Deutsche Photogr.-Bibliothek.

BAND V.

M. von ROHR.

GESCHICHTE UND THEORIE des photographischen Teleobjectivs.

WEIMAR.

g der Deutschen Photographen - Zeitung.

(K. Schwier.)

Zur Geschichte und Theorie

des

photographischen Teleobjectivs

Deutsche Photographen-Bibliothek.

Band V.

Zur Geschichte und Theorie

des

photographischen Teleobjectivs.

Weimar.
Verlag der Deutschen Photographen-Zeitung.
(K. Schwier.)
1897.

Zur Geschichte und Theorie

des

photographischen Teleobjectivs

mit besonderer Berücksichtigung der durch
die Art seiner Strahlenbegrenzung bedingten Perspective.

Von

Moritz von Rohr, Dr. phil.
in Jena.

Weimar.
Verlag der Deutschen Photographen-Zeitung.
(K. Schwier.)
1897.

Zell1, m012, MAG, PM2

Inhaltsverzeichniss.

Vorwort.

Den Anlass für die nachfolgende Studie ergaben die Vorarbeiten zu der von Herrn P. Rudolph im Anfang des vorigen Jahres herausgegebenen Gebrauchsanleitung für Teleobjective.

Lag es schon nahe, nach der vorläufigen Anstellung der historischen Vorstudien hierin eine gewisse Vollständigkeit anzustreben, so boten die verschiedenen in der erwähnten Schrift entweder neu begründeten oder neu hervorgehobenen Thatsachen aus der Theorie des Teleobjectivs Anregung genug zu einer eingehenderen Darstellung, wozu in jener Schrift der Ort nicht war. So geht die Untersuchung der Perspective auf die vergleichenden Focimeteraufnahmen des genannten Autors zurück, während die Untersuchung über die Schärfenverhältnisse sowohl durch diese Aufnahmen als durch die interessante Schrift Herrn F. Paul Liesegangs: „Die richtige Ausnutzung des Objectives“ veranlasst wurde.

Wenn es mir gelungen ist, durch diese kurze Anwendung einiger Sätze der Abbeschen Theorie auf das Teleobjectiv die Aufmerksamkeit weiterer Kreise auf dieses Instrument zu lenken, so würde mir ein lebhafter Wunsch erfüllt sein.

Ich erwähne nur noch, dass die einzelnen Resultate meiner Arbeit bei meinem täglichen Verkehr mit dem Verfasser der Gebrauchsanleitung jedenfalls in Uebereinstimmung, oft auch in Anlehnung an die Ansichten Herrn P. Rudolphs sich befinden.

Jena, im April 1897.

M. von Rohr.

Geschichtliches.

Das allgemeine Interesse photographischer Kreise hat sich in letzter Zeit den Teleobjectiven so auffällig zugewandt, dass es sehr wohl angebracht erscheint, die Eigenthümlichkeiten dieser von den gewöhnlichen Objectiven abweichenden Construction einer genaueren Besprechung zu unterziehen.

Es mag zunächst zur Orientirung weiterer Kreise darauf hingewiesen werden, dass in der Fachliteratur die Ausdrücke Telephotographie und telephotographische Aufnahme in neuerer Zeit fast stets in prägnantem Sinne gebraucht sind und nicht Fernaufnahmen an sich, sondern Aufnahmen mit einem photographischen Teleobjectiv bezeichnen.

Diesem Sprachgebrauche folgend, werden wir also auch nicht geneigt sein, nach R. Colsons[1]) Vorgange die Benutzung eines astronomischen Fernrohrobjectivs unter diesem Titel mit zu behandeln, wir werden davon absehen, weil das zur Aufnahme verwandte, aktinisch corrigirte Fernrohrobjectiv mit einem photographischen Teleobjectiv nichts gemein hat.

Im allgemeinen Sprachgebrauch bezeichnete man in den ersten Jahren der Telephotographie stets und thut es theilweis auch jetzt noch, mit dem Ausdrucke Teleobjectiv ein optisches System, in welchem das von dem vorderen Bestandtheil entworfene Bild noch einer Verrösserung unterzogen wird, bevor es auf die lichtempfindliche Schicht fällt. Wir werden weiter unten sehen, dass man praktisch diesen Begriff in verschiedener Hinsicht noch enger fassen und die Definition in gewisser Weise modificiren kann.

Gehen wir vorderhand auf den früher üblichen Sprachgebrauch zurück, so lässt sich die Vergrösserung des vom Vorder-

---

[1]) R. Colson: Téléphotographie. Ann. gén. de la Photogr. Bd. 2. 1893. S. 441—447.

bestandtheil entworfenen Bildes, wie das H. Schroeder[1]) und A. Steinheil[2]) sehr klar ausführen, sowohl durch ein astronomisches Ocular als auch eine Zerstreuungslinse erreichen. Diese beiden Möglichkeiten, das reelle, vom Objectiv entworfene Bild zu einem reellen Bilde zu vergrössern, sind von Astronomen jedenfalls schon sehr frühzeitig verwendet worden. Nach einer Bemerkung H. Schroeders[1]) ist die Benutzung der uns hier hauptsächlich interessirenden Negativlinse bis auf P. Barlow zurückzuführen.

Der Erste, welcher dieses Princip für die Zwecke der Photographie benutzte, war der italienische Ingenieur J. Porro[3]), welcher die Sonnenfinsterniss am 28. Juli 1851 mit einem „objectif sthénallatique“ aufnahm, einem photographischen System, das die Bildgrösse zu variiren erlaubte bei Einhaltung desselben Standpunktes. Er berichtete[4]) 5 Jahre später noch einmal über dieses Instrument, welches er inzwischen auch für die Aufnahme terrestrischer Objecte benutzt hatte.

Dieses „objectif sthénallatique“, welches ein Teleobjectiv in unserem Sinne ist, geräth aber vollständig in Vergessenheit, und es scheint nicht, als ob J. Porros Construction den späteren Erfindern des Teleobjectivs bekannt gewesen wäre.

Für speciell photographische Zwecke construirt wurden astronomische Fernrohre mit einer als Vergrösserungssystem wirkenden Zerstreuungslinse, wie es scheint, ziemlich gleichzeitig durch H. Schroeder[1]) 1869 für die Bothcamper Sternwarte und von A. Neyt[5]), der seine Construction, bei der das bildentwerfende Vorderglied ein Hohlspiegel war, im Jahre 1869 beschrieb. Diese Anwendungen geschahen jedenfalls unabhängig von einander.

---

[1]) H. Schroeder: Enlarged views by one operation. The Brit. Journ. of Photogr. 1892. Bd. 39. Nr. 1656. S. 76—77.

[2]) A. Steinheil: Ueber Fernphotographie. Phot. Corresp. 1892. Bd. 29. Nr. 377. S. 61—69.

[3]) J. Porro: Éclipse du 28 juillet 1851, relevée héliographiquement par MM. Vaillat et Thompson avec un objectif sthénallatique de M. Porro. Compt. Rend. 1851. Bd. 33. Nr. 5. S. 128—129.

[4]) Bull. Soc. Franç. 1856. Bd. 2. S. 114—117.

[5]) Ch. Fabre: Traité encyclopédique de Photographie. Bd. IV. Paris, Gauthier-Villars, 1890. S. 221.

Auch das astronomische Ocular Ramsdenscher Construction fand für astrophotographische Zwecke Verwendung, wenn es sich darum handelte, behufs genauer Messung ein Fadennetz mit zu photographiren, und zwar wurden solche Constructionen sowohl von H. Schroeder als auch von A. Steinheil nach Ausweis der schon angeführten Schriften ausgeführt.

In gleicher Weise hat man auch für die uns hier mehr interessirenden allgemeinen photographischen Zwecke beide Vergrösserungssysteme verwandt. So scheint das dem astronomischen Ocular entsprechende Vergrösserungssystem nach Ch. Fabre[1] und O. Fribourg[2]) zunächst vornehmlich in Frankreich für Fernaufnahmen benutzt zu sein, und es lässt sich augenblicklich nicht entscheiden, ob es dort nicht auch heute noch hergestellt und gebraucht wird. Ist es der Fall, so geschieht es sicher nicht in grösserem Maassstabe, denn in den Preisverzeichnissen auch französischer Häuser ist stets das Teleobjectiv mit negativer Linse angeboten. Im Folgenden werden wir von diesem letzten Typus allein handeln und verweisen bezüglich des Teleobjectivs mit positivem Vergrösserungssystem auf den ersten Ergänzungsband Ch. Fabres und auf O. Fribourgs Mittheilung.

H. Schroeder erwähnt in seinem vorher angeführten Artikel, dass er die Leistung seiner Telecombination für Astrophotographie an weit entfernten terrestrischen Objecten prüfte. Die Lösung dieser Aufgabe, die von einem Objective entworfenen Bilder entfernter Objecte durch ein Negativsystem zu vergrössern, bevor sie auf die Mattscheibe fallen, lässt sich in einer den Ansprüchen der Photographie allerdings noch nicht genügenden Weise durch Verwendung eines Opernglases erreichen, besser noch durch die Verbindung eines photographischen Objectivs mit einem galiläischen Ocular. Auf diesen Weg hat der Ende 1895 verstorbene Herausgeber des Brit. Journ. of Photogr. Traill Taylor zu früher Zeit aufmerksam gemacht und über die Resultate berichtet. Der Erfolg war ein bescheidener, da die Combination eben nicht aktinisch corrigirt war. Die Ansichten

---

[1]) Ch. Fabre: Traité encyclopédique de Photographie. Prem. Supplém. A. Paris, Gauthier-Villars 1892. S. 89—95.

[2]) O. Fribourg: Téléphotographie. Bull. Soc. Franç. Phot. 1892. Ser. 2. Bd. 8. S. 170—176.

T. Taylors erscheinen aber bei ihrer unbestrittenen Originalität sehr mittheilenswerth; er selbst fasste sie gelegentlich seines Berichtes[1]) über die Vorführung des Dallmeyerschen Teleobjectives vor dem Londoner Cameraclub im Januar 1892 zusammen, woher auch die nachfolgenden Citate und Quellenangaben herrühren.

Es heisst in The Brit. Journ. of Photogr. vom 19. Sept. 1873 unter Enlarged Views by One Operation:

„As lenses of very long focus necessitate the use of cameras of great length, the same object — that is, the production of an enlarged direct view — may be obtained (certainly on a plate of small size) by the use of a combination of lenses, the optical centre of wich shall be at a considerable distance outside the lens. Of this kind the common opera-glass furnishes an example. An opera or field-glass, if used as a camera lens, produces an enlarged image of objects in nature. We do not here refer to the use of the large or „object-glass" of the instrument, but the combination of object-glass and eye-glass as used for looking through. An objective of this kind will produce an image having a considerable degree of amplificatiou, this depending upon the power of the instrument etc."

und im Almanac dieser Zeitschrift von 1877, S. 194 f. unter dem Titel: A Novel Englarging Lens:

„It may not be generally known that, by means of an opera-glass used as a camera objective, a greatly enlarged image of any view to which it is presented may be obtained. Owing to the shortness of the tube, and to the optical principles involved in the formation of a large image by means of an objective when used in conjunction with a concave eye piece this form offers advantages in the production of a directly magnified image not possessed by the ordinary telescope."

T. Taylor hatte also, wie aus diesen Berichten hervorgeht, den Vorzug des Teleobjectivs, äquivalent zu sein einem Objective von langer Brennweite und dabei doch nur einen kurzen Camera-Auszug zu verlangen, klar erkannt und sich auch eine

---

[1]) A New Telescopic Photographic Lens. The Brit. Journ. of Potogr. 1892. Bd. 39. Nr. 1653. S. 22—25.

richtige Ansicht über die Lage der hauptsächlichsten Punkte gebildet. Leider war er nicht im Stande, das für optische Zwecke bestimmte Opernglas aktinisch zu corrigiren, und so wurde seine Idee damals nicht ausgeführt. Man wird ihn aber sicher als Denjenigen bezeichnen müssen, welcher nach J. Porro zuerst die Wichtigkeit des Teleobjectivs für die photographische Praxis erkennt und einen einfachen Weg angiebt, eine solche Combination herzustellen.

Hinsichtlich der Ende 91 und Anfang 92 so heftig umstrittenen Prioritätsansprüche bleibt mithin nur zu entscheiden übrig, welcher praktische Optiker zuerst, nachdem die Porrosche Lösung vergessen war, ein für den Gebrauch an der photographischen Camera bestimmtes Teleobjectiv aus Sammel- und Zerstreuungslinse mit variabler Entfernung construirt hat, wie dasselbe von T. Taylor empfohlen wurde.

