

Viertes Capitel.

Photographische Optik.

Das Licht ist das Lebenselement, der zeichnende Griffel des Photographen, und die Kenntniß seiner Eigenschaften ist deshalb für ihn ebenso nothwendig, als für den Maler die Kenntniß seiner Zeichenmaterialien und Farben. Daher bildet die Optik, d. i. die Lehre vom Licht, ein wichtiges Capitel der Theorie der Photographie.

Licht ist nach der gewöhnlichen Definition die Ursache der Helligkeit, das Agens, durch dessen Vermittelung unser Auge die Körper wahrnimmt*).

In Bezug auf das Verhalten zum Licht theilen wir die Körper ein in leuchtende, die ohne Hülfe eines anderen Körpers sichtbar sind und nichtleuchtende oder dunkle. Diese Eintheilung ist nicht streng, denn es giebt Körper, die wir für gewöhnlich nichtleuchtend nennen, wie Diamant, Glas, Chlorophan, Flußspath, der bononische Stein, Porzellan, Papier, die aber dennoch, wenn sie schwach erwärmt oder von der Sonne beschienen worden sind, im Dunkeln schwach selbstleuchtend auftreten (siehe S. 12).

Bei Betrachtung verschiedener leuchtender oder erleuchteter Körper bemerken wir leicht Unterschiede, einerseits in der Intensität des Lichts, oder der Lichtstärke (die Sonne ist z. B. bedeutend intensiver als Gaslicht), andererseits in der Qualität (manche Körper erscheinen weiß, schwarz, andre farbig).

Mit der Bestimmung der Intensität beschäftigt sich die Photometrie, mit der Bestimmung der Qualität die Farbenlehre. Betrachten wir zunächst die Intensität des Lichts.

Von der Intensität des Lichts.

Hier müssen wir zunächst die Lichtintensität selbstleuchtender Körper besprechen.

Es ist offenbar, daß die Helligkeit einer gleichmäßig leuchtenden Fläche abhängig sein wird: 1) von der Intensität des Lichts in jedem einzelnen Punkte, und 2) von der Größe der Fläche. So wird

*) Diese Definition ist nicht ganz erschöpfend, denn es giebt auch unsichtbares Licht, das, wie wir sehen werden, bei dem Farbenspectrum (s. u.) jenseits des Roth noch fühlbar, jenseits des Violett noch chemisch wirksam ist.

z. B. von zwei gleich großen Flammen, einer Gasflamme und einer Talglichtflamme, die erstere in jedem einzelnen Punkte intensiver leuchten, als die letztere; ebenso wird die ganze Fläche einer weißglühenden Eisenplatte von 10 □Fuß sicher zehnmal so viel Licht verbreiten, als eine gleich hell glühende von nur 1 □Fuß Fläche. Die Wirkung, welche das von einer solchen Lichtquelle ausstrahlende Licht auf dunkle Körper ausübt, wird nun sehr verschieden sein, je nach der Entfernung der Lichtquelle von den Gegenständen, und je nach der Stellung der letzteren.

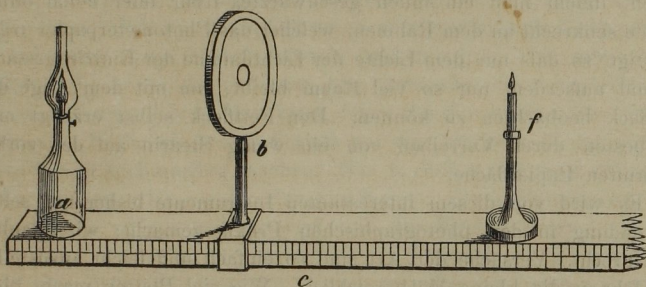
Hinsichtlich der ersten Punkte ist es bekannt, daß mit der Entfernung einer Lichtquelle die Helligkeit, welche sie verbreitet, abnimmt, und zwar in demselben Verhältniß, wie die Quadrate der Entfernung zunehmen. Dieser Umstand ist zu beachten bei photographischen Aufnahmen mit künstlichem Licht (Magnesiumlicht, electrischem Licht). Je näher man die Lichtquelle dem beleuchteten Objecte bringt, desto intensiver wird es beleuchtet.

Hinsichtlich des zweiten Punktes ist leicht nachzuweisen, daß eine Fläche, die von senkrechten Strahlen getroffen wird, heller erscheint, als eine von schiefen Strahlen getroffene; der bloße Anblick eines in senkrechter oder schiefer Richtung vom Licht getroffenen Stück Papiers lehrt das schon auffallend, ebenso der Anblick eines einseitig beleuchteten runden Körpers, z. B. einer Säule, an welcher ein allmählicher Uebergang von Licht in Schatten, Halbton genannt, sichtbar ist. Dieser Halbton entsteht einfach dadurch, daß jeder einzelne Theil der cylindrischen Säule eine andere Neigung gegen die auffallenden Strahlen hat, und demgemäß um so dunkler erscheint, je schiefer die Strahlen fallen.

Um nun die Helligkeit, die Intensität des Lichtes leuchtender sowohl wie nichtleuchtender Körper zu bestimmen, bedienen wir uns der Photometer. Unser Auge ist im Stande zu beurtheilen, ob eine Fläche heller sei, wie eine andere; das Umwieviel zu erkennen, ist ihm unmöglich, und selbst bei der Bestimmung, welche Fläche heller und welche dunkler sei, wird unser Urtheil durch die dabei ins Spiel kommende Farbe, ferner durch Contrastwirkungen unsicher gemacht. Man hat viele Instrumente zur Messung der Lichtintensität construirt; wir heben als eins der einfachsten und praktischsten hier das Bunsen'sche Photometer heraus; dieses ist weiter nichts, als ein auf Papier gemachter Fettfleck*^{*)}. Beleuchtet man ein solches

^{)} Neuerdings empfiehlt Bunsen einen ungefetteten Ring auf ringsum gefettetem Papier. Man erwärmt ein Stück homogenes Zeichenpapier auf einer mit Fließpapier bedeckten Metallplatte und reibt eine kleine Menge auf dem Papiere geschmolzenen Stearins so ein, daß ein kreisrunder ungetränkter Fleck übrig bleibt. Nach dem Erkalten des Blattes legt man ein Körnchen Stearin genau in die Mitte des ungetränkten Fleckes und erwärmt gelinde, bis die geschmolzene Masse vom Papier eingesogen ist,

Stück Papier von vorn, so erscheint der Fettfleck dunkel, beleuchtet man es von hinten, so erscheint er hell; beleuchtet man ein Stück Papier gleichzeitig von vorn und von hinten, so wird der Fettfleck bald hell, bald dunkel erscheinen, jenachdem das vordere oder hintere Licht stärker wirkt; läßt man das eine Licht feststehen, und nähert oder entfernt das andere, so findet man bald einen Punkt, wo der Fettfleck verschwindet, d. h. unsichtbar wird, weil alsdann der Fettfleck genau so hell erscheint, als das umgebende Papier. Will man nun zwei Lichtquellen mit einander vergleichen, so bringt man eine constante Lichtflamme, z. B. die einer Modérateurlampe *a*, hinter



das Photometer *b*, welches zu dem Zwecke am besten auf einen Maßstab *c* senkrecht aufgestellt wird; alsdann bringt man die erste zu messende Flamme *f* auf die andere Seite, rückt sie hin und her, bis der Fettfleck verschwindet, und entfernt sie dann; nachher macht man dasselbe Experiment mit der zweiten zu messenden Flamme. War die Entfernung der ersten Flamme = 10 Zoll, die Entfernung der zweiten = 12 Zoll, so verhalten sich die Intensitäten der beiden Flammen wie 10^2 zu 12^2 , d. h. wie 100 zu 144.

Bunsen hat mit diesem so einfachen Photometer eine Reihe für die Photographie hochwertiger Untersuchungen ausgeführt, von denen wir noch sprechen werden. Ein Uebelstand bei der Anwendung dieses Photometers ist die verschiedene Färbung vieler Lichtquellen; so ist es z. B. sehr schwer, auf diese Weise Tages- und Lampenlicht mit einander zu vergleichen, da das erste blau und das zweite gelb gefärbt ist. In solchem Falle thut man gut, ein gelbes Glas auf die Tageslichtseite zu bringen und dadurch dem auf das Papier fallenden Licht eine gelbe Färbung zu ertheilen; allerdings wird dadurch das Tageslicht um eine gewisse Quantität geschwächt, bei der Bestimmung der Verhältnisse der Helligkeit zweier verschiedenen vom Tageslichte erhellen Räume kommt diese Schwächung jedoch, wenn man für beide dasselbe gelbe Glas benutzt, nicht in Betracht.

Man kann auf diese Weise die Helligkeit verschiedener Interieurs

bestimmen und daraus einen Schlufs auf die Expositionszeit machen, die man bei einer etwaigen photographischen Aufnahme nöthig hat. Man stellt dann z. B. das Photometer, vorn mit gelbem Glas gedeckt, in dem einen Raum einem Fenster gegenüber auf, bringt eine constante Lichtflamme auf die andere Seite und bewegt sie, bis der Fettfleck verschwindet. Dasselbe Experiment macht man in dem anderen Raume. Die Helligkeiten verhalten sich alsdann umgekehrt, wie die Quadrate der Entfernung der Lichtflamme. Ebenso kann man auf diese Weise die Helligkeit in verschiedenen Theilen eines Zimmers feststellen. Nothwendig ist es hier, das fremde Licht von der Rückseite des Photometers möglichst abzuhalten. Man erreicht dies am besten, indem man ein innen geschwärztes Rohr oder einen offenen Kasten senkrecht an dem Rahmen, welcher das Photometerpapier trägt, befestigt, so daß nur dem Lichte der Lichtflamme der Eintritt gestattet ist und außerdem nur so viel Raum bleibt, um mit dem Auge den Fettfleck beobachten zu können. Den Fettfleck selbst erzeugt man am besten durch Verreiben von ein wenig Stearin auf der vorher erwärmten Papierfläche.

Es wird von diesem interessanten Instrumente bisher nur selten Anwendung in der photographischen Praxis gemacht; wir glauben mit Unrecht. Versuche der Art sind so einfach und leicht anzustellen und lohnen die kleine Mühe reichlich. Wie viel Platten macht nicht mancher Photograph vergeblich, wenn er Interieurs aufnimmt, über deren Helligkeitsverhältnisse, also auch über die für sie nöthige Expositionszeit er völlig im Unklaren ist? Ein Photometerversuch würde hier interessante Fingerzeige liefern*). Unser Raum gestattet uns nicht, hier noch andere Photometer zu beschreiben. Nur eines der interessantesten wollen wir noch andeuten, es ist das unseres hochverehrten Lehrers, des Herrn Geheimerath Professor Dove. Derselbe benutzt als Photometer eine mikroskopische Photographie, die er unter dem Mikroskop bei 30 bis 50facher Vergrößerung betrachtet. Ist diese Photographie von hinten beleuchtet, so erscheint sie schwarz auf weißem Grunde; ist sie von vorn beleuchtet, so erscheint sie weiß auf schwarzem Grunde; wird sie von vorn und von hinten zu gleicher Zeit gleich stark beleuchtet, so verschwindet sie, ganz ähnlich, wie der Fettfleck bei Bunsen's Photometer. Das Instrument kann demnach analog diesem zur Bestimmung der Lichtintensität angewendet werden, gestattet aber die Messung weit feinerer Unterschiede und ist auch bei Lichtern verschiedener Farben mit derselben Schärfe anwendbar. Wir verweisen behufs näherer Information

*) Wenn es nicht auf Eleganz ankommt, kann man sich ein solches Instrument mit leichter Mühe selbst herstellen. Als Meßflamme kann man sehr bequem eine Petroleumlampe verwenden.

auf die klassische Arbeit des großen Physikers in Poggendorff's An- nalen, Jahrgang 1861.

Alle diese Instrumente haben nur einen Uebelstand, d. i. der Mangel einer Lichteinheit. Man hat als Ausgangspunkt bei der Wärmemessung eine bestimmte Temperatur, die des siedenden Was- sers oder schmelzenden Eises; eine solche leicht herstellbare Licht- einheit von bestimmter Intensität fehlt leider in der Photometrie. Die beste Normallichtquelle ist noch eine unter constantem Drucke aus einem Brenner von bestimmter Oeffnung strömende Gasflamme (Bunsen).

Mit den beschriebenen Photometern kann man nur die Intensität der Wirkung des Lichts auf unser Auge bestimmen. Hiervon wes- sentlich verschieden ist aber die Intensität der chemischen Licht- wirkungen. Wir werden später sehen, daß verschiedene Lichtquellen, die auf unser Auge höchst intensiv wirken, d. h. eine sehr große Helligkeit besitzen, dennoch nur eine schwache chemische Wirkung äußern und umgekehrt. Man kann daher aus der mit dem Photometer bestimmten Helligkeit keinen Schluß auf die chemische Wirkung ver- schiedener Lichtquellen machen. Nur in Bezug auf eine und die- selbe Lichtquelle, z. B. eine Gasflamme, deren Hahn mehr oder weniger auf- oder zugekehrt wird, gilt der Erfahrungssatz, daß die chemische Intensität der optischen Intensität proportional ist. Dreht man daher den Gashahn so weit auf, daß die Flamme doppelt so hell leuchtet als vorher, so ist auch ihre nachherige chemische Wirkung die doppelte (s. u.).

Farbenlehre.

Das Licht wirkt, wie oben bemerkt wurde, nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ verschieden auf unsere Netzhaut und diese Verschiedenheit bezeichnen wir mit dem Namen Farbe.

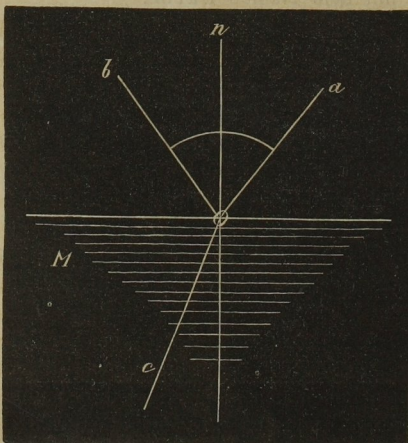
Solche Farbenunterschiede zeigen sich schon bei selbstleuchtenden Körpern. Wir haben z. B. blaue und rothe Fixsterne. Unser Sonnen- licht ist bei ungetrübtester Atmosphäre weiß, Morgens und Abends mehr röthlich. Wenn nun dieses weiße Licht die Körper trifft, so wird es entweder zurückgeworfen oder es geht hinein; das hin- eingehende wird entweder absorbirt, dann heißt der Körper undurch- sichtig, oder es geht hindurch, dann heißt er durchsichtig.

Absolut durchsichtige Körper giebt es nicht, jedes durchsichtige Medium verschluckt oder absorbirt einen Theil des durchgehenden Lichtes, so daß dasselbe, wenn es einen längeren Weg in demselben zurücklegt, wesentlich geschwächt wird. Man beobachtet dies schon auffallend bei der Sonne. Diese erscheint bei völlig heiterem Himmel am hellsten um die Mittagszeit, wo ihre Strahlen nur einen kurzen Weg durch die Luft zurückzulegen haben, am wenigsten hell des Mor- gens oder Abends, wo der Weg in der Atmosphäre, welchen die Strahlen

durchlaufen, bevor sie zu unserem Auge gelangen, viel länger ist. Nach Bouguer ist z. B. die Intensität des Sonnenlichts bei Sonnenaufgang = 6, bei 50° Horizonthöhe 7624. Auch Glas und Wasser absorbiren so einen Theil des durchgehenden Lichtes. Einen wesentlichen Einfluss übt die Farbe des Glases aus und werden wir unten sehen, daß die Absorptionsfähigkeit für verschiedene Farben bei verschiedenen durchsichtigen Mitteln sehr verschieden ist.

Bei optischen Gläsern ist diese Erscheinung von Bedeutung; doch geht bei diesen ein verhältnißmäßig viel größerer Theil des Lichtes durch Zurückwerfung an den Oberflächen verloren.

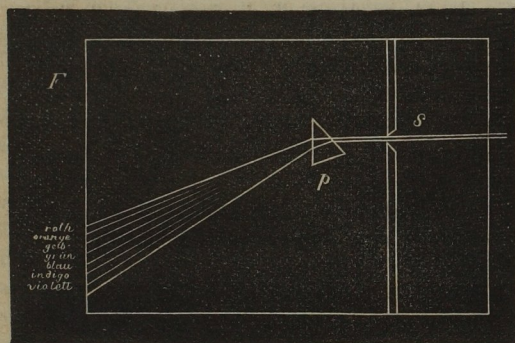
Das zurückgeworfene Licht wird entweder regelmäsig reflectirt (dann nennen wir es gespiegelt) oder es wird zerstreut. Wird alles Licht absorbirt, so heißt der Körper schwarz; wird alles Licht reflectirt, so heißt er weiß. Wird nur ein Theil des Lichtes reflectirt, so heißt er grau oder farbig. Grau ist ein Körper, wenn er in jedem Lichte sichtbar ist, aber dunkler erscheint als ein weißer, farbig, wenn er nicht in jedem Lichte sichtbar ist. Ein rothes Tuch erscheint z. B. in rein blauem Lichte schwarz. Auch die durchsichtigen Körper lassen entweder alles Licht hindurch, dann nennt man sie farblos, oder sie lassen nur einen Theil hindurch, so heißen sie farbig oder trübe; trübe ist der Körper, wenn er alle Farben theilweise hindurchläßt, farbig, wenn nur einzelne hindurchgehen. Ein absolut farbloses durchsichtiges Medium giebt es nicht. Die Luft z. B. ist blau, das Wasser grün, das beste weiße Glas noch bläulich, röthlich oder grünlich gefärbt. Trifft ein Lichtstrahl ein durchsichtiges Medium senkrecht, so geht er in unveränderter Richtung weiter, trifft er dasselbe schief, so wird er von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, d. h. gebrochen.



Ist M ein durchsichtiges Medium, z. B. Glas, ao ein auffallender Strahl, so wird ein Theil dieses Strahles regelmäsig reflectirt, so daß der reflectirte Strahl bo mit der Senkrechten no (dem Einfallslot) denselben Winkel bildet, wie der einfallende. Je schief der Strahl auffällt, desto mehr Licht wird reflectirt. (Man bemerkt dies leicht, wenn man eine Glastafel in senkrechter und schiefer Richtung betrachtet und das Spiegelbild einer Lichtflamme darin beob-

achtet. Es erscheint, in schiefer Richtung gesehen, viel intensiver.) Ein anderer Theil des Strahles dringt in das durchsichtige Mittel und geht in der Richtung co weiter. Der Winkel, welchen der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe bildet, ist leicht zu bestimmen.

Der Sinus der Einfallswinkel und der Sinus der Brechungswinkel stehen nämlich in einem constanten Verhältniß zu einander. Man nennt dieses Verhältniß den Brechungsindex. Geht weißes Licht in ein andres durchsichtiges Medium über, so erleidet es neben der Brechung noch eine Farbenzerstreuung, dadurch wird der weiße Sonnenstrahl in ein siebenfarbiges Strahlenbündel zerlegt: das Farbenspectrum. Diese Farbenzerstreuung beobachtet man am besten, wenn das Sonnenlicht durch ein Prisma hindurchgeht, d. i. ein von zwei gegeneinander geneigten ebenen Flächen begrenztes durchsichtiges Mittel. Unsere geschliffenen Ziergläser, gefüllte Wasserflaschen, Tropfen zeigen diese Erscheinung fast täglich. Am effectvollsten erscheint sie im Regenbogen; sie beruht auf der ungleichen Brechbarkeit der verschiedenen farbigen Strahlen, die vereinigt, das weiße Sonnenlicht bilden: Violett, Indigo, Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth. Roth ist am wenigsten, Violett am stärksten brechbar. Um das Farbenspectrum be-



quem zu beobachten, läßt man das Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt s in ein dunkles Zimmer fallen, stellt hinter dem Spalt s parallel mit ihm ein Prisma r auf und fängt das Spectralbild auf einem weißen Schirm F auf.

Für länger dauernde Versuche muß man, um dem Lauf der Sonne folgen zu können, einen Heliostaten mit Uhrwerk vor dem Spalt anbringen.

Man nimmt gewöhnlich nur sieben Spectralfarben an, dieselben gehen jedoch durch Zwischentöne in einander über. Dennoch giebt es in dem Spectrum Unterbrechungen, die sich als feine schwarze Linien offenbaren, man nennt diese die Fraunhofer'schen Linien; diese Linien sind Absorptionerscheinungen, hervorgebracht durch Stoffe, die sich zum Theil in unserer Atmosphäre, zum Theil in der Atmosphäre der Sonne selbst finden und die Eigenthümlichkeit haben, Lichtstrahlen von gewisser Brechbarkeit gleichsam auszulöschen. Ihre Stellung zu einander ist eine constante und bieten sie daher ein wichtiges Hilfs-

mittel zur Bezeichnung gewisser Stellen des Spectrums. Man hat gewisse sehr wichtige Gruppen dieser Linien mit Buchstaben *A, B, C, D* etc. bezeichnet. *A* liegt in Roth, *G* in Blau etc. (s. S. 128). Das Spectrum der Fixsterne, des electricischen Kohlenlichtes etc. zeigen andere Linien als das des Sonnenlichts. Da man die Linien, welche verschiedene Stoffe hervorbringen, genau kennt, so kann man aus den Spectrallinien, welche eine Lichtquelle liefert, einen Schluss machen auf ihre chemische Zusammensetzung. So hat man festgestellt, dafs in der Sonnenatmosphäre Natrium, Eisen, Kalk und ähnliche Körper vorhanden sind (Spectralanalyse).

Physikalische und chemische Wirkungen der verschiedenen Farben.

Neben den Farbenunterschieden des Spectrums, die dem Auge sichtbar sind, giebt es nun noch andere Unterschiede, die sich nicht dem Auge, wohl aber dem Thermometer und in der Wirkung auf gewisse Stoffe offenbaren. Führt man ein Thermometer über das Spectrum in der Richtung Roth:Violett hinweg, so bemerkt man die wärmste Stelle jenseits des Roth. Von da ab fällt es in demselben Mafse, als man sich dem Violett nähert.

Während also für das Auge das Gelb die intensivste Stelle des Spectrums ist, ist sie für das Thermometer jenseits des Roth, wo für unser Auge bereits Dunkelheit herrscht. Andere auffallende Unterschiede in der Wirkung der Spectralfarbe offenbaren sich bei den phosphorescirenden Körpern. Es wurde schon früher erwähnt, dafs die blauen und violetten Strahlen die Phosphorescenz viel kräftiger als die rothen erregen (s. Seite 12).

Ebenso auffallend ist die Wirkung auf die sogenannten fluorescirenden Substanzen. Es giebt nämlich Körper, wie Uranglas, Flussspath, Stechapfeltinctur, Aesculintinctur, die in dem violetten und blauen Ende des Spectrums mit lebhaften Farben leuchten. Ja dieses Leuchten geht sogar über den blauen und violetten Theil des Spectrums hinaus und zeigt sich noch in dem ultravioletten Theile, der unserem Auge sonst dunkel erscheint. Es unterscheidet sich diese Fluorescenz von der Phosphorescenz nur dadurch, dafs letztere auch nach der Belichtung fort dauert, erstere aber nicht.

Die für unser Gebiet interessantesten Phänomene offenbaren sich aber in der chemischen Wirkung der verschiedenen Farben. Legt man ein Stück Chlorsilberpapier in das Spectrum, so bemerkt man, dafs dasselbe am tiefsten im Violett geschwärzt wird. Die Schwärzung geht aber noch weit über das Violett hinaus, wo für unser Auge nichts mehr bemerkbar ist, während sie nach dem hellen Ende des Spectrums hin abnimmt und schon im Grün fast vollständig verschwindet. Gerade das unserem Auge am hellsten leuchtende Gelb offenbart gar keine

chemische Wirkung, und gerade die Stellen jenseits des Violett, welche auf unser Auge und auf das Thermometer wirkungslos sind, zeigen eine intensive Action auf photochemisch empfindliche Körper.

Schon Suckow bemerkt, daß Chlorknallgas unter einem blauen und violetten Glase sich unter Explosion entzündet, unter einem grünen, gelben und rothen aber nicht. Späterhin hat Seebeck die chemische Wirkung des Lichtes mit Hülfe des Chlorsilbers geprüft und gefunden, daß dasselbe im Violett am intensivsten gebräunt wird. Draper hat diese Versuche wiederholt und eine Curve verzeichnet, die die chemische Wirkung in den verschiedenen Theilen des Spectrums ausdrückt (s. u.). Auf diesen Unterschieden in der chemischen Wirkung der Farben beruht die außerordentlich verschiedene photographische Wirkung verschieden gefärbter Körper. Viele helle Körper, wie ein gelbes Band, werden in der Photographie oft schwarz, andere uns dunkel erscheinende, wie ein blaues Band, dagegen weiß. So giebt ein blaues Tuch mit gelbem Muster in der Photographie manchmal ein weißes Tuch mit schwarzem Muster. Ein violettes Kleid wird oft weiß. Ein Gelbsüchtiger bekommt leicht ein Mohrengesicht. Rothe Haare werden leicht schwarz, ebenso grüne Bäume.

Bei der Beurtheilung der photographischen Wirkung eines Farbpigments kommt jedoch dessen Zusammensetzung wesentlich in Betracht. Die meisten unserer Farbpigmente sind nicht so einfach, wie die Spectralfarben. Das Kobaltblau enthält eine Spur von Roth; das Blau des Kupferoxydammons enthält etwas Violett; die meisten Arten von Grün sind Mischungen von Blau und Gelb, die braunen Töne Mischungen von Blau oder Schwarz, Gelb und Roth etc. Man bemerkt dies schon, wenn man schmale Streifen der mit den betreffenden Stoffen gefärbten Zeuge oder Papiere auf eine schwarze Unterlage legt und durch ein Prisma betrachtet. Sie erscheinen dann nicht als einfarbige, sondern als mehrfarbige Streifen. Demnach werden die Wirkungen dieser verschiedenen Farbpigmente in chemischer Hinsicht sehr verschieden sein, und ist es ein Irrthum für alle Fälle anzunehmen, daß Gelb in der Photographie immer Schwarz, Blau immer Weiß werden müsse. Neapelgelb, das eine große Quantität Weiß beigemischt enthält, wird hell, das dem Auge heller erscheinende Chromgelb dagegen sehr dunkel in der Photographie. Die Wirkungen der verschiedenen blauen Töne ist wieder sehr verschieden, am hellsten wird Cobalt-Blau.

Von den rothen Tönen wird Zinnober und Chromroth sehr dunkel, der Krapplack dagegen, welcher eine bedeutende Quantität Violett enthält, hell. Die braunen Töne werden alle dunkel, die grünen verhalten sich verschieden, jenachdem sie mehr oder weniger Blau enthalten. Um diese merkwürdigen Unterschiede in der Wirkung der verschiedenen Farbentöne zu zeigen, haben wir eine Farbentafel ent-

worfen und eine Photographie danach angefertigt, die beide diesem Werke beiliegen*) und deren Studium für den Photographen, Maler und Gelehrten gleich interessant sein wird.

Hierher gehört nun noch eine interessante Erscheinung die unter dem Namen „Photographie des Unsichtbaren“ bekannt ist. Schreibt man mit einer Lösung von schwefelsaurem Chinin auf Papier, so erhält man eine unsichtbare Schrift. Photographirt man aber das Papier, so erscheint die im Original unsichtbare Schrift schwarz auf weißem Grunde.

Das schwefelsaure Chinin gehört nämlich zu den fluorescirenden Körpern (s. o.), welche die Eigenthümlichkeit haben, die stark brechbaren chemisch wirksamen Strahlen in Licht von geringerer Brechbarkeit, welches zugleich chemisch wenig oder nicht wirksam ist, zu verwandeln. (Die Chininschrift bleibt übrigens nicht lange unsichtbar, sondern färbt sich bald gelb.)

Die Differenzen in den photographischen Wirkungen verschiedener Farbtöne werden in der Praxis wesentlich durch den Umstand gemildert, daß unsere gefärbten Stoffe neben ihrer Farbe noch mehr oder weniger weißes Licht reflectiren, wie dies bei Seidenkleidern auffallend sichtbar ist. Auch bei grünen Blättern ist der matte Glanz der Oberfläche von wesentlicher Wirkung.

Die Verschiedenheit der Wirkung verschiedener Farbpigmente ist aus ihrer verschiedenen Zusammensetzung leicht erklärlich. Merkwürdig ist nun aber, daß auch die reinen Spectralfarben sich in Bezug auf ihre physikalische und chemische Wirkung oft verschieden verhalten, 1) nach der Natur der brechenden Substanz, aus welcher das Prisma besteht und 2) nach der Natur des Körpers, welcher zur Bestimmung der Wirkung des Lichtes angewendet wird. Nimmt man z. B. ein Wasserprisma, so findet sich die intensivste Wärmewirkung nicht in dem ultrarothem, sondern im gelben Theile, indem Wasser die Wärmestrahlen jenseits des Gelb absorbirt. Bei Flintglas ist die höchste Wärme jenseits des Roth, bei Crown Glas im Roth (Seebeck). Aehnliche Verschiedenheiten zeigen sich bei dem anderen Ende des Spectrums. So absorbirt Schwefelkohlenstoff die ultravioletten Strahlen. Ein mit dieser Flüssigkeit gefülltes Hohlprisma zeigt daher jenseits des Violett keine chemische Wirkung. Crown Glas absorbirt die ultravioletten Strahlen viel stärker als Flintglas. Am wenigsten absorbirt sie Quarz, deshalb wendet

*) Die Herstellung der Farbentafel hat besondere Schwierigkeiten gemacht. Es ist durchaus nicht leicht, die Farben absolut homogen aufzutragen. Hr. Korn, der rühmlichst bekannte Lithograph, hat das Problem schließlichs dadurch noch am besten gelöst, daß er gummirte Flächen noch feucht mit den betreffenden Farbpulver bestäubte. Dennoch sind auch hier noch geringe Intensitätsunterschiede in denselben Farbenquadraten verschiedener Tafeln zu bemerken.

man zu Spectralversuchen gern Quarzprismen an. Daher ist die chemische Wirkung des Spectrums eine sehr verschiedene und wird sich mehr oder weniger tief in den ultravioletten Theil hinein erstrecken, jenachdem wir Crownglas- oder Flintglas- oder Quarzprismen anwenden.

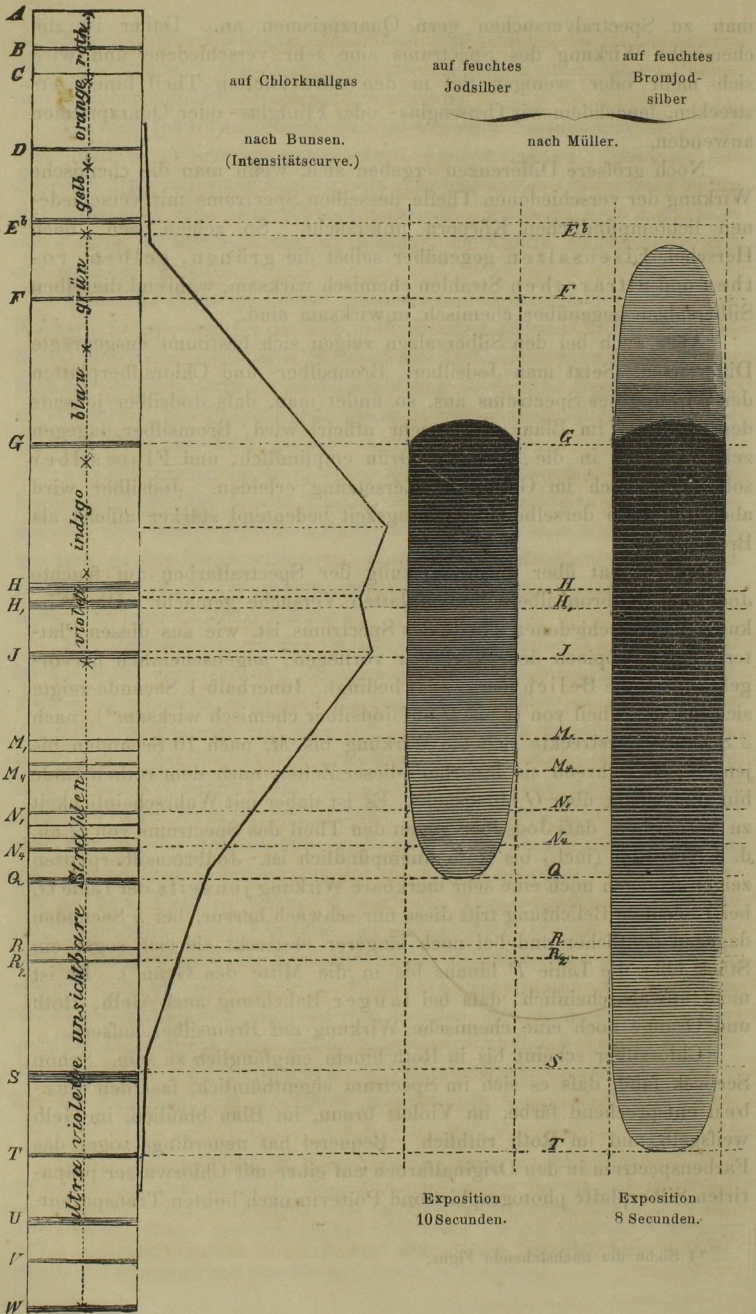
Noch größere Differenzen ergeben sich, wenn man die chemische Wirkung der verschiedenen Theile desselben Spectrums mit verschiedenen lichtempfindlichen Körpern untersucht. So zeigen sich, nach Herschel, Eisensalzen gegenüber selbst die grünen, gelben, rothen und ultrarothten Strahlen chemisch wirksam, während dieselben Silbersalzen gegenüber chemisch unwirksam sind.

