigentlich den Photographen nicht belästigen sollte. Es wird dies auch gewiss eintreten, sobald alle Optiker im Stande sein werden, nach den genauen durch die Theorie gegebenen Vorschriften ihre Linsensysteme herzustellen (wie es jetzt von einem Theil derselben bereits geschieht), Verstöße gröberer Art gegen solche Elemente wie Brennweite und Apertur kommen eben nur bei dem Verfahren des Zusammenprobirens und Umschleifen der Linsen, behufs Fehlercorrectionen vor, wenn keine rationellen Arbeitsmethoden angewandt werden!

Die zweite Classe enthält die Untersuchung der den Linsensystemen noch etwa anhaftenden Aberrationsrestern, welche entweder allen oder doch einer Anzahl der früher behandelten Aberrationen angehören. Wie wir gesehen haben, lassen sich streng genommen die Aberrationen nicht vollkommen heben; das ist es aber auch garnicht, worauf es ankommt; die Aberrationen sollen indess so weit gehoben sein, dass die noch vorhandenen (unvermeidlichen) Rester quantitativ die Arbeit des Photographen nicht schädigen. Die Art der Vertheilung dieser Rester soll aber eine solche sein, dass sie den Zwecken, welchen das Linsensystem dienen soll, angepasst ist. Einige Beispiele mögen dieses erläutern.

Wenn z. B. eine Linsencombination grosser Apertur, wie es solche sind, die zur Aufnahme von Portraits dienen, einen bedeutenden Rück-

stand sphärischer Längenaberration auf der Hauptaxe besässe, wodurch das ganze Bild verschleiert wird, so wäre das ein unverzeihlicher Fehler; wenn aber dasselbe System bei grösserem Sehfeld den Rand des Bildes nicht in höchster Schärfe darstellt, so wäre dies ein Fehler von ziemlich untergeordneter Art, indem eben wenig oder garnichts darauf ankommt, ob etwas von der Decoration in weichem verwaschenem Tone erscheint; ja viele Photographen haben es sogar recht gern. Wenn aber ein Linsensystem, das als Weitwinkel mit kleiner Apertur dienen soll, schnell gegen den Rand des Bildes abfällt, so ist es so gut wie unbrauchbar, während vielleicht dasselbe (absolute) Quantum der sphärischen Längenaberration, welche das Portraitsystem unbrauchbar macht, bei der engen Blende des Weitwinkels gar nicht in Betracht kommt! Dagegen giebt es Fehler, welche unter allen Umständen verschwindend klein sein sollen bei allen Arten der photographischen Linsensysteme, wie z. B. soll die Farbenlängenaberration bei allen so weit gehoben sein, dass keine Focusdifferenz sichtbar wird! Ferner darf z. B. für kein Linsensystem ein Material zu den Linsen verwandt werden, welches durch seine gelbe Farbe den grössten Theil der actinischen Strahlen absorbiert! Und was dergl. Dinge mehr sind. Was die Auswahl der Untersuchungsmethoden selbst anbetrifft und die dazu dienlichen Instrumente, so müssen die Methoden für den Photographen einfach sein und keine kostspieligen Instrumente erfordern. Anders ist es, wenn irgend ein öffentliches Institut sich solche zum Zweck der Untersuchungen im Interesse vieler Photographen anschafft, in diesem Fall ist es leicht, theure aber höchst zuverlässige feine Messinstrumente zu construiren, welche diesen Zwecken dienen. Auch kann man alsdann ganz andere, sehr feine Methoden anwenden.

I. Classe derselben:

Bestimmung der äquivalenten Brennweite eines Linsensystems und der damit zusammengehörigen Bestimmung der Cardinalpunkte. Zu diesem Zweck sind eine grosse Anzahl verschiedener Methoden in Vorschlag gebracht worden, die aber häufig nur in der Form verschieden sind.

Vor allen Dingen muss man sich aber klar sein, welche Brennweiten eines Linsensystems man messen will, und welche Cardinalpunkte. Diese Forderung scheint auf den ersten Blick etwas absurd, indem noch häufig die Meinung vorherrscht, ein Linsensystem könne nur eine Aequivalentbrennweite haben, und nur zwei Cardinalpunkte. Wenn wir von dem Fall absehen, dass das erste und letzte Medium nicht dasselbe ist, da in der Photographie wohl immer Beides die Luft sein wird, so haben wir schon früher gesehen, dass z. B. die

Brennweite für schiefe Strahlen, wie die Secante des halben Bildwinkels θ wachsen soll, wenn sie das aber nicht thut (wie es meistens der Fall ist), so wird man beim Messen der Brennweite nach der Methode der Bildgrössen verschiedene Brennweiten finden, wenn man Objecte von anderer angularer Grösse wählt. Mit der Bestimmung der Cardinalpunkte ist es ganz ähnlich. Hat man dieselben bei einem mit Distortion behafteten Linsensystem zu bestimmen, so findet man für jeden Einfallswinkel eine andere Lage der Cardinalpunkte. Man sollte daher die äquivalente Brennweite und die Cardinalpunkte immer so bestimmen, dass dieselben von fremden und variablen Elementen wie Aberrationsreste es sind, befreit sein sollen, d. h. man sollte dieselben so bestimmen, wie sie erhalten werden, wenn man nach den anderweit bekannten Elementen, dieselben durch Rechnung mit Hülfe der Gaussischen Formeln bestimmt!

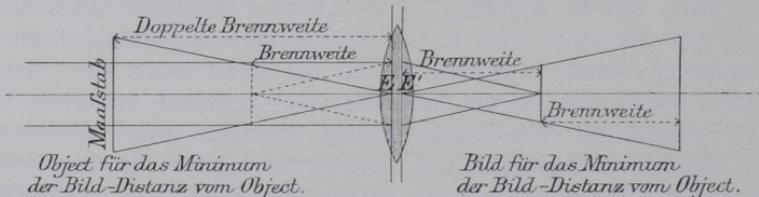
Diese Idee lag auch meiner Methode in den Photographischen Mittheilungen 1887, Heft I No. 334 pag. 254—258 zu Grunde. Gauss hat die Bestimmung der Brennweiten und Cardinalpunkte in allgemeinste Weise und mit grösster Schärfe in seinen „Dioptrischen Untersuchungen“ im Jahre 1841 auf pag. 22—31 abgehandelt, und ist mir wenigstens keine Methode bekannt, welche nicht daraus abgeleitet ist oder sich daraus ableiten liesse. Man bedarf zur Bestimmung dieser 3 Grössen, der Brennweite und der beiden Cardinalpunkte immer dreier Versuche, welche um die grösste Genauigkeit zu erreichen, möglichst verschieden von einander seien müssen. Die grösste Verschiedenheit erreicht man aber, wenn man einmal das Object in unendlicher Ferne und das andere Mal in der doppelten Focaldistance hat; ausserdem werden in solchem Grenzfall die Rechnungen noch besonders einfach; dieses war die leitende Idee zu meiner Methode. Will man sich nicht auf solche Grenzfälle beschränken, und ein Instrument eigens für diesen Zweck construiren, so ist das von Dr. Meyerstein construirte, und in Karl's Repertorium, 14. Band auf pag. 363 bis 366 beschriebene Instrument ausgezeichnet für diesen Zweck geeignet. Ich habe mit demselben in den Jahren 1853 und 1854 eine grosse Anzahl Bestimmungen gemacht (zum Zweck die optischen Constanten der zu Fernrohrobjectiven bestimmten Glasarten zu untersuchen) und die Resultate zuverlässig gefunden, zumal unter Anwendung von monochromatischem Licht. Der einfachste Grenzfall ist bekanntlich der, dass man ein so weit entferntes Object zur Disposition hat, dass die Strahlen, welche dasselbe aussendet, als parallel angesehen werden können, und man den Winkelwerth des Schwinkels desselben genau kennt. Dieser günstige Fall ist übrigens seltener als man glaubt. Man misst in diesem Fall, mit Hülfe eines Mikrometers