Bei der Untersuchung dieser Frage ergiebt sich die eigenthümliche Thatsache, dass das Teleobjectiv Anfang der 90er Jahre von sicher vier Optikern vollkommen unabhängig von einander gefunden worden ist.

Der erste von diesen ist ohne Frage A. Steinheil [1]), welcher ein solches Instrument Februar 1890 an das Reichsmarineamt (hydrographisches Amt) lieferte [2]). Doch scheint er auf den praktischen Werth seiner Construction keinen besondern Werth gelegt, sie auch nicht in den Handel eingeführt zu haben, er wurde vielmehr erst durch den Prioritätsstreit T. R. Dallmeyer — A. Miethe zu dieser Publication veranlasst. Die übrigen 3 Optiker kommen auf den Gedanken fast gleichzeitig, nämlich:

A. Duboscq [3]): französische Patentertheilung vom 7. August 1891 auf Perfectionnements apportés aux systèmes optiques pour la Photographie.

---

[1]) a. a. O. S. 66. Anm. 2.

[2]) Bei meinem Besuche des Herrn Th. Bedding, Redacteur des Brit. Journ. of Photogr. im Herbst 96 zeigte mir dieser ein französisches Objectiv, welches auf einer Anfang der 70er Jahre stattgefundenen Ausstellung photographischer Objective ausgestellt gewesen sei. Das Objectiv war ein Teleobjectiv aus positivem und negativem Element mit variabler Entfernung. Der Hersteller war nicht zu ermitteln. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist dasselbe auf J. Porro zurückzuführen.

[3]) Bull. Soc. Franç. Photogr. Ser. II. Bd. 8. 1892. S. 232.

T. R. Dallmeyer[1]): englische Patentanmeldung vom 2. October 1891 auf Improvements in Photographic Lenses.

A. Miethe[2]): deutsche Patentanmeldung vom 18. October 1891.

Ueber A. Duboscqs Construction war mir ausser einer Bemerkung A. Sorets[3]) keine Angabe zugänglich. Der Name dieses französischen Optikers ist nur auf Grund der eben angegebenen Quelle hier mit aufgenommen, in welcher ausdrücklich betont wird, dass O. Duboscq auch eine Zerstreuungslinse in seinem Teleobjectiv verwandte; Ch. Fabre erwähnt in seinem ersten Ergänzungsband diesen Namen unter Telephotographie nicht, ebensowenig O. Fribourg.

Zwischen T. R. Dallmeyer und A. Miethe entspann sich Ende des Jahres 1891 ein Prioritätsstreit, der in den Herbst- und Winternummern von The Brit. Journ. of. Phot. 1891 geführt wurde. Aus demselben ging mit Sicherheit hervor, dass T. R. Dallmeyer früher im Besitze des Teleobjectivs gewesen ist, und dass A. Miethe unabhängig von ihm auf die gleiche Idee kam.

Wenn nun auch T. R. Dallmeyer nicht — wie er damals A. Miethe gegenüber mit Recht annahm — der erste Erfinder des Teleobjectivs in seiner heutigen Form ist, so muss man ihm doch die Gerechtigkeit widerfahren lassen, dass die Fragen über Brennweite, Gesichtsfeld, Helligkeit etc. von ihm, theils allein, theils in weit besserer Form behandelt wurden, als von irgend einem seiner Zeitgenossen[4]). Seine Bemühungen um die Verbesserung der Leistung seiner Telecombinationen sind zahlreich, und wenn man ihm auch nicht in der Wahl seiner optischen Mittel — viele Flächen gegen Luft: Triplet als

[1]) The Brit. Journ. of Phot. 1891. Bd. 38. Nr. 1640. S. 651.

[2]) The Brit. Journ. of Phot. 1891. Bd. 38. Nr, 1647. S. 766.

[3]) A. Soret: Ueber die Verwandlung der mittels der optischen Instrumente erhaltenen virtuellen Bilder in reelle Bilder, welche sich photographiren lassen, und Anwendung dieser Methode auf die Telephotographie und Photomikrographie. Eders Jahrb. f. Photogr. u. Reproductionstechnik. 1893. Bd. 7. S. 247—256.

[4]) T. R. Dallmeyer: Tele-photographic systems of moderate amplifications. The Brit. Journ. of Photogr. 1893. Bd. 40. Nr. 1734. S. 477—479. Auch übersetzt im Auszuge mitgetheilt in Phot. Corresp. 1894. Bd. 31. Nr. 405. S. 289—293.

positives, Doublet als negatives System, wird beistimmen können, so hat er doch zweifellos ein grosses Verdienst um die Einführung des Teleobjectivs besonders in England und dessen Colonieen.

Der schon erwähnte Prioritätsstreit und die Bemühungen T. R. Dallmeyers lenkten das Interesse der Photographen auf das Teleobjectiv und sehr bald versuchten andere Optiker unter Benutzung der als kanonisch geltenden Zusammensetzung die Leistungen ihrer Vorgänger zu übertreffen. Bei dieser Gelegenheit ist zunächst auf G. Roster, dann auf Carl Zeiss, Optische Werkstaette, zu verweisen.

Ersterer warf sich mit grossem Eifer auf Arbeiten mit dem Teleobjectiv und ist wohl einer der erfahrensten Praktiker auf diesem Gebiete, auf dem er auch publicistisch thätig war.[1]) Er benutzte als Vorderglied seiner Telesysteme einen Zeiss-Anastigmaten der Serie III; 1 : 7.2 und negative Hinterlinsen eigener Construction. Seine sehr gelungenen Aufnahmen zeigen Objecte in 15—17 km Entfernung.

Von grossem Einfluss für die Verbreitung des Teleobjectivs auf dem Continent wird die Betheiligung der Firma Carl Zeiss, Optische Werkstaette, aus welcher in den Jahren 1892/93 durch P. Rudolph ein solches Instrument herausgegeben wird. Er stellt sich hinsichtlich der Theorie in einen deutlich ausgesprochenen Gegensatz, indem er die Auffassung der vergrössernden Negativlinse als leicht irreleitend verwirft und stets die Brennweite, Oeffnung und anderen Daten der ganzen Combination betrachtet. In Uebereinstimmung mit ihm können wir nunmehr die Definition des Teleobjectivs dahin aussprechen, dass dasselbe gebildet wird durch ein Vordersystem mit positiver Brennweite und ein negatives Hinterglied, welches sich demselben nähern und entfernen lässt, so dass die Brennweite des Gesammtsystems stets positive Werthe annimmt.

Das Vordersystem wird durch eine lichtstarke achromatische Einzellinse gebildet, wenn es mehr auf Helligkeit als auf Orthoskopie aukommt, es ist ein Doppelobjectiv mit Mittelblende, wenn das Hauptgewicht auf correcte Zeichnung bis zum Rand hin gelegt wird. Genauere Angaben hierüber finden sich in

---

[1]) G. Roster: Note pratiche su la tele-fotografia. 27 S. gr. 8°. Florenz, Landi, 1893.

einem in Eders Jahrbuch für Photographie und Reproductionstechnik 1897 (Bd. 11. S. 181—189) veröffentlichten Aufsatze „Zur Entwickelungsgeschichte des Teleobjectivs und seiner Theorie“.

Von der allgemein angenommenen Form des Teleobjectivs macht nur A. Haschek [1]) eine Ausnahme, welcher vorschlägt, die Reihenfolge des positiven und negativen Systems zu vertauschen.

Es liegt auf der Hand, dass damit kein Vortheil, sondern im Gegentheil ein Nachtheil verbunden ist, indem man ganz unnöthiger Weise auf die Verkürzung des Camera-Auszuges und die Vergrösserung des Objectabstandes verzichtet, ein Einwand, der gleich darauf von F. Stolze [2]) gemacht wurde.

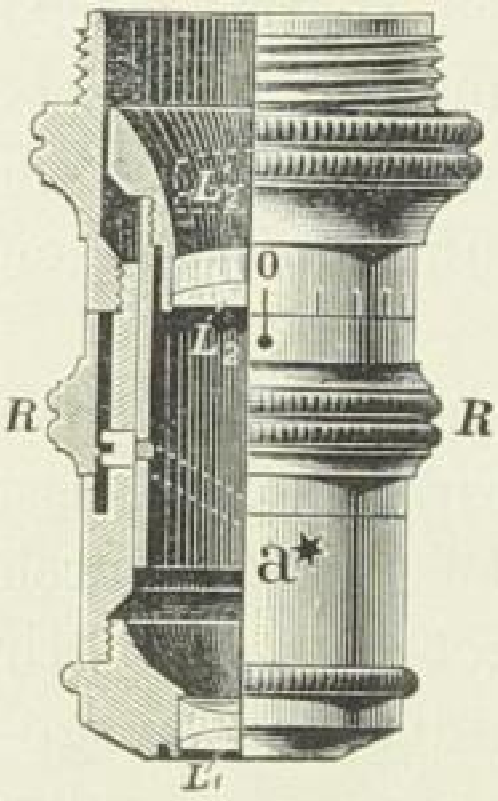

Fig. 1.

Mikroskopobjectiv a* in natürlicher Grösse. Durch Drehen des Ringes R R kann das obere Linsenpaar (L_2 mit positiver Brennweite) in die gestrichelt angedeutete Lage L^1_2 gehoben werden. Das Linsenpaar L_1 hat negative Brennweite.

Eine solche von A. Haschek empfohlene Combination kann auf dem Gebiete der Mikroskopie mit Vortheil verwendet werden, da dort die Verringerung des Objectabstandes zur Erreichung einer grösseren Apertur erwünscht ist. Thatsächlich ist sie auch — beiläufig 16 Jahre vor dem Vorschlage A. Haschek's — durch E. Abbe in dem Mikroskopobjectiv a* verwirklicht worden, welches seit October 1876 von Carl Zeiss, Optische Werkstaette, herausgegeben wird. Wie die nebenstehende Abbildung zeigt, ist diese Construction mit veränderlichem Linsenabstande ein umgekehrtes Teleobjectiv in kleinem Maassstabe und mit optischer Correction.

Bei weitaus den meisten Anzeigen in den Jahren nach 1891 tritt die Verwendung des Teleobjectives zu Fernaufnahmen in den Vordergrund, und zur Kennzeichnung der Leistungen dieser Objective wurden den Preisverzeichnissen von T. R. Dallmeyer, A. Miethe und A. Steinheil gewöhnlich 2 Ansichten mitgegeben, von denen die eine mit dem Vorderglied allein, die andere mit der Com-

[1]) A. Haschek: Ueber ein neues Objectiv. Phot. Rdsch. 1892. S. 16.

[2]) F. Stolze: Zur Fernphotographie. Phot. Nachrichten 1892. 4. Bd. Nr. 18. S. 235—237.

bination aufgenommen war. Die Benutzung des Teleobjectivs auch für Portraitaufnahmen mit bewusstem Hinweis auf die bessere perspectivische Wirkung ist wohl F. Stolzes[1]) Verdienst.

In den verschiedenartigsten Katalogen optischer Firmen ist das Teleobjectiv dem Publikum bis zum Ende des Jahres 95 hin dargeboten worden, aber merkwürdiger Weise ohne irgend eine nähere Gebrauchsanweisung — eine Ausnahme macht davon nur der Katalog von T. R. Dallmeyer und Katalog bez. das Flugblatt von Carl Zeiss, Optische Werkstaette — während man doch bei der unvergleichlich viel grösseren Mannigfaltigkeit und Schwierigkeit der Verwendung dieses Objectivtypus geradezu einen Ueberfluss von Anweisungen erwarten sollte.

Erst in der neueren Zeit erschien zur völligen Hebung dieses Mangels eine Schrift[2]) aus der Optischen Werkstaette von Carl Zeiss in Jena. Dieselbe soll dem photographischen Praktiker zur Einführung in das Wesen des Teleobjectivs dienen.

Ableitung theoretisch und praktisch wichtiger Constanten.

Gehen wir nunmehr zur theoretischen Erörterung der Eigenschaften über, welche der im Vorhergehenden historisch betrachteten Combination einer positiven und einer negativen Linse zukommen, so machen wir zunächst eine auch im Folgenden festgehaltene Annahme, dass wir beide Componenten als unendlich dünne Linsen ansehen können.

Die beiden Hauptpunkte eines jeden der beiden Systeme fallen unter dieser Voraussetzung in einen Punkt zusammen, der dann den Linsenort auf der Achse bezeichnet. Der dadurch begangene Fehler ist nun in der Wirklichkeit den grossen beim Teleobjectiv auftretenden Längen gegenüber völlig zu vernachlässigen, und die hier abgeleiteten Resultate haben für die Praxis volle Giltigkeit.