Aber auch bei den Silbersalzen zeigen sich bestimmt ausgeprägte Differenzen. Setzt man Jodsilber-, Bromsilber- und Chlorsilberplatten der Wirkung des Spectrums aus, so findet man, daß Jodsilber jenseits der Linie *G* (im Blau) nicht mehr afficirt wird, Bromsilber dagegen zeigt sich bis in die Mitte des Grün empfindlich, und Fluorsilber soll sogar noch im Gelb eine Zersetzung erleiden. Jodsilber wird aber innerhalb derselben Belichtungszeit bedeutend stärker afficirt als Bromsilber.

Müller hat über diese Wirkung der Spectralfarben auf feuchte Jod- und Jodbromsilbercollodionplatten Versuche gemacht. Die Wirkung der verschiedenen Theile des Spectrums ist, wie aus diesen Platten, deren Copieen dem Verfasser vorliegen, augenscheinlich hervorgeht, durch die Belichtungszeit bedingt. Innerhalb 1 Secunde zeigte sich nur der Theil von *G* bis *H* auf Jodsilber chemisch wirksam*), nach 3 Secunden erstreckte sich die Wirkung bis *M*, nach 10 Secunden bis jenseits *N*, während sie innerhalb dieser Zeiten nach dem rothen Ende hin nur wenig über *G* hinausgeht. Es ist daher mit Wahrscheinlichkeit zu vermuthen, daß Jodsilber gegen den Theil des Spectrums von *G* ab, d. h. von Blau (incl.) bis Roth unempfindlich ist. Jodbromsilberplatten zeigen dagegen noch eine sehr merkbare Wirkung jenseits der Linie *G*, bei 1 Secunde Belichtung tritt diese nur schwach hervor, bei 5 Secunden dagegen deutlicher und bei noch längerer erstreckt sie sich sogar ein Stück über die Linie *F* hinaus bis in die Mitte des Grün*). Es ist nicht unwahrscheinlich, daß bei langer Belichtung auch Gelb, Roth und Orange noch eine chemische Wirkung auf Bromsilber äußern.

Chlorsilber scheint bis in Roth hinein empfänglich zu sein. Schon Seebeck fand, daß es sich im Spectrum eigenthümlich, fast den Farben entsprechend färbe, im Violett braun, im Blau bläulich, im Gelb weißgelb und im Roth röthlich. Bequerel hat neuerdings sogar das Farbenspectrum in den Originalfarben auf einer mit Chlorwasser präparirten Silberplatte photographirt und Poitevin nach bunten Transparent-

*) Siehe die nachstehende Figur.



bildern auf Chlorsilberpapier Photographieen in natürlichen Farben erzeugt.

Eigenthümlich ist die Wirkung des Spectrums auf Chlorknallgas. Bunsen hat dieselbe sehr genau mit Hülfe seines chemischen Photometers (s. u.) untersucht. Die Wirkung auf Chlorknallgas erstreckt sich nach Bunsen noch bis in die Mitte des Orange hinein, bleibt sich bis an die Grenze zwischen Gelb und Grün ungefähr gleich, dann steigt sie stetig bis in die Mitte des Indigo, fällt dann wieder etwas bis in die Mitte des Violett, steigt abermals, erreicht ein zweites Maximum an der Grenze des Violett und sinkt dann allmählig im ultravioletten Raum. Diese Verhältnisse sind jedoch nicht constant, zu verschiedenen Tageszeiten wird man hier etwas verschiedene Resultate bekommen, da die verschiedenen Farben in ungleichem Mafse von der Atmosphäre absorbirt und dadurch in ihrer Wirkung mehr oder weniger gedämpft werden. Die Bunsen'schen Versuche haben mehrere Stunden erfordert, innerhalb welcher erhebliche Veränderungen in den Intensitätsverhältnissen der einzelnen Strahlen stattgefunden haben mögen.

Der beistehende Holzschnitt versinnlicht die Unterschiede der chemischen Wirkung des Spectrums auf Jodsilber- und Jodbromsilbercollodion und Chlorknallgas. Die Intensität der chemischen Wirkung des letztern ist hier durch eine Curve ausgedrückt, deren Höhe über der Horizontalen einen Mafsstab für die chemische Wirkung des senkrecht darunter liegenden Theils des Spectrums bildet. Die andern Figuren drücken die ungefähre Wirkung des Lichtes auf Jodsilber- und Jodbromsilbercollodion aus; sie sind Copieen der Müller'schen Originaltafeln.

Man ersieht aus den Figuren das fast plötzliche Aufhören der chemischen Wirkung auf Jodsilber jenseits der Linie *G*, das sogar in dem Bromjodsilberspectrum sich kenntlich macht. Ferner ersieht man, das das Maximum der Wirkung bei Chlorknallgas wie bei Jodsilber und Jodbromsilber zwischen *G* und *H* (Grenze zwischen Indigo und Violett) liegt. Auffallend ist das Correspondiren der Grenzen des Bromjodsilberspectrums mit den tiefsten Punkten der Chlorknallgascurve bei *E* und *S*.

Die Unwirksamkeit der gelben und rothen Strahlen auf Jod- und Jodbromsilber hat, wie bereits oben bemerkt, für den practischen Photographen mancherlei Uebelstände. Sie bietet jedoch auch anderseits dem Photographen Vortheile, indem sie ihm erlaubt, seine lichtempfindlichen Platten in einem mit gelben Lichte erleuchteten Raume zu präpariren. Wäre gelbes Licht chemisch wirksam, so wäre der Photograph genöthigt, die lichtempfindlichen Platten in absoluter Dunkelheit zu machen und dieses dürfte nur unter vielen Uebelständen möglich sein.

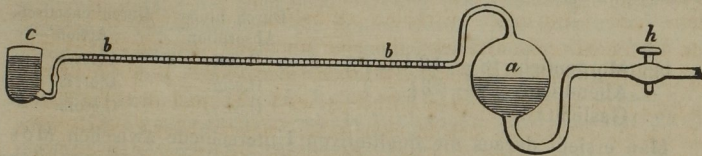
Nun müssen wir noch einer Erscheinung Erwähnung thun, die Bequerel und Moser specieller untersucht haben, und die darauf hinausläuft, daß die an sich auf Jodsilber unwirksamen rothen und gelben Strahlen die Eigenthümlichkeit haben, die von blauen Strahlen eingeleitete Wirkung auf Jodsilber fortzusetzen. Belichtet man eine Daguerre'sche Jodsilberplatte kurze Zeit im blauen Licht und bringt sie dann in gelbes oder rothes Licht, so erscheint hier binnen kurzer Zeit ein Bild. Bequerel nennt deshalb die blauen Strahlen „rayons excitateurs“, die gelben und rothen „rayons continueurs“.

Von der Messung der chemischen Intensität verschiedener Lichtquellen und den Grundzügen einer chemischen Meteorologie.

Sind schon die chemischen Wirkungen der verschiedenen Strahlen des Sonnenlichts wesentlich verschieden, so finden wir noch größere Differenzen, wenn wir die chemische Wirkung verschiedener Lichtquellen als Ganzes mit einander vergleichen. Diese wird sich verschieden zeigen, jenachdem dieselben mehr oder weniger blaue, violette und ultraviolette Strahlen enthalten. Es giebt hell leuchtende Flammen, z. B. Gaslicht, die eine nur schwache chemische Wirkung äufsern, während andere schwach leuchtende, z. B. Schwefel, chemisch sehr intensiv wirken. Ebenso wird eine und dieselbe Lichtquelle, z. B. die Sonne, sich in chemischer Hinsicht höchst verschieden verhalten, jenachdem durch atmosphärische Einflüsse größere oder geringe Quantitäten der stark brechbaren, chemisch wirkenden Strahlen absorbirt werden. Es ist nun für die photographische Praxis ein Gegenstand von hoher Wichtigkeit, Mittel zu besitzen, diese chemische Intensität des Tageslichtes zu verschiedenen Zeiten, sowie der verschiedenen Lichtquellen überhaupt quantitativ feststellen zu können.

Seebeck machte zuerst dahinzielende Versuche mit Chlorsilber, später suchte Draper diesen Zweck durch Bestimmung der Salzsäuremenge zu erreichen, die durch Wirkung des Lichtes auf Chlorwasser gebildet wird. Aber erst Bunsen und Roscoe gelang es, eine Methode aufzufinden, durch welche es ihnen möglich geworden ist, mit einer bisher nicht erreichten Genauigkeit photochemische Messungen zu machen und dadurch interessante, bisher ungeahnte Aufschlüsse zu liefern über die chemische Intensität des Tageslichtes in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, in verschiedenen Breiten und Höhen über der Meeresfläche und über die Wichtigkeit dieser Unterschiede für den Haushalt der Natur. Die Resultate dieser Untersuchungen sind um so bewundernswerther, als sie mit Schwierigkeiten verknüpft waren, deren Ueberwindung erst nach jahrelangen, mühevollen und geduldpeinigenden Arbeiten gelang. Sie sind in dieser Hinsicht vielleicht noch grofsartiger, als die neuesten Arbeiten Bunsen's über die Spectralanalyse.

Das chemisch empfindliche Medium, welches Bunsen und Roscoe zur Messung der Intensität versuchten, war ein Gemenge von gleichen Theilen Chlorglas und Wasserstoffgas, von Bunsen Chlorknallgas genannt. Dieses hat die Eigenschaft, sich bei starkem Lichte unter Explosion, bei zerstreutem Lichte langsam zu Chlorwasserstoff zu verbinden. Die Vermuthung, daß die Menge des so erzeugten Chlorwasserstoffs der chemischen Lichtintensität proportional sei, lag nahe. Dieser Satz mußte jedoch erst experimentell erwiesen werden, ehe man das Chlorknallgas zur chemischen Photometrie benutzen konnte. Bunsen und Roscoe unternahmen diesen keineswegs leichten Nachweis. Sie entwickelten aus Chlorwasserstoffsäure mittelst einer electricischen Batterie das Chlorknallgas, und leiteten dieses in ein bauchiges Gefäß *a* mit sehr enger, langer, graduirter Röhre *b*, die am anderen Ende ein weites, mit Wasser gefülltes Gefäß *c* trug. Die Röhre *b* war so graduirt, daß jeder Scalentheil ein bestimmter Bruchtheil von dem Rauminhalt des Gefäßes *a* war. Letzteres selbst war zur Hälfte mit Wasser gefüllt, und dieser, mit Wasser gefüllte untere Theil geschwärzt. Ein Hahn *h* diente zur Abschließung des Ganzen von dem Entwicklungsgefäß des Chlorknallgases.



Der Apparat stand in einem dunklen Zimmer, in das durch Laden Licht gelassen werden konnte.

Metallschirme schützten denselben vor der strahlenden Wärme des Beobachters, ein Wassergefäß vor der der Lichtquelle.

Läßt man auf dieses Insulationsgefäß ein chemisch schwachwirkendes Licht, z. B. Gaslicht wirken, das in einer gemessenen Entfernung aufgestellt ist, so sieht man Anfangs keine Wirkung, nach circa 4 Minuten beginnt sie aber. Es bildet sich Salzsäure, diese wird vom Wasser in *a* absorbirt, in Folge dessen tritt eine Volumenverminderung des Gases ein, und das Wasser aus *c* tritt in die Röhre *b*. Aus dem Stande des Wassers in dieser Röhre kann man diese Volumenverminderung ablesen. Die Abnahme des Volumens wächst mit der Dauer der Bestrahlung, und steigt bis zu einem constant bleibenden Maximum. Je intensiver die Lichtstärke ist, in desto kürzerer Zeit tritt dieses Maximum ein. Man muß bei der Beobachtung erst das Maximum eintreten lassen, dann die Scalentheile ablesen, um welche das Wasser in einer Minute in der Röhre *b* steigt. Die Anzahl derselben giebt ein Maß für die chemische Wirkung, die bewusste Lichtquelle in einer Minute ausübt.

Wir können hier nicht auf ausführliche Erörterung der Vorsichtsmaßregeln und Correctionen eingehen, die bei diesen keineswegs leichten Versuchen zu beachten sind. Die Beschreibung derselben füllt viele Seiten in der so wenig gelesenen, aber so interessanten Originalabhandlung in Poggendorff's Annalen, Band 100 S. 43 und 481; Band 101, S. 235 und Band 108, S. 200.

Hier wollen wir nur anführen, daß Bunsen wesentlich auf die Absorptionsverhältnisse Rücksicht nahm.

Wie schon früher erörtert wurde, wird das Licht beim Durchgange durch ein durchsichtiges Medium mehr oder weniger geschwächt, und werden Strahlen gewisser Brechbarkeit ausgelöscht. Durchstrahlt das Licht eine Schicht reinen Chlorgases, so wird in Folge dieser Absorption ein bedeutender Theil der ursprünglichen Lichtstärke verloren gehen, und dieser Verlust wird auch stattfinden (ganz abgesehen von der chemischen Wirkung) bei Durchstrahlung der Chlor- und Wasserstoffmischung. Bunsen und Roscoe bestimmten nun die Stärke dieser Absorption. Sie fanden, daß dieselbe der Dichtigkeit des Gases proportional ist, aber verschieden, je nach den Lichtquellen. Durchstrahlt nun das Licht eine Chlorknallgasschicht, so wird die Schwächung durch Absorption wegen der um die Hälfte verringerten Dichtigkeit des Chlors nur halb so groß sein, als bei reinem Chlor. Mißt man aber die Intensität des austretenden Lichts, so findet man dasselbe bedeutend mehr geschwächt, als wenn es eine reine Chlorgasschicht gleicher Dichtigkeit durchstrahlt hätte, und dieses Mehr kommt auf Rechnung der ausgeübten chemischen Action. So gehen bei Durchstrahlung einer 1 Millimeter dicken Chlorknallgasschicht verloren:

	Durch bloße Absorption	Durch chemische Action
bei Morgenlicht (8 — 12 Uhr) . . .	0,0229.	0,00265.
- Abendlicht (3 — 3½ -) . . .	0,0507.	0,01743.
- Gaslicht	0,0057.	0,00013.

Man ersieht daraus die qualitativen Unterschiede zwischen Morgen- und Abendlicht, die auch andererseits durch die photographische Praxis constatirt sind.

Zur Vergleichung der chemischen Wirkung der verschiedenen Lichtquellen bedient sich Bunsen einer Normalflamme von Kohlenoxydgas, die aus einem Platinbrenner von 7 Millim. Oeffnung ausströmte und in der Secunde 5 Cubikeent. Gas verbraucht. Die Wirkung einer solchen Flamme in 1 Millim. Entfernung nahm er als die chemische Lichteinheit und 10,000 solcher Einheiten als einen chemischen Lichtgrad an. Oder aber, er drückt die chemische Lichtintensität aus durch die Menge des gebildeten Salzsäuregases, das er sich in Prismen vom Querschnitt 1 bei 0° Temp. und 0,76 Millim. Druck vertheilt denkt, unter der Voraussetzung, daß das Licht bis zur völligen Absorption gewirkt hat. So fand er z. B., daß eine Steinkohlengasflamme chemisch doppelt so stark wirkte (bei gleichem Gasverbrauch), als die Kohlenoxydflamme, optisch (in Bezug auf die gewöhnliche Leuchtkraft) dagegen 160mal so stark. So ungeheuer verschieden sind die Verhältnisse der chemischen und optischen Leuchtkraft bei verschiedenen Lichtquellen. Anders ist es aber bei einer und derselben Lichtquelle. Hier bleibt, wie Bunsen constatirte, die optische Leuchtkraft der chemischen proportional, und dadurch wird es möglich, letztere mit Hülfe der ersteren zu messen, wenn für eine einzige optische Lichtstärke die zugehörige chemische Intensität gemessen ist. Dadurch macht es Bunsen möglich,

die chemische Intensität des blauen Himmels und des Sonnenlichtes für verschiedene Tages- und Jahreszeiten zu bestimmen, indem er ganz einfach die optischen Intensitäten zu verschiedenen Zeiten maß, die chemische Intensität für eine bestimmte optische Intensität feststellte und aus diesen die den optischen Intensitäten proportionalen chemischen Intensitäten für die übrigen Stunden berechnete.

Chemische Intensität des blauen Himmelslichts.

Um die chemische Intensität des Lichtes des blauen Himmelsgewölbes genau zu bestimmen, gingen Bunsen und Roscoe an einem vollkommen wolkenlosen Tage auf den Gaisberg bei Heidelberg, bestimmten hier zunächst die optische Intensität des Himmelslichtes zu verschiedenen Tageszeiten und Sonnenhöhen mit Bunsen's Photometer, unter der Vorsicht, daß das directe Sonnenlicht durch einen Schirm vom Photometer abgehalten wurde. Sie fanden, daß die optische Intensität abhängig ist vom Sonnenstande; je höher derselbe, desto stärker ist sie. Sodann bestimmten sie die chemische Wirkung des Himmelsgewölbes für eine bestimmte optische Intensität und berechneten daraus die chemische Wirkung des Himmelsgewölbes zu verschiedenen Tagesstunden. Sie fanden durch Experimente in verschiedenen Jahreszeiten, daß bei wolkenlosem Himmel die chemische Wirkung des gesammten Himmelsgewölbes bei gleicher Zenithdistanz der Sonne Vor- und Nachmittags dieselbe ist und die Temperaturverschiedenheiten und Feuchtigkeitsverhältnisse ohne Einfluß sind*).

Diese gewonnenen Resultate setzten Bunsen in den Stand, die chemische Intensität des reinen blauen Himmelsgewölbes für jede beliebige Zenithdistanz der Sonne zu berechnen und da nun aus der Breite und Länge eines jeden Ortes die Zenithdistanz der Sonne für jede einzelne Stunde aus astronomischen Tabellen bestimmt werden kann, so ist es auf Grund von Bunsen's Untersuchungen möglich, jetzt für jeden beliebigen Ort der Erde und für jede Tageszeit die chemische Intensität des blauen Himmelslichtes unter Voraussetzung eines wolkenlosen Tages zu berechnen.

Die Formel zur Berechnung der Zenithdistanzen ist:

$$\cos \varphi = \cos \delta \cdot \cos t \cdot \cos p + \sin \delta \cdot \sin p.$$

φ ist die zu berechnende Zenithdistanz,

δ die Declination der Sonne am Beobachtungstage,

p die Polhöhe des betreffenden Orts,

t der Stundenwinkel der Sonne.

Letzterer ergibt sich aus der Betrachtung, daß die Sonne in 24 Stunden, von Mittag zu Mittag, 360° durchläuft, in einer Stunde daher 15° , in einer Minute $\frac{1}{4}^\circ$; demnach ist z. B. der Stundenwinkel um 11 Uhr oder 1 Uhr (eine Stunde vor oder nach Mittag als Ausgangspunkt) 15° , um 2 Uhr und 10 Uhr 30° etc.

*) Mit diesen Ergebnissen stimmen die Erfahrungen der photographischen Praxis nicht ganz überein; das Vormittagslicht ist erweislich besser, als das Nachmittagslicht und Bunsen's Versuche über Absorption weisen hier ebenfalls qualitative Verschiedenheiten auf (s. o.).

Hat man nach dieser Formel die Zenithdistanzen φ für verschiedene Stunden berechnet, so erhält man die chemische Lichtintensität des gesammten wolkenlosen Himmelsgewölbes für diese Zeiten mit Hülfe der Formel

$$W = 2,776 + 80,849 \cos \varphi - 45,996 \cos^2 \varphi.$$

Diese Formel drückt die chemische Wirkung in Lichtgraden aus, welche innerhalb einer Minute auf ein horizontales Flächenelement ausgeübt wird.

Bunsen und Roscoe haben nun nach dieser Formel die chemische Lichtintensität des blauen Himmelsgewölbes für Zenithdistanzen von 31° bis 90° berechnet, und lassen wir die von ihnen entworfene Tabelle hier folgen:

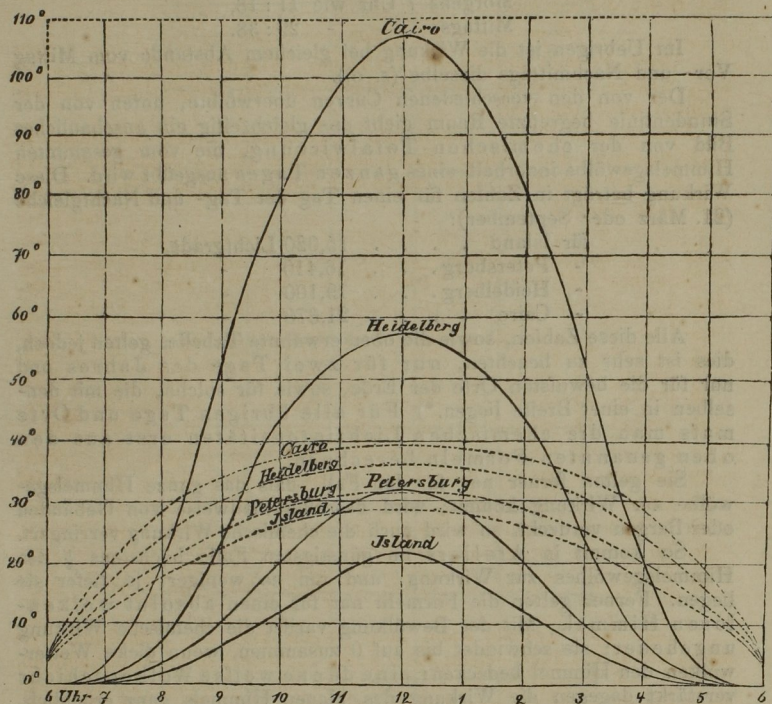
Zenith- distanz Grad	Licht- grade	Zenith- distanz Grad	Licht- grade	Zenith- distanz Grad	Licht- grade	Zenith- distanz Grad	Licht- grade	Zenith- distanz Grad	Licht- grade	Zenith- distanz Grad	Licht- grade
31	38,29	41	37,60	51	35,45	61	31,17	71	24,22	81	14,30
32	38,26	42	37,47	52	35,11	62	30,60	72	23,37	82	13,15
33	38,24	43	37,31	53	34,78	63	30,00	73	22,48	83	11,95
34	38,21	44	37,14	54	34,40	64	29,38	74	21,56	84	10,72
35	38,14	45	36,96	55	34,02	65	28,73	75	20,62	85	9,47
36	38,08	46	36,74	56	33,61	66	28,06	76	19,64	86	8,19
37	38,01	47	36,53	57	33,17	67	27,34	77	18,64	87	6,88
38	37,93	48	36,3	58	32,72	68	26,61	78	17,60	88	5,54
39	37,85	49	36,02	59	32,22	69	25,84	79	16,53	89	4,17
40	37,72	50	35,75	60	31,70	70	25,05	80	15,43	90	2,77

Aus dieser Tabelle kann man, wenn man die Zenithdistanzen schon kennt, die zugehörigen chemischen Lichtstärken leicht entnehmen. Bunsen und Roscoe haben beispielsweise die chemischen Lichtintensitäten für die verschiedenen Stunden eines Tages der Tag- und Nachtgleiche (21. März oder 21. September) für mehrere Orte der Erde unter verschiedenen Breiten: Cairo, Heidelberg, Petersburg, und Island in Tabellen zusammengestellt, deren nähere Betrachtung in hohem Grade interessant ist.

Man kann diese Intensität des Himmelslichtes in verschiedenen Tagesstunden am besten graphisch anschaulich machen, wenn man auf einer Horizontallinie die einzelnen Tagesstunden in gleichen Abständen aufträgt und darauf Senkrechte errichtet, deren Höhen den berechneten Intensitäten in Lichtgraden entsprechen. Verbindet man die Endpunkte dieser Höhen, so erhält man Curven, welche in ihrem Steigen und Fallen die Zu- und Abnahme der chemischen Intensität in verschiedenen Stunden sehr anschaulich versinnlichen. In beifolgendem Holzschnitt ersieht man in den punktirten Linien*) die in dieser Weise von Bunsen gezeichneten Intensitätscurven für den 21. September für Island, Petersburg, Heidelberg und Cairo. An diesem Tage (der Tag- und Nachtgleiche) geht für alle Orte der Erde die Sonne um 6 Uhr auf und unter.

*) Die Bedeutung der nicht punktirten Linien wird unten erörtert werden.

Man sieht aus der Tafel, wie schon beim Aufgange der Sonne eine merkliche chemische Wirkung stattfindet (die jedenfalls schon vor Sonnenaufgang in der Dämmerung vorhanden ist), wie dieselbe mit



der Sonne anfangs sehr schnell steigt, aber in der Zeit von 10 bis 2 Uhr ziemlich constant bleibt, dann wieder schnell fällt.

In der Zeit von 10 bis 2 Uhr wird daher die zu photographischen Aufnahmen nöthige Expositionszeit ziemlich dieselbe sein können; eine Stunde vorher oder nachher (9 Uhr und 3 Uhr) wird man schon etwas länger exponiren müssen. Von 3 bis 5 Uhr Nachmittags bemerkt man in der Praxis bei fortdauerndem Arbeiten die „Lichtverschlechterung“ in ebenso auffallender Weise, als die Curven in der Tafel sie ausdrücken.

Die berechneten Intensitäten geben leicht für eine bestimmte Stunde die nöthige Expositionszeit. In Heidelberg z. B. ist am 21. September die Intensität um 4½ Uhr 20°, um 12 Uhr dagegen 35°.

Die Expositionszeiten werden sich nun umgekehrt wie die Intensitäten verhalten. Hat man demnach z. B. bei einem Portrait um 12 Uhr circa 20 Secunden nöthig gehabt, so wird man um 4½ Uhr 35 Secunden exponiren müssen, einen vollkommen heiteren Tag vorausgesetzt.

Man sieht ferner, wie in den Früh- und Abendstunden die Unter-

schiede in der chemischen Wirkung bei den verschiedenen Orten der Erde beträchtlicher sind, als am Mittag. Das Verhältniß von Island zu Cairo ist z. B.:

Morgens 7 Uhr wie 11:18,
Mittags - 29:38.

Im Uebrigen ist die Wirkung bei gleichem Abstände vom Mittag Vor- und Nachmittags dieselbe (s. o.).

Der von den verschiedenen Curven überwölbte, unten von der Stundenlinie begrenzte Raum giebt uns gleichzeitig ein anschauliches Bild von der chemischen Totalwirkung, die vom gesammten Himmelsgewölbe innerhalb eines ganzen Tages ausgeübt wird. Diese Wirkung beträgt in Zahlen für einen Tag der Tag- und Nachtgleiche (21. März oder September):

für Island	15,020 Lichtgrade,	
- Petersburg	16,410	-
- Heidelberg	19,100	-
- Cairo	21,670	-

Alle diese Zahlen, sowie die oben erwähnte Tabelle, gelten jedoch, dies ist sehr zu beachten, nur für zwei Tage des Jahres und nur für die bewußten Orte der Erde, sowie für solche, die mit denselben in einer Breite liegen. *) Für alle übrigen Tage und Orte muß man die chemischen Lichtintensitäten erst aus den oben genannten Formeln berechnen.

Sie gelten ferner nur für den Fall, daß das ganze Himmelsgewölbe zur Wirkung kommt; wird dasselbe theilweise von Gebäuden oder Bergen verdeckt, so wird auch die chemische Wirkung verringert.

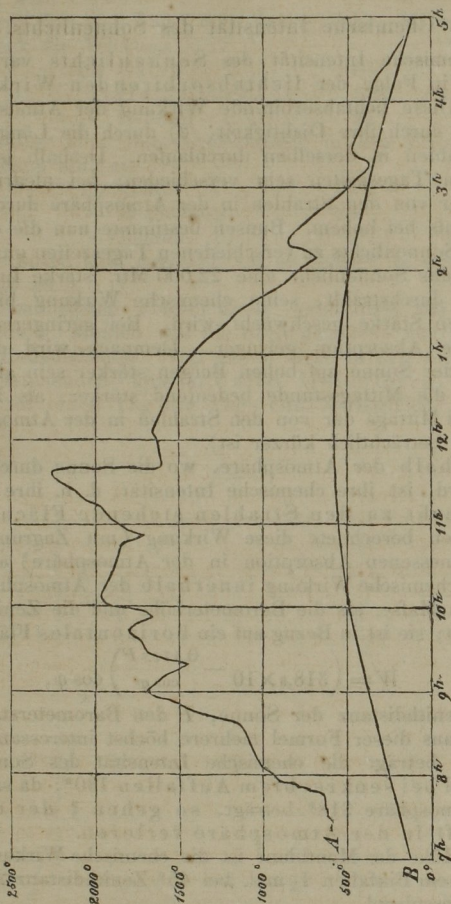
So kommt in Ateliers im günstigsten Falle höchstens $\frac{1}{4}$ des Himmelsgewölbes zur Wirkung, und um so weniger, je tiefer sie liegen. Ferner gelten die Formeln nur für einen absolut wolkenlosen Himmel. Mit der Bewölkung variirt die chemische Wirkung ungeheuer; sie schwindet bis auf 0 zusammen, wenn dicke Wetterwolken den Himmel bedecken; eine dünne weißse Wolkenschicht verstärkt dagegen die Wirkung des blauen Himmels ganz erheblich.

Um dies nachzuweisen, machte Bunsen am 5. October 1856 zu Heidelberg eine Reihe von Messungen, und hat diese ebenfalls durch Zeichnung anschaulich gemacht. In beifolgender Figur ersieht man die Resultate. Die zickzackförmig hin- und herspringende Curve drückt die wechselnde Intensität des chemischen Lichtes des theilweise bewölkten Himmels aus, die andere regelmässige Curve zeigt die Intensität, wie sie bei vollkommen reinem Himmel ist.

Bunsen schreibt darüber (Poggendorff's Annalen Bd. 108 S. 237): „Von 7 Uhr Morgens bis nach 12 Uhr war der Himmel mit einem Wolkenschleier von wechselnder Dichtigkeit bedeckt, durch welchen die Sonne nur schwach hindurchschien. In den ersten Nachmittagsstunden verlor sich die Trübung allmählig, so daß nach 2 und 3 Uhr nur noch einzelne lichte Wolken über den Zenith zogen und der Himmel nach 3 und 4 Uhr ganz wolkenlos war. Diese Veränderungen drücken sich in der Curve deutlich aus. Man ersieht, daß ein leichter

*) Mi Heidelberg liegen folgende deutsche Ortschaften annähernd in derselben Breite: Landstuhl, Kaiserslautern, Rothenburg (Anspach), Nürnberg, Fürth, Amberg, Klattau (Prag), Tabor, Iglau, Brünn etc.

Wolkenschleier das Beleuchtungsvermögen des zur Beobachtung gewählten Himmelstückes um mehr als das Vierfache erhöhen kann.^a



Demzufolge hat man auch bei theilweise bewölktem Himmel in Bezug auf die Wahl der photographischen Expositionszeit keine so sicheren Anhaltspunkte. Dafs ein theilweise bewölkter Himmel unter Umständen bedeutend intensiver wirkt, als ein rein blauer, merkt man oft in auffallender Weise beim photographischen Copirprocefs.

Die hier gegebenen Daten sind von Belang für alle photographischen Arbeiten, bei denen das directe Sonnenlicht ausgeschlossen ist, das sind Portraitaufnahmen im Atelier und Copirarbeiten.

Tritt aber die Sonne mit in Wirksamkeit, wie bei Landschaftsaufnahmen und z. Th. beim Copirprocefs, so werden die Resultate wesentlich andere. Bunsen hat nun in derselben Weise, wie oben die chemische

Intensität des Himmelslichts, die chemische Wirkung des directen Sonnenlichts gemessen.

Chemische Intensität des Sonnenlichts.

Die chemische Intensität des Sonnenlichts variiert nun sehr beträchtlich in Folge der lichtabsorbirenden Wirkung der Atmosphäre. Diese lichtabsorbirende Wirkung der Atmosphäre ist nun bedingt: 1) durch ihre Dichtigkeit, 2) durch die Länge des Weges, den die Strahlen in derselben durchlaufen. Deshalb ist dieselbe zu verschiedenen Tageszeiten sehr verschieden; bei niedrigem Sonnenstande ist der von den Strahlen in der Atmosphäre durchlaufene Weg viel länger, als bei hohem. Bunsen bestimmte nun die chemische Intensität des Sonnenlichts zu verschiedenen Tageszeiten und fand daraus, dafs, wenn das Sonnenlicht eine 22,000 Mtr. starke Luftschicht von $0,76^\circ$ Druck durchstrahlt, seine chemische Wirkung bis auf $\frac{1}{10}$ der ursprünglichen Stärke geschwächt wird. Bei geringerem Barometerstand ist die Absorption geringer. Demnach wird die chemische Leuchtkraft der Sonne auf hohen Bergen stärker sein als am Meeresspiegel, um die Mittagsstunde bedeutend stärker, als Morgens oder Abends (weil Mittags der von den Strahlen in der Atmosphäre durchlaufene Weg beträchtlich kürzer ist).