die lineare Grösse des Bildes des Objectes und dividirt alsdann diese halbe lineare Bildgrösse durch die Tangente des halben Schwinkels des Objectes, so erhält man direct die Brennweite. Trägt man diese Brennweite alsdann von der Bildebene nach der Linse zu ab, so erhält man die Lage des zweiten Cardinalpunktes; beim Umkehren der Linse die Lage des ersten Cardinalpunktes. Nimmt man in diesem Fall den Schwinkel nicht zu gross, (dagegen das Mikrometer so viel feiner), so wird der oben erwähnte Fehlereinfluss der Bildwölbung gering, und ist daher diese Gaussische Methode eine der besten. Dieselbe ist auch später von Grubb (in der von ihm gegebenen Form, jedoch nur für genäherte Bestimmungen brauchbar), für die Messung der Brennweiten photographischer Linsensysteme angegeben, und ausserdem, mit einer geringfügigen Abänderung, von Dallmeyer im Almanac des British Journal of Photography (1890) pag. 388—390 beschrieben. Abweichend dagegen ist die Methode, welche P. Moëssard (1889) in den Etudes des Lentilles et Objectifs Photographiques giebt. Moëssard benutzt die Eigenschaft der Cardinalpunkte, dass ihre Lage (wenn aplanatisirt) von der Richtung der einfallenden Cardinalstrahlen unabhängig ist. Es macht daher Moëssard diese Cardinalpunkte auf seinem Apparate zu einem Drehungscentrum und misst dann von diesem Centrum bis an die, für die Bildweite eines unendlich entfernten Objectes, eingestellte Visirscheibe. Diese Methode setzt selbstredend einen ziemlich kostspieligen und complicirten Apparat für einen Zweck voraus, der mit viel einfachern Mitteln anderweitig in genügender Genauigkeit erreichbar ist. Moëssard nennt seinen Apparat „Tourniquet.“ An dem Schwanken des Randbildes (wenn die Cardinalpunkte nicht aplanatisirt sind), erkennt Moëssard die Distortion. Wenn man einen solchen Aufwand von Mitteln nicht zu scheuen braucht, (z. B. für ein öffentliches Institut für die Untersuchung vieler Apparate) und der Apparat von Moëssard sorgfältig ausgeführt wird, so ist es sicher ein ganz brauchbarer Apparat für diesen Zweck.

Meine, in Vogels Journal mitgetheilte Methode ist eine Verbindung der Methode von Gauss mit der Methode von Maskelyne. Das Princip meiner Methode beruht darauf, dass man durch das Minimum der Distance vom Object zum Bilde (welche Distance bekanntlich die vierfache Brennweite plus der Distance der beiden Cardinalpunkte beträgt) von dieser Distance die doppelte Brennweite plus der Distance der Cardinalpunkte abzieht und auf diese Weise zur genauen Kenntniss der Doppelbrennweite der Linse gelangt. Trägt man alsdann beiderseits die Brennweite von der Bildweite für unendlich ab, so gelangt man zur Kenntniss der beiden Cardinalpunkte. Diese Methode ist besonders, wenn sie mit Hülfe eines eigens dazu gebauten

Apparates ausgeübt wird, oder selbst nur mit Hilfe einer optischen Bank und eines mikrometer Mikroskops und eines Fernrohrs einer hohen Schärfe fähig, da die zu messende Strecke zwischen zwei dickenlosen Bildern liegt! Man hat dieser Methode (mit Unrecht) den Vorwurf gemacht, dass ein Photograph nur höchst selten im Besitz einer Camera ist, welche sich bis auf die Doppelbrennweite ausziehen lässt! Wenn Vergrößerungen im Atelier gemacht werden, hat er solche sicher, wenn nicht, so kann man doch wohl voraussetzen, dass er wenigstens 2 Cameras irgend welcher Grösse in seinem Atelier besitzt, welche er in Distance aufstellen kann, besitzt er aber nur eine Camera, so kann er ja leicht die Visirscheibe herausnehmen und dieselbe in der nöthigen Distance von der Linse provisorisch befestigen; ich bin selbst leider meistens genöthigt gewesen, es so zu machen! Fig. 51 stellt den Strahlengang dar, der hier in Betracht kommt. Fig. 52 das Verfahren unter Anwendung des Fernrohres, das von beiden Seiten wiederholt wird, wenn es sich um erhebliche Genauig-

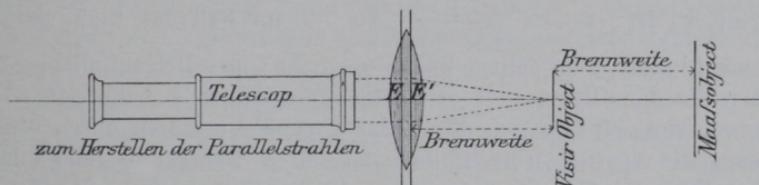
Fig. 51.



keit handelt. Das Verfahren ist nun folgendes: Man stellt zuerst ein passendes Object z. B. einen getheilten Maassstab oder ein dünnes Metallblech mit zwei feinen Löchern auf und verschiebt abwechselnd die Linse und die Visirscheibe, event. das mikrometer Mikroskop, bis die Distance vom Object zur Visirscheibe ein Minimum ist. Da die Aenderungen dieser Distancen in der Nähe des Minimum (wie bei jedem Minimum) unempfindlich sind, so dient zur Controlle die gleiche Grösse von Object und Bild. Je kleiner der Winkelwerth dieser Grösse ist, um so weniger wird der oben erwähnte Fehler der Bildwölbung bei der Bestimmung merklich, und ist die Messung hier um so leichter auszuführen, da es sich nicht um eine absolute, sondern um eine relative Messung handelt. Nun misst man genau die Entfernung vom Object zur Visirscheibe resp. Mikrometer, und nennt dieselbe = A. Alsdann führt man das für das Auge des Beobachters für unendlich eingestellte Fernrohr ein, Fig. 52, und stellt von jeder Seite der Linse auf ein Object ein (wozu man z. B. 2 Nadeln brauchen kann), man misst dann die Entfernung von Object zu Object und nennt diese B; die äquivalente Brennweite = x ist alsdann:

$x = \frac{A - B}{2}$, trägt man diese beiderseits von den beiden Objecten, welche für die Fernrohre gedient haben, ab, so erhält man die Lage der beiden Cardinalpunkte. Dies Verfahren ist, wie man leicht sieht,

Fig. 52.



für jede Linsengrösse anwendbar von den Mikroskoplinsen an, für alle photographischen Linsen bis zum grössten Refractor. Es gewährt in dieser Form eine mindestens vierfache Genauigkeit wie die Methoden, bei welchen nur die Brennweite direct gemessen wird, und lässt sich der Einfluss der Bildwölbung hinreichend hierbei eliminiren, was nicht der Fall bei der directen Messung ist, wo das gemessene Stück des Linsenbildes beträchtlich sein muss, wenn man sich nicht anderweit bedeutenden Fehlern aussetzen will. Genau genommen ist übrigens die Brennweite keine constante Grösse, sondern abhängig von der Temperatur, doch kommen solche kleine Differenzen wohl schwerlich jemals für die Photographie in Betracht.

