

## Anhang zum VI. Kapitel.

### Ueber die optischen Bedingungen der Vergrößerungsapparate.

Das in jeder Hinsicht vorzüglichste Licht für Vergrößerungen ist bekanntlich das Sonnenlicht. In unsern Breitengraden anzuwenden, ist es jedoch eine für den Geschäftsbetrieb sehr ungewisse Sache. Man hat übrigens zwei verschiedene Arten der Anwendung desselben, bei der ersten einfachsten Art wird der ganze Apparat nach der Sonne gerichtet, wie z. B. der von Prof. H. W. Vogel empfohlene amerikanische von Boettger in Philadelphia, bei der zweiten Art steht der Apparat fest und das Sonnenlicht wird demselben durch Hilfe des Spiegels eines Heliostaten zugeführt. Die Heliostaten zerfallen wieder in Handheliostaten (wie solche schon im vorigen Jahrhundert benutzt wurden) und wo der Spiegel der Bewegung der Sonne durch einen Gehülfen folgt. Viel besser sind die Heliostaten, welche durch Uhrwerke folgen, indess müssen dieselben von sehr bedeutenden Dimensionen sein und werden daher immerhin sehr kostspielig, selbst wenn man denselben eine so einfache Form giebt, wie ich es meinen kleinen Heliostaten für die Zwecke der Messung der Spectrallinien gegeben habe. Die optischen Bedingungen, welche bei der Anwendung des Sonnenlichtes zu erfüllen sind, da es parallel auf den Condensor fällt, sind sehr einfache. Der Condensor, der im Allgemeinen so gross genommen zu werden pflegt, wie es die disponiblen Mittel erlauben, muss eine solche Brennweite haben, dass der Winkel, unter welchem die Strahlen convergiren, derselbe ist wie der Bildwinkel des Vergrößerungssystems. Das von dem Condensor erzeugte Sonnenbild soll in den ersten Cardinalpunkt des photographischen Linsensystems fallen und das zu vergrößernde Negativ wird in den einen conjugirten Brennpunkt des Linsensystems gesetzt und die Platte zur Aufnahme der Vergrößerung in den Andern. Der Condensor braucht nicht achromatisch zu sein, wenn man nur die Vorsicht braucht, dass der Farbensaum, welcher nur an der Grenze des Lichtkegels sichtbar ist, durch

eine Blende (am Besten aus schwarzem Eisenblech) abgeblendet wird, ehe er auf das Negativ fällt. Viel wichtiger aber ist, dass die sphärische Längenaberration des Condensors einigermaassen gehoben ist, da sonst leicht doppelte oder unscharfe Contouren auf der Vergrösserung entstehen. Durch die sphärische Längenaberration werden eine Reihe von Sonnenbildern hinter einander erzeugt und kann natürlich nur eins derselben mit dem ersten Cardinalpunkt des Linsensystems zusammenfallen. Der Effect aber, wenn das Licht noch von andern Sonnenbildern ausstrahlt, ist der, dass die Contouren des vergrösserten Bildes nicht genau zusammenfallen, indem jedes der Sonnenbilder die Contouren auf einer etwas veränderten Stelle auf der Platte erzeugt. Man kann dieser Bedingung nun leicht dadurch (ohne Anwendung von Doppelachromaten) genügen, dass man das sogenannte Herschel'sche Doublet anwendet und zwar von den beiden von Herschel angegebenen dasjenige, welches die grösste optische Kraft besitzt, siehe unten. Man könnte indess auch (ähnlich wie es van Monkhoven gethan hat) eine Art dialytischer Combination anwenden, indem man in geeigneter Distance irgend eine Linse mit negativer Brennweite mit dem Condensor verbindet. Dieses Arrangement hat jedoch den schwerwiegenden Nachtheil, dass es sehr viel an optischer Kraft verliert, in Folge dessen es ungeachtet grosser Condensorlinsen nur langsam arbeitet. Ausserdem ist ein wichtiger Punkt, dass die Condensoren aus recht weissem Glase bestehen (es braucht keineswegs vollkommen schlierenfrei zu sein). Meistens sind solche käufliche Condensorlinsen sehr grün, wodurch die actinische Kraft des Lichtes sehr geschwächt wird. Ausserdem sind die Linsen in der Regel sehr dick, was bei dem Herschel'schen Doublet gleichfalls nicht nothwendig ist. Ich möchte als Material eins der leichten sehr weissen Flintgläser des neuen Jenenser Glases empfehlen, die nur 8—10 Mark das Kilo in rohem Zustande kosten. Als Vergrösserungssysteme kann man alle guten photographischen Linsen benutzen, welche für die erforderliche Bilddistance aplanatisirt sind, nur muss man nicht vergessen, dass die Lage von Object und Bild vertauscht werden müssen.