Aufserhalb der Atmosphäre, wo die Sonne durch nichts geschwächt wird, ist ihre chemische Intensität, d. h. ihre Wirkung auf eine senkrecht zu den Strahlen stehende Fläche immer dieselbe. Bunsen berechnete diese Wirkung (mit Zugrundelegung der von ihm gemessenen Absorption in der Atmosphäre) auf 318 Lichtgrade. Die chemische Wirkung innerhalb der Atmosphäre aber fällt in demselben Mafse, als die Barometerhöhe und die Zenithdistanz der Sonne wächst; sie ist in Bezug auf ein horizontales Flächenelement

$$W = \left(318,3 \times 10^{-\frac{0,4758 P}{\cos \varphi}} \right) \cos \varphi,$$

wo φ die Zenithdistanz der Sonne, P den Barometerstand bedeutet. Bunsen hat aus dieser Formel mehrere höchst interessante Daten berechnet. So beträgt die chemische Intensität des Sonnenlichts am Meeresspiegel bei senkrechtem Auffallen 130° ; da sie nun aufserhalb der Atmosphäre 318° beträgt, so gehen $\frac{2}{3}$ der chemischen Leuchtkraft in der Atmosphäre verloren.

In der Höhe des Montblanc ist die chemische Wirkung der Sonne bei senkrechtem Einfallen $1\frac{1}{2}$ mal, bei 45° Zenithdistanz 2 mal so groß, als am Meeresspiegel.

Den Einfluß des Luftdrucks mögen folgende Zahlen illustriren:

Bei 750 Ml. Barometerhöhe ist die Wirkung in Lichtgraden 140° ,	
- 700 - - - - -	148°;
- 600 - - - - -	165°;

140 Lichtgrade sind aber 1,400,000 Lichteinheiten, demnach wirkt die Sonne 700,000 mal intensiver als eine Steinkohlengasflamme (s. Seite 132).

Offenbar kann man nun mit der oben gegebenen Formel für jeden beliebigen Ort der Erde und für jede beliebige Stunde unter Voraussetzung einer bestimmten Barometerhöhe aus der Sonnenhöhe die chemische Intensität des directen Sonnenlichts berechnen.

Bunsen hat diese Berechnung ausgeführt für einen Tag der Tages- und Nachtgleiche für Cairo, Neapel, Heidelberg, Petersburg und Island.

So ist zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche, Mittags 12 Uhr, bei $0,76^\circ$ Druck die Wirkung

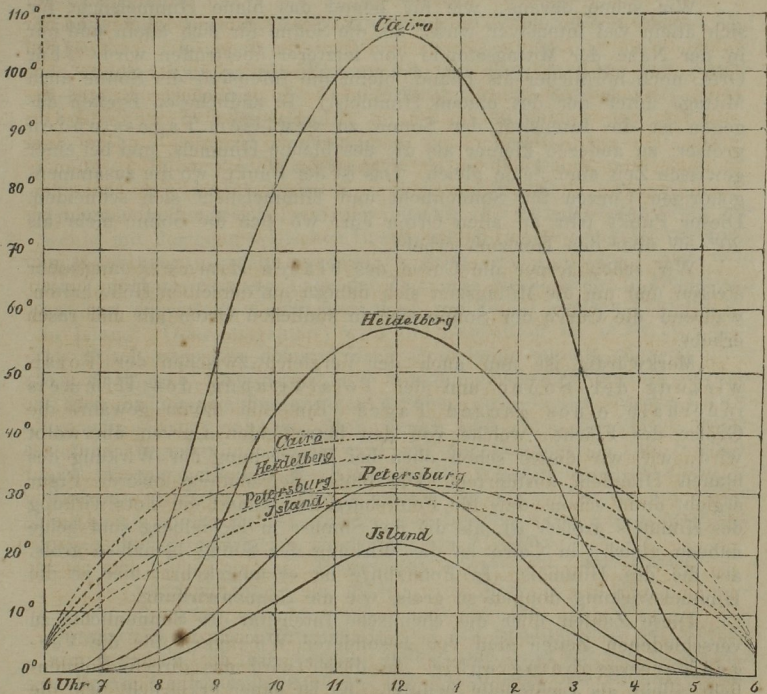
für Cairo	105°,
- Heidelberg	57°,
- Island	21°.

Noch gröfser sind diese Unterschiede in den Zeiten 9 Uhr und und 3 Uhr; dann sind sie

für Cairo	50°,
- Heidelberg	24°,
- Island	6°.

Die Differenzen sind demnach um so gröfser, je weiter die Sonne vom Mittag ab steht.

Am anschaulichsten werden diese Verhältnisse aus einer graphischen Darstellung, ähnlich wie die oben gegebene von der Intensität des blauen Himmelslichtes. Wir geben diese in den ausgezogenen Linien der beistehenden Figur für Cairo, Heidelberg, Petersburg und Island für einen Tag der Tag- und Nachtgleiche.



Wir sehen aus dieser Darstellung, wie zur Zeit des Sonnenaufgangs die chemische Wirkung der directen Sonne überall gleich 0 ist, wie sich in Cairo erst um $6\frac{1}{2}$ Uhr, in Neapel um circa $6\frac{3}{4}$ Uhr, in Island erst um 7 Uhr eine merkbare chemische Wirkung der Sonne nachweisen läßt, wie diese dann für die nördlichen Orte langsam, für die südlichen rasch ansteigt, Mittags ihren höchsten Stand erreicht und Nachmittags wieder rasch fällt, in demselben Mafse, wie sie Vormittags gestiegen, bis sie endlich schon vor Sonnenuntergang verschwindet. Von besonderem Interesse sind nun die Vergleiche zwischen der chemischen Intensität des Sonnenlichts und des blauen Himmelslichts für dieselben Orte der Erde. Die bestehende Tafel, in welcher die Intensitätscurven für Himmelslicht und Sonnenlicht gleichzeitig eingetragen sind, giebt dazu ein treffliches Mittel an die Hand. Wir ersehen daraus, dafs um Sonnenaufgang und Untergang, wo die Sonne, obgleich dem Auge sichtbar, noch chemisch unwirksam ist, der blaue Himmel schon überall kräftige Wirkungen äufsert, wie diese Wirkungen rasch ansteigen, während die chemische Sonne gleichsam erst aufgeht, dann aber sich in majestätischer Curve erhebt, um die Wirkung des anfangs vorangeeilten Himmelslichts zu überflügeln, wenigstens was die südlichen Orte anbetrifft.

Wir sehen daraus, wie für Island das blaue Himmelslicht für sich allein viel intensiver wirkt, als die Sonne für sich allein und nur in der Nähe der Mittagsstunde von letzterer übertroffen wird. (Für Orte, noch nördlicher als Island, bleibt die Intensität der Sonne auch Mittags unter der des blauen Himmels.) In südlicheren Breiten dagegen ist die Intensität der Sonne zu gewissen Tagesstunden gröfser, zu anderen kleiner als die des blauen Himmels, und bei einer gewissen Zeit sind beide gleich. Das ist der Punkt, wo die zusammengehörigen Curven für Sonnenlicht und Himmelslicht sich schneiden. Dieser Punkt tritt an allen Orten ein, wo sich die Sonne mehr als $20^{\circ} 56'$ über den Horizont erhebt.

Wir sehen ferner die Curve des blauen Himmels langsamer steigen und um die Mittagszeit sich nahezu auf derselben Höhe halten, während die Curve der Sonne sich in südlichen Orten jäh und rasch erhebt.

Merkwürdig ist nun auch der Vergleich zwischen der Totalwirkung der Sonne und der Totalwirkung des Himmels innerhalb eines ganzen Tages. Ein Bild davon gewährt die Gröfse der Fläche, welche von den betreffenden Curven überwölbt wird, wie wir dieses schon oben bei Besprechung der Wirkung des blauen Himmels ausführten. Die blofse Betrachtung unserer Figur ergibt dann schon, dafs für Petersburg und Island die Totalwirkung des Himmels gröfser ist, als die der Sonne; in Heidelberg sind beide nahezu gleich; in Cairo ist die Wirkung der Sonne $1\frac{1}{4}$ mal so groß, als die des Himmels. In Petersburg ist es umgekehrt; hier ist die Himmelswirkung doppelt so groß, wie die Sonnenwirkung.

Diese Zahlen über die chemische Intensität des Sonnenlichts zu verschiedenen Zeiten sind von besonderer Wichtigkeit für die Vergrößerungsphotographie. In dieser wird das directe Sonnenlicht allein als Lichtquelle benutzt. Es ist daher erklärlich, wie die Leistungsfähigkeit der Vergrößerungs-Apparate einerseits durch die

Tagesstunde, andererseits durch die geographische Breite der Ortschaften, endlich durch die Jahreszeit bedingt ist. Hier wäre es von besonderer Wichtigkeit, Intensitätstabellen des Sonnenlichts für jeden einzelnen Tag des Jahres zu besitzen, die dann freilich nur für Orte derselben Breite gelten. Diese Daten lehren auch, wie unzuverlässig die Angaben von Fabrikanten sind, die auf das Gerathewohl von ihren Vergrößerungs-Apparaten behaupten, sie lieferten eine Copie in 15 bis 30 Minuten bei gutem Lichte. Das sogenannte gute Licht (ungetrübtes Sonnenlicht) ist in seiner chemischen Intensität sehr verschieden, je nach den Umständen, die wir oben geschildert.

Nun arbeitet der Photograph nur ausnahmsweise mit Sonnenlicht allein (wie bei Vergrößerungen), desto öfter aber mit Sonnen- und Himmelslicht gemeinschaftlich, wie bei Landschaftsaufnahmen und beim Copiren; deshalb ist es interessant, die Summenwirkung beider kennen zu lernen.

Um die gemeinschaftliche Wirkung von Sonnen- und Himmelslicht zu finden, braucht man nur die Einzelwirkung beider für die betreffende Zeit zusammen zu addiren. So ist z. B. für Heidelberg am 21. März früh 9 Uhr die Stärke

des Himmelslichts	30,24°,
- Sonnenlichts	23,99°,
in Summa	54,23°.

Ebenso kann man die Summenwirkung beider für einen ganzen Tag finden.

Addirt man so die Wirkung für den Tag der Tag- und Nachtgleiche, so erhält man als Totalwirkung für den ganzen Tag:

für Island	20,980,
- Petersburg	25,340,
- Heidelberg	37,340,
- Cairo	58,110,

demnach variirt die Summenwirkung für den ganzen Tag nur wenig mit der geographischen Breite; sie ist in Cairo ungefähr dreimal, in Heidelberg ungefähr zweimal so groß, wie in Island. Also wird man an einem heiteren Tage der Tag- und Nachtgleiche in Heidelberg zweimal so viel, in Cairo dreimal so viel Bilder copiren können, wie in Island. Oder umgekehrt wird die Exposition im letzteren Lande im Mittel resp. doppelt und dreimal so lange dauern müssen, unter der Bedingung, daß Sonne und Himmel gleichzeitig benutzt werden. Gleich bedeutsame Folgerungen ergeben sich daraus für die Landschaftsphotographie. Man denke sich einen im Freien aufgestellten Gegenstand; dieser wird auf der Sonnenseite von Sonnen- und Himmelslicht, auf der Schattenseite von Himmelslicht allein erleuchtet. Nehmen wir die Intensität des Himmelslichts auf beiden Seiten als gleich an, so ergibt sich beispielsweise aus unseren Tabellen die Lichtstärke in Heidelberg am 21. März:

	Himmelslicht	Sonnenlicht	Summa rund
früh 9 Uhr	30,24	23,99	54
12 -	35,91	57,62	93,5.

Demnach wird die Lichtintensität auf der Schattenseite des Körpers von 9 bis 12 Uhr früh dieselbe bleiben (sie steigt nur von 30 auf 35,9, während die Lichtintensität auf der Sonnenseite um 12 Uhr beinahe doppelt so groß ist, als um 9 Uhr. Die Licht- und Schattendifferenzen

sind deshalb um diese Zeit viel greller, und wird dieses sich auch im Bilde bemerkbar machen und seiner Schönheit mehr oder weniger Eintrag thun; die Expositionszeit wird man, da die Schattenseiten um 12 Uhr nicht viel heller sind, als um 9 Uhr, und auch diese hinreichend aus exponirt erscheinen müssen, um 12 Uhr nur wenig niedriger wählen dürfen, als um 9 Uhr (z. B. 36 Secunden um 9 Uhr, 30 Secunden um 12 Uhr), wobei man dann freilich Gefahr läuft, daß die Lichter auf der anderen Seite „überexponirt“ sind. Diese grellen Licht- und Schattendifferenzen werden sich um so weniger bemerklich machen, je niedriger, um so mehr, je höher die Sonne steht. Sie sind daher, abgesehen von der Tageszeit, im Sommer viel energischer als im Frühling, Herbst und Winter. Im Winter steht die Sonne oft selbst um die Mittagszeit so tief, wie im Hochsommer des Abends, so daß ihre Wirkung weit hinter der des Himmelslichts zurückbleibt. Es ist daher klar, welche tief eingreifenden Unterschiede in Bezug auf den Lichteffect in Bildern, die zu verschiedenen Jahreszeiten aufgenommen sind, sich zeigen werden, und wie wichtig deshalb die genaue Kenntniß des Sonnenstandes und der Sonnenintensität in verschiedenen Zeiten für den denkenden Landschaftsphotographen ist.

Wir verdanken dem Director der Sternwarte, Herrn Dr. Förster hieselbst, folgendes Täfelchen, welches die Sonnenhöhen für Berlin für 12 Tage des Jahres enthält, die ungefähr um 4 Wochen auseinander liegen und in dem auch der längste und kürzeste Tag, sowie die beiden Tag- und Nachtgleichen aufgenommen sind.

Sonnenhöhen

für volle Stunden vor oder nach Mittag*) (Polhöhe Berlin).

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	Sonnen- aufg.	Sonnen- unterg.
	Grad	Grad	Grad	Grad	Grad	Grad	Grad	Grad	Grad	a. m.	p. m.
21. Jan.	17,6	16,4	13,0	7,7	0,0					4h	4,24h
21. Febr.	26,9	25,6	21,9	16,1	8,8	0				4,52h	5,21h
22. März	37,5	36,0	31,8	25,4	17,7	9,0	0			5,58h	6,14h
22. April	49,7	47,9	43,1	36,0	27,7	18,8	9,7	0		7,10h	7,8h
22. Mai	57,9	55,7	50,4	42,8	34,2	25,0	16,0	7,0	0	8,4h	7,57h
21. Juni	61,0	58,8	53,1	45,3	36,5	27,4	18,4	9,3	2,30	8,22h	8,24h
22. Juli	57,9	55,7	50,4	42,8	34,2	25,0	16,0	7,0	0	7,55h	8,6h
22. Aug.	49,3	47,6	42,8	35,7	27,4	18,5	9,4	0		7,6h	7,10h
23. Sept.	37,5	36,0	31,8	25,4	17,7	9,0	0			6,13h	5,56h
22. Oct.	26,4	25,2	21,4	15,7	8,4	0				5,22h	4,50h
21. Nov.	17,6	16,4	13,0	7,7	0					4,28h	3,58h
21. Dec.	14,1	13,0	10,0	4,8						3,50h	3,46h

*) Die Sonnenhöhen vor und nach Mittag differiren ein wenig. Der Unterschied ist für unsere Zwecke nicht von Belang und deshalb vernachlässigt. Der Sonnenaufgang und Sonnenuntergang ist nach seinem Zeitabstande vom Mittag angegeben. Die Zahlen p. m. stimmen mit den Uhrzeiten des Nachmittags überein. Die Zenithdistanzen der Sonne findet man für die verschiedenen Stunden, wenn man die betreffenden Sonnenhöhen von 90° subtrahirt.

Die nähere Betrachtung dieses Täfelchens wird manchen Photographen, der ein wenig über seine Kunst nachdenkt, höchlich überraschen.

Die Zahlen 1^h, 2^h u. s. w. bedeuten die vollen Stunden sowohl vor als nach 12 Uhr; diese Stunde ist mit 0^h bezeichnet.

Aus den ersten Spalten übersieht man den überraschenden Unterschied in der Sonnenhöhe um die Mittagszeit in den verschiedenen Monaten. Am höchsten steht sie zur Sommersonnenwende (21. Juni), am tiefsten zur Wintersonnenwende (21. December). Am 21. December Mittags steht die Sonne z. B. nicht höher, als am 21. Juni Abends 6½ Uhr!! Ein Beweis, dafs für Arbeiten mit Sonnenlicht die Abendzeit im Juni eben so brauchbar ist, als die Mittagszeit im December.

Ferner ersieht man die kurze Dauer des Tages in den Wintermonaten*), sowie die Gleichheit in der Sonnenhöhe für die gleich weit von der Sommer- resp. Wintersonnenwende ab liegenden Tage, z. B. am 21. Januar und 21. November, am 21. Februar und 22. October, am 22. März und 23. September, am 22. April und 22. August, am 22. Mai und 22. Juli.

Ueber die aus dieser Tabelle sich ergebenden ästhetischen Folgerungen werden wir im III. Theil unseres Buches berichten.

Noch mehr Bedeutung gewinnen aber die darin enthaltenen Zahlen, wenn wir daraus die chemischen Intensitäten des Sonnen- und Himmelslichts für die betreffenden Tage berechnen. Verfasser hat diese Berechnung ausgeführt und giebt sie in der angehängten Tabelle. Die Nutzenwendungen, die sich daraus für die photographische Praxis ziehen lassen, liegen auf der Hand. Sie geben uns eine Uebersicht über das ideale chemische Wetter von Berlin und den übrigen Orten von gleicher Breite, d. h. der chemischen Lichtintensität von Sonne und Himmel an einem absolut heiteren Tage des betreffenden Datums. Wettereinflüsse werden diese Zahlen zwar sehr erheblich modificiren (siehe oben Einflufs der Wolken), dennoch behalten sie als Anhaltspunkte ihren Werth. Wahrscheinlich ist es, dafs trotz der durch diese Einflüsse hervorgerufenen Störungen die chemische Intensität des Lichts an demselben Orte der Erde eine ähnliche constante Gröfse ist, wie die mittlere Jahreswärme. Künftige Forschungen müssen über diesen Punkt noch weitere Aufklärung geben. Nothwendig ist aber vor Allem ein Apparat, der die Feststellung der chemischen Intensität des Lichts mit derselben Leichtigkeit gestattet, wie die Messung der Luftwärme mit dem Thermometer. Das Bunsen'sche Chlorknallgas-Photometer ist für diesen Zweck zu complicirt.

Neuerdings ist es aber Bunsen und Roscoe gelungen, einen neuen Apparat zu construiren, der die Messung der chemischen Intensität des Lichts mit viel gröfserer Leichtigkeit gestattet, als der Chlorknallgas-Apparat. Das ist der sogenannte Pendelphotometer.

Dasselbe gründet sich auf die Farbenveränderung, welche photographisch präparirtes Papier in chemisch wirksamem Licht erfährt.

Badet man ein Stück mit Kochsalz getränktes, photographisches Rohpapier in Silberlösung und trocknet es, so erhält man ein chlor-

*) Diese ist mit Rücksicht auf die mit Bestellungen gesegnete Weihnachtszeit oft übel genug.

silber- und hollensteinhaltiges lichtempfindliches Präparat, welches im Lichte sich anfangs violett, dann blauviolett, endlich braun und broncefarben färbt.

Je intensiver das Licht chemisch wirkt, desto schneller färbt sich ein solches empfindliches Papier dunkel, und Bunsen und Roscoe wiesen nun nach, dafs bei einem Papier von gewisser Präparation die Zeit, welche nöthig ist, eine ganz bestimmte Färbung hervorzubringen, der chemischen Lichtstärke genau umgekehrt proportional ist. Darauf gründet sich nun ihr neues chemisches Photometer.

Dieses Photometer besteht aus einem lichtempfindlichen Papier von constanter Empfindlichkeit.

Dieses wird folgendermafsen hergestellt:

300 Gramm chemisch reines Kochsalz werden in 10 Liter Wasser gelöst und in einen grofsen Zinkblechkasten gegossen. In diese Lösung taucht man photographisches Rohpapier vollständig unter, bewegt hin und her, um die Luftblasen zu entfernen und läfst es fünf Minuten in der Flüssigkeit, dann wird es vertical herabhängend getrocknet. Die Bogen können so monatelang aufbewahrt werden. Die angewendete Flüssigkeitsmenge reicht zur Präparation von 70 Bogen von 30 Quadratcentimeter hin. Behufs der Sensibilisirung schneidet man die Bogen in vier Theile und läfst sie auf einem Bade, das 12pCt. Silber enthält, zwei Minuten schwimmen. 1 Liter Silberbad reicht hin zur Sensibilisirung von 125 Bogen. Das gesilberte Papier läfst man an der Luft trocknen und bewahrt es im Dunkeln. Es hält sich unverändert 24 Stunden.

Ein so bereitetes Papier zeigt immer die gleiche Lichtempfindlichkeit, wie Bunsen und Roscoe durch eine Reihe höchst sorgfältiger Versuche feststellten*).

Von diesem Papier wurden Streifen geschnitten und diese verschiedene Zeit dem zu messenden Lichte ausgesetzt, bis dieselben eine ganz bestimmte bräunliche Färbung erreicht hatten.

Diese Färbung wurde durch Vergleichung mit einer Normal-schwärze festgestellt, welche sie folgendermafsen bereiteten:

Man läfst eine Terpentinöllampe unter einer mit Wasser gefüllten kalten Porzellanschale brennen, glüht den abgesetzten Rufs in einem Platintiegel fünf Minuten lang, mischt ihn kalt mit 1000mal so viel chemisch reinem, fünf Minuten lang geglühten Zinkoxyd und fügt Wasser, dem $\frac{5}{10000}$ Hausenblase zugesetzt ist, als Bindemittel zu, reibt das Ganze auf einem Reibstein 1 Stunde, trocknet es im Wasserbade, reibt es abermals und wiederholt diese Operation noch zweimal. (Es ist diese Wiederholung nöthig, weil das Präparat anfangs bei fortgesetztem Reiben dunkler wird.) Mit dieser Schwärze bestreicht man einen Papierstreifen möglichst dick und gleichmäfsig und benutzt diesen

*) Die Versuche finden sich beschrieben in Poggendorff's Annalen Bd. 117, S. 529, und enthalten manche für den photographischen Positivprocefs interessante Facta. So fanden Bunsen und Roscoe 1) dafs die Empfindlichkeit des Papiers dieselbe bleibt, wenn auch die Stärke des Silberbades von 12 auf 8pCt. sinkt, 2) dafs ein Gehalt des Bades an salpetersaurem Natron der Empfindlichkeit keinen Eintrag thut, 3) dafs mit dem Salzgehalt des Papiers seine Empfindlichkeit steigt, 4) dafs die Dicke des Papiers ohne Einflufs auf seine Empfindlichkeit ist.

zur Vergleichung mit dem im Licht gebräunten Papier. Um nun das empfindliche Papier kürzere oder längere Zeit dem Lichte exponiren zu können, benutzten Bunsen und Roscoe ein einfaches Instrument. Sie brachten einen empfindlichen Papierstreifen in einen Kasten mit dünnem Deckel, an welchen das Papier fest angedrückt wurde. In dem Deckel befand sich ein Schlitz, der durch ein geschwärztes Glimmerblatt verdeckt war; dieses Glimmerblatt konnte mit Hülfe eines Sekundenpendels von dem Schlitz weggezogen und wieder aufgeschoben werden.

Liefs man das Pendel nur einmal schwingen, so war das äußerste Ende des Streifens offenbar 1 Secunde exponirt, die folgenden Theile weniger und um so kürzer, je weiter sie der Richtung zu lagen, in welcher der Glimmerstreifen fortgezogen wurde. Aus ihrer Stellung ergab sich leicht die Expositionszeit jedes einzelnen Theiles des Streifens. Dieser zeigte offenbar nach solchem Versuche eine allmählich verlaufende, abnehmende Färbung.

Um nun den Punkt der Normalfärbung zu bestimmen, wurden die belichteten Streifen ins Dunkle gebracht und hier bei dem Licht einer durch Kochsalz gelb gefärbten, nicht chemisch wirkenden Flamme eines Bunsenschen Brenners betrachtet.

Man klebt zu dem Behufe den belichteten Streifen auf ein Brettchen und führt eine Holzscheibe darüber hinweg, in deren Mitte ein schmales Loch, 5 bis 6 Millimeter weit, geschnitten ist und halb mit einem Stückchen des mit Zinkweifsruß geschwärzten Normalpapiers angefüllt ist. Man sieht durch dieses Loch nur ein kleines Feld des Streifens auf einmal, ohne daß das Auge durch die Färbung der benachbarten Theile gestört wird. Man schiebt nun das Brettchen so lange hin und her, bis man die dem Normalpapier gleiche Färbung gefunden hat. Um dies zu erleichtern, concentrirt man das gelbe Licht auf die Oeffnung des Brettchens mit einer Sammellinse. Man findet so sehr genau die Stelle der Normalfärbung und aus der Lage derselben auf dem Streifen die Zeit der Belichtung. Bunsen nennt nun diejenige Lichtintensität, welche in einer Secunde die Normalfärbung hervorbringt, die Lichteinheit. Je länger die Belichtung gedauert hat, die zur Erzielung der Normalfärbung nöthig war, desto schwächer ist die Lichtstärke. Waren z. B. 5 Secunden nöthig, so ist die Lichtstärke nur $\frac{1}{5}$ der Lichteinheit, waren $\frac{3}{4}$ Secunden nöthig, so ist die Lichtstärke 1 getheilt durch $\frac{3}{4} = \frac{4}{3}$.

Man erhält demnach die Lichtstärke, wenn man mit der Belichtungsdauer in 1 dividirt.

Der Nutzen dieses handlichen Instruments für die chemische Meteorologie ist einleuchtend, und haben Bunsen und Roscoe damit in der That eine Reihe interessanter photochemischer Messungen ausgeführt. Swan hat das Instrument in veränderter Form auch in die photographische Praxis eingeführt. Er benutzt es zur Bestimmung der Expositionszeit im Kohlendruck, indem er gleichzeitig mit dem Negativ ein Stück empfindliches Papier unter einer belichteten und entwickelten Collodionplatte exponirt. Sobald dieses Papier eine bestimmte Nüance erreicht hat (die durch Vergleichung mit einem gefärbten Normalpapier erkannt wird), ist der Kohlendruck vollendet.

Hier ist wegen der beträchtlichen Lichtschwächung durch die auf

dem empfindlichen Papier liegende geschwärzte Collodionplatte längere Zeit nöthig, um eine bestimmte Färbung hervorzubringen. Die Intensität derselben ist ein Criterium für die innerhalb der gedachten Zeit zur Wirksamkeit kommenden chemischen Lichtmenge. Im zweiten Theil dieses Buches wird specieller von diesem Verfahren die Rede sein.

Bereits haben Bunsen und Roscoe mit ihrem Instrument zahlreiche Bestimmungen gemacht; hoffen wir, daß dasselbe bald von meteorologischen Stationen und intelligenten Photographen zu weiteren Forschungen über das chemische Wetter benutzt werden möge; dann ist die Zeit nicht mehr fern, wo wir etwas mehr geben können, als die bloßen Grundzüge einer chemischen Meteorologie. Dann werden wir vielleicht einmal im Stande sein, Linien gleicher, mittlerer chemischer Lichtintensität, ähnlich den Isothermen, um den Erdball zu ziehen.

Die optischen Instrumente.

Allgemeines.

Wir haben in dem vorhergehenden Capitel die chemische Intensität des Lichtes verschiedener Lichtquellen kennen gelernt.

Eine gegebene Quantität chemisch wirksamen Lichtes ist für sich allein nicht im Stande, auf einer sensiblen Fläche ein Bild zu erzeugen; sie würde höchstens ein Stück photographischen Papiers nur mehr oder weniger intensiv schwärzen. Eine solche schwarze Fläche ist aber kein Bild. Zur Erzeugung eines Bildes müssen wir gewisse Stellen der empfindlichen Schicht vor der Wirkung des Lichtes schützen, andere wieder denselben mehr oder weniger aussetzen. So erzeugen wir Abwechselungen von Licht und Schatten, und diese machen erst, sobald ihre Contouren den Umrissen von Gegenständen in der Natur entsprechen, ein Bild aus.

Wir erreichen diesen Zweck auf zweierlei Weise:

- 1) Indem wir diejenigen Gegenstände, von welchen wir Bilder zu erzeugen wünschen, unmittelbar mit der lichtempfindlichen Schicht zusammenpressen und so, das Original nach oben, dem Lichte aussetzen.

Das ist die directe Copirmethode; so kann man Pflanzenblätter, Zeichnungen u. s. w. reproduciren und erhält je nach den Umständen hierbei ein Bild, das in seinen Licht- und Schattenverhältnissen dem Original entspricht — ein Positiv, z. B. bei Willis' Anilindruck, Joubert's, Obernetter's und Leth's Kohleverfahren (siehe Seite 32); oder man erhält das Umgekehrte davon — ein Negativ (Fox Talbot's Verfahren, siehe Einleitung). Ein solches Negativ kann wieder zum Copiren positiver Bilder mit Hülfe des Lichts benutzt werden. Dieser Copirproceß ist der gewöhnliche photographische Druckproceß. In diesen Processen haben wir es also mit ebenen Originalen zu thun, die mit der empfindlichen Fläche zusammengepreßt dem

Lichte exponirt werden. Dieses Verfahren ist zur Entwerfung von Bildern körperlicher Gegenstände offenbar nicht geeignet; um diese zu photographiren, benutzt man eine andere Methode:

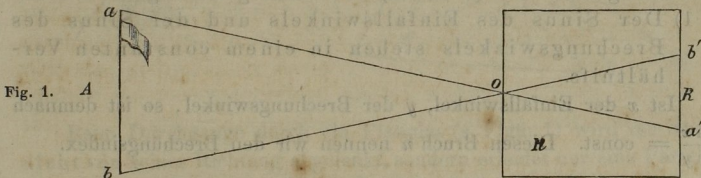
2) Man entwirft von körperlichen Gegenständen ein ebenes Bild mit Hülfe eines optischen Apparates, und läßt dieses auf die empfindliche Fläche wirken.

Der optische Apparat, den wir hier anwenden, ist die Camera obscura, jenes interessante, von Porta im 16. Jahrhundert erfundene Instrument, welches 3 Jahrhunderte lang nur für eine niedliche Spielerei galt, bis es durch Einführung in die Photographie zu immenser Wichtigkeit gelangte. Wäre dieses Instrument nicht vorhanden, die Photographie würde nur zur Copirung planer Körper verwendet werden können, während sie mit Hülfe der Camera alles bildlich zu fixiren im Stande ist, was chemisch sichtbar ist.

Nicophore Niépce hat dieses Instrument zuerst angewendet (siehe Einleitung).

Die Camera besteht in ihrer einfachsten Form aus einer wirklichen Kammer oder einem großen Kasten, in dessen Vorderwand ein feines Loch gebohrt ist. Auf der dem Loche gegenüberliegenden Wand sieht man, wenn der Kasten einem hell erleuchteten Gegenstande gegenübersteht, ein treues, verkleinertes und verkehrtes Bild des Gegenstandes, dessen Entstehung sehr einfach zu erklären ist.

Es sei A ein heller Gegenstand, K die Kammer mit der Oeffnung o .



Offenbar können von dem Punkte a der Fahne durch das Loch nur Lichtstrahlen nach dem Punkte a' der Kammerwand gelangen, ebenso wie von dem Fußpunkte b nur Strahlen nach b' kommen können. So bildet sich jeder Punkt des Gegenstandes A einzeln auf der Rückwand R ab, und diese zeigt somit ein verkehrtes Bild, das um so größer ist, je weiter die Rückwand R von dem Loche o entfernt ist, in demselben Maße aber auch lichtschwächer wird. Stehen die Gegenstände vor o senkrecht und die Wand R senkrecht, so ist das Bild vollkommen correct, und das ist ein großer Vortheil dieser Lochbilder vor vielen Linsenbildern, die oft sehr stark „verzeichnet“ sind. Ferner hat dieser Apparat die Eigenthümlichkeit, von nahen und fernen Gegenständen gleich scharfe Bilder und ein Gesichtsfeld von über 100° zu liefern, was keine Linse im Stande ist. Das Bild hat

aber den Nachtheil, daß es sehr lichtschrach und unscharf ist, da jeder Punkt des Gegenstandes ein Strahlenbündel von dem Durchmesser der Oeffnung nach der Wand R sendet und demnach darauf einen Kreis von demselben Durchmesser zeichnen wird.