Da die Messung des Sehfeldes bereits im Kapitel über das Feld abgehandelt ist, so wäre noch als zur ersten Classe gehörig, die Linsenöffnung, die Apertur zu behandeln. Es ist bereits bei Gelegenheit der Ein- und Austrittspupille darauf aufmerksam gemacht worden, dass es irrthümlich ist, wenn man den Diameter des Diaphragmas dafür ansieht. Es gilt dies nur dann, wenn das Diaphragma zwischen Object und Linse steht, und auch dann nur streng genommen, wenn entweder die Strahlen parallel einfallen, oder das Diaphragma mit der ersten Linsenfläche in Berührung ist. In allen Fällen, wo sich Linsen mit positiver Brennweite zwischen dem Gegenstand und dem Diaphragma befinden, ist die Apertur grösser wie das Diaphragma, im Fall negativer Brennweite kleiner. Man kann die Apertur nun entweder durch Rechnung aus der Blendengrösse und der Brennweite und Distance der zwischen dem Object und dem Diaphragma befindlichen Linsen bestimmen, oder durch directe Messung. Da es sich hier nur um die Bestimmung einer Differenz handelt und meistens die in Frage kommenden Linsen eine beträchtliche Brennweite zu haben pflegen, und auch wohl immer positiv sind, so genügt wohl das nachstehende Näherungsverfahren, dies bedarf nur einer genäherten Kennt-

niss der Brennweite und kann man von der Kenntniss der Cardinalpunkte in diesem Fall absehen und den Scheitel der Frontfläche hierfür nehmen. Nennt man p die Brennweite dieses Theils der Linsencombination und \mathfrak{D} die Entfernung des äusseren Linsenscheitels von dem Diaphragma und ε den Diameter des Diaphragma und x die gesuchte Apertur, so ist: $x = \varepsilon \frac{p}{p - \mathfrak{D}}$ No. 38, im Fall das Licht parallel auf das Linsensystem fällt. Sollte es nicht parallel auffallen, so ist statt p die der Distance des Objectes entsprechende conjugirte Vereinigungsweite einzusetzen. Ein sehr gutes Verfahren durch directe Messung die Apertur zu bestimmen, ist von L. Belitski in Eder's Jahrbuch 1890 pag. 13—18 mitgetheilt, die von Steinheil und Miethe angegebenen, so wie das obige Verfahren, sind weniger präcis als Belitski's. Doch hat eine hohe Genauigkeit hier eigentlich keinen Zweck.

Die so erhaltene Oeffnung dividirt man durch die Aequivalentbrennweite des Systems und drückt damit eine Function der Lichtstärke aus. Man darf nur nicht vergessen, dass dieser Werth nur für ein unendlich entferntes Object gilt und sich bei der Annäherung des Objectes an die Linse ändert; unter Umständen sogar sehr beträchtlich! Bei gleicher Brennweite ändert sich die Lichtstärke natürlich wie das Quantum der auffallenden Lichtstrahlen, also mit dem Quadrat des Diameters der kreisförmigen Apertur, gleicher Weise ändert sich die Lichtstärke bei gleicher Apertur wie das Quadrat der Brennweite, oder allgemeiner wie das Quadrat der Bildweite. Bei diesen Verhältnissen ist aber immer der gleiche Verlust an Licht durch Reflexion und Absorption vorausgesetzt. Man pflegt gewöhnlich die Apertur photographischer Linsen durch einen ächten Bruch (wie oben bemerkt) zu bezeichnen, so dass \mathfrak{F} den Zähler bildet und die Verhältnissziffer, des Aequivalents zur Apertur, den Nenner; z. B. $\mathfrak{F}/8$ bedeutet eine 8mal so lange Brennweite wie der Diameter des eintretenden Lichtkegels, es ist daher $\mathfrak{F}/4$ viermal lichtstärker wie $\mathfrak{F}/8$. Es wäre $\mathfrak{F}/12$ z. B. 9mal lichtschwächer wie $\mathfrak{F}/4$ etc.

II. Classe:

Wir gehen nun zur Untersuchung der zweiten Classe, den Aberrationen der Apparate über. Diese Classe ist insofern noch wichtiger für den Photographen, als durch Fehler in der Brennweite und Apertur nur die Bildgrösse oder Expositionszeit unrichtig werden kann, in der zweiten Classe, den Aberrationen hingegen wird die Qualität der erhaltenen Bilder angegriffen! Diese Classe kann man eintheilen in Aberrationsrester entspringend aus den Restern der früher behandelten Aberrationen und aus den Fehlern des Materials und der technischen Ausführung der Linsen und deren Fassungen.

Bei der Behandlung der chromatischen Aberration ist schon darauf hingewiesen, wie nothwendig es ist, dass das Bild eines Gegenstandes der optischen Strahlen mit dem Bilde des Gegenstandes der actinischen Strahlen zusammenfällt. Wir haben dort auch die Bedingung kennen gelernt, von der es abhängt, dass diese Bedingung für jede Distance des Objectes erfüllt ist, nämlich die, dass die Distance der zugeordneten Cardinalpunkte der Bestandlinsen der Achromate entweder $= 0$ oder doch sehr nahe gleich Null sind, und dass die einzelnen Achromate, aus denen ein Linsensystem besteht, auch einzeln so nahe wie möglich achromatisch sind. Alsdann ist das ganze System stabil achromatisch. Diese Bedingung muss überhaupt erfüllt sein, selbst für den Fall, dass es nur für Objecte in einer ganz bestimmten Entfernung benutzt würde, indem sonst geneigt zur Hauptaxe einfallende Strahlen ungenügend achromatisirt sein würden. Man kann diesen Fehler am leichtesten dadurch controlliren, dass man die einzelnen Bestandlinsen (Achromate) eines Systems untersucht, ob dieselben für sich allein achromatisirt sind oder nicht. Kleine Differenzen sind praktisch als unschädlich anzusehen, sobald sich dieselben nur in der ganzen Combination compensiren!

Man könnte nun die Linsensysteme dadurch untersuchen, dass man eine Photographie damit aufnähme und sehen, ob solche gut oder schlecht ausfiele? aber schon Petzval hat dieses Verfahren condemnirt, denn es hiesse Fehlerquellen mit in die Untersuchung ziehen, die nicht dahin gehören und auch nicht davon zu trennen sind! Gesetzt, man fände, die Photographie wäre nicht gut ausgefallen, so wüsste man immer noch nicht, woran der Fehler läge. Das richtige ist, jeden Fehler einzeln zu controlliren und zwar womöglich schärfer als es durchaus nothwendig ist. In früherer Zeit hat man übrigens bei Ross & Co. das erste Verfahren befolgt, indem mit jedem fertigen System eine oder mehrere Probeaufnahmen gemacht sind, man ist indessen schon längst davon zurückgekommen und hat statt dessen die Untersuchung auf dem sog. „Horse“ eingeführt. Dieser Apparat besteht im Wesentlichen aus einem kräftigen Stativ, auf welchem eine Universaleinrichtung befindlich ist, welche erlaubt, alle vorkommenden Linsensysteme und Linsen leicht centrisch zu befestigen. In einiger Distance (ungefähr der mittleren Länge des Ateliers entsprechend) befindet sich das Object in der verlängerten optischen Axe der Linsen. Als Object dient eine kleine Oellampe, welche eine hochpolirte Stahlkugel beleuchtet, sowie gleichfalls das emailirte Zifferblatt einer Taschenuhr. Als Object werden je nach Umständen alle 3 Theile benutzt. Das Hauptobject bildet jedoch der Reflex der Lampenflamme in der Stahlkugel. Der Beobachtungsraum dient gleichsam als Camera,