[1]) Schon in Phot. Nachr. 1892. Bd. 4. Nr. 17. S. 230, jedenfalls aber deutlich in Phot. Chron. 1894. Bd. 1. Nr. 5. S. 73.

[2]) Carl Zeiss, Optische Werkstaette, Jena. Gebrauchsanleitung für Tele-Objective von Dr. P. Rudolph, Jena. Mai 1896. 33 S. Lex. 8°. mit einer Lichtdrucktafel.

Unter den angenommenen Voraussetzungen haben also die Brennpunkte der Einzelsysteme L_1 und L_2 folgende Lage:

$$\begin{array}{cccccc} & L_1 & & & L_2 & \\ F_1 & & F^1_1 & F_2{}^1 & & F_2 \end{array}$$

Mit F_1 und F_2 sind die „vorderen“, mit $F_1{}^1$ und $F_2{}^1$ die „hinteren“ Brennpunkte bezeichet, welche von dem gemeinsamen Systemhauptpunkte um $\pm f_1$, $\mp f_2$ abstehen, wobei wir die Brennweite des negativen Systems durch — f_2 bezeichnen. Als Sinn der positiv gezählten Strecken ist, wie gewöhnlich, die Bewegungsrichtung des Lichtes angenommen, welches hier von links nach rechts gehend gedacht ist.

Alsdann lautet die Formel [1]) für die Brennweite der Combination aus f_1, $-f_2$:

$$f = \frac{f_1\, f_2}{\triangle}. \tag{1}$$

Man ersieht aus dieser Form sofort, dass f gleichzeitig mit $\triangle = \overline{F_1{}^1 F_2}$ positiv ist, d. h. dann, wenn F_2 rechts von $F_1{}^1$ liegt.

Beachten wir nun, dass die Combination für photographischen Gebrauch bestimmt ist, also reelle Bilder geben muss, so folgt mit Nothwendigkeit, dass die durch die Linse L_1 von den Objecten entworfenen reellen Bilder nicht vor L_2 zu Stande kommen dürfen, weil ja dann die Combination von einer gewissen Objectentfernung ab nur virtuelle Bilder liefern würde.

Unter Berücksichtigung auch sehr entfernter Objecte erhalten wir mithin für das „optische Intervall“ $\triangle$ folgende Ungleichung

$$0 \leqq \triangle \leqq f_2 \tag{2}$$

der in Folge (1) bezüglich der Brennweite entspricht:

$$\infty \geqq f \geqq f_1 \tag{2a}$$

Das aus beiden Bestandtheilen gebildete System stellt also, von der Brennweite des positiven Gliedes aufwärts, jede beliebige positive Brennweite zur Verfügung.

Zur völligen Charakterisirung des Systems bedürfen wir noch der beiden am a. O. angegebenen Grössen, nämlich σ der Entfernung zwischen den vorderen Brennpunkten des ganzen

---

[1]) S. Czapski: Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. Breslau, Trewendt, 1893. 292 S. 8°. S. 46—48.

Systems und des ersten Elements und σ' der Entfernung zwischen den hinteren Brennpunkten des ganzen Systems und des zweiten Elements:

$$\sigma = \overline{FF_1} = -\frac{f_1{}^2}{\triangle};\ \sigma' = \overline{F_2{}'F'} = \frac{f_2{}^2}{\triangle}. \qquad (3)$$

Es ergiebt sich also durch Berücksichtigung des oben festgesetzten Richtungssinnes, dass F links von F_1 und F^1 rechts von $F_2{}^1$ abzutragen ist, dass mithin folgendes Schema Giltigkeit hat.

$F_2{}^1$ L_2 $\underbrace{\quad}_{\triangle}$ F_2

F — H — H^1 — F_1 — L_1 — $F_1{}^1$ — F^1

Man sieht leicht ein, dass die beiden von vornherein gegebenen Grössen f_1 und f_2 nicht in einem ganz beliebigen Verhältniss zu einander stehen können. Denn offenbar kann $\triangle$ nur dann seinen ganzen Bereich (2) durchlaufen, wenn

$$f_1 > f_2$$

ist. Wir werden diesen Zusammenhang in folgender Weise ausdrücken:

$$f_1 = \gamma\, f_2;\ \gamma > 1; \qquad (4)$$

Unter Benutzung von (4) gehen dann die Ausdrücke (1) und (3) über in:

$$f = \gamma\frac{f_2{}^2}{\triangle};\ \sigma = -\gamma^2\frac{f_2{}^2}{\triangle} = -\gamma f;\ \sigma' = \frac{f_2{}^2}{\triangle} = \frac{f}{\gamma}. \qquad (5)$$

Die hiermit nach dem Vorgange P. Rudolphs [1]) geleistete Einführung der Gesammtbrennweite f des Telesystems hat jedenfalls den Vorzug, dass dadurch das Teleobjectiv analog behandelt wird, wie andere photographische Objective. Der, wie in der historischen Einleitung betont ist, von den früheren Autoren eingeschlagene Weg [2]) ist der, die Vergrösserung zu untersuchen, der das vom positiven Glied allein entworfene Bild durch die Negativlinse unterzogen wird. Man wird der von P. Rudolph gegebenen consequenten Herleitung aller Eigen-

---

[1]) P. Rudolphs Gebrauchsanleitung, citirt S. 6 Anm. S. 7—12.

[2]) T. R. Dallmeyer. Tele-photographic Systems of moderate amplifications, citirt S. 6 Anm. 4. A. Steinheil, citirt S. 2 Anm. W. Zschokke: Zum Teleobjectiv. Phot. Corr. 1896. Bd. 33. Nr. 427. S. 160—163.

schaften aus der Brennweite f des Systems das Zeugniss grösserer Einheitlichkeit nicht versagen können.

Diese ist nun eigentlich durch die in (5) gegebenen Grössen schon geleistet, man wird aber nach P. Rudolphs Vorgange in der Praxis die Entfernung der Systembrennpunkte besser von den concreten Punkten der Linsenmitten aus messen:

$$\left.\begin{aligned}\overline{FL_1} &= -\sigma + f_1 = \gamma f + f_1 = \frac{f_1^2}{\triangle} + f_1 = f_1 \left\{\frac{f_1}{\triangle} + 1\right\} \\ \overline{L_2 F^1} &= \sigma^1 - f_2 = \frac{f}{\gamma} - f_2 = \frac{f_2^2}{\triangle} - f_2 = f_2 \left\{\frac{f_2}{\triangle} - 1\right\}\end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Da die Ungleichung (2) besteht, so kann $\sigma^1 - f_2$ niemals negativ werden.

Der Abstand beider Hauptpunkte wird gefunden durch

$$\overline{HH^1} = \overline{FF^1} - 2f \quad \text{wobei:} \quad \overline{FF^1} = \sigma + 2f_1 + \triangle - 2f_2 + \sigma^1$$

Unter Berücksichtigung von (5) und (1) erhält man leicht:

$$\overline{HH^1} = \frac{1}{\triangle}\left\{f_1 - f_2 + \triangle\right\}^2 \qquad (7)$$

Man ersieht daraus, dass $\overline{HH^1}$ mit abnehmendem und sich der Null näherndem $\triangle$ ganz ausserordentlich schnell zunimmt. Bei kleiner werdendem optischen Intervall rücken also die Hauptpunkte rasch aus einander.

Eine einfache Betrachtung von (6) zeigt, dass sich mit abnehmendem $\triangle$ die Brennpunkte schnell in entgegengesetzter Richtung von den Einzellinsen entfernen; und dabei verhalten sich ihre Geschwindigkeiten wie $\gamma^2 : 1$.

Aus den vorstehenden Ueberlegungen ergeben sich für die Fassung beider Einzelsysteme, den Teletubus, folgende Forderungen:

Er muss die Entfernung zwischen beiden Elementen zu variiren gestatten und, wenn nicht innerhalb des ganzen Bereiches (2), so doch wenigstens die Nullsetzung von $\triangle$ ermöglichen.

Ferner ist es zur bequemen Berechnung der Systembrennweite f, so wie der anderen vorher abgeleiteten Grössen wünschenswerth, das optische Intervall $\triangle$ direct am Tubus ablesen zu können.

Als Beispiel einer solchen Anforderungen entsprechenden Tubuseinrichtung sei hier in beistehender Figur der neue Teletubus der Firma Carl Zeiss, Optische Werkstaette, angegeben.

Das von T. R. Dallmeyer in dem öfter citirten Aufsatze vorgeschlagene Hilfsmittel, den Linsenabstand um $f_1 - f_2$ zu verringern, ist bei unendlich dünnen Linsen auch völlig correct. In der Praxis indessen, wo man es nie mit unendlich dünnen Linsen zu thun hat, tritt an Stelle des Linsenabstandes die Entfernung zwischen dem „hinteren" Hauptpunkte $H_1{}^1$ des positiven und dem „vorderen" Hauptpunkt H_2 des negativen Systems, also eine Grösse, die sich mit der für kleines $\triangle$ unumgänglich nothwendigen, grossen Genauigkeit nur sehr umständlich ermitteln lassen würde.

Im Weiteren werden wir gut thun, die Anwendung des Teleobjectivs für Fernaufnahmen und seinen Gebrauch für nahe Gegenstände getrennt zu behandeln. Des Vergleiches wegen wird es stets mit einem Objective gewöhnlicher Construction zusammengestellt werden, welches als die gleiche Brennweite besitzend angenommen ist. Dabei sei unter einem Objectiv gewöhnlicher Construction ein photographisches Doublet verstanden, bei welchem für die Zwecke der photographischen Praxis genügend genau der Ort der Mittelblende mit den beiden Hauptebenen zusammenfallend angenommen werden kann.

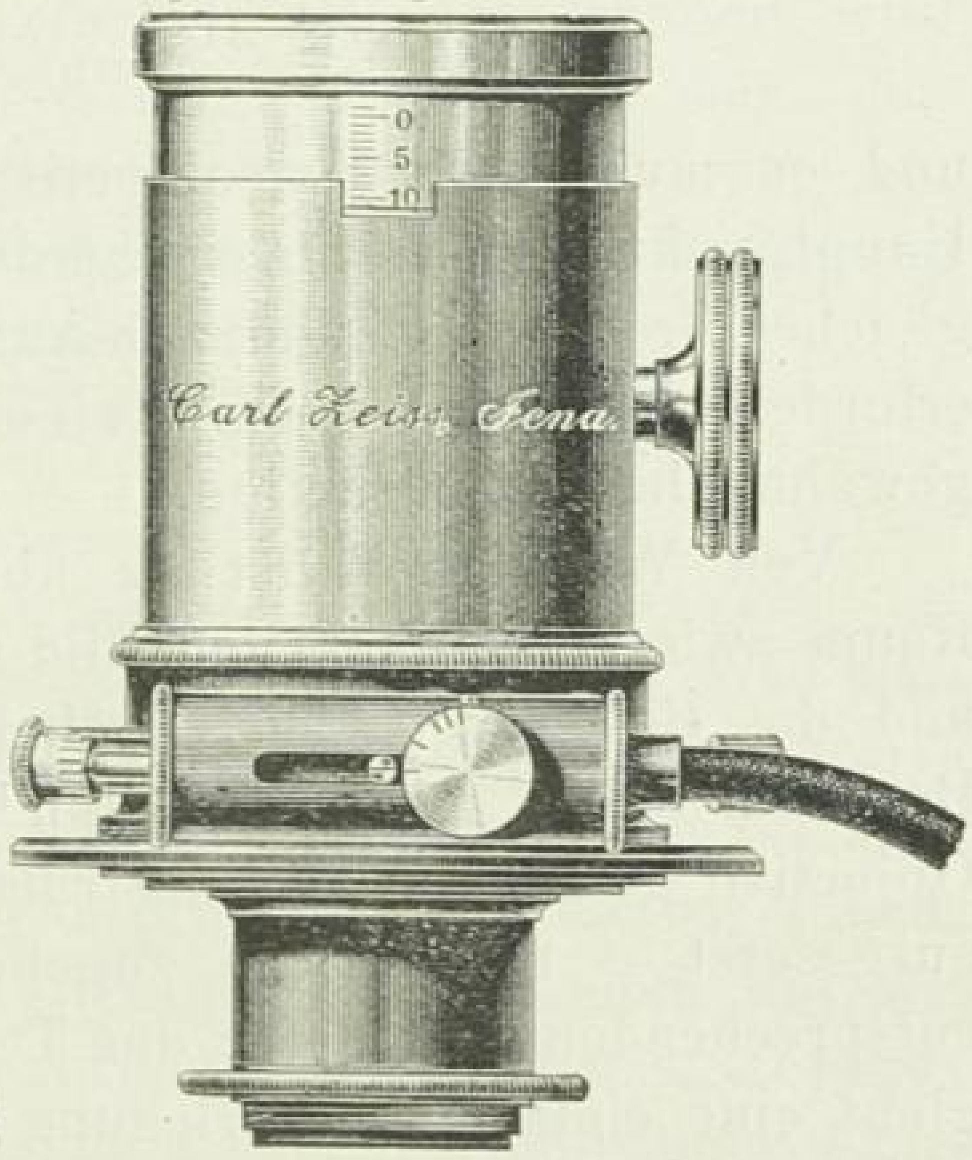

Fig. 2.