Mit Hülfe solcher einfachen Vorrichtung, wie oben angegeben, z. B. einer photographischen Camera, an der man statt eines Objectivs ein Stück Blech mit einem feinen Loche (Nähnadelloche) anbringt, lassen sich leicht Bilder sonniger Landschaften aufnehmen. Ich machte mit 6 Zoll Abstand der Rückwand vom Loche ein solches in 5 Minuten.

In der practischen Photographie findet diese Art von Lochcamera keine Anwendung.

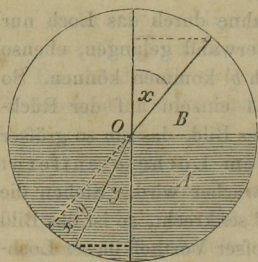
In der Photographie wenden wir, um mit Hülfe der Camera Bilder zu erzeugen, nicht Löcher, sondern Linsen an; diese haben den Vortheil größerer Lichtstärke und größerer Schärfe, indem sie, richtig construiert, im Stande sind, das Bild eines Punktes auch mathematisch genau als Punkt wiederzugeben. Dagegen haben sie ein kleineres Gesichtsfeld als die Lochcamera, und eine geringere Tiefe, d. h. weniger Fähigkeit, Gegenstände, die in verschiedener Entfernung liegen, scharf abzubilden. Die Linsen beruhen auf der Brechung des Lichtes, die wir jetzt näher studiren wollen.

Wir haben bereits oben erörtert, daß, wenn ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Medium B in ein anderes A übergeht, in der Regel eine Richtungsveränderung stattfindet, die man mit dem Namen Brechung bezeichnet (s. S. 122). Für diese gelten folgende Gesetze:

- 1) Der Sinus des Einfallswinkels und der Sinus des Brechungswinkels stehen in einem constanten Verhältnifs.

Ist x der Einfallswinkel, y der Brechungswinkel, so ist demnach $\frac{\sin x}{\sin y} = \text{const.}$ Diesen Bruch n nennen wir den Brechungsindex.

Fig. 2.



- 2) Einfallswinkel und Brechungswinkel liegen in einer Ebene.

Die Differenz zwischen Einfallswinkel und Brechungswinkel ($x - y$) heißt die Ablenkung, welche der Strahl bei der Brechung erlitten hat. Diese Ablenkung ist einerseits abhängig vom Einfallswinkel und wächst in viel stärkerem Verhältnifs als dieser*). Ferner ist die Ablenkung abhängig vom Brechungsindex; je größer derselbe, desto größer ist die

*) Z. B. für $x = 10^\circ$ beträgt die Ablenkung $2^\circ 35'$
 - $x = 20^\circ$ - - - - $3^\circ 2'$ } Differenz: $0^\circ 27'$
 - $x = 30^\circ$ - - - - $4^\circ 14'$ - $1^\circ 12'$

Ablenkung. Der Brechungsindex ist nun für verschiedene Substanzen sehr verschieden; er wechselt z. B. bei jeder Glassorte mit der chemischen Zusammensetzung. So ist er

für Flintglas*)	1,664,
- Crownglas	1,543,
- Wasser	1,336,
- Diamant	2,470.

Der Brechungswinkel ist stets kleiner als der Einfallswinkel, wenn der Strahl aus einem schwächer brechenden Medium, z. B. Luft, in ein stärker brechendes, z. B. Glas, übergeht; er ist größer als der Einfallswinkel, wenn der Strahl die entgegengesetzte Richtung nimmt.

Die durchsichtigen Medien haben nun eine sehr verschiedene Gestalt. Sie sind entweder von ebenen oder krummen Flächen begrenzt. Ein von zwei parallelen ebenen Flächen begrenztes Mittel nennen wir ein Planglas (s. Figur 3), ein von zwei gegen einander geneigten begrenztes Mittel nennen wir ein Prisma (s. Figur 4).

Fig. 3.

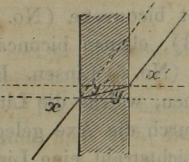
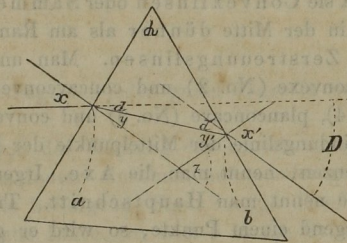


Fig. 4.



Beim Durchgange durch ein Planglas (s. Figur 1) wird der Strahl nicht von seiner Richtung abgelenkt, sondern erleidet nur eine Parallelverschiebung**). Diese ist um so stärker, je dicker das Planglas ist. Beim Durchgange durch ein Prisma aber findet eine Richtungsveränderung statt, wie dies die Figur versinnlicht. Der Strahl wird bei der ersten Brechung bei a um den Winkel $x - y$ abgelenkt, bei der zweiten Brechung bei b um den Winkel $x' - y'$; die Totalablenkung ist die Summe beider $= D$. Der Winkel, den die Flächen des Prismas mit einander bilden (α), heißt der brechende Winkel. Diese Totalablenkung wächst mit dem Brechungsindex, dem brechenden Winkel des Prismas (α) und mit der Einfallrichtung. Sie ist

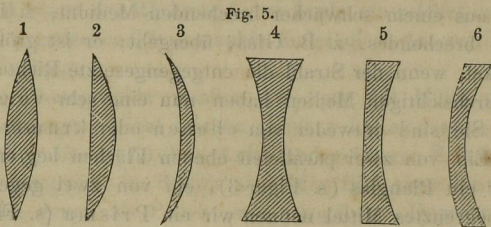
*) Hier ist angenommen, daß der Strahl aus Luft in die gedachten durchsichtigen Substanzen übergeht.

***) Es ist nemlich in Fig. 1 $\sin x = n \sin y$,
 $\sin x' = n \sin y'$,
 $y = y'$, demnach auch $\sin y = \sin y'$ und folglich $\sin x = \sin x'$, also $x = x'$.

für dasselbe Prisma ein Minimum, wenn der ein- und austretende Strahl gleiche Winkel mit der Glasfläche bilden *).

Von den einfachen Linsen.

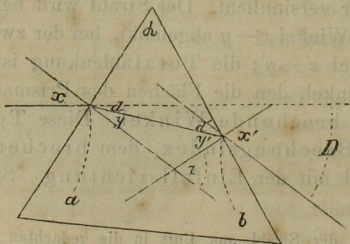
Die von krummen Flächen begrenzten Medien nennt man Linsen. Die Begrenzungsflächen unserer gewöhnlichen Linsen sind Kugelsegmente; man nennt sie deshalb sphärische Linsen. Die Form der in der Praxis gebräuchlichen Linsen erhellt aus beistehenden Figuren.



Die Nummern 1, 2, 3 sind in der Mitte dicker als am Rande, man nennt sie Convexlinsen oder Sammellinsen. Die Nummern 4, 5, 6 sind in der Mitte dünner als am Rande, sie heißen Concavlinen oder Zerstreuungslinsen. Man unterscheidet biconvexe (No. 1) planconvexe (No. 2) und concavconvexe (No. 3), ebenso biconcave (No. 4), planconcave (No. 5) und convexconcave (No. 6) Linsen. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Kugelflächen, welche die Linse begrenzen, nennt man die Axe. Irgend eine durch die Axe gelegte Ebene nennt man Hauptschnitt. Trifft ein Lichtstrahl eine Linse an irgend einem Punkte, so wird er genau so gebrochen, als träte er eine an gedachtem Punkte gelegte Berührungsebene; das Einfallslot ist daher stets der Radius der betreffenden Kugelfläche. An jede

*) Die Totalablenkung D läßt sich aus folgenden Formeln berechnen:

Fig. 4.



$$D = d + d' = x - y + x' - y'$$

$$= x + x' - (y + y')$$

$y + y' = z$ (als Außenwinkel vom Dreieck)

z aber $= \alpha$ (weil seine Schenkel auf den Schenkeln von α senkrecht stehen);

demnach $D = x + x' - \alpha$.

Ferner hat man, wenn n der Brechungsindex ist:

$$\sin x = n \sin y,$$

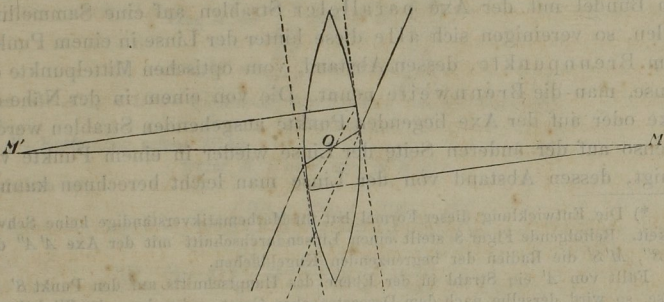
$$\sin x' = n \sin y' = n \sin (\alpha - y).$$

Ist α sehr klein, ferner x sehr klein, so kann man auch setzen

$x = ny$, und $x' = n(\alpha - y)$, da $= (n-1)\alpha$, d. h. die Ablenkung proportional dem brechenden Winkel des Prismas.

Linse kann man auf beiden Seiten Systeme von parallelen Berührungsebenen legen. Verbindet man die Berührungspunkte mit einander, so kreuzen sich die Linien in einem Punkte, diesen nennt man den optischen Mittelpunkt der Linse (siehe Figur 6). Alle Strahlen, welche diesen optischen Mittelpunkt kreuzen, gehen ohne Richtungsveränderung durch die Linse, sie erleiden nur eine Parallelverrückung. Die Linse verhält sich demnach an diesem Punkte wie ein Planglas (s. o.).

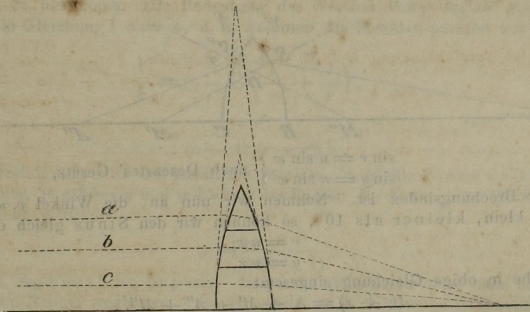
Fig. 6.



Der optische Mittelpunkt liegt bei jeder guten Linse in der Axe derselben.

Um sich einen Begriff von der Wirkung der Linsen zu machen, kann man sich dieselben aus lauter einzelnen aufeinander gesetzten Prismen bestehend denken, wie beifolgende Figur 7 zeigt. Treffen drei Strahlen a , b , c parallel solche Linse, so tritt b in ein Prisma von

Fig. 7.



stärker brechendem Winkel als c , a wieder in ein Prisma von noch stärker brechendem Winkel als b . Demnach wird (nach dem S. 148 erwähnten Grundsätze) b stärker abgelenkt werden als c , a wieder stärker als b , und die Folge davon ist, daß die Strahlen nach der

Brechung convergiren. In ähnlicher Weise läßt sich nachweisen, daß parallele Strahlen nach der Brechung in concaven Linsen divergiren müssen.

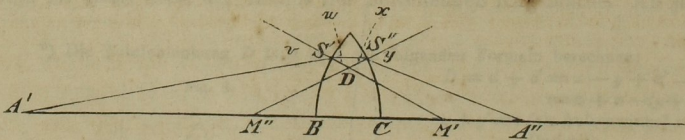
Die Sammellinsen haben innerhalb gewisser Grenzen die Eigenschaft, diejenigen Strahlen, welche von einem Punkte ausgehen, auch wieder in einem Punkte zu vereinigen, falls diese Punkte auf der Axe oder in der Nähe der Axe liegen, und der Winkel, welchen die Strahlen, die von dem Punkte ausgehen, mit der Axe bilden, nicht zu groß ist. Läßt man unter diesen Vorbedingungen ein Bündel mit der Axe paralleler Strahlen auf eine Sammellinse fallen, so vereinigen sich alle diese hinter der Linse in einem Punkte, dem Brennpunkte, dessen Abstand, vom optischen Mittelpunkte der Linse, man die Brennweite nennt. Die von einem in der Nähe der Axe oder auf der Axe liegenden Punkte ausgehenden Strahlen werden ebenso auf der anderen Seite der Linse wieder in einem Punkte vereinigt, dessen Abstand von der Linse man leicht berechnen kann*).

*) Die Entwicklung dieser Formel hat für Mathematikverständige keine Schwierigkeit. Beifolgende Figur 8 stellt einen Linsendurchschnitt mit der Axe $A'A''$ dar, $M''S''$, $M'S'$ die Radien der begrenzenden Kugelflächen.

Fällt von A' ein Strahl in der Ebene des Hauptschnitts auf den Punkt S' der Linse, so wird derselbe nach dem Descartes'schen Gesetz gebrochen, der Winkel, den der einfallende resp. gebrochene Strahl mit dem Radius $M'S'$ bildet, ist der Einfall- resp. Brechungswinkel, den wir mit v resp. w bezeichnen wollen. Der Strahl trifft nach der ersten Brechung auf die zweite Linsenfläche, wird hier abermals gebrochen, dabei vom Einfallslothe abgelenkt und schneidet alsdann die Axe in irgend einem Punkte A'' . Es seien x und y der Einfall- resp. Brechungswinkel an der Hinterseite des Glases. Es gilt dann die Gleichung

$$\begin{aligned} v &= \angle A' + \angle M' \quad (\text{als Außenwinkel vom Dreieck}), \\ y &= \angle A'' + \angle M'' \\ v + y &= \angle A' + \angle M' + \angle A'' + \angle M''. \end{aligned}$$

Fig. 8.



Nun ist

$$\left. \begin{aligned} \sin v &= n \sin w \\ \sin y &= n \sin x \end{aligned} \right\} \text{nach Descartes' Gesetz,}$$

wenn n der Brechungsindex ist. Nehmen wir nun an, die Winkel v, w und x, y seien sehr klein, kleiner als 10° , so können wir den Sinus gleich dem Bogen setzen*):

$$\begin{aligned} v &= nw, \\ y &= nx. \end{aligned}$$

Diese Werthe in obige Gleichung eingesetzt

$$n(w + x) = A' + M' + A'' + M''.$$

Nun ist aber $w + x = M'' + M'$ (da die Dreiecke $DS'S''$ und $DM'M'$ den Winkel bei D gemein haben), daher

$$\begin{aligned} n(M'' + M') &= A' + M' + A'' + M'', \\ (n - 1)(M'' + M') &= A' + A''. \end{aligned}$$

*) $\sin 10^\circ$ ist $= 0,1736$, $\arcsin 10^\circ = 0,1745$, für kleinere Winkel ist die Differenz noch geringer.

Ist nämlich die Brennweite = p , die Entfernung des leuchtenden Punktes an der Linse = a , die Entfernung seines Bildes = α , so ist

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a},$$

$$\alpha = \frac{ap}{a-p}.$$

Nehmen wir nun an, daß alle hier in Rechnung kommenden Winkel kleiner als 8° sind, so können wir statt der Winkel ihre Tangenten setzen*). Nehmen wir nun ferner an, daß die Linse sehr dünn und flach sei, so können wir die Dicke gänzlich vernachlässigen und $BS' = CS''$ setzen, dann ist

$$\text{tang } A' = \frac{BS}{AB} \quad \text{tang } A'' = \frac{BS}{CA''},$$

$$\text{tang } M'' = \frac{BS}{M''C} \quad \text{tang } M' = \frac{BS}{M'B}.$$

Setzen wir $A'B$, d. i. die Entfernung des Punktes von der Linse = a ,
 $A''C = \alpha$,

d. i. die Entfernung seines Bildes

$$\text{ferner } M''C = r' \quad \text{und } M'B = r,$$

so erhalten wir

$$(n-1) \left(\frac{BS}{r'} + \frac{BS}{r} \right) = \frac{BS}{a} + \frac{BS}{\alpha},$$

$$(I) \quad (n-1) \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{r} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

Setzen wir statt

$$(II) \quad (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right) = \frac{1}{p},$$

so erhalten wir die Gleichung

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$$

und ferner

$$(III) \quad \frac{ap}{a-p} \alpha.$$

Aus dieser Gleichung ist die Entfernung des Bildes aus der Entfernung des Gegenstandes leicht zu berechnen. Die Bedeutung des Werthes von p ergibt sich leicht; wird nämlich in Gleichung I $\alpha = \infty$, d. h. kommen die Strahlen parallel zur Axe an, so ist

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

$$= \frac{r r'}{(n-1)(r+r')},$$

also

das ist die Vereinigungsweite der parallelen Strahlen, d. h. die Brennweite. Diese ist um so kleiner, je größer n und je kleiner die Radien der Linse; sind beide Radien gleich, so ist sie z. B.

$$p = \frac{r}{2(n-1)}$$

für Crownglas, wo $n = 1\frac{1}{2}$ ist, ist $p = r$. Ist p sehr klein gegen a , so kann man es in Gleichung III im Nenner weglassen, dann ist $\alpha = p$, d. h. Bilder von Gegenständen von sehr großer Entfernung befinden sich in der Brennweite. Dieser Satz kann für die photographische Praxis noch als richtig gelten, für $a = 100p$, ja annähernd für $a = 50p$. Ist $a = 2p$, so ist $\alpha = 2p$, Bild und Gegenstand also gleich weit von der Linse. Wenn demnach der leuchtende Punkt aus der Unendlichkeit bis nach $2p$ rückt, so bewegt sich sein Bild von p bis $2p$. Wird a noch kleiner, so

*) $\text{tang } 8^\circ$ ist z. B. = 0,1405, $\text{arcus } 8^\circ = 0,1396$, $\text{sin } 8^\circ = 0,1391$.

Richtet man die Linse nun auf sehr weit entfernte Gegenstände, so entsteht im Brennpunkte derselben ein verkleinertes verkehrtes Bild. Rückt der Gegenstand der Linse näher, so entfernt sich sein Bild von

wird der negative Werth in der Gleichung II größer, die ganze rechte Seite demnach kleiner, der reciproke Werth α also größer. Ist $a = p$, so ist die rechte Seite Gleichung II = 0, $\frac{1}{\alpha}$ also = 0, α demnach = ∞ . Wenn also der leuchtende Punkt von $2p$ nach p rückt, so rückt sein Bild von $2p$ nach der Unendlichkeit, die Strahlen treten dann parallel aus. Diese Verhältnisse gelten aber nur für centrale Strahlen, die nahe bei der Axe auffallen, unter der Bedingung, dafs der Winkel v und y nicht größer als 10° , M'' und A'' nicht größer als 8° werden. Daraus kann man,

Fig. 9.

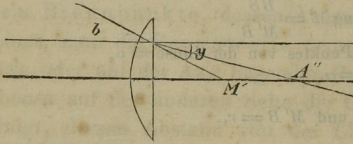
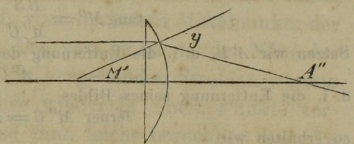


Fig. 10.



wenn gewisse Größen gegeben sind, die Winkelöffnung der Linse, d. i. ihre scheinbare Größe, vom Brennpunkte aus gesehen, bestimmen.

Nimmt man beispielsweise eine planconvexe Crown Glaslinse, wo $n = \frac{3}{2}$, $r' = \infty$, also $p = 2r$ ist, und läßt auf deren convexe Seite eine Reihe paralleler Strahlen fallen, so wird für diesen Fall $A'(s. Fig. 8) = 0$, $M'' = 0$. Es ist dann (Fig. 9) $\angle b = \angle M'$, $\angle y = \angle A''$, das Dreieck $A''M'b$ kann mit Vernachlässigung der Linsendicke als gleichschenkelig angenommen werden, da $M'A'' = r$; dann folgt $\angle M' = 2\angle A''$ oder $A = \frac{M'}{2}$

und da der höchste Werth von $M = 8^\circ$ ist, so ist der höchste Werth von $\angle A = 4^\circ$. Die ganze Oeffnung der Linse, vom Brennpunkte aus gesehen, wird also 8° betragen dürfen. Dreht man aber die Linse um, so dafs die plane Seite den Strahlen zugekehrt ist, so ist $\angle y = M' + A''$ (Fig. 10). Nimmt man für y den größten Winkel = 10° , das Supplement also 170° , so läßt sich, da $MA'' = 3r$ und $My = r$ ist, A'' aus dem Dreieck MyA'' leicht berechnen, da zwei Seiten und der der größeren Seite gegenüberliegende Winkel gegeben sind,

$$\sin A'' = \frac{r \sin y}{3r} = \frac{\sin y}{3}$$

und da sich hier die Sinus wie die Winkel verhalten,

$$A'' = \frac{y}{3} = 3\frac{1}{3}^\circ,$$

die ganze Oeffnung also $6\frac{2}{3}^\circ$.

Ist demnach die convexe Seite den parallelen Strahlen zugekehrt, so ist die zulässige Oeffnung der Linse 8° , ist dagegen die plane Seite den parallelen Strahlen zugewendet, so ist sie für diesen speciellen Fall nur $6\frac{2}{3}^\circ$.

Man ersieht daraus, wie sehr die Größe der Oeffnung der Linse von ihrer Stellung einerseits, von ihren Krümmungsverhältnissen andererseits abhängt.

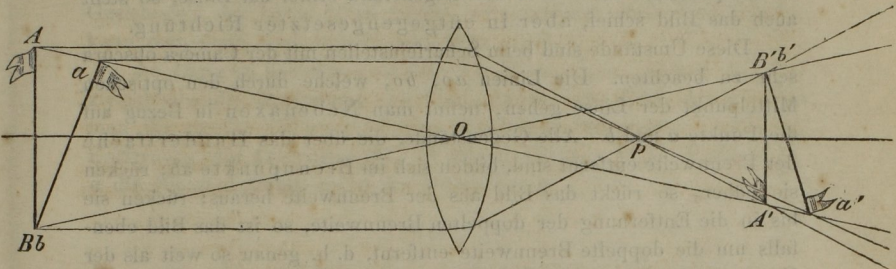
Das Verhältniß der Krümmungen ist das schlechteste, wenn beide Radien gleich sind; das beste Verhältniß der Krümmungsradien ist 1:6. Eine solche Linse nennt man Linse bester Form. Die planconvexe Linse steht dieser Linse bester Form in ihrer Wirkung am nächsten.

Ist A' die halbe zulässige Oeffnung einer Linse, so ist ihr Durchmesser $p \tan A'$. Demnach können wir eine Linse um so größer machen, je größer ihre Brennweite ist.

Sämmtliche hier entwickelte Formeln bezogen sich auf Punkte, die auf der Axe der Linse liegen. Sie sind aber mit gewissen Einschränkungen auch noch gültig für Punkte nahe bei der Axe.

der Linse. Den Ort desselben kann man leicht durch Construction, sowie durch Rechnung finden.

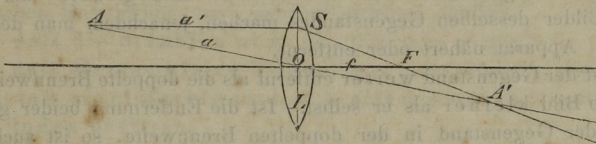
Fig. 11.



Ist A ein Gegenstand, so wissen wir zunächst, daß die von ihm ausgehenden, der Achse parallelen Strahlen alle durch den Brennpunkt p der Linse gehen, ebenso wissen wir aus Obigem, daß die durch den optischen Mittelpunkt o der Linse gehenden Strahlen ihre Richtung beibehalten. Der Durchschnittspunkt der von a , resp. von b ausge-

Die Vereinigungsweite der Strahlen eines solchen Punktes kann man leicht bestimmen. Es sei A ein solcher Punkt. Geht von diesem ein zur Achse paralleler

Fig. 12.



Strahl nach der Linse L , so wird dieser durch den Brennpunkt F gehen; geht ferner ein Strahl von A nach dem optischen Centrum O , so geht er ungebrochen hindurch und wird sich mit dem ersten Strahl in A' schneiden. Hier liegt das Bild des Punktes A . Nimmt man $AO = a$, $A'O = a'$, ferner die Dicke der Linse verschwindend klein, so hat man zwei ähnliche Dreiecke, $A'S$ und $A'OF$, demnach

$$a + a' : a = a' : f,$$

$$f(a + a') = a'a;$$

nun ist $a' = a \cos \angle OAS$, und nehmen wir diesen Winkel sehr klein, so ist sein Cosinus nahezu $= 1$, dann ist $a = a'$, daher

$$fa + fa = a'a,$$

dividiren wir diese Gleichung durch fa , so ergibt sich:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f}.$$

Also gelten auch für neben der Achse liegende Punkte dieselben Gesetze, wie für Punkte auf der Achse, jedoch nur innerhalb der Grenzen, wo der Cosinus des Winkels, welchen der Hauptstrahl in O mit der Achse bildet, nahe $= 1$ ist; dies gilt bis höchstens 3° ; $\cos 3^\circ$ ist $= 0,9986$. Steht nun eine Reihe leuchtender Punkte vor der Linse in der Entfernung a , mit einem Worte ein Gegenstand, so wird hinter der Linse ein Bild des Gegenstandes in der Entfernung a entstehen. Denkt man sich einen geraden Gegenstand in mehr als der hundertfachen Entfernung der Brennweite, so liegen die Bilder sämtlicher Punkte in der Entfernung p vom optischen Mittelpunkt der Linse, d. h. in einer Kugelfläche, das Bild ist daher nicht eben, sondern gekrümmt.

henden Strahlen bestimmt demnach den Ort des Bildes $a'b'$. Sind die Linse und der Gegenstand parallel, so ist auch das Bild dem Gegenstande parallel. Steht aber der Gegenstand schief zur Linse, so steht auch das Bild schief, aber in entgegengesetzter Richtung.

Diese Umstände sind beim Scharfeinstellen mit der Camera obscura sehr zu beachten. Die Linien ao , bo , welche durch den optischen Mittelpunkt der Linse gehen, nennt man Nebenaxen in Bezug auf die Punkte a und b . Alle Gegenstände, die über das Hundertfache der Brennweite entfernt sind, bilden sich im Brennpunkte ab; rücken sie näher, so rückt das Bild aus der Brennweite heraus; rücken sie bis in die Entfernung der doppelten Brennweite, so ist das Bild ebenfalls um die doppelte Brennweite entfernt, d. h. genau so weit als der Gegenstand. Rückt der Gegenstand noch näher, so rückt sein Bild über die doppelte Brennweite hinaus und seine Entfernung wird gröfser als die Entfernung des Gegenstandes. Die Gröfse des Bildes richtet sich nach seiner Entfernung von der Linse. Ist dieselbe gleich a , der Abstand des Gegenstandes gleich α , seine Gröfse gleich G , so ist die Bildgröfse

$$= \frac{\alpha}{a} G = \frac{p}{a-p} G.$$

Das Bild wird demnach um so gröfser, je kleiner a , d. h. je näher der Gegenstand rückt. Daher kann man gröfsere oder kleinere Bilder desselben Gegenstandes machen, jenachdem man den optischen Apparat nähert oder entfernt.

Ist der Gegenstand weiter entfernt als die doppelte Brennweite, so ist sein Bild kleiner als er selbst. Ist die Entfernung beider gleich, d. h. der Gegenstand in der doppelten Brennweite, so ist auch das Bild dem Gegenstand an Gröfse gleich. Dies ist zu beachten, wenn man eine Zeichnung in Originalgröfse copiren will; der Auszug der Camera mufs dann gleich der Entfernung des Gegenstandes sein; rückt der Gegenstand noch näher, so erhält man vergrößerte Bilder.

Man kann demnach mit derselben Linse kleine und grofse Bilder machen. Danach hat es den Anschein, als wenn man mit jeder Linse Bilder beliebiger Gröfse aufnehmen könne, das ist jedoch nicht der Fall, insofern als jede Linse, gleich unserm Auge, nur ein beschränktes Feld auf einmal zu übersehen im Stande ist. Schliessen wir das eine Auge, so übersehen wir mit dem andern ein Feld von 90° Winkelumfang (wobei wir es jedoch noch drehen müssen). Ebenso übersieht jede Linse nur ein beschränktes Feld, welches man ihr Gesichtsfeld nennt. Geht man mit einem photographischen Apparat weit zurück, so erscheint z. B. die ganze Figur eines Menschen im Bilde; geht man näher heran, so wachsen die Dimensionen des Körpers, zugleich sieht man aber nicht mehr die ganze Figur, sondern

nur ein Kniestück, bei noch größerer Nähe nur ein Brustbild im Gesichtsfelde.

Große Gegenstände müssen demnach, wenn sie ganz in das Gesichtsfeld der Linse fallen sollen, weit entfernt sein. Von solchen kann man dann auch nur kleine Bilder machen.

Je länger die Brennweite der Linse, desto größer wird bei gleichbleibender Entfernung des Gegenstandes das Bild, daher wählt man für große Bilder Objective mit langer Brennweite. Ist a die Entfernung des Gegenstandes, G dessen Größe, p die Brennweite, α die Bildentfernung, so ist die Bildgröße B

$$B = G \frac{p}{a - p}.$$

Ist a sehr groß, so kann man p vernachlässigen, dann wird

$$B = G \frac{p}{a},$$

d. h. die Bildgröße verhält sich wie die Brennweite.

Das Gesichtsfeld einer Linse von langer Brennweite ist bei sonst gleichem Radienverhältniß nicht größer als eines von kurzer Brennweite.

Die Bilderzeugung durch Linsen geht jedoch nur unter gewissen Bedingungen regelmäßig vor sich, die bereits oben angedeutet sind, und welche sich aus der in der Anmerkung befindlichen mathematischen Entwicklung noch genauer ergeben, nämlich

- 1) daß die Strahlen nahe bei der Axe einfallen,
- 2) daß sie nur kleine Winkel mit denselben bilden,
- 3) daß sie einfarbig sind, d. h. alle denselben Brechungsindex besitzen.

Diesen Bedingungen kann bei mikroskopischen und teleskopischen Gläsern ziemlich gut Genüge geleistet werden, viel schwieriger aber bei photographischen. Bei diesen fallen die Strahlen oft ziemlich entfernt von der Axe ein, sie bilden oft sehr große Winkel (bis 45°) mit derselben und daraus ergibt sich denn eine ganze Reihe von Linsenfehlern, die wir jetzt näher betrachten wollen.

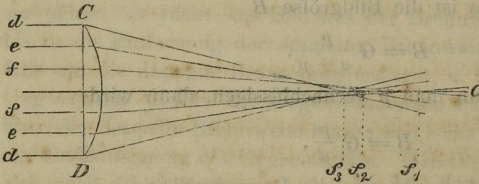
1) Die sphärische Abweichung.

Schraubt man eine einfache Linse (sogenannte Landschaftslinse) an eine Camera und nimmt alle daran befindlichen Blenden heraus, so sieht man ein Bild, welches in keiner Stellung der matten Scheibe absolut scharf zu erhalten ist, sondern immer trübe und verschwommen erscheint. Das Bild wird aber augenblicklich scharf, sobald man den Rand der Linse mit einer Scheibe, in deren Mitte ein Loch geschnitten ist, d. h. einer Blende, zudeckt. Die Ursache dieser Erscheinung ist die ungleiche Brechung, welche die Randstrahlen im Gegensatz zu den centralen Strahlen erleiden. Wir haben oben erörtert,

dafs der Rand der Linse als ein Prisma von viel stärker brechendem Winkel betrachtet werden kann als die Mitte; da nun die Ablenkung, welche die Strahlen erleiden, mit dem brechenden Winkel eines Prismas wächst, so werden die Randstrahlen die Axe näher bei der Linse schneiden als die centralen Strahlen. Der Focus der Randstrahlen wird z. B. in f^3 liegen, während der der centralen Strahlen sich in f' findet (s. Fig. 13)*).

Steht daher die matte Scheibe in f' , so bilden die Randstrahlen, die sich in f^3 gekreuzt haben, einen Zerstreuungskreis.

Fig. 13.



Der Durchmesser dieses Zerstreuungskreises heisst die transversale oder Breiten-Abweichung. Es ist leicht einzusehen, dafs diese bei zwei Linsen gleicher Oeffnung und verschiedener Brennweite verschieden sein wird und um so grösser, je kleiner (bei derselben Oeffnung) die Brennweite ist; ebenso leicht ist einzusehen, dafs bei zwei Linsen gleicher Brennweite und verschiedener Oeffnung, die transversale Abweichung bei der grösseren Oeffnung grösser sein wird**).

Die Transversalabweichung wächst im Verhältniss des Quadrats der Brennweite und im Verhältniss des Cubus des Durchmessers der Linse. Die Entfernung $f'f^3$ nennt man die longitudinale oder Längenabweichung; sie wächst mit dem Quadrat des Durchmessers der Linse und im umgekehrten Verhältniss der Brennweite.

Die Transversalabweichung wächst im Verhältniss des Quadrats der Brennweite und im Verhältniss des Cubus des Durchmessers der Linse. Die Entfernung $f'f^3$ nennt man die longitudinale oder Längenabweichung; sie wächst mit dem Quadrat des Durchmessers der Linse und im umgekehrten Verhältniss der Brennweite.