indem er dunkel gemacht wird. Es wird nun das optische Bild, welches das Linsensystem von einem dieser Objecte entwirft, durch starke achromatische Oculare betrachtet, welche 1,5 cm und 2,5 cm Brennweite haben; zuweilen sogar nur 1 cm. Da diese Oculare für directe und schiefe Strahlenkegel gleich aplanatisch sein müssen, so bestehen dieselben aus einer soliden Kugel aus Crown Glas, umgeben von einer concentrischen Kugelschale aus Flintglas in dem geometrischen Mittelpunkt durch Einschnürung derart diaphragmirt, dass dieselben noch einen Lichtkegel, wie etwa $\frac{2}{3}$ freien Durchgang gestatten. Näheres über die Construction siehe unten. Zuerst hatte man derartige Oculare, nach Brewster's Angabe, durch Mr. Wenham construirt, mit Flüssigkeit im Innern benutzt, später ganz solide Crown Glas-kugeln à la Coddington und noch später die unten näher bezeichneten. Bei all diesen Ocularen liegt das Bild derselben auf einer Kugeloberfläche, deren Radius gleich der Brennweite derselben ist, in dieser Fläche aber frei von den Anomalien schiefer Kegel ist. Dieses Ocular ist nun so mit dem Träger der Linsen verbunden, dass man es auf das Bild des Gegenstandes focussiren kann und ohne die Focussirung zu ändern, in jeder Einstellung senkrecht zur Hauptaxe bewegen kann, ferner lässt sich das Ocular um seine geometrische Axe drehen, sowie auch einen Theil ausser der Ebene des Hauptschnittes vertical auf- und niederbewegen. Die horizontale Bewegung ist jedoch die bedeutendste und ist so gross wie das grösste Sehfeld, das vorkommen kann. Nun lässt sich noch der Linsenträger mit dem Ocular zugleich auf dem Stativ um eine feste Axe bewegen, ganz ähnlich dem Arrangement, welches kürzlich auch von Moëssard angewandt ist, so dass man also diesen Apparat, der das Scelett einer Universalcamera darstellt, um diese Axe horizontal schwingen kann, sowohl über den Cardinalpunkten derselben, als auch ausser diesen. Die Untersuchung wird nun mit diesem Apparat auf sämtliche Aberrationen geführt und da die Bewegungen des Oculars sämtlich durch Theilungen controllirt werden, auch numerisch bestimmt. Erfinder dieses Apparats ist Andrew Ross, so viel mir bekannt ist. Die Untersuchung beginnt zuerst in der normalen Position des Apparats in der Hauptaxe, zeigt das Bild in der Stahlkugel Fehler technischer Ausführung, so kehrt natürlich die Linse sofort wieder in die Werkstatt zurück. Ist dies nicht der Fall, so wird zuerst auf Freisein von Focusdifferenz untersucht; es geschieht dieses, indem man bei kurzen Brennweiten direct auf die Lampenflamme einstellt und bei langen auf das Bild derselben in der Stahlkugel, in beiden Fällen den Charakter der secundären Farben sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Focus untersucht. Durch genaue Versuche an ausgeführten Linsen aus denselben Glas-

arten mit Hülfe photographischer Aufnahmen hat man sich der vollkommenen Coincidenz des actinischen und optischen Focus vergewissert und welche Farbenmischung für die optische Beobachtung dann stattfinden muss. Ich hatte hierzu ein mehr rationelles Verfahren vorgeschlagen (welches indess nicht adoptirt worden ist). Man sollte nämlich monochromatisches Licht, durch Prismen erzeugt, von zweierlei Brechbarkeit, z. B. von D und H γ auf die Stahlkugel werfen, es würden alsdann bei einem fehlerfreien Linsensystem beide farbige Bilder zugleich scharf im Focus vereint erscheinen, wenn jedoch Aberration vorhanden, so kann man sich durch Einstellen auf das eine oder andere Bild und Ablesen an der Theilung sofort von der Art und dem Quantum der Aberration Rechenschaft geben und hat ausserdem noch den Vortheil, dass man die zu vereinigenden Stellen im Spectrum nach einem tadellos befundenen Objectiv an dem Prismenapparat selbst einstellen kann, indem man in diesem Fall ja gar nicht an bestimmte Spectrallinien gebunden ist! Ausserdem ist ein Cylinderspiegel, da er farbige Lichtlinien erzeugt, noch besser für diesen Zweck. Wenn Aberration vorhanden ist und man will dieselbe in dem einen oder andern Fall bestimmen, so ist es viel genauer, dieselbe durch Compensation zu messen, als ihren directen Werth an der getheilten Scale abzulesen. Man bediente sich daher einfacher Linsen von langer, bekannter, sowohl positiver als auch negativer Brennweite, welche man auf die zu untersuchende Linse legte, bis die secundäre Farbe die richtige Mischung hatte, um darnach die etwa nöthige Correction zu bestimmen. Ich habe dafür meine früher beschriebenen homofocalen Chromaten eingeführt, eine für Unter-, die andere für Uebercorrectionsfehler und ändern diese Linsen im Bilde nichts als die Farbcorrection und zwar weit auf der Axe verschiebbar von 0 bis x. Hierzu habe ich Tafeln berechnet, aus welchen man die nöthige Correction alsdann direct entnehmen kann, so dass Sicherheit und Bequemlichkeit nichts zu wünschen übrig lassen. Dasselbe Verfahren ist natürlich auch auf Teleskopobjective anwendbar.

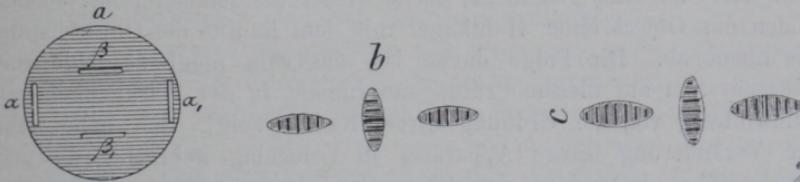
Die Untersuchung mit Hülfe der Photographie und des Focimeters setze ich als bekannt voraus, indessen mag hier noch erwähnt werden, dass der Focimeter in weiter nichts besteht als einer Anzahl von hintereinanderliegenden Probeobjecten, auf welche man das zu untersuchende Objectivsystem richtet und alsdann, nachdem man das Object, das in mittlerer Entfernung steht, sorgfältig focussirt hat, photographirt. Ist Focusdifferenz vorhanden, so wird nicht das eingestellte Object, sondern irgend ein anderes am schärfsten und lässt sich dann leicht die Focusdifferenz durch die Formel der Vereinigungsweite der Linsen hieraus ableiten. Ist auf vorstehende Weise die chromatische

Längenaberration untersucht, so untersucht man die sphärische Längenaberration. Erscheint nämlich das Flammenbild in der Stahlkugel von einem Lichthof umgeben, so findet sphärische Aberration statt. Man erblickt in diesem Fall ein völlig scharfes Bild der Flamme von einem Nebel umgeben und nicht, wie manche Gelehrte glauben, dass die sphärische Aberration die Contouren der Bilder verwaschen mache; dieser Fall tritt dann ein, wenn technische Fehler auftreten, und zwar wenn beim Poliren der Linsen Sünden gegen die genauen Rotationsflächen der Linsenflächen begangen sind, sind dagegen Flächenfehler im Hauptschnitt der Fläche begangen, so ist der Effect derselben genau derselbe Nebel erzeugende wie derjenige der sphärischen Längenabweichung. Man kann diese Fehler dann nur durch die Untersuchung der Flächen mit einem Fühlhebel oder Probeglas constatiren. Blendet man, bei vorhandener sphärischer Aberration, den Rand der Linse genügend ab, so erscheint das vorher im Nebel eingebettete scharfe Bild der Flamme sowohl scharf wie auch klar, ohne allen Nebel; entfernt man die Blende und setzt dafür eine Blende ein, welche die Mitte der Linse abblendet und den Rand freilässt, so erblickt man einen mehr oder weniger verwaschenen Lichtring.