Tubus III mit $\frac{\text{Telepositiv } f_1 = 135 \text{ mm}}{\text{Telenegativ } f_2 = 45 \text{ mm}}$ in ½ natürlicher Grösse.

Das optische Intervall $\triangle$ ist nach der Zeichnung = 11 mm, mithin

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{\triangle} = \frac{135 \cdot 45}{11} = 552 \text{ mm}$$

die Aequivalentbrennweite des Systems in dieser Stellung.

Fernaufnahmen mit dem Teleobjectiv.

Die Auszugslängen sind in diesem Falle gleich zu setzen dem Abstande des hinteren Brennpunkts von dem Scheitel der Hinterlinse. Diese Entfernung ist für ein Objectiv gewöhnlicher Construction $= f$, für ein Teleobjectiv nach (6) $\sigma^1 - f_2$.

Bilden wir den Quotienten der beiden Grössen, so giebt uns derselbe an, wieviel mal länger der Cameraauszug des gewöhnlichen Objectivs ist als der des Teleobjectivs

$$A = \frac{f}{\sigma^1 f_2} = \frac{f}{\frac{f}{\gamma} - f_2} = \frac{\gamma}{1 - \frac{f_1}{f}} \tag{8}$$

Wir sehen also, dass der Auszug des Teleobjectivs bei gleicher Systembrennweite f um so kürzer wird, je mehr γ wächst, und dass bei Systemen von gleichem γ hinsichtlich des kürzesten Auszuges bei gleichem f dasjenige System den Vorzug verdient, welches die längeren Brennweiten der Einzelsysteme besitzt.

Nachaufnahmen mit dem Teleobjectiv.

Der Abstand zwischen Object und Bild bei einem n-fachen Maassstabe des letzteren beträgt beim Objectiv gewöhnlicher Construction

$$nf + 2f + \frac{f}{n} + \frac{(n+1)^2}{n} f$$

und er muss beim Teleobjectiv noch um den Abstand beider Hauptpunkte (7) vermehrt werden, mithin ist unter Benutzung gleicher Brennweiten der zur Aufnahme in gleichem Maassstabe erforderliche Raum beim Teleobjectiv grösser als bei einem gewöhnlicher Construction.

Von Wichtigkeit ist es aber, zu sehen, wie sich dieser Raum zwischen Object und Bild auf den Abstand des Objectives und des Bildes von den zugekehrten Objectivflächen vertheilt. Bezeichnet man mit P. Rudolph [1]) den Objectabstand bei einem Objective gewöhnlicher Construction — n-fachen Maassstab vorausgesetzt — mit a, den zugehörigen Bildabstand mit b die entsprechenden Daten für das Teleobjectiv mit α und β, so ergiebt eine einfache Ueberlegung:

$$\begin{aligned} \alpha &= a + f(\gamma - 1) + f_1 \\ \beta &= b - f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) - f_2 \end{aligned} \tag{9}$$

Der Objectabstand ist also stets grösser, der Cameraauszug stets kleiner als der eines Objectives gewöhnlicher Construction.

Um einen Vergleich verschiedener Objective unter einander zu erhalten hinsichtlich der Cameralängen, bilden wir, etwas abweichend von dem vorhergehenden Falle, die Differenz der

[1]) S. Gebrauchsanleitung für Teleobjective S. 10—11.

Auszugsweiten für n-fache Reduction gegen den Auszug, der bei einem Objective gewöhnlicher Construction nothwendig ist, und finden:

$$A^1 = f + \frac{f}{n} - \left\{ \sigma^1 - f_2 + \frac{f}{n} \right\}$$
$$= \frac{f_1 f_2}{\triangle} - \frac{f_2^2}{\triangle} + f_2 \tag{10}$$
$$= \frac{f_2^2}{\triangle} \left\{ \gamma - 1 \right\} + f_2.$$

Die Auszugsdifferenz ist also unabhängig vom Reductionsmaassstabe und wächst mit γ und mit dem absoluten Betrage der Brennweiten, ganz analog dem in (8) dargestellten, für Fernaufnahmen wichtigen Quotienten.

Für den Vergleich zweier Teleobjective unter einander wird es also nach dem Vorhergehenden nicht ausreichend sein, dieselben bei gleicher Aequivalentbrennweite f und gleicher Abblendung einander gegenüberzustellen. Die erste Bedingung ergiebt ja nur eine Bedingungsgleichung

$$\frac{f_1 f_2}{\triangle} = c$$

zwischen den 3 sonst unabhängigen Variablen f_1, f_2, $\triangle$. Will man also den Vorzug einer bestimmten Telepositiv- oder Telenegativ-Construction einer andern gegenüber erproben, so muss man beide in der gleichen Weise beanspruchen, und da wir sahen, welchen Einfluss sowohl das Verhältniss (γ) als auch die absolute Grösse der Componentenbrennweiten auf das Resultat haben, so folgt für den Vergleich zweier verschiedener Constructionen, dass dieselben jedenfalls im γ, besser auch noch in den Einzelbrennweiten selbst übereinstimmen sollten.

Wie schon in der historischen Einleitung betont, ist der Hauptvorzug der mehrfach verkitteten Einzellinse als Vorderglied die bedeutend grössere Lichtstärke. Will man für Architekturaufnahmen eine orthoskopisch zeichnende Combination, so muss man die Einzellinse durch ein in sich corrigirtes Objectiv ersetzen. Selbstverständlich kann ein Vergleich zweier solcher Telecombinationen nur für einen solchen Winkel gerechter Weise durchgeführt werden, für den die Verzeichnung durch das Einzelglied noch unbemerkbar ist.

Es mag noch bemerkt werden, dass bei der ganzen Behandlung die Bildkrümmung und Anorthoskopie nicht berücksichtigt worden ist. Diese Fehler wachsen mit γ und setzen der Vergrösserung des Betrages eine Grenze, falls man sich nicht auf die Nachbarschaft der Axe beschränken kann.

Die Begrenzung der Strahlen.

Die Wichtigkeit der Blenden für den Strahlengang.

Für das thatsächliche Zustandekommen der von einem optischen System entworfenen Bilder, für ihre von der Oeffnung der abbildenden Büschel abhängende Helligkeit und Schärfe, für das Gesichtsfeld — bei photographisch wirksamen Systemen den Bildkreis — und für die nicht weniger wichtige Perspective sind indessen Ursachen maassgebend, die im Vorhergehenden noch gar nicht gestreift sind. Es sind Das die Blenden des Systems, deren Einfluss im Folgenden behandelt werden soll. Die bei diesen Überlegungen maassgebenden Gesichtspunkte sind zuerst von E. Abbe [1]) angegeben worden.

Die Theorie der Gaussischen Hauptpunkte gestattet unter gleichzeitiger Benutzung der altbekannten Brennpunkte in einer hervorragend bequemen Weise das zu einem bestimmten Objecte hinsichtlich eines abbildenden optischen Systemes gehörige Bild unter Benutzung graphischer oder rechnerischer Methoden zu finden; sie sieht nämlich von sämmtlichen Constanten des optischen Systems im Einzelnen ab und gestattet, sich nur auf bestimmte Functionen derselben — Brennweiten und Hauptpunktsabstand — zu beschränken.

Es ist aber ganz selbstverständlich, dass der thatsächliche Strahlengang mit den Constructionslinien der Zeichnung nur in den Anfangswerthen (Objecten) und in den Endwerthen (Bildern) übereinstimmen muss, im Uebrigen vollständig anders verlaufen wird. Der wirkliche Strahlengang wird eben von den einzelnen Constanten des optischen Systems in bestimmter Reihenfolge

---

[1]) S. Czapski, citirt S. 10, im Besonderen: VII. Die Begrenzung der Strahlen und die von ihr abhängigen Eigenschaften der optischen Instrumente. S. 154—187.

beeinflusst, und man sieht sofort, dass für ihn die in der Zeichnung unberücksichtigt bleibenden Blenden von schwerwiegendster Bedeutung werden.

Denken wir uns, um einen besimmten concreten Fall im Auge zu haben, eine Blende zwischen die beiden Bestandtheile eines photographischen Doppelobjectivs eingeschoben, so wird dieselbe je nach ihrer Oeffnung andere und andere Strahlenbüschel an der Erzeugung der Bilder theilnehmen lassen oder mit anderen Worten: Die Blende ordnet je nach ihrer Oeffnung jedem einzelnen Objectpunkt einen ganz bestimmten Theil des photographischen Systems zu, der die Abbildung zu vermitteln hat.

Sehen wir einmal von den verschiedenartigen Abbildungsfehlern ab und betrachten dieselben als gehoben, so hat diese Wirkung der Blende auf die Grösse und Lage der den Objecten im Raume zugeordneten Bilder keinen Einfluss, wohl aber wird, wie unmittelbar ersichtlich ist, Oeffnung und Bildfeld von dem Durchmesser der vorausgesetzten Mittelblende abhängen.

Gehen wir nun bei der Wichtigkeit dieser Eigenschaften des Objectivs näher auf den Begriff der Blenden ein, so erweitern wir den üblichen Umfang desselben dahin, dass wir unter Blenden nicht blos die eigentlichen Diaphragmen, sondern auch die durch die Linsenfassungen gegebenen Begrenzungen der Öffnung verstehen. Wir projiciren nun jede dieser so eingeführten Blenden des Systems durch alle vor ihr befindlichen Linsen nach der Objectseite und erhalten dadurch ebensoviele Blendenbilder, als Blenden vorhanden waren. Diejenige Blende nun, deren objectseitig in der angegebenen Weise projicirtes Bild vom Object aus unter dem kleinsten Sehwinkel erscheint, nennen wir Aperturblende. Ihr soeben eingeführtes Bild bezeichnet man mit Eintrittspupille = E.-P.; ihr (der Aperturblende) bildseitig durch alle ihr folgenden Linsen projicirtes Bild wird Austrittspupille = A.-P. genannt. Es steht die E.-P. zur A.-P. im Verhältniss des Objects zum Bilde bezogen auf das ganze System.

Betrachten wir die objectseitig projicirten Blendenbilder vom Mittelpunkte der E.-P. aus, so werden dieselben im allgemeinen verschieden gross erscheinen. Diejenige Blende, deren objectseitig entworfenes Bild vom Mittelpunkt der E.-P. aus unter kleinstem Winkel erscheint, bezeichnen wir mit Gesichtsfeldblende.

Der einfache Fall punktförmiger Mittelblende.

Die Blende als Ort der Kreuzung der abbildenden Strahlen.

Nehmen wir der Einfachheit wegen die Aperturblende unendlich klein an, so müssen wir auch die E.-P. — als ihr im Endlichen liegendes Bild, — als punktförmig uns vorstellen. Dieser Punkt, die E.-P., bestimmt nun ein gewisses Strahlenbüschel, und zwar enthält dasselbe alle von den Objectpunkten ausgehenden Strahlen, welche bei der punktförmig gedachten Aperturblende das Objectiv passiren können, und nur diese. Denken wir uns nun dieses auf der Objectseite befindliche, nach der E.-P. zielende, also monocentrische Büschel durch das ganze System abgebildet, so entspricht demselben auf der Bildseite wiederum ein monocentrisches Büschel, das nach dem Bilde der E.-P., der A.-P., zielt; mit anderen Worten, für Object und Bildraum sind bei punktföriger Aperturblende die Centren der Perspective die Pupillen des optischen Systems.

Dieser Umstand ist nun für die photographische Bilderzeugung von grösster Wichtigkeit, weil wir es bei dem auf der Mattscheibe entstehenden Bilde ja gar nicht mit den vom Objectiv im Raum entworfenen Bildern zu thun haben, sondern mit den Projectionen derselben auf die Mattscheibe. Bei punktförmiger Aperturblende ersieht man ohne Weiteres, dass als Centrum der Perspective für das Mattscheibenbild die A.-P. dient. In aller Strenge abgebildet wird auf der Mattscheibe nur die einzige Ebene des Objectraums, auf welche scharf eingestellt wurde — sie mag mit Einstellungsebene = E.-E. bezeichnet werden. Wollen wir uns über die Darstellung vor oder hinter der E.-E. gelegener Objecte eine richtige Ansicht bilden, so müssen wir dieselben von der E.-P. aus auf die E.-E. projiciren. Die so auf der E.-E. entstehende Projectionsfigur wird von dem photographischen System in aller Strenge auf der Mattscheibe abgebildet, wobei nur der lineare Maassstab eine Aenderung, meistens eine Verkleinerung, erfährt.