Sollte Jemanden die Sonnenhitze in solchem Apparat hinderlich werden, so kann man leicht aus zwei dünnen Spiegelglasplatten und einem Stück Gummi (im Querschnitt rechteckig) eine Zelle construiren, welche man mit klarer, gesättigter Alaunlösung füllt, wodurch der grösste Theil der Wärmestrahlen zurückgehalten wird und nur eine kleine Einbusse an Licht damit verbunden ist. Eine Alaunschicht von 5 cm Dicke ist schon äusserst wirksam!

Das hierzu geeignete Herschel-Doublet hat nachstehende Dimensionen:

$r_1 = 87,5$ cm convex	} 1. Linse	Diameter = 60 cm
$r_2 = 52,5$ cm convex		Dicke auf der Axe = 6,4 cm
$r_3 = 30,8$ cm convex	} 2. Linse	Diameter = 53 cm
$r_4 = 121,9$ cm concav		Dicke auf der Axe = 12,7 cm
Aequivalenter Axenfokus 52 cm.		Index = 1,5.

Man bedarf natürlich für vorliegenden Zweck keines so grossen Oeffnungswinkels (der Diameter ist hier grösser als die Brennweite). Man kann wohl meistens mit  $\frac{2}{3}$  oder  $\frac{3}{4}$  je nach dem Bildwinkel aus, und wird dann der Aplanatismus viel besser und die Linsen viel dünner, wie in diesem Beispiel. Der Abweichungsrest ist in diesem Beispiel Unter correction, und auch ein Fehlerrest gegen die früher erwähnte Sinusbedingung. Es lassen sich natürlich (besonders unter Anwendung des neuen Jenenser Glases) günstigere Combinationen ähnlicher Art errechnen. Immerhin ist selbst dieses Beispiel schon weit vollkommener wie die gebräuchlichen Linsen. Der Verstoss gegen die Sinusbedingung bewirkt in diesem Fall nur, dass die Sonnenbilder, welche von den verschiedenen Zonen einer solchen Combination erzeugt werden, eine verschiedene Grösse haben. Da der Sonnenschein aber so unzuverlässig in unsern Breiten ist, so ist es im Allgemeinen zweckmässiger, solche Vergrößerungen bei künstlichem Licht zu machen. Besonders günstig ist hierzu das electriche Licht, da es viele actinische Strahlen erzeugt, und auf einen möglichst kleinen Punkt concentrirt ist, und möglichst intensiv leuchtet. Das Incandescentlicht ist, weil es nicht von einem Punkt ausstrahlt, weniger hierzu geeignet, das Magnesiumlicht ist auch nicht so gut, weil es zu unstät ist. Am nächsten kommt dem electriche Licht noch ein gutes Drummond'sches Kalklicht, oder Zirconlicht. Die bekannte Sciopticonlampe ist nur ein Nothbehelf, da die leuchtende Fläche viel zu ausgebreitet ist. Eine kleine sehr handliche electriche Lampe haben für diesen und ähnliche optische Zwecke meine Söhne construirt. Die leuchtende Fläche ist nur circa 1 Millimeter im Diameter, und der leuchtende Punkt ganz genau an derselben Stelle bleibend. Diese Lampe kann durch eine kleine Tauchbatterie (welche eigens dazu construirt ist), mit einer Füllung 15 Stunden in Gang gehalten werden, eine neue, besonders präparirte Kohle ist jede  $1\frac{1}{2}$  Stunde frisch einzusetzen, was sehr einfach ist. Die optischen Bedingungen sind hier ähnlich wie bei der vorhin beschriebenen „Solarcamera,“ der Beleuchtungsapparat ist hier nur darin verschieden, dass das divergent von der Lampe ausstrahlende Licht unter dem Bildwinkel convergiren muss. Dies erfordert natürlich eine viel grössere optische Kraft des Apparates wie beim Sonnenlicht, das bereits parallel ist. Die Hauptsache ist nun, um das gegebene Licht