Verändert man jetzt die Focalstellung des Oculars, so kann man den Lichtring zu einem Bilde der Flamme zusammenziehen, das aber viel weniger scharf contourirt erscheint, als das centrale Bild. Die Differenz beider Einstellungen ergiebt nun das Quantum der vorhandenen Aberration, die Richtung, in der die Bilder liegen, den Charakter, ob unter- oder übercorrigirt. Liegt das Randbild der Linse näher, wie das centrale, so findet Undercorrection, im andern Fall Uebercorrection. Soweit scheint dies nun ein recht hübsches Mittel zur Untersuchung der sphärischen Aberration, es hat nur leider den grossen Fehler, dass es durch die Accommodation des Auges stark beeinflusst wird, sowie auch dadurch, dass der centrale Strahlenkegel so spitz ist, dass eine erhebliche Verschiebung des Oculars fast gar keinen Einfluss darauf hat, während der Randkegel zu schlecht contourirt ist, um eine sehr scharfe Einstellung zu gestatten. Es ist völlig unbegreiflich, dass ein so ausgezeichneter Optiker, wie Fraunhofer es war, dieses und kein besseres Mittel angeben konnte. Kellner, der Erfinder der orthoskopischen Oculare, machte bereits auf diesen Punkt aufmerksam und empfahl „Das Kind mit dem Bade auszuschütten“. Ich habe mich daher eingehender mit dieser Frage beschäftigt und machte ein sehr feines Verfahren, welches auf Diffraction beruht, im Jahre 1861 in Poggendorff's Annalen Band CXIII, pag. 502, bekannt; dies Verfahren ist fein genug, um auch die für

sphärische Flächen unvermeidlichen Fehler zwischen Mitte und Rand zu untersuchen. Für die hier vorliegenden Zwecke viel zu fein! Für diese Zwecke habe folgende Methode erfunden, welche sich praktisch bewährt hat und bei einiger Sorgfalt noch erlaubt, eine sphärische Längenaberration von nur $\frac{1}{1000}$ Zoll messbar nachzuweisen. Ich benutze als Object das punktartige Bild der Flamme in der Stahlkugel (besser natürlich Sonnenlicht) und verwende dann als Diaphragma für das Objectiv eine Scheibe, welche dasselbe völlig bedeckt und nur vier feine Ausschnitte hat, wie Fig 53a eine solche zeigt. Im Fall sphärische Aberration vorhanden ist, entsteht hier die Erscheinung eines astigmatischen Lichtkegels in der Bildmitte. Wenn z. B. die beiden Lichtstrahlen, welche durch die Oeffnungen $\alpha\alpha_1$ treten, vereinigt sind, also focussirt, so sollten es die Strahlen von $\beta\beta_1$ gleichfalls sein. Findet aber sphärische Aberration statt, so kann man zur Zeit immer

Fig. 53.



Handwritten notes:
 2. J. J. J.
 f. f. f. f.
 1/1000
 9em

nur ein Paar, entweder $\alpha\alpha_1$ oder $\beta\beta_1$ vereinigen und das andere Paar bildet zwei getrennte kleine Spectra (von den secundären Farben her-rührend). Aus der Differenz beider Einstellungen erhält man die sphärische Minimalaberration, da die Oeffnungen $\beta\beta_1$ nur 0,7 von denen $\alpha\alpha_1$ von der Mitte abstehen. Da hier beide Paare zu gleicher Zeit beobachtet werden, so fällt der Einfluss der Fehler der Accommodation des Auges weg und weil beide Paare genügend von der Mitte entfernt sind, so fällt auch die Unempfindlichkeit fort. Ganz dieselbe Blende dient nun auch zur Untersuchung des Astigmatismus ausser der Hauptaxe des Linsensystems. Bewegt man das Ocular in der Schiebung senkrecht zu derselben, so sollten, wenn kein Astigmatismus und keine sphärische Aberration in der Axe stattfindet, diese 4 Lichtstrahlen immer vereinigt bleiben, oder wenn Bildwölbung statt hat, so sind alle 4 gleichförmig getrennt und vereinigen sich beim Focussiren alle 4 zugleich. Findet dagegen Astigmatismus statt, so geschieht die Vereinigung paarweise und zeigt dann die Focussirung der Paare, ob man es mit unter- oder übercorrigirten Astigmatismus zu thun hat. Mit welchem Paar man zu thun hat, kann man leicht

unterscheiden, da das Paar $\alpha\alpha_1$ nahe die doppelte Winkelgeschwindigkeit der Bilder beim Verstellen hat, als das Paar $\beta\beta_1$.

Ist Coma vorhanden, so zeigt sich dies dadurch, dass das Paar, deren Vereinigungspunkt im Hauptschnitt liegt, beim Focussiren sich entweder von der Axe weg oder zu derselben bewegt (je nachdem die Coma liegt), so dass dieser Vereinigungspunkt nicht mehr auf der Verbindungslinie der beiden andern Strahlen liegt! Siehe Fig. 53b, sowie Fig. 31ab. Es ist selbstredend, dass bei all diesen Manipulationen ausser der Axe der Linsenträger immer so um seine verticale Axe geschwungen werden muss, dass das leuchtende Object immer von neuem eingestellt werden muss. Alle diese Aberrationen kann man natürlich an den vorhandenen Theilungen numerisch bestimmen, wenn man es nöthig findet. Nun ist aber ein Fehler bei diesem schwingenden Apparate ganz übersehen worden, den übrigens alle schwingenden Apparate gemein haben. In Folge des Schwingens und Einstellens auf dieselbe Objectdistance stellen diese Apparate nicht etwa das Bild einer Ebene als Ebene wieder als fehlerfrei dar, sondern bilden das Object einer Hohlkugel mit dem Radius der Objectdistance als Ebene ab. Die Folge davon ist, dass ein möglichst fehlerfreies Linsensystem auf diesem Prüfungsinstrument in der Wirklichkeit eine Bildwölbung von der Ordnung dieses Radius zeigt. Ich habe daher die Veränderung dieses Apparates in Vorschlag gebracht (die auch durchgeführt ist), dass der Apparat nicht schwingt, sondern dass Ocular und Object beide sich senkrecht zur Hauptaxe in je einer Ebene bewegen. Es bleibt dann immer noch ein sehr kleiner Fehler dadurch übrig, dass das Sehfeld des Oculars selbst gewölbt ist. Aber auch diesen Fehler kann man beseitigen, wenn man es wünschenswerth findet, indem man eins meiner aplanatischen Oculare mit ebenem Sehfeld so anbringt, dass die Mitte des Ocularbildes um den Drehpunkt der Ocularbefestigung schwingt.

Die Figuren 53b und c stellen die Erscheinungen dieser Aberrationen dar. Zur Untersuchung der Distortion (die bei genau symmetrischen Linsensystemen übrigens überflüssig ist) benutzt man am Besten die verticalen Linien eines grossen Gebäudes, oder wenn man diesen nicht trauet, grosse Pendel, deren Gewicht man ins Wasser hängt, und benutzt eine Visirscheibe, auf welcher ein Liniennetz auf einer Theilmachine eingerissen ist. Kommt es auf noch viel grössere Genauigkeit in mässiger Distance an, so kann man ein genaues Liniennetz, das an einer ebenen, verticalen Wand aufgetragen ist, photographiren und die Photographie mit Mikroskop und Comparator untersuchen, wie es zum Beispiel mit einem meiner früher für den Venusdurchgang gemachten Linsencombination geschehen ist. Bei der vorher

mitgetheilten Untersuchungsmethode kann es übrigens vorkommen, dass man den einen oder andern Strahl bei den schiefen Kegeln verliert, wenn nämlich das quäst. Linsensystem den Fehler hat, dass ein Theil der seitlichen Kegel durch einen Fassungsring abgeblendet wird. Ein anderer Fall der Abblendung kann noch vorkommen durch die Pupille des Auges des Beobachters, indem nämlich der aus dem Ocular tretende Strahlenkegel grössern Diameter haben kann, wie die Augenpupille; in diesem Fall bedarf es eines stärkeren Oculars, um diesen Diameter so viel zu verringern, dass er die Augenpupille passirt. Man erkennt diesen Fall leicht daran, dass die Oeffnungen $\alpha\alpha_1$ nicht mit $\beta\beta_1$ zugleich sichtbar sind. Dieser Fall ist übrigens ganz identisch mit dem Fall, wenn man z. B. (wie das geschehen ist) sagt, dieses Portraitsystem braucht nur eine viermalige Ocularvergrösserung zu vertragen, ergo nimmt man solches Ocular und findet das Bild vielleicht recht schön, vergisst aber ganz, dass man nur die beste, centrale Partie der Linse untersucht hat, da die Augenpupille alle Randstrahlen abblendet! Ueber den schlechten Ausfall der photographischen Probe darf man sich dann nicht wundern.