Haben wir nunmehr im Vorstehenden die Beziehung des Ortes der A.-P. zur Perspective des Mattscheibenbildes kennen gelernt, so können wir dieselbe leicht in folgende Worte fassen:

Die beiden Pupillen des Systems sind sich gegenseitig, ebenso wie E.-E. und Mattscheibe einander, durch das abbildende System als Object und Bild zugeordnet, wobei die Figurengrösse der E.-E. auf die der Mattscheibe durch die Reduction n : 1 gebracht werden kann, die geometrische Aehnlichkeit der Figuren bleibt aber in aller Strenge erhalten. Da es nun bei der Beurtheilung der Perspective auf den Reductionsmaassstab nicht ankommt, so ist die Perspective der Mattscheibe durch die der E.-E. bestimmt und zur völligen Beurtheilung des perspectivischen Effects genügt es, die Projections-Figur auf der E.-E. zu betrachten.

Die perspectivische Wirkung photographischer Aufnahmen.

Diese Darstellung entfernt sich von der im Allgemeinen üblichen. Soweit überhaupt diesem Gegenstande Beachtung geschenkt wird, wird gewöhnlich die Perspective einer Lochcamera behandelt oder aber man betrachtet bei einem photographischen Objective beide Hauptpunkte als zusammenfallend und sieht diesen „Kernpunkt“ als Centrum der Perspective an. Die nach den Hauptpunkten — hier also nach dem „Kernpunkte“ — zielenden Strahlen werden gemeinhin als Hauptstrahlen eingeführt.

Es liegt in Uebereinstimmung mit dem oben Gesagten auf der Hand, dass ein solches Vorgehen, die Objectstrahlen sich im vordern Hauptpunkte kreuzen zu lassen, völlig correct ist, um die Lagebeziehungen zwischen Objecten im Objectraum und ihren Bildern im Bildraum zu finden, dass es aber mit dem thatsächlich stattfindenden Strahlengang nicht das Mindeste zu thun hat, durch den die Bilder des Bildraumes auf die Mattscheibe projicirt werden. Dieser Strahlengang ist aber für die Perspective maassgebend, denn er bestimmt, wie wir sahen, die Projectionscentren für Object- und Bildraum.

Dass diese unzutreffende Darstellung zu keinem Widerspruch mit der Praxis führte, ist darauf zurückzuführen, dass beim gewöhnlichen Objective die Orte der Hauptebenen mit denen der Pupillen nahe zusammenfallen.

Beim Teleobjectiv ist Das anders; hier liegen der Ort der E.-P. und der vordere Hauptpunkt unter Umständen sehr weit auseinander, und man sieht die Widersinnigkeit, die Hauptstrahlen durch die nach dem Hauptpunkte zielenden zu erklären unter unserer vorläufig noch festgehaltenen Annahme sehr enger Blenden sofort ein; denn dann können diese Strahlen das Objectiv überhaupt nicht passiren, mithin auch am Zustandekommen des Bildes keinen Theil haben.

Also auch hier wird man zu betonen haben, dass man in der Theorie der optischen Instrumente als Hauptstrahlen die nach dem Mittelpunkt der E.-P. zielenden bezeichnen solle, worauf ganz allgemein S. Czapski [1]) hinweist.

Die Beziehung der Länge der Brennweite des abbildenden Systems zum Abstande des für die Betrachtung des photographischen Bildes erforderlichen Standpunktes wird man dann aber besser nicht auf die bekannte Eigenschaft der Hauptpunkte des photographischen Objectivs zurückführen, zugleich Knotenpunkte zu sein.

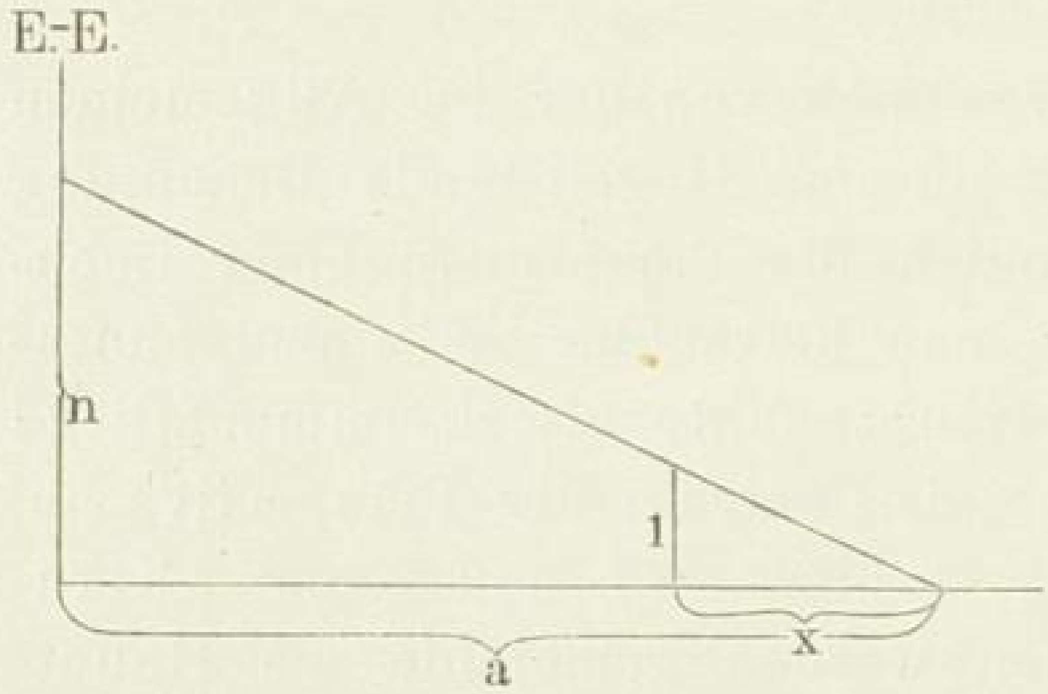

Fig. 3.

Man weiss aus dem Vorigen, dass das Mattscheibenbild eine dem Bilde der E.-E. streng ähnliche Abbildung im Maassstabe 1 : n ist. Der richtige Standpunkt bei der Betrachtung des mit 1 bezeichneten Bildes, welches natürlich erst in diese Lage gebracht werden muss, nicht etwa dort entsteht, ergiebt sich aus der Projection:

$$a : x = n : 1; \; x = \frac{a}{n};$$

da nun beim gewöhnlichen Objective mit hinreichender Genauigkeit (s. o.) gesetzt werden kann:

$$a = (n + 1) f \qquad (11a)$$

so ist

$$x = \frac{n+1}{n} f \qquad (11)$$

und für Fernaufnahmen, wo $n = \infty$ gesetzt werden kann, ist:

$$\lim_{n=\infty} x = f$$

---

[1]) a. a. O. S. 158 Anm.

was mit der altbekannten Regel übereinstimmt, photographische Landschafts-Aufnahmen aus einer der Systembrennweite gleichen Entfernung zu betrachten.

Beim Teleobjectiv erhalten wir dagegen

$$a = f(n + \gamma m);\ m \geqq 1\,[1] \qquad (12a)$$

und für den Standpunkt

$$x = \frac{n + m\gamma}{n} f \qquad (12)$$

also verschieden von dem des gewöhnlichen Objectivs. Erst für Fernaufnahmen wird auch hier

$$\lim_{n = \infty} x = f.$$

Diese Verschiedenheit in dem Abstand des richtigen Standpunktes von dem photographischen Bilde hängt natürlich auf das Engste mit dem für das Teleobjectiv erforderlichen grösseren Objectabstande zusammen.

Bei dem Interesse, welches dem Teleobjective hinsichtlich der perspectivischen Wirkung entgegenzubringen ist, wird es nicht unnöthig sein hinzuweisen auf den

Einfluss der Verlegung der E.-P. auf die Perspective der Aufnahme.

Schon im Vorhergehenden haben wir auf den richtigen Standpunkt hingewiesen, den man bei Betrachtung des photographischen Bildes einnehmen müsse. Thatsächlich ist auf das

---

[1]) Setzen wir, was erst in einem folgenden, hiervon ganz unabhängigen Capitel bewiesen wird, einmal voraus, dass die Mittelblende des Teleobjectivs zugleich Aperturblende sei, und dass die E.-P. vom vorderen Brennpunkt F_1 des Vordersystems um

$$x = \frac{f_1^2}{\alpha + f_2 - \triangle}$$

abstände, so ist der Abstand zwischen E.-P. und vorderem Systembrennpunkt F natürlich

$$\begin{aligned} -\sigma + x &= \frac{f_1^2}{\triangle} + \frac{f_1^2}{a + f_2 - \triangle} \\ &= \frac{f_1^2}{\triangle}\ \frac{\alpha + f_2}{\alpha + f_2 - \triangle} \\ &= f\gamma m;\ m \geqq 1. \end{aligned}$$

Einhalten dieses Standpunktes zur Gewinnung des richtigen Eindruckes grosses Gewicht zu legen, wie das besonders Bruno Meyer[1]) sehr nachdrücklich betont.

Die geometrisch vollkommen richtige Darstellung eines Gegenstandes in Centralprojection (perspectivischer Zeichnung) macht dann einen unnatürlichen Eindruck, wenn der Augenort nicht mit dem Orte des Projectionscentrums zusammenfällt.

Für den Augenort ist einmal die deutliche Sehweite maassgebend, um die man mindestens das Auge von der Aufnahme entfernt halten muss, andererseits die Grösse der Aufnahme selber, deren Einfluss allerdings verschieden angegeben wird, manche Autoren wie Bruno Meyer a. a. O. S. 214 geben die unwillkürlich gewählte Distanz auf das Dreifache der längsten Seite an, andere geben nur das Zweifache oder nicht einmal so viel.

Durch diese unwillkürliche Wahl des Augenortes, die ganz ohne Rücksicht auf die Brennweite des Apparates, also auch auf die richtigen in (11) und (12) angegebenen Abstände, vorgenommen wird, kann das Auge sich mehr oder minder weit von dem richtigen Orte entfernen, so dass man

α) entweder die Aufnahme aus zu grosser Entfernung, also unter kleinerem Gesichtswinkel, betrachtet, als der ist, unter dem sie gemacht wurde. Die Tiefenausdehnung erscheint alsdann übertrieben.

β) oder aus zu naher Entfernung, also unter grösseren Gesichtswinkel als nothwendig; dann erscheint die Tiefenausdehnung zu gering.

Aus dem Vorhergehenden ging es nun hervor, dass bei einem photographischen Objective die Perspective gegeben ist durch die Entfernung der E.-E. von der E.-P. Ist diese Entfernung verhältnissmässig klein, der Gesichtswinkel also beträchtlich, so wird die Möglichkeit vorliegen, bei der Betrachtung des Bildes in den unter α aufgeführten Fehler zu verfallen.

Unter gewissen Umständen ist nun ein Zurückgehen mit einem kurzbrennweitigen Objective zur Verkleinerung des Gesichtswinkels unthunlich, da die Figuren zu klein werden, und da bietet uns das Teleobjectiv das Mittel an die Hand, den

---

[1]) Bruno Meyer: Die Photographie und die Perspective. Deutsche Phot.-Ztg. 1896. Bd. 20. Nr. 13, S. 171—78; Nr. 15, S. 211—218; Nr. 16, S. 237—243.

Objectabstand zu vergrössern und die E.-P. weiter rückwärts zu verlegen, ohne doch den Maassstab zu sehr zu reduciren.

Wie wir schon oben sahen, ist der fragliche Abstand zwischen E.-E. und E.-P. bei einer n-maligen Reduction des Bildes bei einem Objectiv gewöhnlicher Construction nach (11 a):

$$a = (n + 1) f$$

und beim Teleobjectiv nach (12 a):

$$a = (n + m \gamma) f; \quad m \geqq 1.$$

Wir kommen also zu dem Ergebniss, dass das Teleobjectiv mit seiner weiter vom Objectiv zurückverlegten E.-P. dazu neigen muss, Bilder zu geben, die unter verhältnissmässig kleinem Gesichtswinkel bei verhältnissmässig grossem Abstand aufgenommen sind, und die mithin weniger leicht perspectivisch übertrieben erscheinen werden.

Diese Eigenschaft ist es, deretwegen P. Rudolph in seiner Gebrauchsanleitung das Teleobjectiv zu Portraitaufnahmen als besonders geeignet bezeichnete. Hier ist n von derselben Grössenordnung mit 1 und mit m γ; es fällt also beträchtlich ins Gewicht, ob als Factor von f nur $(n + 1)$ oder $(n + m \gamma)$ auftritt.