einer Lampe möglichst auszunutzen, nicht etwa durch grosse Dimensionen der Condensor, sondern nach Prof. Abbe's Ausdruck, dass die numer. Apertur des Condensors so gross wie nur möglich ist. Beschränkt man sich auf dioptrische Condensatoren, so ist die Apertur des Condensors meist durch die Distance der dem Lichte nächsten Glasfläche gegeben (da bei zu grosser Annäherung die Linsen von der Hitze der Lampe springen würden). Es wird sich die numerische Apertur in diesem Falle schwerlich viel über 0,75 bringen lassen, in diesem Fall werden nur 0,56 des von einer Seite ausgestrahlten Lichtes benutzt, es findet also im Ganzen ein Verlust von 72% des gesammten, um  $360^\circ$  ausgestrahlten Lichtes statt. Hier wäre nun Petzval's Beleuchtungsapparat am Platze, der wenigstens 80% Nutzeffect giebt. Wie dem auch sein mag, das Bild des leuchtenden Körpers muss wieder in den ersten Cardinalpunkt des photographischen Linsensystems fallen. Ausserdem ist die beste Stellung des Lichtes zum Condensor, dass es in dem Kreis der kleinsten sphärischen Aberration des Condensors steht, conjugirt zu der für die Bildvergrösserung erforderlichen Convergenz des aus dem Condensor austretenden Strahlenkegels. Werden diese Bedingungen zugleich mit der genäherten Aplanasie des Condensors erfüllt, so geht kein Licht unnöthiger Weise verloren, die Beleuchtung des Bildfeldes ist vollkommen gleichförmig, und die vergrösserte Copie frei von doppelten Contouren.

Fig. 47.

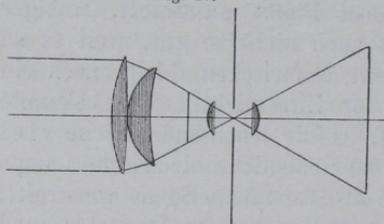
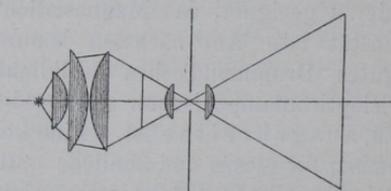
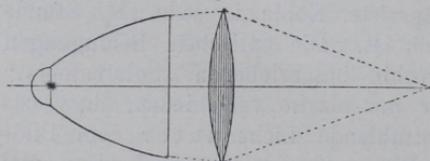


Fig. 48.



Von der Entstehung dieses letzteren Fehlers kann man sich leicht dadurch überzeugen, indem man den Ort der Lichtquelle verändert, und gleichzeitig das projecirte Bild betrachtet, an dem man sofort die doppelten Contouren wahrnehmen wird. Fig 47 stellt den optischen Theil der Solarcamera mit Herschel-Doublet und Fig. 48 das gewöhnliche Linsenarrangement,

Fig. 49.