Um den vorher erwähnten (an sich numerisch nicht erheblichen Fehler) des Restes der Bildwölbung, der durch Anwendung des „Horse“ oder Tourniquet entsteht, zu vermeiden, ist der zuletzt erwähnte Apparat nach meiner Angabe neben dem „Horse“ in Gebrauch genommen. Der gerügte Fehler wird bei den erwähnten Apparaten ja nur dann unendlich klein, wenn das ausgedehnte Object unendlich weit entfernt ist; also ein Fall, der praktisch von sehr beschränktem Werth ist. Wie man sich leicht denken kann, construirte ich den Apparat in der Weise, dass das Linsensystem in der Axe des Apparates festlag und senkrecht zu der Ebene des Objectes gerichtet ist. Das Object selbst ist das obenerwähnte geblieben; jedoch in 2 Exemplaren hergestellt, von denen das eine in der Axe des Apparates festliegt (um die Kegel, welche die Bildmitte abbilden, zu untersuchen), und das andere vom Ocular aus beweglich ist, sich senkrecht zur Axe (ohne die Focussirung zu ändern, wenn das Bild plan ist) bewegen lässt. Die zu untersuchenden Linsen kann man in verschiedenen Entfernungen vom Object auflegen. Auf diese Weise sind natürlich alle vorherbemerkten Fehler ausgeschlossen. Zur Untersuchung der photographischen Aufnahmen für architectonische oder Landschaftszwecke dient das Werkstattgebäude selbst, auf dessen Aeusseres beim Bau entsprechende Rücksicht genommen ist. Auf diesem neuen Apparat kann man sich natürlich über das Sehfeld und alle übrigen Elemente sofort an den Eintheilungen orientiren. Die Errichtung ähnlicher Apparate für Untersuchungs- und Lehrzwecke möchte sich für grosse

photographische Institute empfehlen. Besonders lehrreich für Schüler in dieser Sache ist es (wie schon früher erwähnt), einzelne Apparate, welche nur mit einem einzigen hochgradigen Fehler versehen sind, auf diesem Apparat zu sehen, um mit Leichtigkeit kennen zu lernen, was sie eigentlich sehen sollen; dann nachträglich eine photographische Aufnahme mit diesem Probeapparat zu machen, um den Einfluss kennen zu lernen, den dieser Fehler auf die photographische Aufnahme ausübt.

Schliesslich habe ich nur noch Einiges über die Fehler der technischen Ausführung zu sagen. Es wäre wohl sehr instructiv, wollte ich die besten Methoden zur technischen Ausführung der Linsen und die Werkzeuge und Untersuchungsinstrumente, welche zur rationellen Anfertigung dienen, hier vorführen; ich muss indes hiervon gänzlich abstehen. Etwas Veraltetes und höchst Lückenhaftes, wie es wohl anderweit mitgetheilt ist, möchte ich dem geehrten Leser nicht bieten, und etwas Ordentliches könnte leicht den Umfang des ganzen bisher Mitgetheilten erheblich überschreiten. Ich habe längst beabsichtigt, dieses zum allgemeinen Nutzen zu thun; indess fehlt es mir an den dazu nöthigen pecuniären Mitteln, und muss ich daher warten, bis ich mir das dazu Nöthige verdient habe. Indess will ich in Nachstehendem versuchen, dem Leser die wichtigsten Erkennungszeichen praktischer Fehler, sowie etwas über die Behandlung der Linsen, zur Erhaltung derselben mitzutheilen, was immerhin nützlich sein mag. Im Ganzen kann man wohl erwarten, wenn ein Linsensystem aus einer renommirten Werkstatt stammt, dass es von Fehlern gröberer Art frei ist! Man kann diese Fehler wieder in zwei Classen eintheilen, erstens in Fehler, welche die Qualität des Bildes beeinträchtigen und zweitens in Schönheitsfehler, d. h. solche, welche die Bildqualität nicht merklich beeinträchtigen, aber die Freude an dem hübschen Aussehen beim Beschauen des Apparates stören! Mit den Fehlern zweiter Art sollte sich indess Niemand aufhalten, der das photographische Linsensystem als Werkzeug betrachtet; nur Jemand, der es als hübsches Spielzeug oder Parade Pferd benutzt, sollte sich damit befassen, und für den sind diese Zeilen nicht bestimmt!

Vor allen Dingen muss das Linsenmaterial gut sein, d. h. frei von Schlieren (den Ausdruck Wellen, der in Süddeutschland zuweilen hierfür gebraucht, wird und der eine Bewegung ausdrückt, finde ich höchst unpassend hierfür) und frei von Doppelbrechung (hervorgebracht durch mangelhafte Kühlung der Linsen). Eine einzelne fadenförmige Schliere im Glase, selbst wenn dieselbe recht kräftig ist, ist praktisch für photographische Zwecke unschädlich, dagegen sind selbst schwächere Schlieren, wenn sie sich über einen grösseren

Theil der Linsenfläche erstrecken, höchst schädlich für die Klarheit und Deutlichkeit der Bilder. Man kann dieselben sehr leicht sehen, wenn man Abends (also im Dunkeln) die Linse auf ein entferntes Licht richtet, dann die Visirscheibe herausnimmt und das Auge an die Stelle des Bildes des Lichtes bringt, so dass das Bild des Lichtes auf die Iris des Auges des Beschauers fällt. In diesem Fall sieht der Beschauer das Linsensystem mit einem intensiven Lichtglanz überglänzt. Bewegt man dann den Kopf ein wenig seitlich, so verschwindet dieser Glanz. Es kommt nun darauf an, die Linse im Augenblick des verschwindenden Glanzes zu beobachten. Sind nämlich Schlieren im Glase vorhanden, so erscheinen dieselben (ihrer genauen Form nach) hell auf dunklem Grunde! Dieses Mittel ist ziemlich empfindlich; man kann z. B. mit Leichtigkeit die Schlieren sehen, wenn Jemand seine Hand unterhalb des Objectives hält, welche dadurch entstehen, dass die warme, feuchte Luft von den Händen aufsteigt. Wenn Bläschen, Quarkörner, Crystalle in der Glasmasse der Linsen sich befinden, so ist das nicht hübsch, es nimmt jedoch nur einen so kleinen Theil des auffallenden Lichtes weg, dass der wirklich angerichtete Schaden gleich Null ist. Ganz etwas Anderes ist es aber, wenn die Glasmasse der Linsen schlecht gekühlt ist (wie früher meistens die Pariser Gläser). Die Glasmasse erhält dadurch eine doppeltbrechende Eigenschaft, die um so nachtheiliger wirkt, je unregelmässiger dieselbe vertheilt ist. Um eine Linse auf diesen Fehler zu untersuchen, bringt man dieselbe in einen Polarisationsapparat, erscheint die Linse in polarisirtem Licht mit schwarzem Kreuz auf hellem Grunde oder umgekehrt, und ist dies Kreuz ganz symmetrisch, so mag der Fehler für photographische Linsen passiren, erscheint aber das Kreuz unregelmässig oder gar farbig, dann ist der Fehler so gross, dass eine solche Linse cassirt werden sollte. Da nicht Jedem ein Polarisationsapparat zur Disposition steht, so kann man sich dadurch helfen, wenn man als Polarisirer eine glänzende, schwarze Fläche, schwarzes, lackirtes Leder, Wachstuch, selbst eine gut polirte Tischplatte von dunklem Holz ist brauchbar dazu, nimmt, und das Licht vom Fenster ungefähr unter einem Winkel von ungefähr 40° darauf fallen lässt, dann die zu untersuchende Linse zwischen diese reflectirende Platte und das Auge bringt, und ein kleines Kalkspathprisma vor das Auge hält und dieses um seine Axe dreht. Man sieht dann, wie das Licht, welches von der Platte reflectirt wird, abwechselnd hell und dunkel wird; nimmt nun das Licht, welches durch die photographischen Linsen fällt, gleichmässig Theil daran, so ist das Linsensystem für die vorliegenden Zwecke gut genug gekühlt, wenn nicht, so zeigen sich die oben beschriebenen Erscheinungen. Besser noch, als das vom Tisch reflectirte Licht,