Dieser Unterschied verschwindet indessen, sobald n von höherer Ordnung wird als diese beiden Grössen, wie es bei Fernaufnahmen der Fall ist. Für diese verliert das Teleobjectiv durchaus seine Sonderstellung den gewöhnlichen Constructionsformen gegenüber, soweit es sich um die perspectivische Wirkung handelt.

Natürlich bleibt zu beachten, dass für diesen Vergleich stets Objective gleicher Brennweite herangezogen werden müssen. Bei diesen werden wir geneigt sein, in den unter β angeführten Fehler zu fallen, da wir den Standpunkt zu nah wählen. Da das Teleobjectiv seiner Construction nach im Verhältniss zur Brennweite nur verhältnissmässig kleine Bildformate auszeichnet, so wird man thatsächlich einer Teleaufnahme gegenüber um so eher geneigt sein, seinen Standpunkt zu nahe zu wählen. Dasselbe würde aber geschehen, wenn man aus einer Fernaufnahme, die von einem Weitwinkelobjective gleicher Brennweite und aus gleichem Standpunkte gemacht wäre, den entsprechenden Bild-theil herausschnitte, denn unter Voraussetzung von $n = \infty$ und orthoskopischer Zeichnung beider Objective sind beide Aufnahmen congruent.

Die so ungemein oft wiederholte, meines Wissens auf dem nicht einwandsfreien Artikel von H. Streintz[1]) beruhende Behauptung, das Teleobjectiv liefere flache Bilder, gehört zu dem Schatze oberflächlicher und schiefer Behauptungen mancher beliebter Lehrbücher und Compendien und erhält ihre beste Stütze durch den Umstand, dass die berüchtigt flache Teleaufnahme überhaupt nicht mit einem Teleobjectiv gemacht wurde, was übrigens H. Streintz auch nie behauptet hatte.

Zusammenfassend können wir sagen: Die Perspective ist eine Function, allein von dem Abstande zwischen E.-E. und E.-P. und kann von einem orthoskopisch zeichnenden Objective überhaupt nicht geändert werden. Die Brennweite desselben ist für die Perspective vollkommen gleichgiltig, und sie hat nur insofern Bedeutung, als das von derselben in gewisser Abhängigkeit stehende Plattenformat uns den unter Umständen unrichtigen Augenort unwillkürlich wählen lässt.

Die Abbildung durch ein System endlicher Oeffnung.

Der Unterschied gegen den Fall enger Blenden.

Im Vorhergehenden war stets das Mattscheibenbild betrachtet worden als eine n-fache Reduction der auf der E.-E. bei Annahme unendlich dünner Büschel entstehenden Projectionsfigur.

Thatsächlich ist die Verwirklichung dieses Falles wegen der schon viel früher auftretenden Beugungserscheinungen unmöglich, und man muss in der Praxis stets mehr oder minder weit geöffnete Büschel zur Abbildung verwenden; in diesem Fall ist der Vortheil, der dieser Art der Darstellung des Mattscheibenbildes hinsichtlich der Einfachheit der Auffassung eigen ist, noch viel beträchtlicher.

---

[1]) H. Streintz: Die Tiefenperspective in der Photographie nebst einem Anhange: I. Ueber den optischen Mittelpunkt einer Linse, und II. die Lage des Augenpunktes bei der photographischen Abbildung. Phot. Corr. 1892. Bd. 29. Nr. 385. S. 477—492; Nr. 387. S. 548—563.

Alsdann bestimmt ein beliebiger Objectpunkt mit der Blende nicht einen Strahl, sondern einen Strahlenkegel, dessen Spitze im Objectpunkte und dessen Basis in der E.-P. liegt. Und an Stelle des in der punktförmigen E.-P. centrischen Büschels erhalten wir hier über der E.-P. als gemeinsamer Basis eine zweifach unendliche Mannigfaltigkeit von Strahlenkegeln, die ihre Spitzen in den vom Orte des Objectives aus sichtbaren Objectpunkten haben. Ihr entspricht bildseitig eine zweifache Mannigfaltigkeit von Strahlenkegeln, deren Spitzen in den entsprechenden Bildpunkten, deren gemeinsame Basis in der A.-P. liegt.

Es ist nun ohne Weiteres ersichtlich, dass den Punkten der E.-E. selbst ohne Weiteres auch wieder Punkte auf der Mattscheibe entsprechen werden, ganz unabhängig von der Oeffnung des Systems, wobei wir natürlich ein sphärisch gut corrigirtes System mit vollkommener anastigmatischer Bildebenung im Auge haben. Allen vor oder hinter der E.-E. gelegenen Objectpunkten entsprechen dagegen auch vor oder hinter der Mattscheibe gelegene Bildpunkte, und es erscheinen auf der Mattscheibe als die Vertreter der Bildpunkte diejenigen Flächenstücke, welche von den Spuren begrenzt werden, in denen die bildseitigen Strahlenkegel hinter oder vor ihrer Spitze durch die Mattscheibe geschnitten werden. Diese von den Spuren umschlossenen Flächenstücke — Zerstreuungskreise — sind natürlich von der Oeffnung des Systems in hohem Grade abhängig. An der für die Abbildung geltenden Perspective ändern sie gegen den Fall einer punktförmigeu Aperturblende nichts, weil man den durch den Zerstreuungskreis repräsentirten Bildpunkt in der Mitte des Kreises, also dort sucht, wo der Hauptstrahl schneidet, der bei punktförmiger Blende ja allein durchgelassen wird.

Durch diese Zerstreuungskreise werden selbstverständlich die Einzelheiten des Bildes mehr oder minder verwaschen. Um uns eine bessere Einsicht in die hier vorliegenden Verhältnisse zu bilden, betrachten wir die E.-E. als das der Mattscheibenebene entsprechende Object. Wir suchen hier die den Zerstreuungskreisen entsprechenden Undeutlichkeitskreise auf, indem wir die E.-P. durch jeden einzelnen Objectpunkt auf die E.-E. projiciren.

Bezeichnen wir den Durchmesser der E.-P. mit d, den Durchmesser des Zerstreuungskreises auf der E.-E. mit δ, den

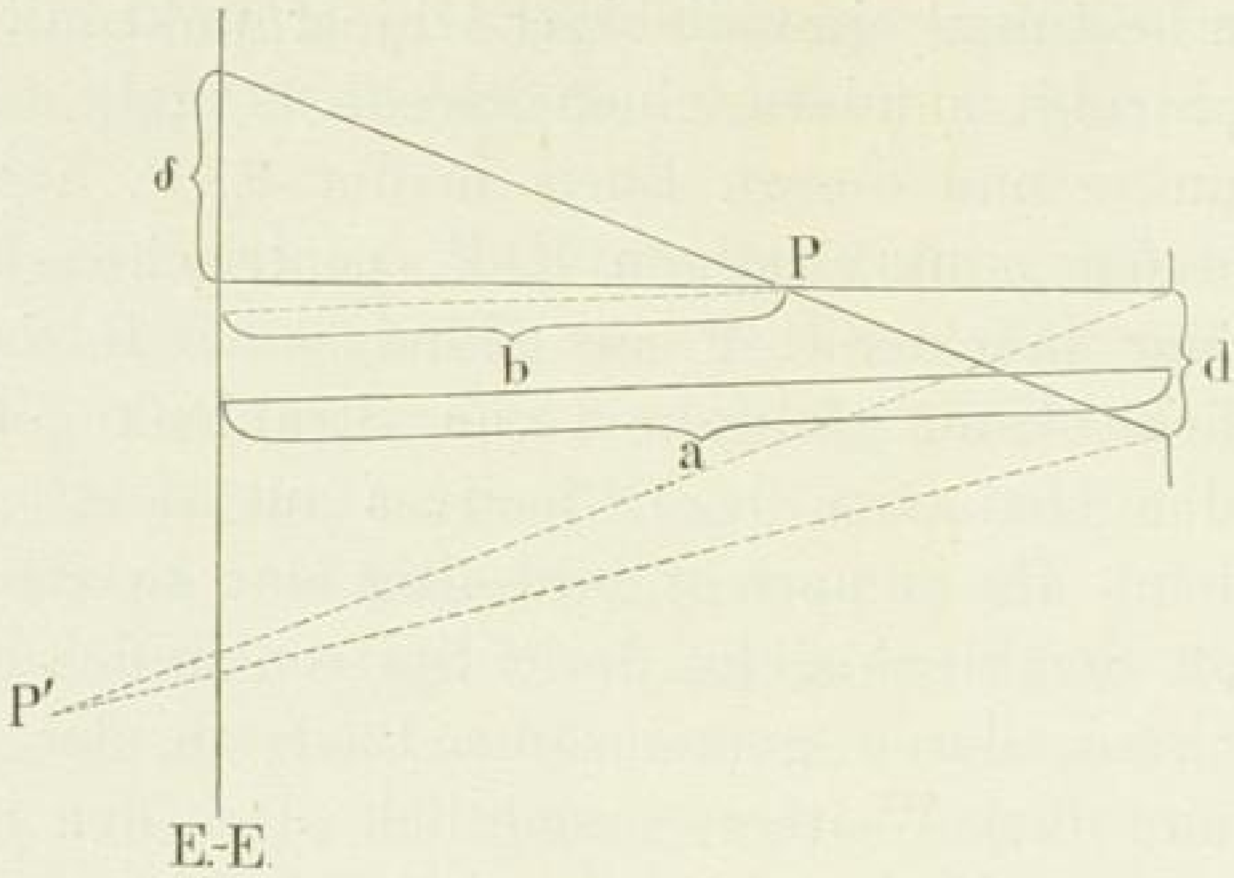

Fig. 4.

Abstand zwischen E.-E. und E.-P. mit a und den senkrechten Abstand des Objectpunktes P von der E.-E. mit b, so ergiebt sich als Abhängigkeit des δ:

$$\delta = \frac{b\,d}{a - b} \tag{13}$$

man sieht also, dass der Durchmesser des Zerstreuungskreises direct proportional ist dem Durchmesser der E.-P., also der Oeffnung des Systems.

Die Formel giebt auch richtige Werthe für Punkte P′, welche links von der E.-E. liegen, also in Bezug auf diese negativen Abstand haben, nur muss natürlich für diese das Zeichen berücksichtigt werden; nennen wir den Abstand $-c$, so lautet die Formel:

$$\delta = \frac{c\,d}{a + c} \tag{14}$$

Das ganze auf der E.-E. entstehende Bild, welches zum Theil Punkte, zum andern Theil Zerstreuungskreise aufweist, wird nun durch das abbildende System in n-facher Reduction auf der Mattscheibe geometrisch ähnlich entworfen. Solange die Zerstreuungskreise auf der Mattscheibe eine gewisse Grösse nicht überschreiten, wird das Bild scharf erscheinen; Gegenstände, welche weiter entfernt sind, so dass ihre Zerstreuungskreise über dies gewisse Maass hinausgehen, erscheinen mehr oder minder unscharf. Welche Grösse für dieses von unserem Auge noch nicht bemerkte Maass anzusetzen ist, lässt sich um so schwerer angeben, als es dabei sicher nicht nur auf die Grösse des Zerstreuungskreises, sondern jedenfalls auch auf die Helligkeitsvertheilung in ihm ankommt.

Doch gesetzt, es sei irgend eine zulässige Unschärfe durch den Durchmesser ε der grössten Zerstreuungskreise definirt, so ist $n\varepsilon$ der entsprechende Durchmesser in der E.-E., dessen Wêrth für δ in die Formeln einzugehen hat. Durch Entwickelung nach b beziehentlich c erhält man als „Tiefe nach vorwärts“

$$t_v = b = \frac{a\, n\varepsilon}{d + n\varepsilon} \qquad (13a)$$

und als „Tiefe nach rückwärts“

$$t_r = c = \frac{a\, n\varepsilon}{d - n\varepsilon} \qquad (14a)$$

als „Gesammttiefe“.

$$t_v + t_r = t = b + c = \frac{2a\, n\varepsilon\, d}{d^2 - n^2 \varepsilon^2} \qquad (15)$$

Doch ist die Grösse des Zerstreuungskreises nach (13) nicht allein von der Abblendung des Objectivs abhängig, sie hängt auch von dem Abstand zwischen E.-E. und E.-P. ab und wird kleiner, wenn ersterer wächst.