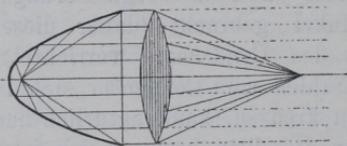


das ich seit 1859 gebraucht habe, dessen Alter mir unbekannt ist, für künstliches Licht, N. A. 0,75 dar, und Fig. 49 den Condensor nach

Prof. Petzval's Construction, welcher Katoptrisch = Dioptrisch ist. Sollte jemand einen mangelhaften Condensator besitzen, dessen Winkel der austretenden Strahlen stumpfer wie das Bildfeld der Vergrößerungslinse ist, so dass hierdurch Lichtverlust und schädliche Reflexe eintreten, so kann er denselben dadurch verbessern, dass er das Licht dem Condensator entsprechend nähert, bis die richtige Convergenz erreicht ist, und alles Licht durch richtige Justirung des Vergrößerers des Condensators nutzbar gemacht wird. Im umgekehrten Fall, wenn der austretende Kegel zu spitz ist, daher das Bildfeld nicht ausfällt, und dann ausser dem Bild des Negativs das Sehfeld durch Projection der Farbensäume des Condensators verschönert, so kann man sich dadurch helfen, dass man das vergrößernde Linsensystem so lange dem Condensator nähert, bis der Lichtkegel des Condensators die Vergrößerungslinsen ausfüllt, in welchem Fall dann der Farbensaum des Condensators durch die Linsenfassungen des Vergrößerers aufgefangen wird, daher nicht mehr im Sehfelde störend auftreten kann. Der zu spitze Beleuchtungskegel wird jetzt durch das Vergrößerungssystem in den richtigen Convergenzwinkel gebracht (daher dieses dann einen Theil der optischen Arbeit des Condensators verrichtet); die Bedingung des Kreuzens der Lichtstrahlen vom Condensator sich in den Cardinalpunkten des Vergrößerers zu kreuzen, kann natürlich nun nicht mehr inne gehalten werden, denn dieselben kreuzen sich jetzt zwischen dem Vergrößerungssystem und der Projectionsfläche. In diesem Fall ist wieder das ganze Feld gleichmässig beleuchtet und findet auch kein Lichtverlust statt, die Qualität des vergrösserten Bildes ist jedoch nicht so gut als wenn die Bedingung des Kreuzens der Strahlen vom Condensator in den Cardinalpunkten des Vergrößerers inne gehalten wäre. Die Abnahme der Schärfe des Originals, welche auch bei Erfüllung aller Bedingungen noch stattfindet, entsteht aus folgenden Ursachen. Zuerst liegt es darin, dass alle Fehler des Originals, die in ihrer Kleinheit direct nicht auffallen, in vergrössertem Maasse sichtbar werden. Alsdann liegt selten das Original genau genug in einer Ebene senkrecht zur optischen Axe und nimmt ausserdem noch die Qualität des optischen Bildes (so weit dieselbe vom Beugungsfehler abhängt), genau in demselben Maasse ab, wie das Bild grösser wie das Original wird, da in demselben Maasse die Strahlenkegel, welche die Vergrößerung erzeugen, spitzer wie auf der Originalseite sind. Alle diese Umstände, wozu noch das Korn des Niederschlags kommt, wirken gleichzeitig dahin, um die Copie weniger scharf wie das Original zu machen. Man sollte daher in Betreff der Beleuchtung alles aufbieten, diese Fehler auf das unvermeidliche Minimum zu reduciren! Aus Vorstehendem ist übrigens ersichtlich,