dient hierzu ein Packet (dünner) Glasplatten (welche ja wohl allen Photographen zur Disposition stehen) als Polariseur; doch würde ich nicht rathen, auch den Analyseur (das Kalkspathprisma, Nicol) dadurch ersetzen zu wollen; die Wirkung wird dann zu schlecht! Solche kleine Kalkspathprismen kann man in sehr guter Qualität um ein Geringes von Herrn Bernhard Halle, Optiker in Steglitz bei Berlin beziehen, der Specialist darin ist. Frägt man nun, was ist aber der Erfolg auf dem Bild, wenn die Linsen doppeltbrechend sind, zumal wenn unregelmässig doppelbrechend? Für die Deutlichkeit des Bildes meist ein sehr übler, unter Umständen schlimmer, wie ziemlich erhebliche Schlieren! Die Lichtkegel verlieren ihre Spitze dadurch, d. h. ein Punkt des Objectes wird nicht als Punkt abgebildet, sondern ist in einer unregelmässigen Form das Abbild der Spannung des Glases! Betrachtet man den Reflex der Sonne von irgend einer Thermometerkugel oder auch nur einer Glasflasche, so erscheint er nicht rund (als Bild der Sonne), sondern ganz unregelmässig, mit allerlei Aesten und Verzweigungen; gleicherweise wird feine Schrift oder eine Liniirung ganz verwaschen dadurch! Die berühmten Guinand'schen und Daguet'schen Gläser waren immer vortrefflich gekühlt, was man leider nicht von den meisten andern sagen konnte, so dass ich nicht selten genöthigt war, die Gläser nachzukühlen! Vor vielen Jahren richtete ich Prof. Abbe's Aufmerksamkeit auf diesen Punkt und haben die Herrn Schott und Genossen ein besonderes Verfahren, das sie „Feinkühlung“ nennen, introducirt und sind deren Gläser vortrefflich gekühlt. Wahrscheinlich in Folge dessen haben die Pariser Fabrikanten, die Herrn Mantois & Co., auch ein vortreffliches Kühlverfahren eingeschlagen, so dass die Anzahl der schlecht gekühlten Linsen jetzt wohl beträchtlich im Abnehmen begriffen sein wird. Die Herren Voigtländer und Sohn hatten bereits seit Langem einen vortrefflichen Muffelofen, in welchem die Gläser 8—14 Tage Kühlzeit unterlagen. Im Jahre 1855, als ich diesen Ofen sah, war derselbe bereits lange im Betrieb. Es kommt nun noch ein anderer Fehler des Glases in Betracht, die Grösse der Absorption actinischen Lichtes. Je kleiner diese ist, je kleiner kann die Apertur genommen werden und um so kleiner fallen die Aberrationsrester aus! Eine einfache Probe ist die, dass man die Linsen aus dem Apparat heraus-schraubt und sie auf recht weissem Carton legt und das helle Tageslicht darauf fallen lässt. Da das Licht in diesem Falle dieselbe Linse zweimal durchläuft, so werden die Fehler der Absorption verdoppelt. Erscheint der Carton, durch die Linse verglichen, mit dem direct gesehenen nur grauer, dann werden alle Farben gleichförmig absorhirt, und um so mehr, je dunkler der Carton durch die Linse erscheint.

Erscheint er aber gelb, oder gar braungelb, oder grüngelb, dann ist das Material der Linsen in Bezug auf actinische Strahlen schlecht zu nennen. Nachdem wir die hauptsächlichsten Fehler des Linsenmaterials betrachtet haben, gehen wir zu den Fehlern des Schliffes und der Politur der Linsen über. Um zu untersuchen, ob eine Linsenfläche im Allgemeinen recht klar ist, sieht man durch die vorher wohl gereinigte Linse gegen helles Tageslicht, sorgt aber dafür, dass das helle Licht schräg durch die Linse und nicht direct ins Auge fällt, und bringt hinter der Linse, in einiger Entfernung, einen recht mattschwarzen, möglichst wenig beleuchteten Grund an, gegen den der (nöthigenfalls durch eine Lupe verschärfte) Blick durch die Linse fällt. Man sieht alsdann auf dunklem Grunde alle Unvollkommenheiten der Politur (soweit dieselben der Durchsichtigkeit schaden) hell beleuchtet! Es kommt nun darauf an, sind dieselben sehr zahlreich oder nicht. Im erstern Fall sind dieselben in doppelter Richtung nachtheilig, sie nehmen Licht fort und zerstreuen es schädlich über das Sehfeld. Sind dieselben nicht zahlreich, so haben sie nichts zu bedeuten. Je glänzender, tiefer und reiner die Politur ist, je besser ist solche. Ich selbst benutzte für meine eignen Zwecke die viel schärfere Probe in reflectirtem, directen Sonnenlicht, mit Hülfe einer Loupe. Eine ganz tadellos polirte Fläche ist kaum unter einem Mikroskope sichtbar; doch hält sich eine solche Schönheit nur kurze Zeit gegen äussere, zerstörende Einflüsse. Hier bei Ross werden alle Flächen in einem dunklen Raum bei nur einer Lichtflamme unter der Loupe untersucht, ob dieselben fehlerfrei sind, eine Probe, die nächst dem Sonnenlicht wohl eine der schärfsten ist. Diese Untersuchung bezieht sich natürlich nur auf die Reinheit der Politur, nicht aber auf die geometrische Richtigkeit der Gestalt! Diese kann direct nur mit Hülfe geeigneter Fühlhebel oder Probegläser (mit Hülfe der Newton'schen Farben oder noch feiner mit Hülfe monochromatischen Lichtes) geschehen, doch werden bis jetzt wenigstens photographische Linsen zu schlecht bezahlt, um so feine Proben in Anwendung bringen zu können! Es mag erwähnt sein, dass es gar keine Schwierigkeit hat, mit monochromatischem Licht das Quantum Glas nachzuweisen, das ein derber Strich mit dem blossen Finger von einer accuraten Glasfläche entfernt hat und das als flache Furche erscheint, sowie man in den von mir construirten Fühlhebel bereits den Effect der Annäherung der Hand an eine Linsenfläche sehr deutlich sehen kann, dadurch, dass sich dieselbe hügelartig gegen die Hand erhebt (in Folge der Anschwellung durch die von der Hand ausgehende Wärme), noch ehe irgend eine Berührung stattgefunden hat! Die Instrumente, welche man unter dem Namen „Fühlhebel“ in physikalischen Cabi-