Aus diesen Daten ergibt sich zugleich das Mittel, diese sphärische Abweichung auf ein Minimum zu reduciren. Dies geschieht

1) durch Verkleinerung der Linsenöffnung durch Vorsetzen von Blenden. Denkt man sich z. B. vor eine Linse eine Blende gesetzt, welche deren Oeffnung auf $\frac{1}{4}$ verringert, so wird die Transversalabweichung nach Obigem auf $(\frac{1}{4})^3$, d. h. auf $\frac{1}{64}$ vermindert werden; je enger die Blende genommen wird, desto schärfer wird entsprechend das Bild werden.

Die sphärische Abweichung wird dadurch nicht absolut hinweggeschafft, sondern nur auf einen in der Praxis unmerklichen Grad ver-

*) Noch klarer geht dieses aus der in der Anmerkung S. 152 sich findenden Entwicklung hervor, bei welcher ausdrücklich bemerkt ist, dafs die Strahlen nahe bei der Axe einfallen und keinen zu grossen Winkel mit denselben bilden dürfen,

wenn die Formel $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$ ihre Gültigkeit behalten soll.

**) Es ist dies sehr einfach mit Hilfe einiger leicht zu entwerfenden Zeichnungen anschaulich zu machen.

ringert. Dieses Mittel wendet man in der Photographie sehr allgemein an, es hat nur den Uebelstand, daß zugleich mit der Oeffnung der Linse auch im umgekehrten quadratischen Verhältniß derselben die Lichtstärke vermindert wird. Reduciren wir z. B. die Oeffnung der Linse auf $\frac{1}{4}$ des ursprünglichen Durchmessers, so sinkt ihre Lichtstärke auf $\frac{1}{16}$. Daher ist eine solche starke Ablendung nur zulässig bei Aufnahmen ruhiger Gegenstände, welche lange Zeit still halten, d. h. eine lange Exposition gestatten.

Es giebt aber ein Mittel, die sphärische Abweichung hinwegzuschaffen, ohne die Oeffnung und die Lichtstärke zu vermindern. Dies geschieht

2) durch passende Wahl der Krümmungshalbmesser der Linse. Es wurde bereits oben in der Anmerkung näher erörtert, daß eine planconvexe Linse eine viel größere Oeffnung zuläßt, als eine biconvexe, und daß es für jede Glassorte je nach dem Brechungsindex ein Verhältniß der Krümmungsradien giebt, für welches die Linse der Formel

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a},$$

am besten genügt. Man nennt die Linse mit solchen Krümmungsradien eine Linse bester Form. Diese Linse hat für Crownglas (wo $n = \frac{3}{2}$) das Radienverhältniß 1:6.

Linsen, die bei voller Oeffnung keine sphärische Abweichung zeigen, nennt man aplanatisch.

Außer der Form der Linse ist nun aber noch ihre Stellung von Wichtigkeit. So wurde z. B. oben nachgewiesen, daß eine planconvexe Linse, welche ihre convexe Seite parallelen Strahlen zukehrt, eine Oeffnung von 8° , dagegen wenn sie die plane Seite den parallelen Strahlen zuwendet, nur eine Oeffnung von $6\frac{2}{3}^\circ$ haben darf.

Daher kehrt bei dem Portraitobjectiv, dessen Vorderlinse fast aplanatisch ist, diese ihre convexe Seite den Strahlen zu.

Es folgt jedoch daraus keineswegs, daß diese Stellung immer die beste sei. Im Gegentheil, bei den einfachen photographischen Linsen (den sogenannten Landschaftslinsen) findet man gerade die entgegengesetzte Stellung. Diese Linsen sind meist Menisken, deren concave Seite den Strahlen zugewendet ist. Hier ist die sphärische Abweichung allerdings ein Maximum, dagegen zeigt sich gerade in dieser Stellung ein anderer Linsenfehler in viel geringerem Grade, d. i. die sogenannte Verzeichnung. Daher zieht man diese Stellung vor und corrigirt die Abweichung durch Blenden.

Nun giebt es aber noch ein drittes Mittel, um die sphärische Abweichung unbeschadet der Oeffnung zu corrigiren; das geschieht

3) durch Linsencombination. Setzt man zwei Linsen, deren

Brennweite p' und p'' ist, zusammen, so daß sie um die Gröfse a von einander entfernt sind, so ist die Brennweite des Systems*)

$$p = \frac{p''(p' - d)}{p'' + p' - d},$$

ist $d = 0$, so ist

$$p = \frac{p''p'}{p'' + p'},$$

und für den Fall, daß $p'' = p'$

$$p = \frac{p'}{2}.$$

Demnach wird die Combination zweier Linsen der Brennweite p nur einen halb so langen Focus haben, als jede einzelne Linse.

Nun ist die Oeffnung einer einfachen Linse der Brennweite p , wenn α der erlaubte halbe Oeffnungswinkel**) (vom Brennpunkt aus gesehen ist) $= 2p \operatorname{tg} \alpha$; dies ist auch die zulässige Oeffnung einer Combination zweier solcher Linsen, deren Brennweite $= \frac{p}{2}$; eine einfache Linse von der Brennweite $\frac{p'}{2}$ würde aber nur eine Oeffnung $p \operatorname{tg} \alpha$ haben dürfen.

Die zulässige Oeffnung der Linsencombination ist demnach in diesem speciellen Falle doppelt so groß, als die einer einfachen Linse gleicher Brennweite. Daher wendet man in der Optik statt einfacher Linsen gern Linsencombinationen an. Je nach der Form, die man denselben giebt, und je nach ihrer Entfernung erreicht man zugleich mit der Wegschaffung der sphärischen Aberration noch andere Vortheile, die wir später erörtern werden.

Bisher haben wir bei Besprechung der sphärischen Abweichung der Axe parallel auffallende Strahlen angenommen. In noch viel auffallenderem Mafse offenbart sich aber die sphärische Abweichung bei schief auf die Axe fallenden Strahlen.

Man nehme eine planconvexe Crown Glaslinse an, welche für den centralen Theil ab als aplanatisch betrachtet werden kann, so wird

*) Die Entwicklung dieser Formel ist folgende: Man nehme zwei Linsen an, deren Axen zusammenfallen, deren Brennweiten p' und p'' und deren Entfernung d ist. Ein Bündel paralleler Strahlen wird von der ersten Linse in der Entfernung p' zu einem Strahlenkegel vereinigt werden. Sie fallen daher auf die zweite Linse in einer Richtung, als kämen sie von einem Punkt in der Entfernung $-(p' - d)$ her. Setzt man diesen Werth anstatt a in der Gleichung

$$\alpha = \frac{ap''}{a - p''}$$

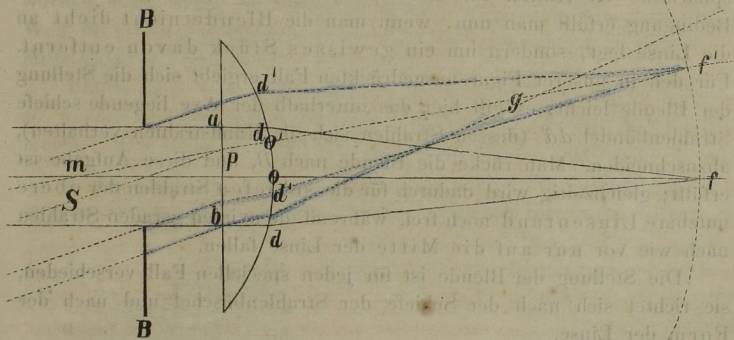
so erhält man als Vereinigung mit den Strahlen nach der Brechung durch die zweite Linse

$$\alpha = \frac{p''(p - d)}{p' + p'' - d}$$

**) Siehe Anmerkung S. 154.

ein parallel der Axe einfallendes Strahlensystem senkrecht durch die Vorderfläche gehen, innerhalb des Glases wieder einen Strahlencylinder bilden, und schliesslich in f vereinigt werden; f ist für Crown-glas $= 2r$ (s. Anm. S. 154). Man nehme ferner ein schief auf die Oeffnung ab fallendes Strahlenbündel, dieses wird zunächst beim Auf-fallen auf die plane Vorderseite eine Brechung erleiden, und da alle Strahlen gegen die Vorderfläche gleich geneigt sind, so werden sie alle in gleichem Masse abgelenkt werden, d. h. nach der ersten Brechung innerhalb des Glases wieder einen Strahlencylinder bilden, der jedoch weniger gegen die Axe der Linse geneigt ist, und dessen Richtung die punktirten Linien angeben. Dieser punktirte Strahlencylinder wird sich nun bei der Brechung durch die Hinterfläche dem parallel der Axe einfallenden analog verhalten. Einer der punktirten Strahlen po' wird in dem vorgezeichneten Falle verlängert durch den Mittelpunkt m der Kugelfläche der Linse gehen. Dieser Strahl mo' geht ungebrochen durch die Kugelfläche (analog dem der Axe parallelen Strahl in o) und bildet nun gleichsam eine neue Axe für den punktirten Strahlencylinder, d. h. die punktirten Strahlen werden sich in Bezug auf diese Axe mo' genau so verhalten, wie die der Hauptaxe parallelen Strahlen zu der Hauptaxe mo . Daher werden die nahe bei o' liegenden Strahlen in einen auf mo' liegenden Punkt f' vereinigt werden, so dass $o'f' = of$.

Fig. 14.



Aus der vollkommenen Analogie, die zwischen dem schiefen Strahlenbündel mo' und dem geraden mo besteht, folgt weiter, dass alle diejenigen Strahlen noch in f' werden vereinigt werden, welche innerhalb einer Entfernung $o'd'$ auffallen, die ebenso groß als od für der Axe parallele Strahlen ist. Trägt man daher $o'd' = od$ mit dem Zirkel ab, so findet man die Grenze der schiefen Strahlen, welche sich noch vollkommen in f' vereinigen werden, die jenseits d' liegenden

Strahlen aber verhalten sich in Bezug auf die Nebenaxe mo' als Randstrahlen, d. h. sie werden nach einem Punkte gebrochen werden, welcher der Linse näher liegt als f' . Demnach werden die jenseits d' liegenden schiefen Strahlen sphärische Abweichung zeigen.

Man ersieht hieraus, wie eine Linse, die in Bezug auf der Hauptaxe parallele Strahlen vollkommen aplanatisch ist, für schief einfallende Strahlen eine entschieden sphärische Abweichung zeigt. Es ergibt sich aber auch gleichzeitig durch weiteres Studium der Figur das Mittel, diese sphärische Abweichung zu corrigiren.

Es wurde erörtert, daß nur der untere Theil $d'd'$ des schiefen Strahlenbündels sphärische Abweichung zeigt. Dieser Linsentheil würde daher für schiefe Strahlen nicht nutzbar sein. Andererseits wurde bemerkt, daß der Linsentheil $o'd'$ nach beiden Seiten der Nebenaxe $o'f'$ für schiefe Strahlen aplanatisch ist; es geht daraus hervor, daß der oberhalb der Axe liegende Linsentheil dd' , welcher für der Hauptaxe parallele Strahlen nicht brauchbar, noch vortrefflich für schiefe Strahlen nutzbar ist, d. h. sie vollkommen correct nach f brechen würde. Der Rand der Linse, welcher für Strahlen parallel der Axe nicht benutzbar ist, ist demnach für schiefe Strahlen vollkommen zulässig. Wenn man deshalb eine Vorrichtung anbringen kann, durch welche die schiefen (hier von unten kommenden) Strahlen mehr auf den (oberen) Rand der Linse geleitet werden, während die axialen Strahlen nur die Mitte der Linse treffen, so kann man die sphärische Aberration für beide Strahlensysteme corrigiren. Diese Bedingung erfüllt man nun, wenn man die Blende nicht dicht an die Linse legt, sondern um ein gewisses Stück davon entfernt. Für den in unserer Figur ausgedrückten Fall ergibt sich die Stellung der Blende leicht; es gilt hier das unterhalb der Axe liegende schiefe Strahlenbündel dd' (dessen Strahlen sich als Randstrahlen verhalten), abzuschneiden. Man rücke die Blende nach B , und diese Aufgabe ist erfüllt; gleichzeitig wird dadurch für die schiefen Strahlen der obere nutzbare Linsenrand noch frei, während die axialen geraden Strahlen nach wie vor nur auf die Mitte der Linse fallen.

Die Stellung der Blende ist für jeden speciellen Fall verschieden, sie richtet sich nach der Schiefe der Strahlenbüschel und nach der Form der Linse.

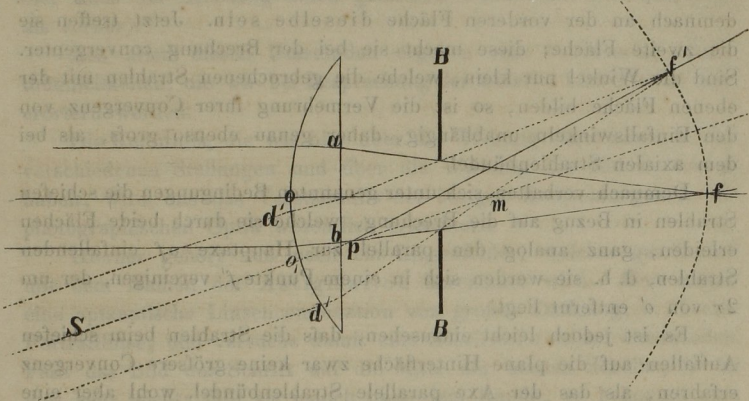
Bei den meisten einfachen Linsen (Landschaftslinsen), welche fast planconvex sind, steht die Blende in der Regel um $\frac{1}{3}$ der Brennweite von der Linse ab.

Wesentlich anders wird das Verhältniß, wenn die Linse die umgekehrte Stellung hat, d. h. ihre convexe Seite den Strahlen zugehrt.

Da dieser Fall in der photographischen Praxis vorkommt und als Gegensatz zu den eben erörterten von besonderem Interesse ist, wollen wir ihn hier näher betrachten. Es sei ab wieder die erlaubte Oeff-

nung der Linse für der Axe parallele Strahlen. Wir wissen von Seite 154, daß dieselbe hier etwas größer sein kann, als für die umgekehrte Linsenstellung. Der Axe of parallel ankommende Strahlen werden innerhalb des Raumes ab so gebrochen, daß sich sämtliche in f vereinigen. Es ist nothwendig, die Art, wo diese Brechung stattfindet, genauer zu verfolgen.

Fig. 15.

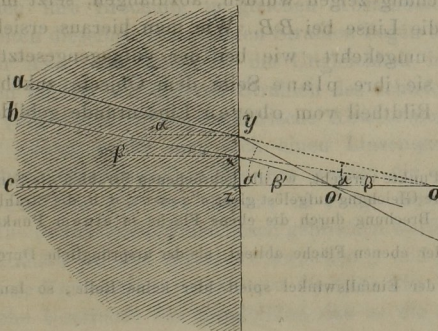


Die auf die gewölbte Linsenfläche fallenden Strahlen wurden bei der Brechung durch die Kugelfläche convergent gemacht und würden sich, wenn sie wieder keine Brechung erlitten, d. h. ihren Weg im Glase fortsetzten, in einer Entfernung $= 3r$ vom optischen Mittelpunkt o vereinigen.

Fallen nun diese convergenten Strahlen auf eine ebene Fläche, so werden sie abermals gebrochen und dabei noch convergenter gemacht.*) Das Resultat beider Brechungen ist ihre Vereinigung in $f = 2r$.

*) Man denke sich ein Strahlenbündel im Glase ao, bo, co , die sich fortgesetzt in einem Punkte o kreuzen würden; dieselben mögen auf eine Fläche F fallen, so

Fig. 16.



daß co senkrecht, ao und bo unter den Winkel α, β hindurchgehen; der Brechungsindex sei n , die Brechungswinkel seien α', β', γ' , so kann man, wenn die Winkel kleiner als 10° sind, annehmen

$$\begin{aligned} \alpha' &= n\alpha, \\ \beta' &= n\beta, \end{aligned}$$

Es folgt daraus $\alpha : \alpha' = \beta : \beta'$, oder, da man statt der kleineren Winkel ihre Tangenten setzen kann,

$$\frac{xz}{oz} : \frac{xz}{o'z} = \frac{yz}{oz} : \frac{yz}{o''z}$$

Jetzt nehme man an, es falle ein schiefes (hier punkirtes) Strahlenbündel auf die Linse, so wird sich unter diesen sicher einer finden, So' , der verlängert durch den Mittelpunkt m der Linsenfläche geht. Dieser wird ungebrochen eintreten. Die symmetrisch um diesen Strahl liegenden schiefen Strahlen werden innerhalb einer Oeffnung $d'd'$, welche gleich ist der erlaubten Oeffnung ab , sich analog den parallel zur Hauptaxe m kommenden Strahlen verhalten. Ihre Brechung wird demnach an der vorderen Fläche dieselbe sein. Jetzt treffen sie die zweite Fläche; diese macht sie bei der Brechung convergenter. Sind die Winkel nur klein, welche die gebrochenen Strahlen mit der ebenen Fläche bilden, so ist die Vermehrung ihrer Convergenz von den Einfallswinkeln unabhängig, daher genau ebenso groß, als bei dem axialen Strahlenbündel.

Demnach verhalten sich unter genannten Bedingungen die schiefen Strahlen in Bezug auf die Brechung, welche sie durch beide Flächen erleiden, ganz analog den parallel zur Hauptaxe of einfallenden Strahlen, d. h. sie werden sich in einem Punkte f' vereinigen, der um $2r$ von o' entfernt liegt.

Es ist jedoch leicht einzusehen, daß die Strahlen beim schiefen Auffallen auf die plane Hinterfläche zwar keine größere Convergenz erfahren, als das der Axe parallele Strahlenbündel, wohl aber eine Richtungsveränderung erleiden werden. Die Nebenaxe mo' wird nach der Richtung pf' abgelenkt, und die Strahlen werden daher nicht in der Verlängerung $o'm$, sondern in der Richtung pf' ihren Brennpunkt haben, so daß $op + pf'$ annähernd $= 2r$ wird.

Die schiefen Strahlen, welche jenseits der Grenzen $d'd'$ einfallen, würden natürlich sphärische Abweichung zeigen, d. h. in einem Punkte gebrochen werden, der näher als f' an der Linse liegt. Also ist die Linse in dieser Stellung für der Axe parallele Strahlen nur mit ihrem mittleren Theile dd , für die schief einfallenden Strahlen nur innerhalb des Randtheiles $d'd'$ benutzbar. Um nun sowohl für die geraden als für die schief auffallenden Strahlenbündel diejenigen Strahlen, welche sphärische Abweichung zeigen würden, abzufangen, setzt man hier die Blende hinter die Linse bei BB . Wie man hieraus ersieht, ist das Verhältnis hier umgekehrt, wie bei der entgegengesetzten Stellung der Linse, wo sie ihre plane Seite dem Objecte zukehrt. Dort wurde der obere Bildtheil vom oberen Linsenrande gebildet,

wenn man unter o, o', o'' die Punkte versteht, wo die gebrochenen Strahlen die Senkrechten oz schneiden. Die letztere Gleichung aufgelöst giebt $o''z = oz$, d. h. die Strahlen schneiden sich auch nach der Brechung durch die ebene Fläche in einem Punkte, welcher nur $\frac{1}{n}$ so weit von der ebenen Fläche abliegt, als der ursprüngliche Durchschnittpunkt o . Die Größe der Einfallswinkel spielt hier keine Rolle, so lange diese kleiner als 10° sind.

hier vom unteren; dort liegt das Bild auf einer Kugelfläche, deren Radius = $3r$ ist, hier liegt es auf einer Fläche, die stärker gekrümmt ist als $2r$, denn pf' ist $< 2r$; dort wurden die schiefen Strahlen nach der Brechung dem Mittelpunkt des Bildes genähert (denn Sp bildet dort nach der Brechung einen kleineren Winkel mit der Axe als vorher), hier werden sie davon entfernt (denn Sp [S. 163] bildet hier nach der Brechung einen größeren Winkel mit der Linsenaxe, als vorher).

Aus allen diesen Umständen ergeben sich bedeutsame Eigenthümlichkeiten, die wir bei Besprechung der anderen Linsenfehler noch erörtern werden.

Die Kenntniss, die wir hier über die Wirkung einer Linse in den verschiedenen Stellungen und über die Wirkung der Blende erlangt haben, wird uns das Verständniss der übrigen Erscheinungen in der photographischen Optik wesentlich erleichtern. —

Hierher gehört nun noch ein Linsenfehler, welcher gewöhnlich mit dem Namen der Astigmatism bezeichnet wird. Man nehme eine aplanatische Linsencombination von grosser Oeffnung, z. B. eine Portraitlinse, und versuche damit eine Schriftzeile scharf einzustellen. Fällt das Bild der Schrift auf die Mitte der matten Scheibe, so ist dies sehr leicht; fällt sie jedoch nahe dem Rande, so bekommt man sie nie absolut scharf. Der Grund liegt einerseits in der sphärischen Abweichung für schiefe Strahlen, da eine Linse mit voller Oeffnung wohl für axiale Strahlen aplanatisch sein kann, nicht aber für schiefe, andererseits aber auch in der verschiedenen Brechung, welche Strahlen desselben cylindrischen Bündels in verschiedenen Querschnitten der Linse erleiden.

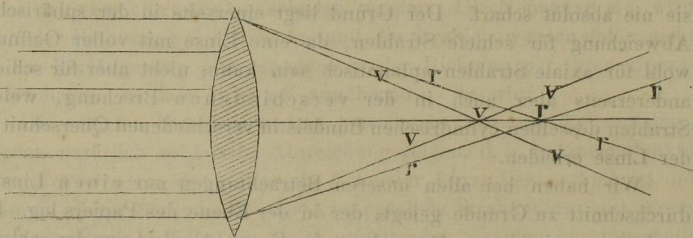
Wir haben bei allen unseren Betrachtungen nur einen Linsendurchschnitt zu Grunde gelegt, der in der Ebene des Papiers lag. Betrachtet man in diesem Querschnitt (s. Figur 14) die Lage der schiefen und geraden Strahlen zur Hauptaxe, so erkennt man, dass die geraden Strahlen symmetrisch um die Axe mo vertheilt liegen; daher ist auch ihre Brechung in gleichen Abständen von der Axe auf allen Seiten dieselbe. Die schiefen Strahlen liegen dagegen unsymmetrisch zur Axe. Die Folge ist die Ungleichheit in der Brechung zwischen den oberen und unteren Strahlen des schiefen Bündels, der Strahl bei b (Fig. 14) z. B. zeigt sphärische Abweichung, der bei a aber nicht.

Jetzt denke man sich einen Linsenquerschnitt senkrecht zur Ebene des Papiers, in diesem werden die schiefen Strahlen symmetrisch zur Axe liegen, in Folge dessen auf beiden Seiten der Hauptaxe auch symmetrisch gebrochen werden. Die Brennweite dieser Strahlen ist eine mittlere zwischen g und f' (Fig. 14) liegende, und diese Unterschiede veranlassen die trotz aller Correctionen immer merkliche Unschärfe der Randbilder, das ist die Astigmatism.

2) Die chromatische Abweichung oder Farbenzerstreuung.

Bereits auf S. 123 haben wir erwähnt, daß das weiße Licht beim Durchgange durch brechende Medien neben der Ablenkung noch eine Farbenzerstreuung erleidet, die daher rührt, daß das scheinbar einfache weiße Licht aus qualitativ verschiedenen Strahlen besteht, die sich einerseits durch die eigenthümliche Wirkung auf Chemicalien und die Netzhaut, andererseits durch ihre verschiedene Brechbarkeit unterscheiden. Roth ist die am schwächsten, Violett die am stärksten brechbare Farbe. Diese Farbenzerstreuung tritt am schönsten beim Gange des Lichtes durch ein Prisma hervor und giebt hier Veranlassung zur Entstehung eines Farbenstreifens — des Spectrums — indem man die sieben Hauptfarben, Violett, Indigo, Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth unterscheidet. Da nun eine Linse sich, wie wir S. 151 gezeigt haben, einem Prismensystem analog verhält, so tritt solche Farbenzerstreuung auch bei der Brechung des Lichtes durch Linsen ein, und da Violett stärker brechbar ist als Roth, so werden nach dem Durchgange durch die Linse die violetten Strahlen als die stärker gebrochenen sich in einem der Axe näher liegenden Punkte schneiden, als die rothen.

Fig. 17.



Fällt demnach ein Bündel der Axe paralleler weißer Strahlen auf die Linse, so werden dieselben nach der Brechung nicht in einem Punkte vereinigt werden, sondern je nach ihrer verschiedenen Brechbarkeit eine verschiedene Vereinigungsweite zeigen, die violetten die kürzeste, die rothen die längste, und statt eines einzigen leuchtenden Punktes, des Brennpunktes, welcher bei Anwendung einfarbigen Lichtes resultirt, wird man eine ganze Reihe verschiedenfarbiger Brennpunkte erhalten. *)

*) Dieselben ergeben sich mathematisch leicht aus der Formel

$$\frac{1}{\alpha} = (n - 1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right) - \frac{1}{a},$$

wenn man für n die Brechungsindices der verschiedenen Farben einsetzt.

Den Unterschied zwischen den Brennweiten der rothen und violetten Strahlen nennt man die chromatische Abweichung.

Bringt man in den Brennpunkt der rothen Strahlen r eine matte Scheibe, so erhält man ein rothes Bild mit violettem Saume. Bringt man die Scheibe in den Brennpunkt der violetten Strahlen r , so erhält man ein violettes Bild mit rothem Saume. Diese farbigen Säume stören natürlich die Deutlichkeit der Bilder in hohem Grade und machen ein scharfes Einstellen überhaupt unmöglich. Linsen würden deshalb zur Erzeugung scharfer Bilder völlig ungeeignet sein, wenn wir nicht Mittel besäßen, diese chromatische Abweichung zu corrigiren. Bevor wir diese Mittel erörtern, müssen wir auf die Brechungsverhältnisse der Farben etwas näher eingehen. Wir haben bereits oben erläutert, daß die Brechungsindices für verschiedene durchsichtige Medien für ein und dasselbe einfarbige Licht sehr verschieden sind, daß Flintglas das Licht stärker breche, als Crownglas, dieses wieder stärker als Wasser. Da nun die Brechungsindices derselben Substanz für verschiedene Farben Unterschiede zeigen, so ist man übereingekommen, als mittleren Brechungsexponenten einer Substanz den der Linie E (im Gelb s. S. 128) zu betrachten. Man nimmt als Brechungsexponenten für die übrigen Farben die Brechungsexponenten der darin vorkommenden charakteristischen Linien.

Als Beispiel geben wir die Brechungsindices der Farben für Flintglas, Crownglas und Wasser nach Fraunhofer.

Substanz	B	C	D	E	F	G	H
Flintglas	1,627	1,629	1,635	1,642	1,648	1,660	1,671
Crownglas	1,525	1,526	1,529	1,533	1,536	1,541	1,546
Wasser	1,330	1,331	1,333	1,335	1,337	1,341	1,344

Die Differenz zwischen den Brechungsindices der rothen und violetten Strahlen nennt man die totale Dispersion. Dieselbe beträgt

für Flintglas	0,0433,
- Crownglas	0,0207,
- Wasser	0,0132.

Die totale Dispersion ist demnach bei Flintglas mehr als doppelt so groß als bei Crownglas. Schleift man daher 2 Prismen aus Crownglas und Flintglas, welche beide die Linie E um gleichviel ablenken, so wird das Spectrum des Flintglases doppelt so groß erscheinen, als das des Crownglases. Construiert man also ein Flintglasprisma, welches ein gleich großes Spectrum liefert, wie ein gegebenes Crownglasprisma, so wird die Ablenkung des so erhaltenen Flintglasprismas bei gleicher Farbenzerstreuung eine geringere sein.

Legt man zwei solcher Prismen in verkehrter Lage auf einander, so werden die Strahlen durch das zweite Prisma nach der entgegengesetzten Richtung hin abgelenkt, die durch das erste Prisma bewirkte Farbenzerstreuung wird durch die gleich starke des zweiten Prismas aufgehoben, die Ablenkung dagegen, welche, wie ausdrücklich bemerkt, bei dem zweiten Prisma geringer ist, wird nur um etwas vermindert, so dafs sie jetzt die Differenz der beiden Ablenkungen ist. *) Wir besitzen demnach ein Mittel, die Farbenzerstreuung eines Prismas durch Combination mit einem Prisma anderer Dispersion aufzuheben, und solches Doppelprisma ohne Farbenzerstreuung nennt man ein achromatisches Prisma.

Eine absolute Farblosigkeit kann dadurch freilich nicht erreicht werden. Aus obiger Tabelle geht hervor, dafs die Differenz der Brechungsexponenten für die Linien BC im Flintglas 1,9mal so grofs ist, wie im Crownglas, die Differenz der Brechung für GH aber beim Flintglas 2,19mal so grofs, als beim Crownglas. Die Folge davon ist, dafs bei zwei gleich langen Crown- und Flintglasspectren der violette Theil der Flintglasprismen diesen Zahlen entsprechend länger ist, als beim Crownglas, und daher ist auch keine absolute Aufhebung der Farbenzerstreuung möglich.

Legt man ein Crown- und Flintglasprisma, die beide gleich lange Spectren geben, verkehrt zusammen, so decken sich genau genommen nur die Farben Roth und Violett, weniger vollkommen aber das Gelb und Indigo. Dieser Umstand schadet für optische Zwecke nicht, er ist aber sehr hinderlich für photographische. Indigo ist hier gerade die am stärksten chemisch wirkende, Gelb die am hellsten sichtbare

*) Wie aus der Anmerkung Seite 50 hervorgeht, ist die Ablenkung für kleine Winkel, wenn der brechende Winkel des Prismas $= \alpha$,

$$D = (n - 1) \alpha.$$

Die Ablenkung des rothen Strahles ist demnach, wenn n_r sein Brechungsindex, $= (n_r - 1) \alpha$, die der violetten, wenn n_v sein Brechungsindex, $= (n_v - 1) \alpha$, die totale Dispersion ist also die Differenz beider Gröfsen, $= (n_v - n_r) \alpha$; sie ist daher dem brechenden Winkel des Prismas ebenfalls proportional. Für ein Flintglasprisma würde, wenn wir die betreffenden Brechungsindices mit n'_v und n'_r bezeichnen, die Ablenkung bei gleichem Winkel sein $(n'_v - n'_r) \alpha$. Verlangt man nun 1 Flintglasprisma, welches ein gleich langes Spectrum liefert, wie ein Crownglasprisma, so ergibt sich dieses aus der Gleichung, wenn α' der brechende Winkel des Flintglasprismas ist,

$$(n'_v - n'_r) \alpha' = (n_v - n_r) \alpha,$$

demnach

$$\alpha' = \frac{(n_v - n_r)}{(n'_v - n'_r)} \cdot \alpha.$$

Für die oben gegebenen Glassorten ist $\alpha' = 0,485 \cdot \alpha$.

Nehmen wir $\alpha = 20^\circ$, so ist $\alpha' = 9,7^\circ$. Die Ablenkung des mittleren Strahles E berechnet sich:

$$(n' - 1) 9,7 = 0,642 \cdot 9,7^\circ = 6,22^\circ$$

und

$$(n - 1) 20 = 0,533 \cdot 20 = 10,66^\circ.$$

Beide Prismen in entgegengesetzter Lage combinirt, werden eine Ablenkung $(10,66^\circ - 6,22^\circ)$ erzeugen $= 4,44^\circ = 4^\circ 26'$.

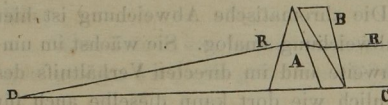
Farbe für das Auge. Fallen beide in unseren achromatisirten photographischen Gläsern nicht genau zusammen, so entsteht das, was man Focusdifferenz nennt.

Für photographische Gläser berechnet man daher den Achromatismus so, daß Gelb und Indigo zusammenfallen. *)

Wir haben demnach in der Composition zweier verschiedener Glassorten ein Mittel, die chromatische Abweichung aufzuheben.

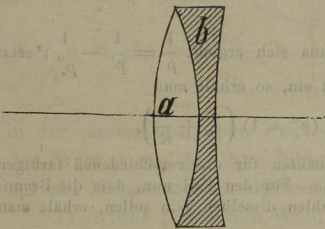
Brewster hat bewiesen, daß eine solche Achromatisirung auch mit 2 Prismen derselben Glassorte möglich ist. Haben beide gleiche brechende Winkel, so wird die Farbenzerstreuung aufgehoben, aber

Fig. 18.



auch die Ablenkung; sie wirken dann zusammengesetzt wie ein Planglas. Hat man aber ein Glasprisma von 60° und ein zweites von 40°, so kann man durch passende Wahl der Stellung derselben zu einander einen Achromatismus erzielen, ohne die Ablenkung aufzugeben. Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß durch die starke Neigung der auf das Prisma B (Fig. 18) fallenden Strahlen die Dispersion in bedeutenderem Grade gesteigert wird, als die Ablenkung. Diese Methode der Wegschaffung der chromatischen Abweichung wird nun auch bei Linsen angewendet. Der gewöhnliche Weg der Achromatisirung ist jedoch die Combination einer Convexlinse von Crown-
 glas a mit einer Concavlinse von Flintglas b (Fig. 19). Beide werden entweder unmittelbar zusammengesekittet (wie bei der Frontlinse des Portraitobjectivs),

Fig. 19.



oder sie stehen in einer gewissen Entfernung von einander (wie bei der Hinterlinse derselben Combination). **)

Ein Achromat durch Combination zweier Linsen derselben Glassorte zu erzielen, ist z. B. bei der Zentmeyer- und Steinheil-Linse (Periskop) versucht worden.