dass es keineswegs gleichgültig ist, in welcher Weise das Licht von den Condensatoren auf das Negativ geworfen wird, und dass das Lichtquantum (das übrigens nur von der numerischen Apertur des Condensators abhängt, falls es nicht auf seinem Wege fehlerhaft abgeblendet wird) es allein nicht ausmacht! Es muss noch die zweite Bedingung erfüllt werden, dass das gesammte Beleuchtungssystem nur einen einzigen Focus besitzt! Es werden aus Unkenntniss gerade in diesem Punkt häufig Verstösse hiergegen gemacht, die zur Folge haben, dass nicht allein die Definition des vergrösserten Bildes dadurch leidet, sondern auch Lichtverluste dadurch stattfinden, dass sämmtliche Diaphragmen und Linsenfassungen wohl die Kegel des einen Beleuchtungsfocus frei passiren lassen, aber nicht des zweiten, der eine ganz andere Lage hat! Ein ganz gewöhnlicher Verstoß besteht darin, dass man einen parabolischen Spiegel mit einer Biconvexlinse (vor der Oeffnung desselben) verbindet, Fig. 50 stellt solche fehlerhafte

Fig. 50.



Verbindung dar. Das von der Lichtquelle ausgestrahlte Licht wird, so weit es auf den Spiegel fällt, parallel gemacht, und convergirt natürlich nach dem Focus I der Biconvexlinse. Dagegen wird das direct auf die Linse fallende Licht fast parallel gemacht, nach dem sehr weit entfernten Focus II convergiren. Statt also durch solchen Apparat fast  $360^\circ$  (ähnlich dem Petzval), ausnutzen zu können, verstreuet man vieles Licht gegen die Seitenwandungen des Apparates, beleuchtet durch dies zerstreute Licht das Feld in schädlichem Grade, und erzeugt doppelte Contouren des Objectes durch die zwei weit getrennten Foci I und II. Wie man sieht, liegt die Sache beim Petzvalapparat anders. Die grösste numerische Apertur des katoptrischen Theils wird durch einen sphärischen Spiegel gebildet, dessen Krümmungscentrum der Flamme sehr nahe liegt, d. h. um den Betrag der sphärischen Längenaberration der Biconvexlinse entfernt liegt, und auf diese Weise die Beleuchtung der Biconvexlinse gerade in den Theilen verstärkt, wo es nöthig ist. Dieser sphärische Hohlspiegel, der die numerische Apertur  $\neq 1$  besitzt, wirft nun den Theil des Lichtes, welcher die numerische Apertur der Biconvexlinse  $\neq 0,6$  betragend, übersteigt, auf den zweiten (elliptisch?) geformten Theil des Spiegels, der mit Hülfe dieser zweimaligen Reflexion die Strahlen schliesslich unter einem solchen Winkel auf die Biconvexlinse wirft, als kämen sie von demselben leuchtenden Punkte wie die centralen Strahlen her, gleichfalls wieder die Compensation der sphärischen Aberration an dieser Linse berücksichtigend! Es sind also in

diesem Apparate beide Vortheile mit einander verbunden, die der grössten Lichtstärke mit der höchsten Definition des Bildes!

Zuweilen findet man auch den Fehler in der Construction der Beleuchtungsapparate begangen, dass der Constructeur einen solchen Apparat behandelt hat, als ob der Apparat ein Bild des leuchtenden Körpers erzeugen sollte, und findet dann natürlich das Feld ungleich beleuchtet, ja zuweilen sogar schwarze Flecke in demselben, welche theilweise ihren Grund in der starken sphärischen Aberration des Condensors haben, theils verwaschne Bilder der Ausströmungsöffnung des Knallgasbrenners, oder der Kohlen beim elektrischen Licht sind. Constructeure, die solche Verstösse machen, sollten sich lieber mit etwas Nützlicherem beschäftigen! Ein gut construirter Beleuchtungsapparat soll nicht allein die gegebene Lichtquelle bis aufs äusserste ausnutzen, sondern soll auch das Licht so vollkommen gleichförmig über das ganze Sehfeld vertheilen, dass das freie Feld aussieht, als ob es mit Milch gleichmässig übergossen wäre!

In der Construction von Beleuchtungsapparaten für Leuchttürme hat man diesen Zweig der Optik schon zu einem hohen Grad der Vollkommenheit gebracht! Warum sollten die Beleuchtungsapparate für Photographie dagegen zurückstehen?