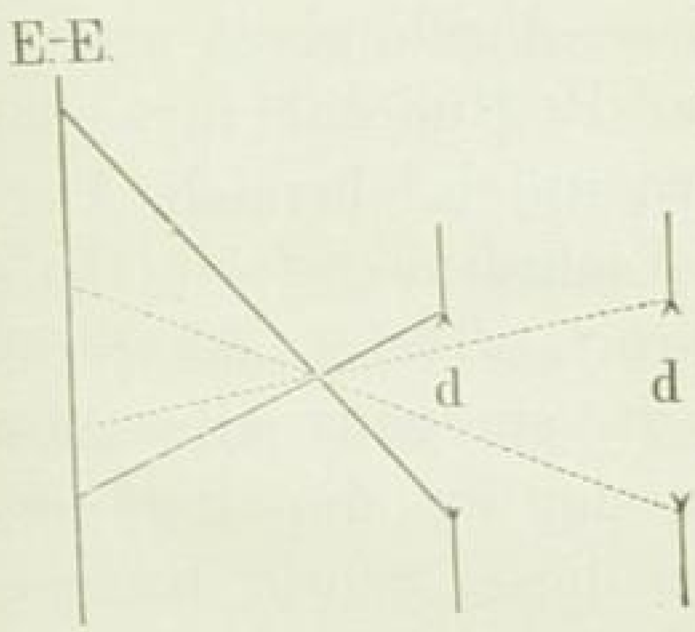

Fig. 5.

Man sieht das Abnehmen der Zerstreuungskreise aus der Figur sehr deutlich bei gleich grossen Eintrittspupillen d in verschiedenem Abstande, doch giebt hier wie immer die Formel die einwandsfreieren Resultate. Vergrössert man also a um h, so geht (13) über in

$$\delta = \frac{b \,.\, d}{a + h - b}$$

Der neue Werth von d wird nun um so mehr von dem älteren abweichen, je grösser der Werth von h a—b gegenüber ist. Ist a also auch a—b sehr gross, d. h. der Objectpunkt und die E.-E. schon sehr weit von der E.-P. entfernt, so ist eine weitere Verlegung der E.-P. nach rückwärts bedeutungslos.

Uebertragen wir dies auf das Teleobjectiv, so ist der Vortheil desselben, schärfere Bilder zu liefern, bei nahen Objectabständen am bedeutendsten, er wird unerheblich bei grösseren und verschwindet bei Fernaufnahmen.

Der Grund für diese vergrösserte Tiefenschärfe ist, wie man aus der Figur oder aus der Formel für die Tangente u des halben Oeffnungswinkels 2 u

$$\text{tg}\, u = \frac{d}{2\,(a + h)}$$

ersieht, in der Abnahme der Apertur der abbildenden Büschel zu suchen.

Fassen wir alles Dies zusammen, so können wir sagen: Vergleicht man ein auf einen bestimmten Betrag für parallelstrahliges Licht abgeblendetes Telesystem mit einem in gleicher Weise auf denselben Betrag abgeblendeten Objective gewöhnlicher Construction von gleicher Brennweite, so liefert das Teleobjectiv schärfere, aber auch lichtschwächere Bilder von nahen, sich in die Tiefe erstreckenden Gegenständen. Je weiter der Objectpunkt von den Eintrittspupillen der Instrumente sich entfernt, desto geringer wird dieser Unterschied beider Constructionstypen, um bei unendlich entfernten Gegenständen völlig zu verschwinden.

Der erste, der über diese Verhältnisse durch einen geeigneten Versuch völlige Klarheit schuf, war P. Rudolph in seiner Gebrauchsanleitung, der er vier ausserordentlich lehrreiche Vergleichsaufnahmen auf einer besonderen Lichtdrucktafel beigab.

Die Formeln für „Tiefe nach vorwärts“, „Tiefe nach rückwärts“ und die „Gesammttiefe“ lassen, da sie ganz allgemein gelten, noch eine recht interessante Discussion zu, die allerdings streng genommen etwas aus dem Rahmen dieser Schrift herausfällt, weil sie sich nicht allein auf das Teleobjectiv bezieht. Sie mag aber trotzdem hier Platz finden, weil sie eine natürliche Folge ist der ganzen Betrachtung, welche, wie man gesehen haben wird, sich ganz auf die Vorgänge im Objectraume, wesentlich in der E.-E., beschränkt.

Die Schärfenzeichnung in ihrer Abhängigkeit vom Durchmesser der E.-P.

Die beiden Formeln (13a) (14a) für t_r und t_v waren aufgestellt für die gleiche Unschärfe $n\varepsilon$. Bei genauerer Betrachtung des Ausdrucks

$$t_r = \frac{a\, n\varepsilon}{d - n\varepsilon}$$

ersieht man sofort, dass höchstens werden kann

$$n\varepsilon = d$$

denn dann wird schon

$$t_r = \infty.$$

Einen Werth $n\varepsilon > d$ anzunehmen, würde mathematisch darauf hinauskommen, einen Objectpunkt hinter dem Objectiv anzunehmen, eine Annahme, die bei unseren Voraussetzungen auszuschliessen ist. Da für die „Tiefe nach vorwärts" eine solche Einschränkung

$$n\varepsilon \leqq d$$

nicht nöthig ist, so folgt daraus, dass die Formel (15) für die „Gesammttiefe"

$$t = \frac{2a\,n\varepsilon\,d}{d^2 - n^2\varepsilon^2}$$

nur unter der obigen einschränkenden Bedingung brauchbar ist. Ist

$$n\varepsilon > d$$

so ist die „Vordertiefe" bequem aus ihrer Formel zu berechnen, und die „Tiefe nach rückwärts" ist eo ipso $= \infty$, ja es hat sogar in diesem Raume die Tiefe noch nicht einmal den zugelassenen Betrag der Unschärfe erreicht.

Ausserordentlich leicht lässt sich der Punkt finden, auf den man einstellen muss, um bei einer zulässigen Unschärfe $n\varepsilon$ in der E.-E. die Tiefe von dem Unendlichen sich möglichst weit nach vorn erstrecken zu lassen.

Soll nämlich bei endlichem a die „Hintertiefe" unendlich werden, so muss sein nach (14a)

$$d - n\varepsilon = 0$$

eine Gleichung, die nach Festsetzung der zulässigen Unschärfe ε entweder zur Bestimmung des Reductionsmaassstabes n bei gegebenem Durchmesser d der E.-P. oder zur Bestimmung von d führt, wenn n gegeben ist.

Der Abstand zwischen E.-E. und E.-P. ist beim Objective gewöhnlicher Construction

$$a = (n + 1)\,f$$
$$= \frac{d + \varepsilon}{\varepsilon} f$$

und die „Vordertiefe"

$$t_v = \frac{d + \varepsilon}{\varepsilon} \frac{n\varepsilon}{2n\varepsilon} = \frac{d + \varepsilon}{2\varepsilon} f \qquad (16)$$

Führt man nun noch ein $f = \varkappa d$, wo $\varkappa$ das Reziproke des Oeffnungsverhältnisses bedeutet, so sieht man aus

$$a - t_v = \frac{\frac{f}{\varkappa} + \varepsilon}{2\,\varepsilon} f,$$

wie die Erstreckung des scharfen Raums gegen das Objectiv hin mit $\varkappa$, also mit der Reduction des Oeffnungsverhältnisses, wächst.

Der Fall, dass die Tiefe gerade bis ∞ reichen soll, also

$$t_r = \infty$$

ist besonders einfach.

Im Allgemeinen, kann man sagen, sind je drei der fünf Grössen

$$a,\ d,\ n\varepsilon,\ t_v,\ t_r$$

gegeben, so erlaubt das folgende Gleichungssystem die Berech- der anderen zwei:

$$\begin{aligned}
t &= \frac{2\,a\,n\varepsilon\,d}{d^2 - n^2\,\varepsilon^2};\quad t = t_r + t_v \\
t_v &= \frac{a\,n\varepsilon}{d + n\varepsilon} = \frac{t\,(d - n\varepsilon)}{2\,d} \\
t_r &= \frac{a\,n\varepsilon}{d - n\varepsilon} = \frac{t\,(d + n\varepsilon)}{2\,d} \\
n\varepsilon &= \frac{d}{t}\left\{\sqrt{t^2 + a^2} - a\right\} \\
d &= \frac{n\varepsilon}{t}\left\{\sqrt{t^2 + a^2} + a\right\}
\end{aligned} \tag{17}$$

wobei unter $\sqrt{\ }$ der positive Werth der Quadratwurzel verstanden ist.

Es ist mir sehr wohl bekannt, dass diese Fragen nach „Vorder"- und „Hintertiefe" in der photographischen Litteratur schon behandelt sind, so von F. Schiffner[1]) und in der darauf folgenden Kritik von Bruno Meyer[2]), doch gingen beide auf das Mattscheibenbild zurück. Dies Verfahren ist natürlich völlig correct, führt aber leicht zu der Annahme, das Objectiv sei an dieser Abbildung schuld, speciell sein Oeffnungsverhältniss. Mir lag es daran zu zeigen, dass man noch einfachere Formeln aufstellen kann, indem man eben bei der Herleitung von der Wir-

---

[1]) F. Schiffner: Einfache Formeln für Unschärfe und Tiefe. Eders Jahrbuch für Photographie und Reproductionstechnik. 1895. Bd. 9. S. 119—122.

[2]) Bruno Meyer: Ueber Tiefe der Schärfe. Deutsche Phot.-Ztg. 1896. Bd. 20. Nr. 25. S. 358—364.

kung des Objectivs absah, und dann, dass die Erscheinung, nur eine Ebene könne wirklich scharf abgebildet werden, von der Construction des Objectivs absolut unabhängig ist, während die Unschärfe anderer Ebenen einzig und allein auf die Verwendung mehr oder minder weit geöffneter Büschel für die Abbildung zurückgeführt werden muss.

Ist nun bei Festsetzung einer gewissen Unschärfe $n\varepsilon$ auf der E.-E. die Tiefe der Schärfe für eine gewisse Entfernung a einzig und allein abhängig von dem absoluten Durchmesser d der E.-P., so kann die Abbildung herbeigeführt werden durch ein Objectiv beliebiger Brennweite f, also durch ein System beliebiger Oeffnung, ohne dass die relative Unschärfe irgendwie geändert würde. Zwei so entstandene Aufnahmen mit Objectiven verschiedenen Oeffnungsverhältnisses könnte man durch nachträgliche Vergrösserung der einen vollkommen congruent der andern machen, wenn man von den durch die Vergrösserung hervorgerufenen Fehlern absieht.

Nach diesem ganz allgemein geltenden Satze hat es nur noch Interesse auf die Abbildungen durch zwei Objective des gleichen Oeffnungsverhältnisses, aber verschiedener Brennweite einzugehen, um zu sehen, ob man, wie nach dem Vorigen anzunehmen ist, einen merklichen Vortheil durch Vergrösserung der kleinen Aufnahme erhalten könne.

Für das kleinere Objectiv gelten die Grössen

$$f, \varepsilon, d, n$$

für das grössere

$$F = \varkappa f, \; E = \varkappa\varepsilon, \; D = \varkappa d, \; N$$

dann hat das grössere Objectiv bei der Aufnahme gleich die $\varkappa$-fache Unschärfe des kleineren, also dieselbe, die dieses bei $\varkappa$-facher nachträglicher Vergrösserung erhält.

Die Beziehung von N zu n ergiebt sich in Folgendem:

$$a = (n + 1)\,f; \; n = \frac{a - f}{f}$$

$$a = (N + 1)\,F; \; N = \frac{a - F}{F} = \frac{a - \varkappa f}{\varkappa f}$$

$$n = \frac{a}{f} - 1 = \frac{a - \varkappa f}{f} + \varkappa - 1 = \frac{a - \varkappa f}{\varkappa f}\varkappa + \varkappa - 1$$

$$= \varkappa N + \varkappa - 1$$

$$N = \frac{n - \varkappa + 1}{\varkappa}$$

Nunmehr ergiebt sich sehr einfach beispielsweise:

$$T_v = a \frac{E N}{D + NE} = a \frac{n - \varkappa + 1}{\varkappa d + (n - \varkappa + 1)\varepsilon} \varepsilon$$

Wir erhalten darauf noch sofort

$$\frac{T_v}{t_v} = \frac{n - \varkappa + 1}{n} \quad \frac{d + n\varepsilon}{\varkappa d + (n - \varkappa + 1)\varepsilon}$$

$$\frac{T_r}{t_r} = \frac{n - \varkappa + 1}{n} \quad \frac{d - n\varepsilon}{\varkappa d - (n - \varkappa + 1)\varepsilon}$$

Aus der Form dieser Ausdrücke folgt unter Berücksichtigung des Grössenverhältnisses von d und ε:

$$T_v < t_v\,;\; T_r < t_r$$

Wie bedeutend dieser Tiefenzuwachs ist, lässt sich bei dem oben behandelten einfachen Falle, dass die „Hintertiefe" gerade bis ∞ reicht, gut zeigen.