*) Die in voriger Anmerkung gegebenen Formeln gestalten sich dann:

$$a' = \frac{(n_i - n_g) \alpha}{(n'_i - n'_g)}$$

**) Die Brennweite zweier Linsen, die gemeinschaftlich ein Achromat bilden, berechnet sich wie folgt. Falls die Linsen achromatisch erscheinen sollen, müssen der gelbe und indigofarbene Strahl denselben Focus haben. Nun ist der Focus einer

Linsencombination p nach S. 160 $= \frac{p' p''}{p' + p''}$; da die zweite Linse concav ist, so

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

3) Wölbung der Bildfläche.

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

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

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

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

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

woraus sich ergibt

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

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

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

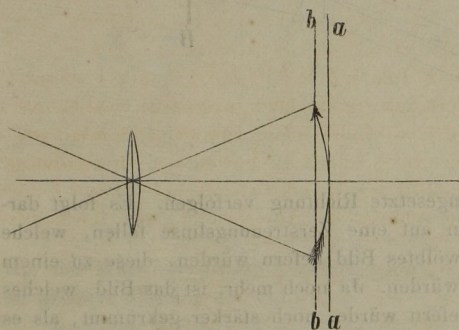
woraus sich die Werthe von p' und p'' leicht berechnen lassen. n' und n'' bedeuten hier die Brechungsverhältnisse der mittleren Strahlen. Den Ausdruck $\frac{(n_i - n_g)}{n - 1}$ nennt man auch das Zerstreungsvermögen. Die Brennweiten der Linsen eines Achromats müssen sich daher umgekehrt wie ihr Zerstreungsvermögen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

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

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

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

Fig. 20.



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

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

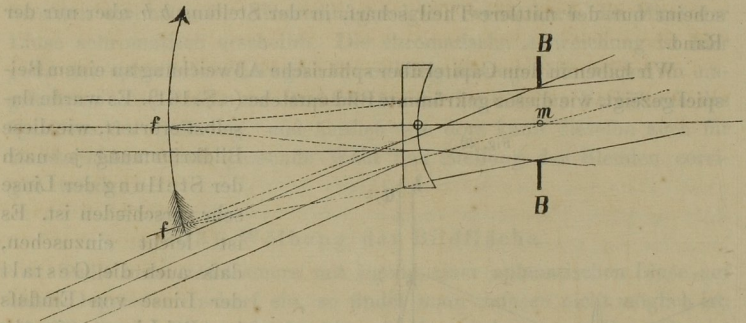
1) in der passenden Wahl der Linsen- und Blendenstellung. Auf S. 161 ist gezeigt, daß für eine planconvexe Linse mit Vorderblende der Krümmungsradius des Bildes gleich $3r$ ist, wenn die Linse ihre plane Seite den Objecten zukehrt, dagegen kleiner als $2r$, wenn die Stellung von Linse und Blende die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

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

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

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

Fig. 21.



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

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

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

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

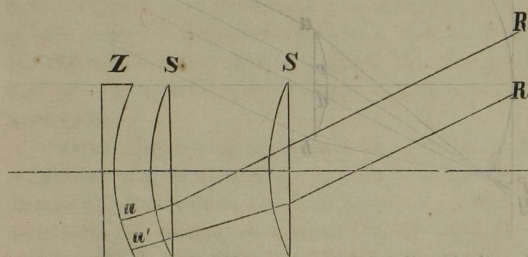
*) Die Construction dieses Bildes so wie sein Krümmungsverhältniß sind ganz analog dem des Bildes einer planconvexen Linse, s. S. 161. Kehrt die planconcave Linse ihre ebene Fläche den Gegenständen zu, so ist der Krümmungsradius gleich $3r$. Das Bild ist aufrecht und befindet sich auf derselben Linsenseite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

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

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

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

Fig. 22.



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

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

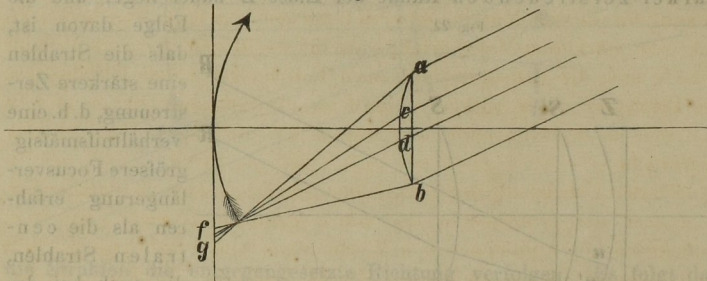
In dieser Weise sind die beiden Linsen der Hinterlinse des Portraitkopfs behufs der Correction der Feldkrümmung um ein gewisses Stück von einander entfernt. Zuweilen ist die Entfernung eine nicht richtig gewählte, dann kann man durch Variation derselben nicht selten eine Linse verbessern. Man schraubt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

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

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

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

Fig. 23.

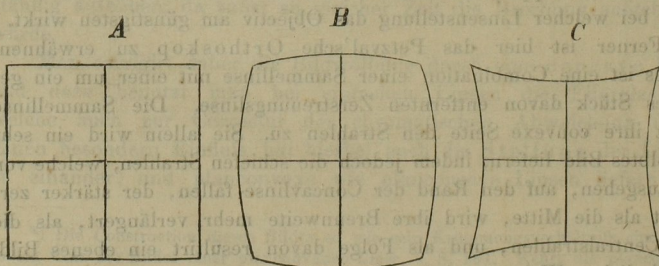


ßer Oeffnung ab ist die Unschärfe eine beträchtliche, sie bildet dann einen Zerstreungskreis vom Durchmesser fg . Bei kleiner Blende cd ist dagegen der Zerstreungskreis von viel geringerem Durchmesser, d. h. die Unschärfe viel geringer.

4) Die Verzeichnung.

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

Fig. 24.



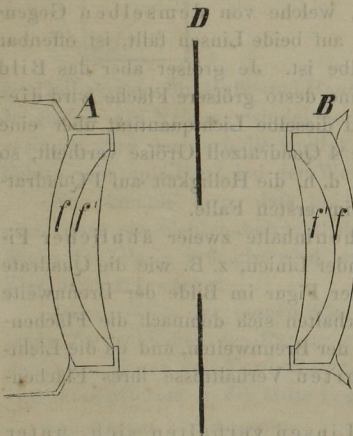
drat, sondern mit gekrümmten Seiten, fast wie eine Tonne (B). Die Linien sind nach auswärts gekrümmt. Nimmt man statt der Linse

mit Vorderblende eine mit Hinterblende, so ist die Krümmung die entgegengesetzte (*C*). Diesen Fehler findet man bei allen einfachen Linsen, wenn auch nicht in gleichem Grade. Er beruht darauf, daß die Randstrahlen des Gesichtsfeldes unter stärkerem Winkel auf die Linse fallen, also eine stärkere Ablenkung erleiden als die centralen Strahlen. (Wie wir früher gesehen haben, wächst die Ablenkung in größerem Maße als der Einfallswinkel.)

Nun werden jedoch bei dieser Ablenkung, je nach der Blendeneinstellung, wie früher gezeigt worden ist, die Randstrahlen entweder dem Mittelpunkte des Gesichtsfeldes genähert, wie bei der Vorderblende, oder von demselben entfernt, wie bei der Hinterblende (siehe d. Fig. S. 161 u. 163). Es ist demnach offenbar, daß, wenn diese Ablenkung für die dem Mittelpunkte des Gesichtsfeldes entfernter liegenden Ecken in stärkerem Maße erfolgt, als für die Mitten der Seiten, demgemäß auch die Ecken in dem einen Fall im Bilde dem Mittelpunkte des Bildfeldes näher rücken werden als die Seitenmitten, im andern Fall sich mehr davon entfernen, woraus die geschilderte Verzeichnung hervorgeht.

Dieser Uebelstand der Verzeichnung zeigt sich um so auffallender, je größer das Gesichtsfeld der Linse genommen wird. Er stört namentlich bei Aufnahmen von Zeichnungen und Architekturen. Will man einfache Linsen zu diesem Zweck benutzen, so darf nur der mittlere Theil des Bildfeldes verwendet werden. Die Verzeichnung ist abhängig von der Linsenform. Unter allen einfachen Linsenformen zeigt der Meniscus mit der concaven Seite dem Object zugerichtet die Verzeichnung am wenigsten, stärker ist sie schon beim planconvexen Glase (die flache Seite nach dem Object gerichtet), noch stärker bei den biconvexen. Bei einfachen Linsen ist durch passende Wahl der Form die Verzeichnung zwar auf ein Minimum zu reduciren, jedoch niemals ganz aufzuheben. Vermeidung dieses Fehlers erzielt man nur durch Linsencombinationen mit sogenannten Centralblenden. Man denke sich zwei Linsen *AB* in gewisser Entfernung von einander, und zwischen beiden in der Mitte eine Blende *D*. Diese Blende wirkt in Bezug auf die erste Linse wie eine Hinterblende, sie erzeugt die Verzeichnung *C*

Fig. 25.



in Bezug auf die zweite (Fig. 24); in Bezug auf die zweite

Linse wirkt sie dagegen wie eine Vorderblende, sie erzeugt dann die Verzeichnung *B*. Da beide Verzeichnungen die entgegengesetzten sind, so heben sie sich gegenseitig auf, und das Resultat ist ein correctes Bild.

Solche Doppelobjective mit Centralblenden sind z. B. die Kugelobjective, Pantoskope und die neuen Steinheil'schen Aplanate. Die Portraitlinsen von Petzval sind ähnlich construirt, da aber die beiden Linsen sehr ungleich sind, so bleibt noch eine merkliche Verzeichnung übrig.

Ueber Lichtstärke und Gesichtsfeld der Linsen.

Unter der Lichtstärke einer Linse versteht man ihre Fähigkeit, ein mehr oder weniger helles Bild zu liefern. Diese Fähigkeit hängt ab 1) von dem Flächeninhalt der Linse, 2) von ihrer Brennweite, 3) von dem Verlust durch Reflexion und Absorption, welche das Licht beim Durchgange durch die Glasmasse erleidet.

Je größer die Fläche einer Linse ist, desto größer ist die Quantität der Lichtstrahlen, welche sie aufzunehmen vermag. Nun steht der Flächeninhalt im Verhältniß des Quadrats des Durchmessers, oder wie man sagt, der Oeffnung. Demnach werden sich die Lichtstärken zweier Linsen unter sonst gleichen Umständen verhalten, wie die Quadrate ihrer Oeffnung.

Sind die Brennweiten der Linsen verschieden, so liefern sie von einem und demselben Gegenstande ein verschieden großes Bild. Liefert z. B. eine Linse von 6" Brennweite von irgend einem Gegenstande, z. B. einem Menschen, eine Figur von 3" Höhe, so liefert bei derselben Entfernung eine Linse von 12" Brennweite eine Figur von 6" Höhe. Die Lichtmenge, welche von demselben Gegenstande unter denselben Umständen auf beide Linsen fällt, ist offenbar dieselbe, falls ihre Oeffnung dieselbe ist. Je größer aber das Bild desselben Gegenstandes ist, über eine desto größere Fläche wird dieselbe Lichtmenge zerstreut. Wird dieselbe Lichtquantität über eine Fläche von 2 Quadratzoll oder von 4 Quadratzoll Größe vertheilt, so ist im letztern Falle die Lichtmenge, d. h. die Helligkeit auf 1 Quadratzoll Fläche nur halb so groß, als im ersten Falle.

Nun verhalten sich die Flächeninhalte zweier ähnlicher Figuren wie die Quadrate gleich liegender Linien, z. B. wie die Quadrate ihrer Höhe; da aber die Größe einer Figur im Bilde der Brennweite einer Linse proportional ist, so verhalten sich demnach die Flächeninhalte derselben wie die Quadrate der Brennweiten, und da die Lichtstärke zweier Bilder im umgekehrten Verhältnisse ihres Flächeninhaltes steht, so folgt daraus:

Die Lichtstärken zweier Linsen verhalten sich, unter

sonst gleichen Umständen, umgekehrt wie die Quadrate ihrer Brennweite. Oeffnung und Brennweite sind demnach die Hauptelemente zur Beurtheilung der Lichtstärke einer Linse. Das directe Verhältniß der ersten, das indirecte Verhältniß der letzteren bilden das Criterium derselben. Will man daher zwei Linsen mit einander vergleichen, so dividirt man zunächst ihre Oeffnung o durch ihre Brennweite f und erhebt diesen Bruch ins Quadrat.

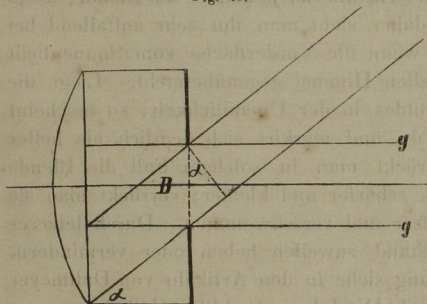
Man nennt diesen Bruch $\frac{o}{f}$ die relative Oeffnung.

Diese Berechnung gilt jedoch nur für Linsen mit voller Oeffnung. Benutzt man aber Linsen mit Blende, so ist statt der Linsenöffnung die Blendenöffnung zu setzen und dürfen nur Vorderblenden mit Vorderblenden, Hinterblenden mit Hinterblenden verglichen werden.

Nun ist aber die Lichtstärke eines Bildes nicht in allen Theilen dieselbe. Schon mit bloßem Auge bemerkt man, daß die Helligkeit der Linsenbilder von der Mitte nach dem Rande zu nachläßt.

Der Umstand ist leicht zu erklären. Man nehme den einfachsten Fall einer Linse mit Vorderblende. Der Durchmesser des gerade auffallenden Strahlenbüschels gg ist hier gleich dem Blendendurchmesser B , der Durchmesser des schief auffallenden Strahlenbüschels dagegen

Fig. 26.



ist gleich dem Blendendurchmesser, multiplicirt mit dem Cosinus des Einfallswinkels, d. h. gleich $B \cos \alpha$, demnach z. B. für einen Winkel von $60^\circ = \frac{1}{2}B$, und da die Helligkeiten sich wie das Quadrat der Oeffnung verhalten, so werden

die Helligkeiten für Mitte und Rand des Bildes sich verhalten wie 1 : 4. Je größer der Neigungswinkel der Strahlen gegen die Linse ist, desto geringer wird demnach die Helligkeit des Bildrandes, daher tritt dieser Fehler sehr auffallend bei den Weitwinkellinsen hervor.

Nun kommt dazu, daß bei schiefem Auffallen der Strahlen auf eine Linse ein nicht unbeträchtlicher Theil des Lichtes an der Oberfläche des Glases reflectirt wird, und daß dieser Lichtverlust mit dem Einfallswinkel wächst.

Daher rührt das namentlich bei kurzen Expositionen so auffallende Zurückbleiben des Randes gegen die Bildmitte. Unter Umständen kann dieses von Vortheil sein, wenn man das Hauptlicht auf einen charakteristischen, in der Mitte liegenden Gegenstand concentriren will,

z. B. bei Portraits auf den Kopf; sie wirkt aber sehr störend bei Aufnahmen von Gebäuden, Landschaften und Zeichnungen.

Die eben erwähnten Reflexe an der Oberfläche der Linsen bewirken aber noch eine andere unangenehme Erscheinung, den sogenannten Lichtfleck und das Entstehen secundärer Bilder.

Fällt Licht auf eine Linse, so wird ein Theil desselben an der Oberfläche reflectirt, ein anderer Theil geht hinein; an der Hinterfläche findet aber eine abermalige Reflexion statt, die reflectirten Strahlen treffen die Vorderfläche, werden hier wieder zurückgeworfen und nun von der Hinterfläche theils wieder zurückgeworfen, theils gebrochen; so entsteht ein secundäres Bild, welches allerdings sehr lichtschwach ist und daher bei kurzer Exposition selten nachtheilig ist, wohl aber bei langer. Der Focus dieses secundären Bildes ist abhängig von der Krümmung der Flächen, in der Regel ist er von dem Hauptbrennpunkte der Linse sehr verschieden und die Folge davon ist, dafs das secundäre Bild im Hauptbrennpunkt nicht scharf erscheint, sondern sich als verschwommener Lichtfleck neben dem hellen Gegenstande, der ihn veranlafst, markirt*). Je stärker gekrümmt die Flächen einer Linse sind, desto stärker spiegeln sie, desto heller ist das secundäre Bild resp. der Lichtfleck; je kleiner die Blende, desto mehr wächst seine Schärfe, daher sieht man ihn sehr auffallend bei den Kugellinsen, namentlich wenn die Vorderfläche vom Sonnenlicht getroffen wird, oder dem hellen Himmel gegenübersteht. Liegt die Brennweite des secundären Bildes in der Unendlichkeit, so erscheint dasselbe als Bild der Blende und markirt sich deutlich als heller Fleck mitten im Bilde. Verrückt man in solchem Fall die Blende nach vorn, so wird der Fleck schärfer und kleiner; verrückt man sie nach hinten, so wird er gröfser und verschwommen. Durch letzteres Mittel kann man den Uebelstand zuweilen heben oder vermindern. Näheres über diese Erscheinung siehe in den Artikeln von Dallmeyer und Steinheil, Photogr. Mittheil. IV. Jahrg., S. 143 und 283.

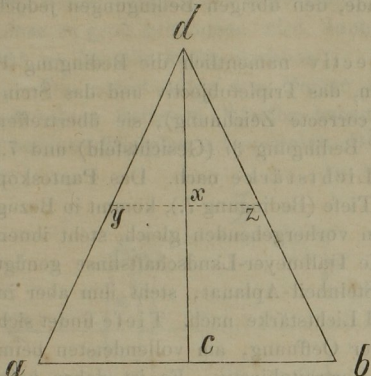
Wir haben nun noch zu erörtern, was wir unter Gesichtsfeld einer Linse verstehen.

Schraubt man eine Linse an eine grofse Camera, und stellt auf einen entfernten Gegenstand scharf ein, so erkennt man auf der matten Scheibe ein kreisrundes, ziemlich scharf begrenztes Bild. Der Durchmesser desselben ist unabhängig von der Blendengröfse. Vergleicht man Linsen verschiedener Construction und gleicher Brennweite miteinander, so erkennt man, dafs dieses kreisrunde Bild bei verschiedenen Linsen sehr verschieden an Gröfse ist. Den Winkel, unter

*) Herr Commerciennath Busch in Rathenow erzählt uns von einer Linse, bei welcher seltsamer Weise das secundäre Bild mit dem Hauptbilde dieselbe Brennweite hatte und als verkleinertes, verkehrtes Bild des Hauptbildes auf der matten Scheibe deutlich sichtbar war.

welchem dieses Bild vom optischen Mittelpunkt des Objectivs aus gesehen erscheint, nennt man das Gesichtsfeld der betreffenden Linse.

Fig. 27.



Ist ab der Durchmesser des runden Bildes, cd gleich der Brennweite, so ist der Winkel adb das Gesichtsfeld.

Von dem runden Bilde erscheint nur ein Theil scharf, nämlich der mittlere, und die Schärfe verbreitet sich um so weiter nach dem Rande hin, je kleiner die Blenden genommen werden.

Das bei einer bestimmten Blendengröße brauchbare Bildfeld ist demnach immer kleiner als das Gesichtsfeld.

Es wird ebenso wie das Gesichtsfeld aus dem Winkel bei d bestimmt, welchen zwei, nach diametral gegenüberstehenden, noch hinreichend scharf erscheinenden Punkten gezogene Linien mit einander machen.

Beschreibung der photographischen Objective.

Wir haben in dem vorhergegangenen Capitel die Mängel unserer optischen Gläser und die Mittel, sie zu vermeiden resp. auf ein Minimum zu reduciren, kennen gelernt. Wir haben in verschiedenen Punkten darauf hingedeutet, daß deren Wegschaffung mit Rücksicht auf die großen Anforderungen, die man an photographische Linsen stellt, nur theilweise möglich ist, und daher werden alle unsere photographischen Linsen selbst bei der besten Ausführung noch zu wünschen übrig lassen.

Man verlangt von einer photographischen Linse: 1) große Lichtstärke, um in möglichst kurzer Zeit, namentlich von Gegenständen, die sehr dunkel oder unruhig sind, Aufnahmen machen zu können. Diese läßt sich nur erreichen mit großen Oeffnungen und kurzen Brennweiten; 2) große Schärfe bis zum Rande. Diese ist nur mit kleinen Oeffnungen (Blenden) zu erzielen, also dem Gegensatz zu Bedingung 1.; 3) großes und ebenes Gesichtsfeld. Dieses bedingt sehr schiefe einfallende Strahlenbüschel, für welche die sphärische Abweichung und Bildkrümmung nur schwer zu corrigiren sind; 4) Freiheit von Verzeichnung; 5) Freiheit von Focusdifferenz; 6) Gleichmäßigkeit der Lichtkraft über das ganze Gesichtsfeld; 7) Tiefe, d. h. hinreichende Schärfe für Gegenstände, die verschieden weit von der Camera entfernt sind.

Alle diese Bedingungen sind nur schwer oder nicht gleichzeitig zu erfüllen, daher existirt bis jetzt noch keine Universallinse, welche

allem genügt, und man ist genöthigt, sich für verschiedene Zwecke verschiedener Objective zu bedienen.

Der Bedingung 5. entsprechen die meisten Objective in einem für die Praxis ausreichenden Grade, den übrigen Bedingungen jedoch nur theilweise.

So erfüllt das Portraitobjectiv namentlich die Bedingung 1. (Lichtstärke), weniger die übrigen, das Tripletobjectiv und das Steinheil-Aplanat die Bedingung 4. (correcte Zeichnung), sie übertreffen das Portraitobjectiv in Bezug auf Bedingung 3. (Gesichtsfeld) und 7., stehen ihm jedoch in Bezug auf Lichtstärke nach. Das Pantoskop übertrifft alle an Gesichtsfeld und Tiefe (Bedingung 7.), kommt in Bezug auf Correctheit (Bedingung 4.) den vorhergehenden gleich, steht ihnen aber in der Lichtstärke nach. Die Dallmeyer-Landschaftslinse genügt denselben Bedingungen wie der Steinheil-Aplanat, steht ihm aber in Bezug auf correcte Zeichnung und Lichtstärke nach. Tiefe findet sich nur bei Instrumenten mit kleinerer Oeffnung, am vollendetsten beim Pantoskop, am geringsten beim Portraitobjectiv. Es ist daher kein Wunder, daß eine Menge von Constructionen existiren, welche nach der einen Richtung hin Vollkommenes leisten, in andrer Richtung nicht genügen.

Alle diese Constructionen zu beschreiben, ist uns eine Unmöglichkeit, wir halten uns an die wichtigsten, namentlich an solche, die wir praktisch geprüft haben, und die Art und Weise, wie diese Prüfung vorzunehmen ist, werden wir später erörtern.

1) Das einfache achromatische Objectiv oder die sogenannte Landschaftslinse.

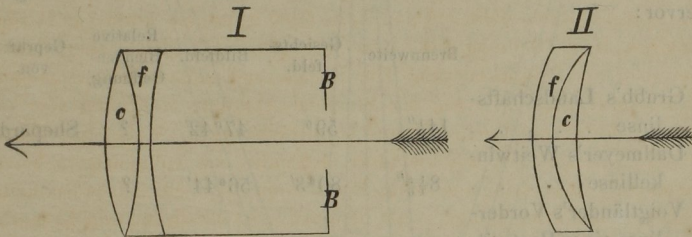
Dieses einfache Objectiv ist die älteste photographische Linse, welche existirt. Ihre Form ist sehr verschieden, kommt aber stets auf Verbindung eines achromatischen zusammengekitteten Linsenpaares mit einer Vorderlinde heraus. Die Wirkung einer solchen Verbindung geht aus Fig. 14 (S. 161) hervor. Wie jene als Beispiel gewählte planconvexe Linse verhalten sich auch die ihr ähnlichen Formen der Menisken, nur mit dem Unterschiede, daß diese die einzelnen Linsenfehler in geringerem Grade zeigen als die planconvexe Form. Geübte Arbeiter pflegen oft genug aus zusammengesetzten Objectiven einzelne Linsen herauszunehmen und benutzen diese mit passend vorgesetzten Blenden zu Landschaftsaufnahmen, wo es auf ein wenig Verzeichnung nicht ankommt. So wird sehr allgemein die fast planconvexe Vorderlinse unserer Portrait-Doppelobjective dazu verwendet, indem man dieselbe umkehrt und Blenden vorsetzt*). Für viele

*) Viele Objective haben zu dem Zweck gleich eine Einrichtung in der Fassung, um die Vorderlinse für sich allein verkehrt anschrauben und Vorderblenden an-

Zwecke genügt dieses vollkommen, ja es giebt Photographen genug, die mit solcher Linse in solcher Fassung auch Reproduktionen machen. Die Verzeichnung stört hierbei nur dann, wenn das Gesichtsfeld der Linse zu groß genommen wird. Innerhalb eines Bildwinkels von circa 15° ist dieselbe kaum merkbar.

Die zuerst unter dem Namen Landschaftslinsen in den Handel gebrachten einfachen Objective haben die folgende Form I (Fig. 28). f bedeutet Flintglas, c Crownglas. Die Blende B ist meist $\frac{1}{3}$ der Brenn-

Fig. 28.

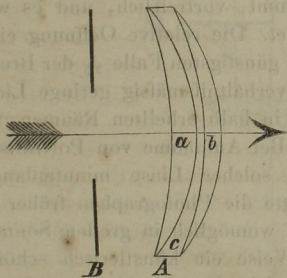


weite von der Linse entfernt. Diese Linse findet man noch in vielen Ateliers. Ausser dieser Form giebt es jedoch noch mehrere andere, die in Bezug auf Gesichtsfeld, Bildgröße und Verzeichnung günstigere Resultate geben.

Die eine derselben zeigt die Form eines Meniscus II., bestehend aus einer concavconvexen Crownglas- und convexconcaven Flintglaslinse; beide sind, wie auch in der älteren Form, mit Canadabalsam zusammengekittet.

Eine dritte Form, die noch trefflicher wirkt, ist die Dallmeyer'sche Landschaftslinse.

Fig. 29.



Diese besteht nicht aus 2, sondern aus 3 Linsen, die zusammengekittet sind; die mittlere besteht aus Flintglas, die beiden äußeren aus 2 verschiedenen Sorten Crownglas. Die Blende ist um circa $\frac{1}{10}$ der Brennweite von der Linse angebracht. Statt der sonst allgemeinen Einzelblenden, die man wechselt, jenachdem man die Schärfe mehr oder weniger weit nach dem Rande des Bildes hintreiben will, sitzen bei Dall-

setzen zu können. Man kann sich auch zuweilen dadurch helfen, daß man die Hinterlinse des Portraitkopfes herauschraubt, die Vorderlinse an deren Stelle setzt und die Blenden in ihrer ursprünglichen Stelle läßt.

meyer's Linse die Blenden in einer drehbaren Scheibe, die am Objectiv befestigt ist.

Die Verzeichnung ist bei dieser Linse geringer als bei den übrigen Formen, ebenso die Bildwölbung; beides begünstigt die Gröfse des Gesichtsfeldes, und wahrt den Vortheil, auch mit ziemlich grofsen Blenden noch hinreichend scharfe Bilder zu erhalten. Die Oeffnung der kleinsten Blende ist $\frac{1}{30}$ der Brennweite.

Was diese verschiedenen Linsen in Bezug auf Gesichtsfeld, Bildgröfse etc. leisten, geht am besten aus folgenden Bestimmungen hervor:

	Brennweite.	Gesichtsfeld.	Bildfeld.	Relative Blenden-Oeffnung.	Geprüft von
Grubb's Landschafts-linse	14 $\frac{1}{2}$ "	59°	47°42'	?	Shepard.
Dallmeyer's Weitwin-kellinse	8 $\frac{1}{6}$ "	80°3'	56°44'	?	-
Voigtländer's Vorder-linse eines Portrait-Visitenkarten - Ob-jectivs	330 Millim.	62°15'	33°45'	0,0303	Vogel*).
Dallmeyer's Weitwin-kellinse	185,2 -	71°5'	54°30'	0,0260	-

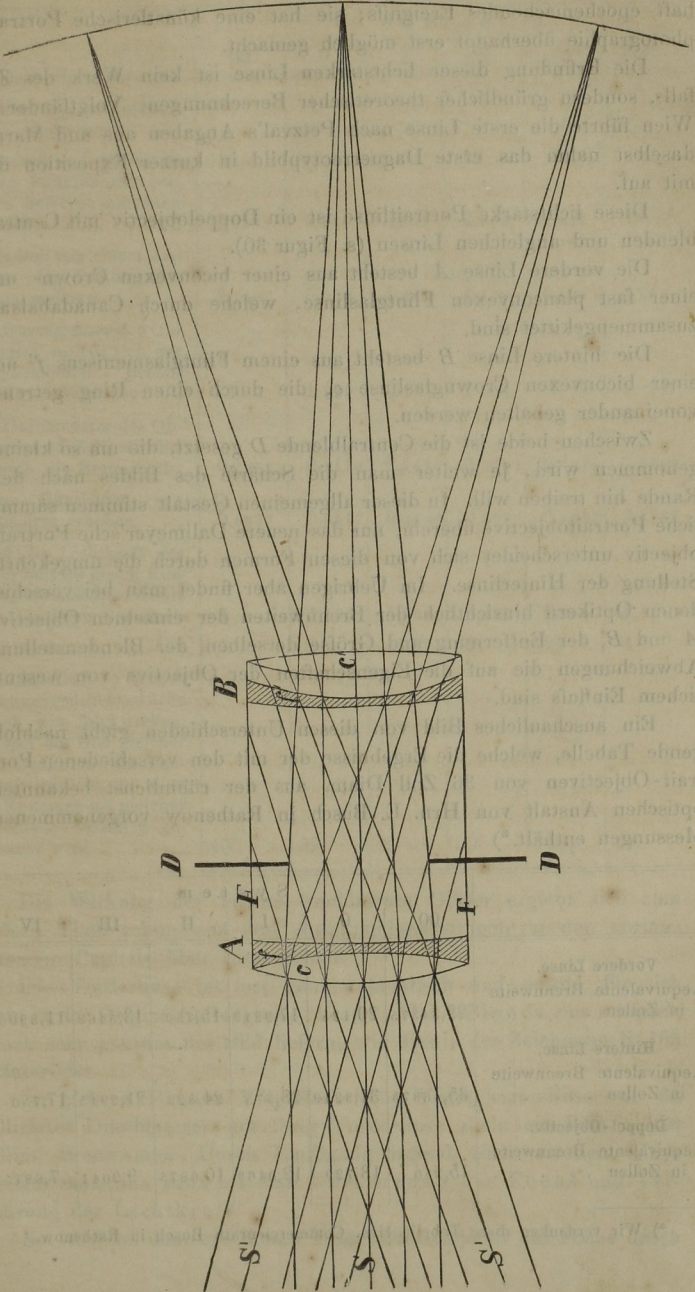
Bei Shepard's Bestimmungen fehlt leider die Angabe der Blendengröfse, welche die Gröfse des Bildfeldes sehr stark beeinflusst.

2) Das Portraitobjectiv.

Das Landschaftsobjectiv war in den ersten Zeiten der Photographie das allein angewendete, es genügt für Landschaftsaufnahmen, wo man stillhaltende Gegenstände und Licht zur Disposition hat, und es auf Verzeichnung nicht ankommt, vortrefflich, und es wird noch heute in solchen Fällen verwendet. Die relative Oeffnung einer solchen Linse ist jedoch nicht grofs, im günstigsten Falle $\frac{1}{20}$ der Brennweite, und die Folge davon ist eine verhältnismäfsig geringe Lichtstärke, die namentlich bei Aufnahmen in halb erhellten Räumen, wie Zimmer, Interieurs, sehr störend ist. Bei Aufnahme von Portraits in einem Glashause bedurfte man mit solcher Linse minutenlanger Sitzungen, und dieser Umstand nöthigte die Photographen früher oft ihre Personen ins Freie zu setzen und womöglich in grellem Sonnenlicht aufzunehmen. Dafs auf diese Weise ein künstlerisch schönes Bild nicht erzielt werden konnte, liegt auf der Hand, und so war für die Portraitphotographie die Erfindung einer Linse von gröfserer Oeffnung und daher grofser Lichtstärke von Petzval in Wien, 1841, ein wahr-

*) Siehe Photogr. Mittheilungen III. Jahrg. S. 14.