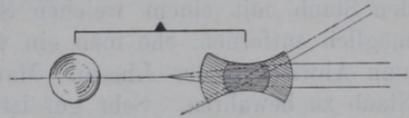
neten antrifft, sind allerdings für derartige Untersuchungen ganz unbrauchbar, weil viel zu schlecht dazu! In der Herstellung der photographischen Linsen überlässt man es meist der Erfahrung und Geschicklichkeit des Arbeiters, eine gute Fläche herzustellen und retournirt nur solche Flächen, welche die optische Probe auf dem „Horse“ nicht aushalten. Es kommt übrigens hierbei vor, dass sich die Fehlerrester mehrerer zugleich wirkender Flächen gegenseitig compensiren und ist dies ja auch für die vorliegenden Zwecke genügend. Ein geschickter Arbeiter vermag etwa bis auf $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{100000}$ Zoll die Genauigkeit einer Fläche während der Arbeit durch das Gefühl zu controliren. Ja manche sehr berühmte Optiker sind noch jetzt in der hilflosen Lage, dass sie grosse Objective in ähnlicher Weise, wie photographische Objective herstellen müssen, und wenn sich bei der optischen Probe derselben (mit Hilfe der Autocollimation vor einen Planspiegel) die Fehler der Flächen nicht genügend compensiren, künstlich derartige Fehler mit der blossen Hand oder Wolllappen oder Aehnlichem, auf welche Polirmittel geschmiert sind, hineinpoliren! Doch kehren wir jetzt zur optischen Probe zurück, so muss das Bild der Sonne oder eines leuchtenden Körpers, dessen Umrisse durch ein Diaphragma kreisförmig gemacht sind, auch in und aus dem Focus (in der Bildmitte) kreisförmig erscheinen. Jede Abweichung hiervon constatirt (wenn anders die Linsen gut centrirt sind) einen Fehler in der Gestalt der Linsenflächen, und zwar nur in dem Sinne, ob es reine Rotationsflächen sind oder nicht! Ob die Flächen im Hauptschnitt richtig sind, vermag diese Probe nicht anzugeben! Derartige Fehler verändern die Ausgleichung der sphärischen Längenaberration, ohne die vorhererwähnten Hilfsmittel kann man natürlich nicht nachweisen, ob ein solcher Abweichungsrest durch die fehlerhafte Länge eines oder mehrerer Radien hervorgebracht ist, oder durch die fehlerhafte Fläche im Hauptschnitt derselben. In der Regel ist ein Verstoss der Gestalt im Hauptschnitt vorhanden, weil nur sehr kleine Fehler dieser Art schon sehr grosse in der Länge der Radien repräsentiren!

Haben die Linsen aber alle diese Proben mit Ehren bestanden, so ist es doch noch nothwendig, dass dieselben gut centrirt sind, und gut centrisch in den Fassungen befestigt. Bei jeder Linse soll der dickste oder dünnste Punkt in dem Mittelpunkt ihres cylindrischen Randes und nicht seitlich davon liegen. Mathematisch ausgedrückt, soll die Verbindungslinie der beiden Kugelcentren der Linsenoberfläche mit der Axe des Cylinders zusammenfallen, welcher den matten Rand der Linse bildet. Ist dies nicht der Fall, so wird bei einem Achromaten die eine Hälfte des Objectivs über- und die andere unter-

corrigirt sein. Betrachtet man wieder den vorher erwähnten leuchtenden Punkt, so wird derselbe durch diesen Fehler zu einem kleinen Farbenspectrum ausgezogen. Stehen hingegen die Linsen in ihren Fassungen nicht senkrecht zur optischen Axe, so erscheint in der Bildmitte die früher erwähnte Coma; rotirt man die Linsen alsdann um ihre Axe, so rotirt die Coma mit.

Die oben erwähnte, zum Untersuchungsapparat nothwendige concentrische Loupe ist Fig. 54 abgebildet und besteht aus 2 concentrischen Schalen aus Flintglas (Dense Flint Chance oder No. 36, O. 103. Schott & Gen.) und einer gerieften Crownkugelschale, welche durch Canadabalsam mit den Flintglasschalen verkittet ist. Das hier angewandte Crownglas ist Hard Crown von Chance oder No. 8, O. 60 von Schott & Gen. Die Dimensionen derselben sind für 1 Centimeter äquivalente Brennweite folgende:

Fig. 54.



$r_1 = r_4 = 5,84$ mm, Dicke der beiden Kugelschalen = $q_1 = q_3 = 3,09$ mm
 $r_2 = r_3 = 2,75$ „ „ „ gerieften Crownkugelschale = $q_2 = 5,503$ „
 kleinster Diameter der Einschnürung = $3,33$ mm,
 grösster „ „ „ „ = $6,66$ „

Scheitelfocus = Bildweite vom letzten Scheitel = $4,16$ mm.

Das Verfahren zur Berechnung dieser Kugeln, welche durchaus fehlerfreie Bilder in jeder nur möglichen Lage geben, ist nach meinen Formeln überaus einfach. Der Achromatismus wird dadurch herbeigeführt, dass die Brennweite der centralen Crownkugel zur Summe der Brennweiten der beiden Flintkugelschalen im Verhältniss wie $\omega : 1$ steht. Da hier die Cardinalpunkte der Flint- und Crownlinsen zusammenfallen, so ist dadurch der Achromatismus möglichst vollkommen, auch natürlich stabil. Ferner fallen sämmtliche Cardinalpunkte mit dem aplanatischen Punkt der Kugel (deren Centrum) zusammen, sind also aberrationsfrei. Die Bildwölbung ist gleich der äquivalenten Brennweite, alle übrigen Anomalien schiefer Kegel sind = 0. Es kommt nun natürlich noch auf die Aufhebung der sphärischen Längenaberration an, welche man (da über alle Elemente bereits disponirt ist) durch die Auswahl der Glassorten erreicht und durch die früher mitgetheilten Formeln oder trigonometrisch controlirt. Die oben benutzten Glassorten sind schon ganz gut in dieser Beziehung und nicht teuer. Die Einschnürung muss natürlich gut geschwärzt werden und sind solche Loupen für viele Zwecke (auch für Oculare) gut zu gebrauchen. Will man aber das Maximum des Objectabstandes erreichen, dann sind sie nicht so empfehlenswerth! Die Apertur ist $\frac{2}{3}$.

Linsenflächen sind vor allen Dingen vor mechanischen Beschädigungen zu bewahren. Es ist daher zweckmässig, nicht ohne Nothwendigkeit die schützende Kapsel oder den Deckel abzunehmen. Ebenso soll man vermeiden, dieselben nicht anzufassen, am allerwenigsten aber nicht mit unreinen Händen. Will man die Linsen vom Staube reinigen, so soll man dieselben niemals gleich abwischen, weil immer harte Theile im Staub enthalten sind, welche selbst mit dem weichsten Leder mikroskopische Kratzen verursachen, so dass die Linse bald ihren Glanz einbüßen würde. Man muss immer zuerst den Staub mit einem weichen Staub- oder Tuschpinsel so viel wie möglich entfernen, ehe man ein weiches feines Waschleder anwendet zum Abwischen der Linsen! Man thut gut, auch dieses Leder vor Staub zu bewahren. Sehr gut ist eine mit Staniol ausgeklebte Pappschachtel für diesen Zweck. Will man von Zeit zu Zeit eine Generalreinigung der Linsen vornehmen, so ist das beste, dieselben mit einem weichen Leinenlappchen, das mit dünnem Seifenwasser aus reinem weichen Wasser und echter Bostoner Silberseife angefeuchtet ist, zu waschen, und dann mit reinem Wasser nach, mit reinem weichen Leinen getrocknet und mit dem Leder nachgerieben werden. Alle Putz- und Polirmittel anzuwenden sind verwerflich, selbst feine durch chemischen Niederschlag entstandene Kreide ist noch zu riskant. Flintgläser soll man vor Schwefelwasserstoff bewahren, damit sich keine Bleiflecke bilden. Liegt gleichzeitig Staub auf der Linse, so wirkt das Gas um so schlimmer. Auch muss man sehr vorsichtig sein, wenn man Linsen zum Zweck der Reinigung herausschraubt, dieselben nicht verkehrt wieder hineinzuschrauben. Alle anderen Chemikalien zur Reinigung anzuwenden, finde ich nicht rathsam, manche Gläser vertragen ziemlich viel, andere gar nichts derartiges.