Fig. 30.



hat, wodurch die Lichtstrahlen in einem Punkte vereinigt werden. Die
 Die Entfernung dieses letzten Brennpunktes ist kein Wert des
 fall, sondern ein allgemeines Theorem der Brechungsgesetze. Die
 Wenn man die erste Linse nach Huygens's Angaben in zwei
 dazwischen liegen das erste Brennpunktspiegelbild in einem
 mit an.
 Diese Linse besteht aus einem Paraboloid mit einem
 brennen und ähnlichen Linsen (Fig. 30).
 Die vordere Linse A besteht aus einem biconvexen Linsen- und
 einer fast planconvexen Hinterröhre, welche durch ein Canalsystem
 zusammengeklebt sind.
 Die hintere Linse B besteht aus einem Paraboloid A und
 einer biconvexen Linse, welche durch einen Hohlraum
 von einander getrennt werden.
 Zwischen beiden die Centralstelle D, welche die um so kleiner
 genommen wird, je weiter man die hintere Linse nach dem
 Rande hin rückt, und die durch die Linse einstrahlenden
 keine Paraboloidstrahlen, sondern die durch die hintere
 Objektiv unterschieden, und durch die Linse durch die hintere
 Stellung der Hinterröhre, welche durch die Linse einstrahlenden
 dem Objektiv einstrahlenden, der hintere der einstrahlenden
 A und B, der hintere der hintere der hintere der hintere der
 Abweichungen die an der hintere der hintere der hintere der
 hohen Punkte sind.
 Ein anschauliches Bild der durch die Linse einstrahlenden
 gende Tabelle, welche die durch die Linse einstrahlenden
 trant-Objektiven von der hintere der hintere der hintere der
 optischen Ansatz von der hintere der hintere der hintere der
 Messungen enthält.
 Vordere Linse
 Aequivalente Brennweite
 hintere Linse
 Aequivalente Brennweite
 in Zoll
 doppel-Objektiv
 Aequivalente Brennweite
 in Zoll

haft epochemachendes Ereigniß; sie hat eine künstlerische Portraitphotographie überhaupt erst möglich gemacht.

Die Erfindung dieser lichtstarken Linse ist kein Werk des Zufalls, sondern gründlicher theoretischer Berechnungen. Voigtländer in Wien führte die erste Linse nach Petzval's Angaben aus und Martin daselbst nahm das erste Daguerreotypbild in kurzer Exposition damit auf.

Diese lichtstarke Portraitlinse ist ein Doppelobjectiv mit Centralblenden und ungleichen Linsen (s. Figur 30).

Die vordere Linse *A* besteht aus einer biconvexen Crown- und einer fast planconvexen Flintglaslinse, welche durch Canadabalsam zusammengekittet sind.

Die hintere Linse *B* besteht aus einem Flintglasmeniscus *f'* und einer biconvexen Crown- und Flintglaslinse *c'*, die durch einen Ring getrennt voneinander gehalten werden.

Zwischen beide ist die Centralblende *D* gesetzt, die um so kleiner genommen wird, je weiter man die Schärfe des Bildes nach dem Rande hin treiben will. In dieser allgemeinen Gestalt stimmen sämtliche Portraitobjective überein, nur das neuere Dallmeyer'sche Portraitobjectiv unterscheidet sich von diesen Formen durch die umgekehrte Stellung der Hinterlinse. Im Uebrigen aber findet man bei verschiedenen Optikern hinsichtlich der Brennweiten der einzelnen Objective *A* und *B*, der Entfernung und Gröfse derselben, der Blendenstellung Abweichungen die auf die Eigenschaften der Objective von wesentlichem Einfluß sind.

Ein anschauliches Bild von diesen Unterschieden giebt nachfolgende Tabelle, welche die Ergebnisse der mit den verschiedenen Portrait-Objectiven von 36 Zoll Diam. aus der rühmlichst bekannten optischen Anstalt von Hrn. E. Busch in Rathenow vorgenommenen Messungen enthält. *)

	S y s t e m					
	00	0	I	II	III	IV
Vordere Linse.						
Aequivalente Brennweite in Zollen	22,34375	20,125	17,9219	15,750	13,5469	11,3906
Hintere Linse.						
Aequivalente Brennweite in Zollen	35,46875	31,9219	28,375	24,822	21,2915	17,750
Doppel-Objectiv.						
Aequivalente Brennweite in Zollen	15,250	13,729	12,0469	10,6875	9,2041	7,6875

*) Wir verdanken diese Tabelle Hrn. Commercierrath Busch in Rathenow.

	System					
	00	0	I	II	III	IV
Entfernung der beiden Objective.						
Gemessen von den höchsten Punkten der beiden äusseren convexen Flächen	6,833	6,180	5,550	4,900	4,375	3,800
Gemessen von einem Ansatz der Fassung bis zum anderen	6,700	6,030	5,361	4,690	4,020	3,350
Der Durchmesser des Objectivs verhält sich zur äquivalenten Brennweite nahezu wie . . .	1 : 5	1 : 4½	1 : 4	1 : 3½	1 : 3	1 : 2½
Der Durchmesser des Objectivs (3 Zoll) dividirt durch die Brennweite .	0,1967	0,2185	0,2490	0,2807	0,3259	0,3902
Obige Quotienten in's Quadrat erhoben . . .	0,0387	0,0477	0,0620	0,0789	0,1062	0,1523
Wird die Lichtkraft des Systems 00 gleich Eins angenommen, so ist die der anderen Systeme .	1	1,232	1,602	2,039	2,744	3,935
Abgekürzt	1	1¼	1⅓	2	2¾	4
Die Lichtkraft in Secunden ausgedrückt, würde sich wie folgt stellen, wenn ein Bild gleicher Grösse, z. B. ein Visitenkartenbild, mit allen 6 Systemen bei gleicher Blenden-Oeffnung gemacht wird	40	32	25	20	14⅙	10

Die Wirkung der beiden combinirten Gläser ergibt sich zum grossen Theil schon aus den Auseinandersetzungen in den vorhergehenden Capiteln über Linsenfehler.

Die Vorderlinse ist fast ganz aplanatisch und würde, für sich allein in der Originalstellung angewendet, ohne Blende ein scharfes, jedoch sehr gekrümmtes Bild liefern, wie dies in der Zeichnung S. 163 erläutert ist.

So giebt z. B. eine Voigtländer'sche Visitenkartenlinse von 68 Millimeter Durchmesser mit ihrer Vorderlinse allein ein Bild in 330 Millim. Brennweite. Durch Einfügung irgend einer zweiten Linse erreicht man nun zunächst eine Verkürzung des Focus und Vermehrung der Lichtkraft.

So wird bei dem erwähnten Voigtländer-Objectiv der Focus durch

Einfügung der Hinterlinse auf 230 Millimeter reducirt und dadurch die Lichtkraft der Objective, abgesehen von der Absorption im Glase, im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Brennweite gesteigert, d. h. im Verhältniß von 529 : 1089, also nahezu von 1 : 2.

Je näher man die Linsen A und B aneinander bringt, desto kürzer wird die Brennweite, desto größer also die Lichtkraft. Dagegen beobachtet man, daß zu gleicher Zeit die Krümmung des Bildfeldes und die sphärische Aberration für die schiefen Strahlen zunimmt.

Es seien $S'S'$ zwei schief auffallende Strahlenbündel, letztere gehen vollständig durch die Vorderlinse. Derjenige Theil derselben aber, welcher nach der Erläuterung S. 163 sphärische Abweichung erzeugen würde, wird durch die Fassung FF (Fig. 30) abgeschnitten. Die Fassung wirkt demnach als Blende, und je länger dieselbe ist, desto mehr schiefe Strahlen werden zurückgehalten. Es ist leicht ersichtlich, daß bei sehr großer Entfernung der Linsen AB die schiefen Strahlenbündel SS' gänzlich durch die Fassung abgeschnitten werden, also gar nicht zur Wirkung kommen würden. Bei großer Entfernung der Linsen ist daher das Gesichtsfeld geringer.

Daraus geht hervor, daß die Entfernung der beiden Combinationen eine wichtige Rolle spielt. Bei lichtstarken Objectiven des Handels, z. B. den lichtstarken Dallmeyer'schen Stereoskoplinsen, ferner den sogenannten Schnellarbeitern zu Kinderaufnahmen, sind die beiden Objective nahe aneinandergerückt und das Bild zwar sehr hell, aber ziemlich stark gekrümmt, so daß beim Einstellen ohne Blenden nur eine kleine Fläche auf einmal scharf erhalten werden kann (s. S. 163).

Bei den größeren, verhältnißmäßig lichtschwächeren Objectiven dagegen ist die Entfernung zwischen beiden Objectiven größer, der Focus länger, das Bild daher dunkler, aber auch größer und weniger gekrümmt.

Von gleicher Bedeutung wie die Entfernung der Hinterlinse ist ihre Gestalt. Eigenthümlich an derselben ist die Trennung der Crown- und Flintglaslinse durch einen zwischengelegten Ring.

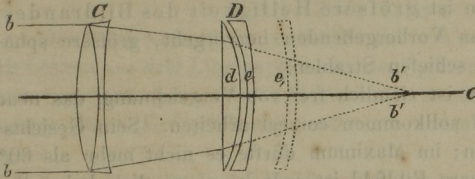
Die von der Vorderlinse gebrochenen und achromatischen Strahlen fallen zuerst auf die Flintglaslinse f' und werden durch diese so zerstreut, daß die Strahlen des axialen Bündels S fast parallel austreten, die schiefen Strahlen $S'S'$ jedoch ziemlich bedeutend divergiren, daher ist für die axialen Strahlen eine Aenderung der Entfernung der beiden Linsen f' und c' nicht von so großem Einfluß, als auf die schiefen Strahlen, wie aus der Erläuterung S. 173 schon hervorgeht. Ist der Ring zu schmal, so erscheinen die Ränder des Bildes unscharf, das Bild ist zu sehr gewölbt.

Man kann daher ein fehlerhaftes Objectiv, welches ein sehr ge-

wölbtes und am Rande unscharfes Bild liefert, mitunter durch Aenderung der Ringbreite in der Hinterlinse verbessern. Natürlich erfordert dieses große Sorgfalt und vielfache Versuche.

Andererseits wirkt aber die Entfernung bei den Linsen sehr wesentlich auf den Achromatismus; die blauen Strahlen divergiren nach dem Austritt aus dem Flintglase stärker als die gelben, kommen also gleichsam aus einem der zweiten Linse $f'c'$ näheren Punkte als letztere. Je größer die Entfernung der beiden Gläser, d. h. je breiter der Ring genommen wird, desto länger wird der chemische Focus im Vergleich zum optischen.

Fig. 31.



nach dem Austritt aus dem Flintglase stärker als die gelben, kommen also gleichsam aus einem der zweiten Linse $f'c'$ näheren Punkte als letztere. Je größer die

Entfernung der beiden Gläser, d. h. je breiter der Ring genommen wird, desto länger wird der chemische Focus im Vergleich zum optischen.

Eine eigenthümliche Construction der Hinterlinse findet sich bei den neuen Dallmeyer-Objectiven. Die Gestalt derselben ist annähernd dieselbe, als bei den alten Objectiven, die Stellung derselben aber eine umgekehrte, d. h. die Flintglaslinse hinten, die Crownglaslinse vorn und die Entfernung beider variabel, indem die Flintglaslinse von der Crownglaslinse durch Verschraubung entfernt werden kann (siehe Fig. 31).

Bei größerer Entfernung fallen die Randstrahlen mehr auf die (schwächer zerstreute) Mitte der Linse, bei kürzerem Abstand dagegen mehr auf den stärker zerstreuten Rand der Linse. Diese ist so construirt, daß im letztern Fall die sphärische Abweichung vollständig gehoben ist. Entfernt man aber die Linsen durch Verschraubung voneinander, so soll nach Dallmeyer eine merkliche sphärische Abweichung erzeugt werden, so daß statt eines Focus eine Reihe von Focalpunkten $f' f'' f'''$ entstanden (s. d. Fig. S. 158)*).

Man würde demnach die matte Scheibe etwas verrücken können, ohne der Schärfe wesentlich Eintrag zu thun, und dadurch Focustiefe erlangen. Die Erfahrung hat jedoch ergeben, daß diese Annahme auf einem Irrthum beruht. Sie würde richtig sein, wenn die Brennweite der Hinterlinse kürzer, d. h. ihre Flächen stärker gekrümmt wären, so daß ein merklicher Unterschied zwischen den centralen und Randstrahlen stattfände. Dies ist jedoch nicht der Fall, und in der That erlangt man daher durch Entfernung der beiden Linsen nur eine Aenderung des Achromatismus, d. h. die Schärfe wird mehr „nach hinten“ verlegt. In normaler Lage (ohne Verschraubung) angewendet, ist die neue Linse in Bezug auf Schärfe, Gesichtsfeld, Lichtstärke eine der besten, welche existirten.

*) Siehe auch Dallmeyer's Abhandlung, Photogr. Mitth. III. Jahrg., S. 280.

Außer der Gestalt ist noch die Gröfse der Hinterlinse von Einfluß. Meist wird sie etwas breiter als die Vorderlinse gemacht. In auffälligem Grade ist dies bei den Kegelobjectiven der Fall. Je größer die Hinterlinse angenommen wird, desto größer ist der Theil des schiefen Strahlenbündels S' , welcher zur Wirkung kommt und welcher bei kleineren Hinterlinsen durch die Fassung FF abgeschnitten wird. Die Folge davon ist größere Helligkeit des Bildrandes, aber auch, wie aus dem Vorhergehenden hervorgeht, größere sphärische Abweichung der schiefen Strahlen.

Das Portraitobjectiv ist ziemlich frei von Verzeichnung, das neue Dallmeyer-Objectiv soll vollkommen correct arbeiten. Sein Gesichtsfeld ist sehr verschieden; im Maximum dürfte es nicht mehr als 60° betragen. Das brauchbare Bildfeld ist jedoch, namentlich bei voller Oeffnung, viel kleiner.

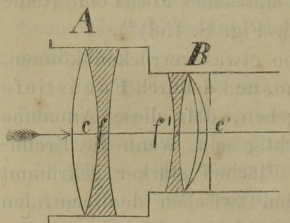
Als Beispiel sei hier das Resultat einer Untersuchung des Voigtländer-Visitobjectivs hergestellt:

Durchmesser	Brennweite	Gesichtsfeld	brauchbares Bildfeld bei voller Oeffnung
68,5 ^{mm}	230 ^m	43° 50'	22° 10'

3) Das Orthoskop.

Für Aufnahmen von Zeichnungen, Architekturen ist es von Vortheil, ein Instrument zu besitzen, welches ein möglichst ebenes Bild liefert. Diese Anforderung erfüllt das ebenfalls von Petzval berechnete Orthoskop, welches früher neben den beiden vorher beschriebenen Linsen sehr allgemein in Gebrauch war, jetzt jedoch durch die Tripletlinse grolsentheils verdrängt worden ist.

Fig. 32.



Das Orthoskop besteht aus einer großen concavconvexen Vorderlinse A mit zusammengekitteten Crown- und Flintgläsern und einem als Zerstreuungsglas wirkenden Hinterlinsencomplex B , der aus einer biconcaven Flint- und einer concavconvexen Crownglaslinse besteht.

Die Blenden sind gewöhnlich hinter der Linse angebracht.

Die Vorderlinse ist nicht vollkommen aplanatisch, sie liefert allein von axialen Strahlen ein mäfsig scharfes, von schiefen Strahlen ein sehr unscharfes und stark gewölbtes Bild. Die sphärische Abweichung der axialen Strahlen wird aber durch die zweite Linse corrigirt und der Focus zugleich verlängert. Gleiches geschieht mit dem schiefen Strahlenbündel, nur werden diese, weil dieselben durch den Rand der Zerstreuungslinse gehen, eine viel be-

deutendere Zerstreung, d. h. Focusverlängerung erfahren, als die axialen Strahlenbündel und die Folge davon ist die große Ebenheit des Bildes (s. S. 173).

Ein Uebelstand des Orthoskops ist die Verzeichnung; sie liefert die geraden Linien einwärts gekrümmt. Dieser Umstand macht sie zur Aufnahme von Zeichnungen und Architekturen weniger geschickt als die Tripletlinse.

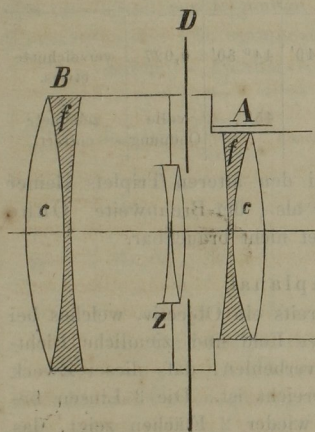
4) Die Tripletlinse.

Das Tripletobjectiv hat seinen Namen von seiner Zusammensetzung. Es besteht aus drei Linsensystemen, zwei achromatischen Sammellinsen und einer zwischengesetzten kleineren Zerstreulinse, deren Durchmesser durch Centralblenden mehr oder weniger modificirt werden kann.

Setzt man zwei gleiche Sammellinsen zu einem Doppelobjectiv mit Centralblenden zusammen, so wird man ein Bild erhalten, welches den großen Vortheil vor dem Orthoskopbild besitzt, frei von Verzeichnung zu sein und lichtstärker als eine Einzellinse gleicher Brennweite (s. die Erläuterung S. 175), dagegen würde es ein sehr stark gewölbtes Bildfeld zeigen. Diesem Fehler suchte nun zuerst Sutton durch Einführung einer concaven Zwischenlinse abzuhelfen. Diese wirkt zerstreuend, sie macht die Strahlen divergenter, den Gesamtfocus daher länger (s. S. 173).

Die schiefen Strahlenbüschel, welche stärker convergiren, gehen hierbei durch den stärker zerstreuenden Rand der Zwischenlinse, sie werden daher eine größere Focusverlängerung erfahren, als die durch die schwächer zerstreuende Mitte gehenden axialen Strahlen.

Fig. 33.



Auf diese Weise wird die starke Bildkrümmung fast ganz gehoben. Das ursprüngliche, von Sutton angegebene Tripletobjectiv war symmetrisch, Dallmeyer wich jedoch von Sutton's Angaben erheblich ab und seine Tripletobjective, welche sehr allgemein verbreitet sind, zeigen eine kleinere Vorderlinse A und eine größere Hinterlinse B.

Die Blenden D befinden sich vor der Zwischenlinse Z.

Das ganze System giebt bei voller Oeffnung Bilder, deren Mitte vollkommen scharf ist, da jedoch die relative Oeffnung bedeutend größer ist, als bei einem Portraitobjectiv, nicht so licht-

stark sind als diese. Um Schärfe nach dem Rande hin zu erhalten, bedient man sich der Blenden.

Die Tripletlinse deckt ein größeres und ebeneres Feld als die meisten Portraitlinsen und ist, richtig construirt, frei von Verzeichnung. Sie dient sehr allgemein zur Aufnahme von Zeichnungen, Architekturen und Landschaften. Zu Portraits ist sie ihrer geringeren Lichtstärke wegen wenig geeignet. Dallmeyer giebt an, dass man sie nach Herausnehmen der Zwischenlinse zum Portraitiren verwenden könne. Dadurch wird allerdings der Focus beträchtlich gekürzt, und die Lichtkraft gesteigert, das Feld erscheint jedoch alsdann sehr gekrümmt und daher das Bild mangelhafter, als bei einer gewöhnlichen Portraitlinse.

Neuerdings haben jedoch Dallmeyer und Busch Versuche gemacht, die Lichtkraft dieses Systems durch Vergrößerung der Zwischenlinse zu steigern. Auf diese Weise ist es in der That gelungen, ein Objectiv herzustellen, welches das große Gesichtsfeld und die Feldebenheit des gewöhnlichen Triplets zeigt, es jedoch an Lichtstärke bedeutend übertrifft und darin dem Portraitobjectiv nahe kommt. Busch's verbessertes Triplet ist unter dem Namen Universaltriplet bekannt (so genannt, weil seine Anwendbarkeit eine sehr vielseitige ist).

Dieses Universaltriplet leistet wegen seines großen Feldes namentlich bei Gruppenaufnahmen gute Dienste. Bedingung ist dabei freilich gutes Licht. Um einen Ueberblick über die Leistungsfähigkeit der alten und neuen Tripletlinsen zu geben, folgt hierbei das Resultat mehrerer Untersuchungen.

	Durchmesser		Brennweite	Gesichtsfeld	Bildfeld	Relative Blenden-Oeffnung	Bemerkungen
	der Vorderlinse	der Zwischenlinse					
Dallmeyer's Triplet No. 1	32 ^m	18,5 ^m	207	70° 40'	44° 30'	0,027	verzeichnete etwas.
Busch's Universaltriplet	64 ^m	50,5 ^m	390	72°	45°	volle Oeffnung	zeichnete correct.

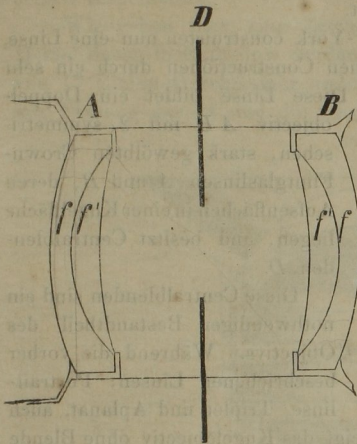
Die Zwischenlinse ist demnach bei den älteren Triplets kleiner als $\frac{1}{10}$, bei den Universaltriplets größer als $\frac{1}{5}$ der Brennweite. Ohne Zwischenlinse ist Busch's Universaltriplet nicht brauchbar.

5) Steinheil's Aplanat.

In der Tripletlinse besitzen wir bereits ein Objectiv, welches bei correcter Zeichnung ein ziemlich ebenes Feld und ziemliche Lichtstärke zeigt. Man darf jedoch nicht verhehlen, dass dieser Zweck auf eine ziemlich complicirte Weise erreicht ist. Die 3 Linsen bestehen aus je 2 Gläsern, deren jedes wieder 2 Flächen zeigt, das heißt in Summa 12 Flächen, deren jede einzelne geschliffen werden

mufs. Die grofse Anzahl der Gläser reflectirt oder absorbirt eine nicht unbeträchtliche Quantität von Licht.

Fig. 34.



Steinheil in München versuchte deshalb die Construction einer Linse, welche einfacher zusammengesetzt ist und in Bezug auf Lichtstärke, correcte Zeichnung, Ebenheit, Gesichtsfeld, dasselbe leistet, und so entstand das aplanatische Objectiv, welches in der That alle die genannten Anforderungen in anerkannter Weise erfüllt. Das Steinheil'sche Aplanat besteht aus 2 flachgewölbten symmetrischen Linsen, A, B, deren jede einzelne aus 2 Flintglasmenisken zusammengesetzt ist, die jedoch aus Gläsern von verschiedener Brechbarkeit bestehen.

Seine Construction ist das Resultat sehr gründlicher theoretischer Berechnungen des Herrn Dr. Steinheil, die jedoch bis jetzt noch nicht publicirt worden sind.

Das Aplanat giebt schon bei voller Oeffnung ($\frac{1}{7}$ der Brennweite) ein scharfes Bild über eine Fläche, dessen Durchmesser nahezu gleich $\frac{2}{3}$ der Brennweite ist, und ist daher gleich dem Universaltriplet zum Portraitiren bei gutem Licht verwendbar, obgleich es hierin der gewöhnlichen Portraitlinse nachsteht. Seine Leistungsfähigkeit ergibt sich am besten aus folgenden Resultaten der Prüfung von Seiten der Commission des Photographischen Vereins von Berlin.

Steinheil's Aplanat No. 3:

Durchmesser	Brennweite	Bildgröße für Portraits	Landschaft	Gesichtsfeld	Branchbares Bildfeld bei 0,026 Blendenöffnung	Bemerkungen
19'''	101 $\frac{1}{4}$ '''	6 $\frac{1}{4}$ '''	10 $\frac{1}{2}$ '''	—	—	nach Angabe des Preiscurants.
43mm	296,6m	6''	—	65° 20'	43° 20'	nach dem Bericht der Prüfungscommission*).

6) Das Kugelobjectiv und das Pantoskop.

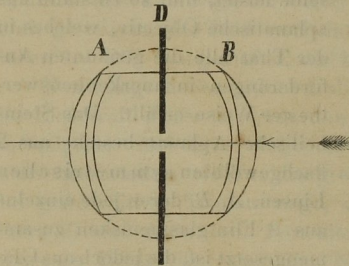
Die vorher beschriebenen Linsen zeigen alle ein nur mäfsiges Bildfeld, welches im günstigsten Falle bis 60° geht. Ein solches Bild-

*) Siehe Photogr. Mittheilungen V. Jahrg. S. 11.

feld reicht für die meisten Landschafts- und Architekturaufnahmen aus, sie genügen aber nicht, im Fall dem Arbeiter eine nur kurze Distanz zu Gebote steht, wie dies z. B. bei Aufnahmen in engen Strafsen, Interieurs etc. der Fall ist.

Harrison und Schnitzer in New-York construirten nun eine Linse, die sich von den früher vorhandenen Constructionen durch ein sehr großes Gesichtsfeld auszeichnet. Diese Linse bildet ein Doppel-

Fig. 35.



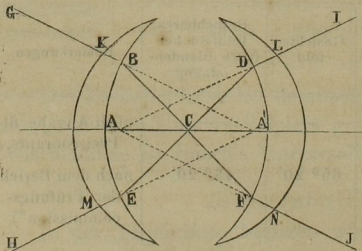
objectiv AB mit 2 symmetrischen, stark gewölbten Crown-Flintglaslinsen A und B , deren Außenflächen in einer Kugelfläche liegen, und besitzt Centrallinse D .

Diese Centrallinse ist ein nothwendiger Bestandtheil des Objectivs. Während die vorher beschriebenen Linsen: Portraitlinse, Triplet und Aplanat, auch ohne solche scharfe Bilder geben, zeigt das Kugelobjectiv ohne Blende eine sehr auffällige sphärische Abweichung, die es gänzlich unbrauchbar macht.

In Folge dessen steht es den erstgenannten Objectiven an Lichtstärke entschieden nach.

In Folge der Wirkung der kleinen Blende kommt von den auf die offene Vorderlinse fallenden Strahlenbündeln nur ein sehr kleiner Theil zur Wirkung, nämlich der, welcher nahezu senkrecht auffällt. Beistehende Figur versinnlicht den Gang eines solchen schmalen Strahlenbündels im Kugelobjectiv. Die schief auffallenden Bündel LI und NI gehen nach der Brechung durch das

Fig. 36.



Centrum des Objectivs, fallen auf die Punkte B und E , und treten abermals gebrochen parallel ihrer ursprünglichen Richtung wieder aus.

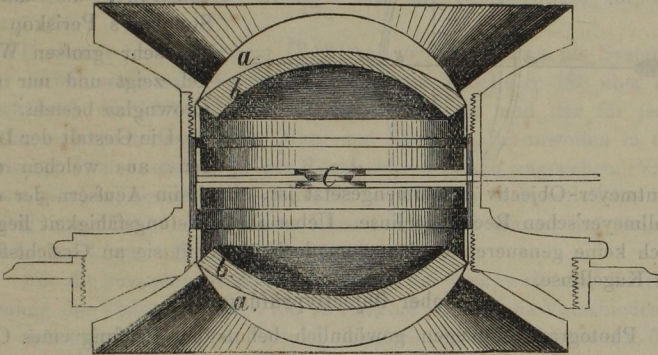
Das ursprüngliche Kugelobjectiv von Harrison zeigte nur einen Bildwinkel von höchstens 75° .

Busch in Rathenow construirte ein dem Kugelobjectiv ähnliches Instrument, welches das Harrison'sche an Bildgröße weitaus übertrifft und den erstaunlichen Bildwinkel von 90° (Gesichtsfeld 105°) zeigt. Das Bild, welches eine solche Linse liefert, ist doppelt so lang als die Brennweite desselben.

Die Einrichtung des Instruments ist eine den Kugelobjectiven ähnliche. Die äusseren Flächen liegen jedoch nicht auf einer und derselben Kugelfläche.

Wir geben hier eine Zeichnung des Instruments, welche wir Herrn Busch in Rathenow verdanken, sie stellt das Pantoskop No. 5 von 17 Linien Durchmesser und 20 Zoll Bildlänge in Originalgröfse mit Fassung dar; *a* sind die Crownglas-, *b* die Flintglaslinsen.

Fig. 37.



Das Kugelobjectiv übertrifft es nicht nur in Bezug auf ebeneres Bildfeld und gröfseres Gesichtsfeld, sondern auch in Bezug auf Lichtstärke und auf gröfsere Schärfe. Wegen der Schmalheit des zur Wirkung kommenden Strahlenkegels zeigen die Linsen grofse Tiefe.

Ein Uebelstand dieser Objective von sehr weitem Gesichtsfeld ist das Abnehmen der Lichtstärke nach dem Rande des Bildes hin. Dieser Umstand veranlafst, dafs die Ränder des Bildes oft noch unterexponirt erscheinen, wenn die Mitte bereits ausexponirt ist, und tritt dieser Fehler, namentlich wenn die Mitte des Bildfeldes mit hellen, der Rand mit dunklen Gegenständen ausgefüllt ist, stark hervor. Ferner liefern sie nicht selten den fatalen Lichtfleck (s. S. 177, 178)*).

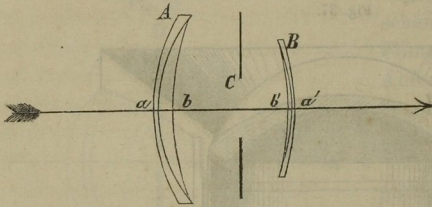
Bei Anwendung dieser Instrumente ist ferner darauf zu achten, dafs dieselben leicht übertrieben erscheinende Perspectives geben, d. h. die nahen Gegenstände erscheinen zu grofs, die fernen zu klein.

Gleichzeitig mit Busch's Pantoskop construirte Steinheil in München sein Periskop, ein Instrument, das ebenfalls ein Gesichtsfeld von 90° zeigt, und das merkwürdigerweise nur aus 2 Crownglaslinsen besteht. Leider zeigt das Instrument Focaldifferenz, ein Umstand, der seine praktische Anwendbarkeit wesentlich beeinträchtigt.

*) Neuerdings ist es Herrn Busch gelungen, durch geeignete Stellung der Blenden den Lichtfleck ganz wegzuschaffen.

Als neuestes Product in diesem Gebiete ist Dallmeyer's Rectilinearlinse zu erwähnen. Diese dem Pantoskop an Leistungsfähigkeit nabekommende Linse besteht aus 2 achromatischen Menisken *A* und *B* mit zwischengestellter Blende. Die Stellung der letzteren ist so gewählt, dafs der Lichtfleck, der sich bei Kugelobjectiven in so unangenehmem Grade zeigt, vermieden ist*).

Fig. 38.



Zentmeyer in Philadelphia hat eine Linse construiert, die analog Steinheil's Periskop einen sehr grossen Winkel zeigt und nur aus Crownglas besteht.

Die Gestalt der Linsen, aus welchen das Zentmeyer-Objectiv zusammengesetzt ist, ähneln im Aeufsern der der Dallmeyer'schen Rectilinearlinse. Ueber ihre Leistungsfähigkeit liegen noch keine genaueren Proben vor, doch übertrifft sie an Gesichtsfeld die Kugellinse.

Ueber Objectivprfungen.

Photographen pflegen gewöhnlich behufs der Prüfung eines Objectivs ein paar Versuchsaufnahmen mit dem fraglichen Objective zu machen. Solche sind sehr schätzbar, sie geben aber dennoch nur einen ungefähren Anhalt, denn man erfährt dadurch nur die Bildgröfse, die Schärfe nach dem Rande hin und die Freiheit von Focusdifferenz und Verzeichnung. Ueber die Lichtstärke aber gewinnt man nur ein sehr oberflächliches Urtheil, und was die Bildgröfse anbetrifft, so bildet diese für sich allein noch keinen Mafsstab für den Werth eines Objectivs.

Häufig sagt man: ein Portraitobjectiv, welches eine doppelt so hohe Figur liefert, als sein Durchmesser, ist ein gutes.

Man braucht aber nur in die Preiscourants der Optiker zu blicken, um zu erkennen, dafs die Bildgröfse bei Objectiven derselben Oeffnung total verschieden ist. Z. B. giebt der Busch'sche Dreizller (s. S. 184)

System	Brennweite	Preis
I ein Bild von 7 × 9 Zoll	12 Zoll	46 Thlr.
II - - - 6 × 7½	10 $\frac{7}{10}$	51 -
III - - - 4¾ × 6¼	9 $\frac{2}{10}$	60 -
IV - - - 4¼ × 5¼	7 $\frac{7}{10}$	70 -

Nimmt man die Bildgröfse als Ausgangspunkt, so würde der erste der beste sein. Nun ist aber gerade der letzte, welcher das kleinste Bild liefert, der theuerste. Worin beruht demnach der Unterschied?

*) Siehe Photogr. Mittheil. IV. Jahrg. S. 143.

Es ist die Brennweite. Je kürzer die Brennweite, desto größer ist, bei gleicher Oeffnung, die Lichtstärke. Hieraus geht schon die Wichtigkeit der Brennweitenbestimmung zur Beurtheilung der Güte eines Objectivs hervor. Kennt man die Brennweite, so kann man zunächst einen Schlufs auf die Lichtstärke machen. Die Lichtstärken verhalten sich bei gleicher Oeffnung umgekehrt wie die Quadrate der Brennweiten (s. S. 177).

Nimmt man z. B. No. IV und I zum Vergleich, so verhalten sich deren Lichtstärken wie 12^2 zu $7\frac{7}{10}^2$, d. h. wie 144 zu $59\frac{29}{100}$ oder fast wie $1:2\frac{1}{2}$.

Demnach ist das System IV $2\frac{1}{2}$ mal so lichtstark als System I und darin beruht sein Vorzug. (Siehe die Tabelle S. 185 über das Verhältniß der Lichtkraft der einzelnen Systeme und der für jedes nöthigen Expositionszeiten.) Nun sind aber die Brennweiten in den optischen Preisouranten in der Regel sehr ungenau angegeben. Viele Leute glauben, Brennweite sei die Entfernung der matten Scheibe von der Hinterlinse bei scharfem Einstellen. Dies stimmt nur für die einfache Linse, nicht für die zusammengesetzte.

Für die zusammengesetzten Linsen ist die Brennweite und die Entfernung der Visirscheibe von der Hinterlinse etwas ganz Verschiedenes.

Ich nehme gleich als Beispiel den Steinheil. Die Brennweite desselben ist im Preisourant zu $10\frac{1}{4}$ Pariser Zoll, d. h. 0,276 Meter angegeben. Derselbe betrug jedoch nach meinen Messungen 0,296 Meter. Da nun häufig genug ähnliche Abweichungen vorkommen, man oft nicht einmal weiß, ob unter Brennweite die Entfernung der matten Scheibe von der Hinterlinse oder der wirkliche aequ. Focus verstanden ist, so ist es von Wichtigkeit diesen selbst genau zu bestimmen. Zur genauen Focusbestimmung hat man verschiedene Wege empfohlen. Wir haben alle durchprobirt und halten die beiden folgenden für die einfachsten und zuverlässigsten.

Erste Methode.

Man wähle ein recht charakteristisches, vom Atelier sehr entferntes Object, z. B. ein Haus, einen Thurm etc. Auf dieses stelle man mit Hülfe einer einfachen planconvexen Landschaftlinse scharf ein (die Vorderlinse eines Portraitobjectivs, wenn sie planconvex ist, ist für diesen Zweck in umgekehrter Lage, die plane Seite dem Object zugewendet, sehr gut brauchbar).

Man mache eine Aufnahme, in welcher das Prüfungsobject auf die Mitte der Platte fällt und dann messe man genau

1) die Entfernung der matten Scheibe vom Objectiv,

2) die Größe des Thurmes oder Hauses im Bilde.

1 ist die Brennweite der einfachen Linse.

2 ist die dieser Brennweite entsprechende Bildgröße.

Die Probeplatte bewahre man auf, die gewonnenen Zahlen notire man. Will man nun irgend ein Objectiv prüfen, so stelle man es auf genau denselben Ort mit der Camera auf, stelle genau auf dasselbe Object unter denselben Verhältnissen scharf ein, mache eine Probeplatte und messe die Gröfse des Thurmes im Bilde.

Die Brennweiten zweier Objective stehen nun in demselben Verhältnifs, wie die Gröfsen der Bilder eines und desselben sehr entfernten Gegenstandes, von demselben Standpunkte aus aufgenommen. War z. B. der Thurm in dem Bilde der einfachen Linse = 10 Linien, in dem Bilde des neuen Objectivs = 20 Linien, so ist die Brennweite der letzteren doppelt so groß, als die der einfachen Linse.

Zweite Methode.

Man setze das in Bezug auf die Brennweite zu untersuchende Objectiv in eine Camera mit langem Auszug ein, schneide aus schwarzem Papier einen Streifen von circa 4 Zoll Länge mit parallelen Kanten und halbire ihn der Länge nach, d. h. man schneide ihn mit dem Messer in zwei Hälften. Die eine Hälfte klebe man auf ein weißes Brett oder auf eine weiße Pappe, die andere Hälfte auf die matte Seite der Visirscheibe in der Camera, und zwar beide Mal in senkrechter Richtung. Man stelle nun das Objectiv auf den schwarzen Streifen ein, und nähere die Camera, welche auf einer horizontalen Ebene steht, so lange dem Object oder entferne sie von demselben, bis der Streifen auf der matten Tafel genau dieselbe Länge hat, wie das danebenstehende, scharf eingestellte Bild des andern Streifens. Um die obere Grenze des abgebildeten Streifens leicht in Uebereinstimmung mit der oberen Grenze des auf der matten Tafel befestigten Streifens bringen zu können, hat man nur nöthig, das Brettchen resp. die Pappe an einer Schnur zu befestigen und letztere um einen in die Wand geschlagenen Nagel zu legen. Man kann auf diese Weise die gewünschte Regulirung leicht ausführen und hat dann nur zu sehen, ob auch die unteren Kanten zusammentreffen. Ist dies nicht der Fall, so muß die Camera wieder verschoben werden etc. Stimmt die Länge überein, so nehme man das Objectiv heraus, ohne die Camera zu verrücken, und messe die Entfernung der matten Tafel bis zum Object. Dieses Maß dividirt durch 4, ist die äquivalente Brennweite des Objectivs.

Beweis.

p = Brennweite, d = Entfernung des Objects bis zum optischen Mittelpunkt, f = Vereinigungsweite, d. h. Entfernung des optischen Mittelpunktes bis zum Bilde. Es ist dann nach der Formel (s. S. 153)

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad p = \frac{df}{d+f}$$

Ist nun $f = d$, so ist

$$p = \frac{d \cdot d}{d + d} = \frac{d \cdot d}{2d} = \frac{d}{2},$$

$$2d = d + f,$$

$$p = \frac{d + f}{4}.$$

Hat man auf diese Weise die Brennweite eines einfachen Landschafts-Objectivs festgestellt, so kann man nun den oben angegebenen Weg weiter verfolgen. Man stelle das Objectiv auf ein sehr entferntes Object, z. B. auf einen Thurm ein, mache eine Aufnahme, bei welcher das Prüfungs-Object auf die Mitte der Platte fällt und messe die Gröfse des Objects genau im Bilde; und dieses Mafs ist die der Brennweite entsprechende Bildgröfse. Die Brennweite eines anderen Objectivs, gleichviel welcher Construction, findet man dann natürlich aus dem Verhältnifs der Mafse des Prüfungs-Objects im Bilde.

Gut ist es, wenn man auf die schwarzen Streifen noch eine feine Druckschrift klebt, man kann dann ganz bedeutend sicherer einstellen.

Kennt man nun die Brennweite, so kann man mit ziemlicher Sicherheit einen Schluss auf die Lichtstärke machen.

Man dividirt die Oeffnung durch die Brennweite und erhebt diese Zahl in's Quadrat. So ist z. B. dieser Bruch für

Voigtländer	Auzoux	Busch	Steinheil
Visit	Dreizöller	Portraittrilet	
68,5	76	64	43,5
230,4	350,5	390	303,06

oder in einfachen Zahlen ausgedrückt:

$\frac{1}{3 \frac{4}{11}}$	$\frac{1}{4 \frac{4}{7}}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$
----------------------------	---------------------------	---------------	---------------

Diese Zahlen ins Quadrat erhoben, erhält man:

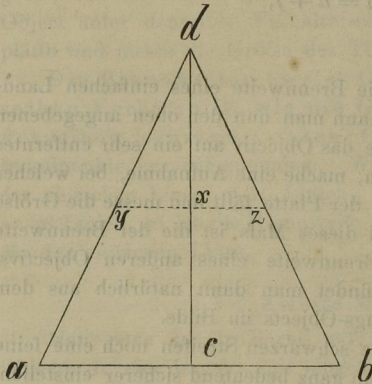
$\frac{1}{11,3}$	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{36}$	$\frac{1}{49}$
------------------	----------------	----------------	----------------

In demselben Verhältnifs werden theoretisch die Lichtstärken der einzelnen Objective zu einander stehen. Die Praxis erweist freilich manche Abweichungen von dieser Theorie, der mehr oder weniger feine Schliff und die Farbe und Form des Glases spielen hier eine große Rolle. Verfasser besafs 2 Dallmeyer-Stereoskoplinsen von genau gleicher Oeffnung und Brennweite, von denen die eine auffallend lichtschwächer war, als die andere. So lange man aber noch kein genaues Mittel zur Bestimmung der Lichtstärke besitzt, wird die angeführte Rechnung wenigstens einen annähernden Anhaltspunkt zur Bestimmung dieses wichtigen Factors geben.

Eben so wichtig, wie zur Beurtheilung der Lichtstärke ist die Brennweite zur Beurtheilung des Gesichtsfeldes einer Linse. Um dieses zu bestimmen, schraube man die Linse an eine möglichst

grofse Camera, so dafs man auf der matten Scheibe den Lichtkreis deutlich sieht.

Fig. 39.



Man messe den Durchmesser desselben genau und trage denselben auf ein Stück Papier (siehe beistehende Figur *ab*). In der Mitte errichte man eine Senkrechte *dc*, mache dieselbe gleich der Brennweite und construiere dann das Dreieck *adb*. Der Winkel bei *d* ist das Gesichtsfeld der Linse. Dieser kann mit dem Transporteur gemessen werden.

Besitzer trigonometrischer Tabellen haben diese Construction nicht nöthig, sondern können aus dem Lichtkreishalbmesser und der Brennweite den Winkel durch Rechnung bestimmen. Die Tangente des halben Gesichtsfeldwinkels ist gleich dem Radius des Lichtkreises, getheilt durch die Brennweite.

Macht man nun eine Aufnahme, in welcher der ganze Lichtkreis sichtbar ist, so findet man alsbald, dafs nur der mittlere Theil desselben scharf und brauchbar ist und dafs sich die Schärfe mit der Kleinheit der Blende immer weiter nach dem Rande hin ausdehnt. Wie weit die Schärfe nun für die Praxis brauchbar ist, hängt sehr von der individuellen Ansicht ab. Manche Photographen sind in dieser Hinsicht unglaublich penibel, manche sind mit mäfsigen Anforderungen zufriedengestellt.

Auch die Natur des Gegenstandes (ob Portrait oder Landschaft, oder Reproduction) spielt hier eine grofse Rolle. Will man nun bestimmen, wie grofs das wirklich brauchbare Bildfeld einer Linse sei, so suche man von der Mitte des Gesichtsfeldes nach dem Rande hin die äufsersten Punkte, für welche die Schärfe noch hinreichend ist, und messe mit dem Zollstocke den Durchmesser dieser hinreichend scharfen Bildtheile.

Führt man damit dieselbe Construction wie oben aus, so erhält man den brauchbaren Bildwinkel.

Einschieben von Blenden hat natürlich auf Ausdehnung desselben grofsen Einflufs und mufs daher die Blendenöffnung bei Vergleichung zweier Objective in Rücksicht gezogen werden. Es ist jedoch falsch, hier blos den Durchmesser der Blende zu messen. Man mufs, um einen richtigen Mafsstab zu erhalten, die Blendengröfse durch die Brennweite des betreffenden Objectivs dividiren.

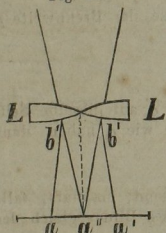
Die Bildgröße gilt natürlich nur für den Fall, daß die matte Scheibe nahezu im Focus steht. Anders ist dies aber, wenn das Bild vom Brennpunkte fortrückt. Eine Visitenkarten-Linse giebt z. B. im Brennpunkte ein 3 Zoll großes Bild eines Menschen, umgekehrt würde es von einem 3 Zoll großen, im Brennpunkte aufgestellten Objecte ein circa 5 Fufs großes Bild entwerfen können. Die Bildgröße ist demnach nur relativ, wenn man sie in Maßen angiebt; der Bildwinkel bleibt dagegen in allen Fällen derselbe.

Das Stereoskop.

Betrachtet man mit beiden Augen einen nahen Gegenstand, so ist die Ansicht, die jedes der Augen von demselben hat, verschieden. Das linke sieht mehr von der linken, das rechte mehr von der rechten Seite des Körpers. Beide Ansichten combiniren sich und geben körperlichen Eindruck.

Weathstone versuchte nun 1838 einen ähnlichen Effect zu erzielen durch Betrachtung zweier neben einander gelegten Bilder eines Körpers, von denen das eine der Ansicht mit dem rechten, und das andere der Ansicht mit dem linken Auge entsprach, und sein Versuch glückte. Er sah die ebenen Figuren körperlich. Die von ihm benutzten Figuren wurden mit der Hand gezeichnet und bestanden aus einfachen Linien und Kreisen, welche sich leicht entwerfen ließen. Schwieriger wurde aber die Aufgabe von Construction solcher Bilder complicirter Gegenstände, wie Personen, Landschaften. Diese wurden erst möglich durch die Photographie. Gleichzeitig brachte man auch ein handliches Instrument zur Betrachtung solcher Bilder in Anwendung, das von Brewster erfundene Stereoskop, welches jetzt Eigenthum eines jeden Salons geworden ist. Stereoskopen- und Visitenkartenbilder wetteifern darum, sich den Rang streitig zu machen, und beide Artikel sind ein Sporn für den Photographen geworden, das möglichst Vollkommenste für einen möglichst billigen Preis zu leisten.

Fig. 40.



Das Brewster'sche Stereoskop besteht aus zwei prismatisch erscheinenden Gläsern LL , welche, mit ihren Grundflächen zusammengesetzt, eine Sammellinse bilden würden. Beide Gläser faßt man so in ein ausgeschnittenes Brett, daß sich die scharfen Kanten der Gläser gegenüberstehen und beide ungefähr der Stellung der Augen entsprechen. Sieht man alsdann ein Stereoskopenbild durch diese Gläser an, indem man beide dicht vors Auge hält und das Bild in die Entfernung bringt, innerhalb welcher es deutlich erscheint, so decken sich die getrennt erscheinenden Bilder und machen jetzt einen vollständig körperlichen Eindruck.

Die Deckung ist daraus zu erklären, daß die Linsen analog Prismen wirken, d. h. die Schlinen nach der Richtung der brechenden Kanten hin ablenken.

Sind a und a' zwei entsprechende Punkte im Stereoskopenbild, L und L' die Linsen (Fig. 40), so werden die Strahlen ab und ab' so abgelenkt, als kämen sie von einem einzigen Punkte a'' *).

Falls diese Erscheinung normal vor sich gehen soll, muß man dafür sorgen, daß die Stereoskopenbilder in richtiger Entfernung von einander aufgeklebt sind. Ein Versuch giebt leicht die nöthigen Anhaltspunkte. Da die Stereoskopengläser Linsen sind, so wirken sie gleichzeitig als Loupen, d. h. sie vergrößern**). Diese Vergrößerung ist gleich der Summe aus der Weite des deutlichen Sehens ($8''$) und der Brennweite, getheilt durch die Brennweite. Da die Gegenstände durch die Linse in die Weite des deutlichen Sehens gerückt werden und diese bei verschiedenen Personen verschieden ist, so folgt, daß auch die Entfernung des Bildes von den Gläsern je nach der Individualität des Beschauers verschieden gewählt werden muß.

Man hat daher Stereoskopen mit verstellbaren Gläsern.

Gewöhnlich liegt das Bild nicht weit vom Brennpunkt der Linse, welche zur Betrachtung dient. Wichtig ist hier noch, daß die Brennweite der Linsen, welche zur Aufnahme des Bildes gedient haben, mit der Brennweiten der Linsen, welche zur Betrachtung dienen, möglichst übereinstimmen. Geschieht dies nicht, so entsteht ein falscher stereoskopischer Effect. Daher die übertriebene Perspective von Bildern, die mit Linsen von sehr kurzer Brennweite aufgenommen worden sind, wenn sie mit nur schwach vergrößernden Stereoskopen betrachtet werden.

Zur Aufnahme von Stereoskopenbildern bedient man sich entweder einer Camera mit zwei Objectiven, deren Entfernung ungefähr der

*) Ebenso leicht erklärt sich die Erscheinung aus der Linsenbrechung für schiefe Strahlenbündel (siehe S. 161).

**) Ist a die Entfernung eines Gegenstandes von der Linse der Brennweite p , α die Entfernung seines Bildes, so ist

$$a = \frac{\alpha p}{\alpha - p}.$$

Ist die Entfernung a kleiner als die Brennweite, so rückt α auf dieselbe Seite mit dem Gegenstand, muß daher ein entgegengesetztes Zeichen wie α haben, dann wird

$$a = \frac{\alpha p}{\alpha + p}.$$

Denkt man sich nun das Auge unmittelbar am Glase liegend, so muß, falls der Gegenstand deutlich erscheinen soll, die Entfernung α seines Bildes gleich der Weite des deutlichen Sehens W sein. Demnach haben wir

$$a = \frac{Wp}{W + p}.$$

Die Vergrößerung ist daher $\frac{W}{\alpha} = \frac{W + p}{p}$.

der Augen ($2\frac{1}{2}''$) entspricht, oder man nimmt die Bilder mit einer einfachen Camera nach einander auf, indem man dieselbe erst in die Stellung des rechten, dann in die des linken Auges bringt.

Für sehr entfernte Gegenstände muß man die Entfernung des Standpunkts der Camera behufs der Aufnahme der beiden Bilder etwas größer nehmen, wenn sie hinreichend plastisch erscheinen sollen. Man vergrößert dieselbe bei Landschaften oft bis zu mehreren Fufs.

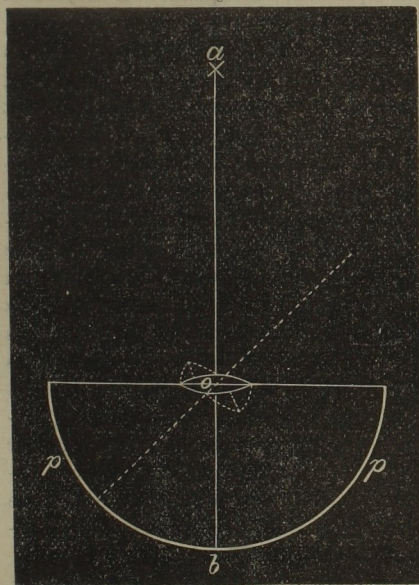
Für nahe Gegenstände hat Distanzübertreibung den Nachtheil, daß sie übermächtig plastisch erscheinen und Extremitäten, wie Nase, Hände, fußweit aus dem Körper herauszuwachsen scheinen.

Der Panoramenapparat und die photographische Geodäsie (Photogrammetrie).

Die bei Weitem meisten photographischen Apparate haben ein nur mäßiges Gesichtsfeld und gestatten daher nur selten die Aufnahme breiter Ansichten, wie dieselben sich häufig genug in Gebirgen, am Meere etc. vorfinden, z. B. Rigi-Panoramas, Faulhorn-Panoramas. Martens, ein in Paris lebender Kupferstecher, kam deshalb auf die Idee, solche Bilder mit Hülfe einer sich drehenden Camera zu machen, welche nach und nach den ganzen Horizont beschreibt.

Er construirte 1847 eine Camera mit cylindrischer Daguerreotypplatte. Diese stand fest, die Camera mit dem Objectiv drehte

Fig. 41.



sich, letzteres wirkte nur durch eine schmale streifenförmige Blende.

Es ist leicht zu beweisen, daß trotz der Drehung der Linse das Bild eines und desselben Gegenstandes stets auf denselben Punkt der Platte fallen muß.

Das Bild eines Punktes liegt immer auf der geraden Linie, welche von dem Punkte durch den Mittelpunkt des Objectives gezogen wird.

Ist a ein solcher Punkt, o der Mittelpunkt des Objectivs, pp die cylindrische Platte, so liegt das Bild des Punktes auf der durch die Platte von o gezogenen

Linie ab . Wird das Objectiv nun um seinen Mittelpunkt gedreht (wie in der Figur punktiert angedeutet ist), so bleibt das Bild von a nach dem angedeuteten Grundsatz dennoch auf derselben Linie ab (weil a und o unverrückt ihren Stand behalten), wird also wieder auf den Punkt b der Platte fallen, daher werden sich trotz der Bewegung des Objectivs alle Punkte der vorliegenden Gegenstände scharf abbilden.

Natürlich gilt dieser Satz nur, falls die Strahlen keinen zu großen Winkel mit der Axe bilden. Man setzt deshalb der Linse gegenüber eine Schlitzblende, deren Oeffnung parallel der Drehaxe ist und welche sich gleichzeitig mit dem Objectiv bewegt.

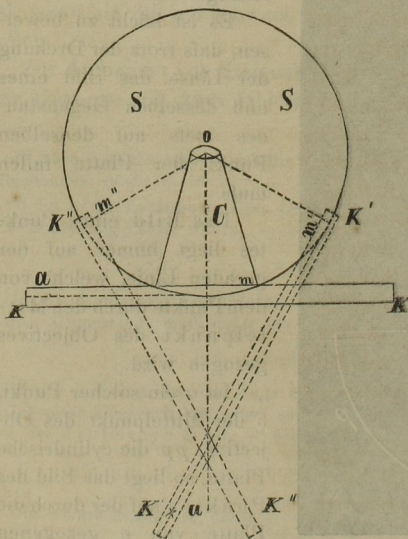
Ein Mangel der Martens'schen Apparate war die cylindrische Platte, deren Präparation im gewöhnlichen Collodionproceß sehr schwierig ist.

Brandon führte deshalb statt derselben eine ebene Platte ein, welche sich während der Rotation auf der cylindrischen Bildfläche gleichsam abwälzt, der Bewegung des Objectivs folgend.

Der Mechanismus, um diese Bewegung in exacter Weise zu bewirken, ist äußerst verschieden und sind die Meinungen über die praktischste Constructionsweise noch getheilt.

Gewöhnlich stellt man die Camera C mit dem Objectiv o auf eine runde horizontale Metallscheibe SS ; die Camera ruht auf Rädchen und dreht sich um eine durch den optischen Mittelpunkt des Objectives gehende Axe.

Fig. 42.



Die Räder werden durch ein Uhrwerk in Umdrehung versetzt. Die Cassette läuft ähnlich wie bei einer Visitenkartencamera verschiebbar in einem Falz. Ein um die Scheibe SS geschlungener Faden, dessen Ende tangential ausläuft und am Ende der Cassette bei a befestigt ist, bewirkt, daß sie bei der Bewegung des Apparats sich verschiebt und die Stellungen einnimmt, die in beifolgender Figur in drei Phasen (Anfang $K'K'$, Mitte KK , Ende der Bewegung $K''K''$) angedeutet sind.

Die Bilder, die man mit

diesem Apparat erhält, sind offenbar Projectionen auf einem abgewickelten Cylindermantel. Die senkrechten Linien geben sich auf demselben senkrecht wieder, die horizontalen dagegen prägen sich, wenn sie nicht mit dem Horizont des Apparats zusammenfallen, als Curven aus.

Nimmt man daher mit diesem Apparat ein Haus oder eine Straßensfront auf, so wird der Sims oder die First sich als eine nach oben, der Sockel sich als eine nach unten gewölbte krumme Linie abbilden, die um so unangenehmer wirkt, je länger sie ist, und je weiter sie vom Horizont abliegt. Für Architekturbilder ist daher solch ein Apparat nur innerhalb sehr beschränkter Fälle brauchbar. Für solche Zwecke ist eine Weitwinkellinse entschieden vorzuziehen.

Nun müssen wir aber auf einige Eigenschaften der Panoramenbilder aufmerksam machen, welche von unberechenbarer Wichtigkeit für das Ingenieurwesen, speciell für die Geodäsie und mathematische Geographie sind und früher oder später eine hochwichtige Anwendung der Photographie in den Triangulations- und Vermessungsmethoden veranlassen dürften.

Da die Bilder Projectionen auf einem Cylindermantel sind, so ist es offenbar, daß die Abstände der horizontal neben einander liegenden Gegenstände auf dem Bilde sich genau ebenso verhalten, wie die Winkelabstände der Gegenstände in der Natur.

Man kann demnach mit Hülfe eines Maßstabes, wenn man die Größe eines Grades kennt, aus einem Panoramenbilde ebenso gut die Winkeldistanzen bestimmen, wie durch directe Messung in der Natur mit Hülfe eines Theodolithen oder einer Boussole.

Behufs der Aufnahme einer Gegend mit Hülfe dieses Instrumentes und Entwerfung eines Planes oder einer Landkarte, bedarf man zunächst einer geraden Linie, der Standlinie, deren Länge genau zu messen ist. Die Boussole wird nach einander in den beiden Enden dieser Linie aufgestellt und die Winkel gemessen, welche die Gesichtslinien der verschiedenen Gegenstände, deren Entfernung man bestimmen will, mit der Standlinie machen.

Ganz analog würde man auch mit dem Panoramenapparat zu verfahren haben. Statt aber mühsam die einzelnen Häuser, Bäume und Pfähle abzuvisiren, macht man einfach zwei Aufnahmen von den beiden Endpunkten der Standlinie.

Man sorgt für genaueste Horizontalstellung des Apparates und richtet ihn bei der Aufnahme so, daß auf den beiden Bildern das durch eine Fahne bezeichnete andere Ende der Standlinie sichtbar ist.

Man erhält so zwei Bilder, mit deren Hülfe man die Lage aller Gegenstände, die überhaupt im Bilde sichtbar sind, jedes Strauches, jedes Hauses, jedes Pfahles, wenn es sein muß, auf das Exacteste bestimmen kann.

Wollte man dies mit den gewöhnlichen Mefsinstrumenten ausführen, man würde Tage lang an einem Punkte der Standlinie mit Messungen zubringen müssen, und dennoch nicht diese Details erreichen.

Die Art der Bestimmung der Winkelabstände aus dem Panoramenbilde ist nun sehr einfach.

Man kennt den Radius des Drehungskreises des Apparates. Die Länge des Kreisumfangs ist dann $2r\pi$, die Gröfse eines Grades auf dem Bilde $\frac{r\pi}{180}$.

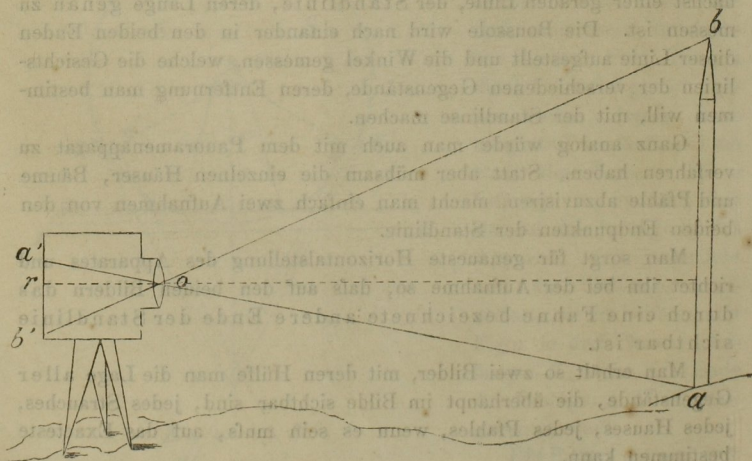
Braun's Panoramenbilder haben bei 120° eine Länge von $18''$, demnach hat der Grad die Länge von $1\frac{1}{2}$ Linien. Es wäre ein Leichtes, daraus noch Minuten und Bruchtheile von Minuten mit Hülfe eines Nonius zu bestimmen.

Diese Messungen müfsten der Genauigkeit halber am Negativ ausgeführt werden, da Abdrücke davon auf Papier sich immer etwas zusammenziehen, also in ihrer Länge variabel sind.

Um diesen Fehler zu umgehen, thut man, wie oben gerathen wurde, gut, vor der Aufnahme zwei Punkte abzustecken, welche genau einen rechten Winkel mit der Standlinie bilden. Diese Punkte bilden sich dann mit ab und geben die Basis für die weitere Eintheilung der Bilder. Man theilt das durch sie eingeschlossene Bildfeld in 90 Theile und hat so die Länge eines Grades.

Ebenso gut aber, wie die Lage der Gegenstände auf einem Bilde, läfst sich auch die Höhe der Gebäude, Bäume, Thürme aus demselben bestimmen.

Fig. 43.



Behufs dieser Bestimmung muß man kennen: 1) die Entfernung der zu messenden Gegenstände vom Standorte, diese läßt sich nach der oben angegebenen Weise aus zwei Panoramenbildern entnehmen, 2) den Sehwinkel der betreffenden Gegenstände, 3) den Horizont.

Ist ab (Fig. 43) ein Thurm, ao und bo Lichtstrahlen vom obern und untern Ende desselben nach dem Mittelpunkte des Objectivs gezogen, so ist der Winkel bei o der Sehwinkel; das Bild des Thurmes auf der Platte $a'b'$ erscheint vom Objectiv aus unter demselben Winkel $b'o'a'$. Der Horizontale ro theilt diesen Winkel in 2 Theile, deren Tangenten $\frac{a'r}{or}$ und $\frac{b'r}{or}$ sind, or ist aber gleich der Brennweite des Objectivs.

Die Höhe vom Horizont des Beobachters aus ist dann, wenn die Entfernung E ist $= E \frac{a'r}{or}$ und die ganze Höhe vom Fusse des Gegenstandes aus $E \cdot \frac{a'b'}{or}$.

Hier ist nun von Wichtigkeit, den Horizont des Bildes, der durch die optische Axe des Objectivs geschnitten wird, genau zu bestimmen. Es kann dies geschehen mit Hülfe zweier Zeichen, die vorher genau mit Hülfe eines Nivellirinstrumentes in einer Horizontalenebene mit dem optischen Mittelpunkt des Objectivs aufgestellt werden und sich nachher auf dem Bilde mit abbilden. Dazu können die beiden Stangen angewendet werden, welche zur Absteckung des rechten Winkels (siehe oben) dienen.

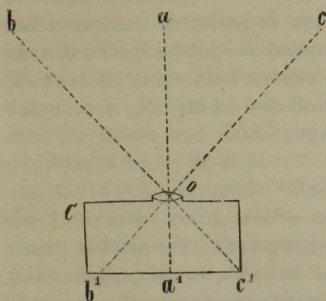
Wie die Höhe des Gegenstandes aus der Tangente des Höhenwinkels abgeleitet werden kann, kann auch der horizontale Abstand aus der Tangente bestimmt werden.

Hierzu kann jedes mit einer correct zeichnenden photographischen Linse und einem gewöhnlichen feststehenden Apparat aufgenommene Bild dienen.

Sind cb zwei einer Camera gegenüberliegende Punkte, $b'c'$ ihre Bilder, a' der Augenpunkt, d. h. der Durchschnittspunkt der Objectivaxe mit der Platte, oa' die Brennweite, so sind $\frac{a'c'}{oa}$ und $\frac{b'a'}{oa}$ die Tangenten der Azimuthwinkel aob und aoc .

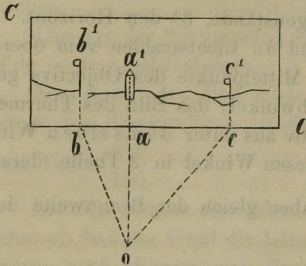
Klebt man solch ein photographisches Bild (Fig. 45) auf ein Zeichenbrett und projicirt die Punkte $b'c'$ auf die Horizontale, macht

Fig. 44.



ferner ao gleich der Brennweite, so kann man den Azimuthwinkel $ao b$ und $ao c$ constructiv bestimmen.

Fig. 45.



Nothwendig ist hierbei die genaue Fixirung des Augenpunktes a , und des Horizontes. Meydenbauer, der dieses Mefsverfahren zu einem hohen Grade der Vollkommenheit ausgebildet hat, erreicht dieses mit Hülfe eines in der Camera vor der Platte ausgespannten Fadenkreuzes, welches sich auf der empfindlichen Schicht mit abbildet. Als Objectiv benutzt er Busch's Pantoskop.

Hier ist nun von Wichtigkeit, den Horizont des Bildes, der durch die optische Axe des Objectivs gemittelt wird, genau zu bestimmen. Es kann dies geschehen auf zwei Arten, die vor- und nachher auf demselben Mittelinstrumente in zwei Horizontal-ebenen mit dem optischen Mittelpunkt des Objectivs angebracht werden können. Man kann die beiden sich wieder auf demselben Mittelinstrumente anbringen lassen, welche zur Abweichung des rechten Winkels (siehe oben) dienen.

Wie die Höhe des Gegenstandes aus der Tangente des Höhenwinkels abgeleitet werden kann, kann auch die horizontale Ab- stand aus der Tangente bestimmt werden.

Hierzu kann jedes mit einer correct zueinander gesetz- ten optischen Linse und einem gewöhnlichen feststehen- den Apparat abgenommene Bild dienen.

Sind es zwei einer Camera ge- genüberliegende Punkte, so ist das Bild a' der Augenpunkt a der Durchsichtspunkt der Opti- kaxe mit der Platte, oa' die Brenn- weite; so sind $\frac{oa'}{oa}$ und $\frac{b'a'}{ba}$ die Tangenten der Azimuthwinkel $ao b$ und $ao c$.

Klebt man solch ein photogra- phisches Bild (Fig. 45) auf ein Nei- clebrett und projicirt die Punkte b' , c' auf die Horizontale, macht