Dort war der Abstand des ersten scharfen Punkts von der E.-P. unter Berücksichtigung von (16)

$$a - t_v = \frac{d + \varepsilon}{2\varepsilon} f \quad \text{also}$$

$$A - T_v = \frac{D + E}{2\,E} F = \frac{\varkappa d + \varkappa\varepsilon}{2\,\varkappa\varepsilon} \varkappa f = \varkappa \frac{d + \varepsilon}{2\varepsilon} f$$
$$= \varkappa\,(a - t_v).$$

Auf diese Verhältnisse ist — wie schon früher bemerkt, auch hier wieder unter Betrachtung des Bildraumes — sehr deutlich von F. P. Liesegang[1]) hingewiesen. Die Rechtfertigung einer nochmaligen Behandlung von verschiedenem Ausgangspunkte lässt sich wohl in derselben Weise wie früher geben.

Es lässt sich nun ausserordentlich schwierig entscheiden, wieviel dieser theoretisch fraglos bestehenden Ueberlegenheit kleiner E.-P., also implicite kurzer Brennweiten, auch praktisch zur Geltung kommt. Die Hauptschwierigkeit ist jedenfalls die nachträgliche Vergrösserung der ersten Aufnahme, denn abgesehen von den dabei mit in Rechnung zu stellenden Fehlern bei der Vergrösserung selbst wird sich bei stärkerer Ver-

[1]) F. Paul Liesegang: Die richtige Ausnutzung des Objectives. Wie erreicht man in jedem Falle bei scharfer Tiefenzeichnung die grösstmögliche Lichtstärke? 1896. Düsseldorf, Ed. Liesegang. 44 S. 8⁰.

grösserung das Korn der Platte schon in sehr merkbarer Weise kenntlich machen, und gerade die bereitwillige und freudige Aufnahme, die das Teleobjectiv bei seinem Erscheinen fand, lässt darauf schliessen, dass die praktischen Schwierigkeiten und dem Verfahren anhaftenden Fehler geeignet waren, die theorethisch vorhandenen Vorzüge nicht zur Geltung kommen zu lassen.

Die thatsächlich wirkenden Blenden des Teleobjectivs.

Die Bestimmung der Apertur- und Gesichtsfeldblende.

Beim Teleobjectiv aus einfacher Positiv- und Negativlinse mit dazwischen gestellter Irisblende haben wir nach dem früheren drei Blenden zu beachten. Dieselben sind erstens die Fassung des Telepositivs, Radius = R, dann die des Telenegativs

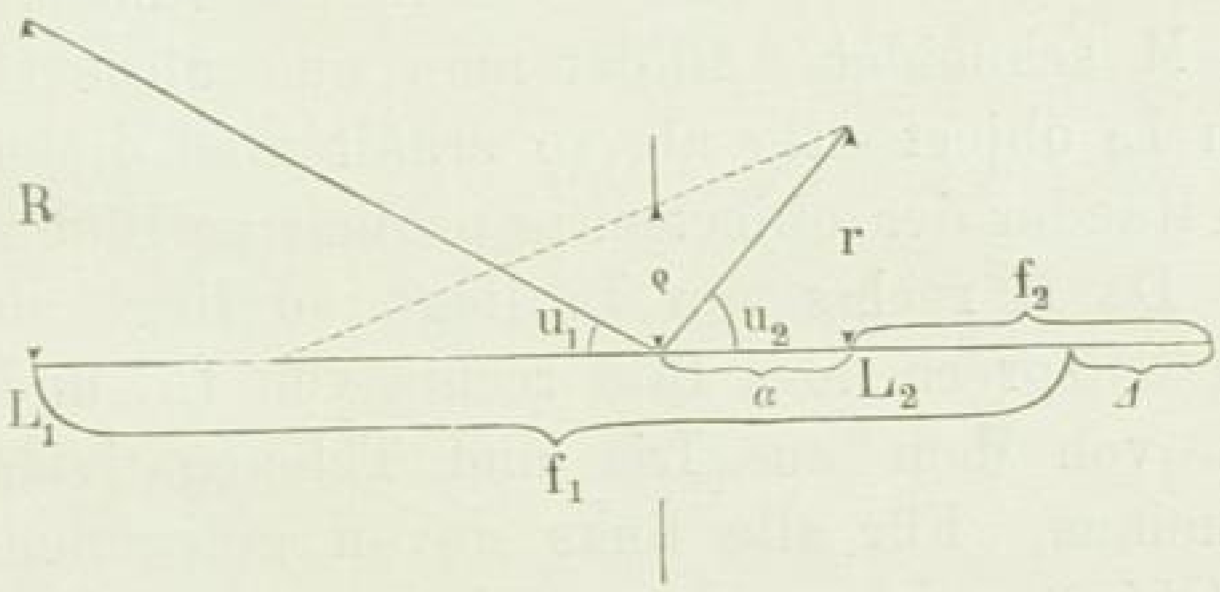

Fig. 6.

Radius = r und Irisblende, Radius = ρ. Der constante Abstand zwischen dem Telenegativ und der Irisblende sei α.

Wir haben nun zu entscheiden, welche dieser drei Blenden als Apertur- und welche als Gesichtsfeldblende wirkt.

Wir nehmen wie im Vorhergehenden die Objecte links von R an und projiciren nun durch das Telepositiv sowohl die Irisblende als auch die Fassung des Telenegativs objectseitig.

Bezüglich des Oeffnungsverhältnisses des ganzen Systems sei noch bekannt, dass man das Telesystem insofern analog einem Objective gewöhnlicher Construction behandeln wird, als man die E.-P. ebenfalls für parallelen Strahlengang im Objectraume construirt.

Unter dieser Voraussetzung hat die Irisblende dann ihren grössten Durchmesser = $2\rho_{max}$, wenn sie das auf das Telepositiv parallel auffallende Büschel mit dem Durchmesser 2 R gerade noch passiren lässt. Ihr objectseitig projicirtes, in diesem Falle aber virtuelles Bild bezüglich L_1 hat dann eben gerade die Grösse 2 R und liegt nach rechts von dem Orte der Irisblende. Daraus folgt dann ganz klar, dass dieses Bild, obwohl es gleicher Grösse mit 2 R ist, doch von einem links von L_1 gelegenen Objectpunkte aus unter kleinerem Gesichtswinkel erscheint als 2 R selbst. Wir wissen also zunächst, die Fassung von L_1 mit dem Durchmesser 2 R ist nicht Aperturblende.

Wir haben nun noch zu entscheiden, ob die Irisblende oder die Fassung von L_2 als Aperturblende zu gelten hat. Dies geschieht am einfachsten dadurch, dass wir die Endpunkte von r und ρ verbinden und den Schnittpunkt dieser Verbindungslinie mit der Axe aufsuchen. Bei den von der Firma Carl Zeiss, Optische Werkstaette, empfohlenen Tuben ist die Irisblende der Negativlinse so nahe angebracht, dass auch bei grösster Oeffnung der Iris diese Verbindungslinie die Axe rechts von L_1 in M schneidet. Bildet man nun diese Gerade durch das System L_1 objectseitig ab, so erhält man diejenige Gerade, welche die Ränder der objectseitig projicirten Bilder von ρ und r verbindet. Da M rechts von L_1 liegt, so liegt auch sein ihm objectseitig entsprechendes Bild rechts von L_1, und das ist der Axenpunkt, von dem aus Iris und Telenegativfassung gleich gross erscheinen. Für alle links davon gelegenen Punkte — und alle Objectpunkte gehören dazu — erscheint also das durch L_1 objectseitig projicirte Bild von ρ selbst bei grösster Oeffnung der Irisblende unter dem kleinsten Gesichtswinkel. A fortiori gilt Das natürlich, wenn man abblendet, also unter $2\rho_{max}$ heruntergeht. Unter allen Umständen ist also die Irisblende die Aperturblende des Teleobjectivs.

Aber selbst wenn — und Das wird bei Systemen anderer Herkunft wohl unter Umständen vorkommen — $2\rho_{max}$ und 2 r gleich gross sind, ist die Irisblende bei grösster Oeffnung auch Aperturblende. Die vorher die Axe in M schneidende Gerade ist dann der Axe parallel, ihr objectseitig projicirtes Bild geht dann durch den „vorderen Brennpunkt“ F_1 des Telepositivs. Da der „vordere Brennpunkt“ des ganzen Systems weit links vor F_1 liegt und vor diesem die ersten Objecte, so liegen alle Objecte links von F_1, d. h. für alle erscheint das Bild von $2\rho_{max}$ unter dem kleinsten Gesichtswinkel, d. h. die Irisblende ist auch dann Aperturblende des Systems.

Nunmehr unterliegt die Feststellung der Gesichtsfeldblende keinen Schwierigkeiten, denn es handelt sich nur noch darum, ob vom Mittelpunkte der E.-P. aus 2 R oder das von 2 r durch L_1 entworfene virtuelle Bild unter dem kleinsten Sehwinkel erscheint. Zu diesem Zweck verbinden wir den Mittelpunkt der Aperturblende mit den Enden der Radien R und r und nennen die Winkel, welche diese Verbindungslinien mit der Axe einschliessen u_1 und u_2 (s. Fig. 6). Bezeichnen wir die durch objectseitige Projection modificirten Grössen durch obere Indices, so interessirt uns

$$\operatorname{tg} u_1{}^1 \lesseqgtr \operatorname{tg} u^1{}_2.$$

Um diese Frage zu entscheiden, genügt es, auf den Satz über die Constanz des Convergenzverhältnisses [1]) zurückzugehen.

Derselbe lautet:

Ziehen wir in einer durch die Axe eines optischen Systems gelegten Ebene (Meridianebene) durch einen Axenpunkt beliebige Gerade l_1, l_2 ... u. s. w., die mit der Axe die Winkel u_1 u_2 ... u. s. w. einschliessen, so werden nach der Abbildung die Bilder der Geraden $l_1{}^1$, $l_2{}^1$ ... u. s. f. mit der Axe die Winkel $u_1{}^1$, $u_2{}^1$ u. s. f. einschliessen. Der Quotient

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} u_1{}^1}{\operatorname{tg} u_1} = \frac{\operatorname{tg} u_2{}^1}{\operatorname{tg} u_2} = \text{u. s. w.}$$

hängt dann nur von dem Orte des Schnittpunktes auf der Axe ab, ist also hier, wo alle Graden sich in einem Axenpunkte schnitten, constant.

Wenden wir diesen Satz hier an, so ist bei Abbildung durch L_1:

$$\frac{\operatorname{tg} u_1{}^1}{\operatorname{tg} u_1} = \frac{\operatorname{tg} u_2{}^1}{\operatorname{tg} u_2} \text{ und}$$

$$\frac{\operatorname{tg} u_2}{\operatorname{tg} u_1} = \frac{\operatorname{tg} u_2{}^1}{\operatorname{tg} u_1{}^1}$$

Die linke Seite der Gleichung ist der Bestimmung nun ausserordentlich leicht zugänglich und, da, wie schon hervergehoben, die Blende ziemlich nahe an das Telenegativ gebracht wird, so ist wohl stets $u_2 > u_1$

$$\operatorname{tg} u_2{}^1 > \operatorname{tg} u_1{}^1$$

d. h. im Allgemeinen ist 2 R die Fassung des Telepositivs die Gesichtsfeldblende eines Telesystems.

[1]) S. Czapski a. a. O. S. 40.

Der Gesichtsfeldwinkel.

Gehen wir auf Fig. 6 zurück, so ersehen wir, dass der Abstand der Aperturblende 2ρ vom hinteren Brennpunkte des Telepositivs ist:

$$x^1 = -(\alpha + f_2 - \triangle) \quad \text{also}$$

$$x = \frac{f_1^2}{\alpha + f_2 - \triangle} \tag{17}$$

und wir erhalten als scheinbare Grösse des Blendenradius ρ nach

$$y = \frac{f^1 y^1}{x^1}$$

$$y = -\frac{f_1 \rho}{\alpha + f_2 - \triangle} \tag{18}$$

wobei das negative Zeichen nur die aufrechte Stellung des virtuellen Bildes andeutet.

Da die Fassung des Vordersystems nach dem Obigen selber Gesichtsfeldblende ist, so entspricht sie bei einer Abbildung durch das Telepositiv sich selbst. Der Abstand zwischen L_1 und der E.-P. ist gegeben durch

$$x - f_1 = \frac{f_1^2}{\alpha + f_2 - \triangle} - f_1$$

$$= \frac{f_1}{\alpha + f_2 - \triangle} \left\{ f_1 + \triangle - \alpha - f_2 \right\}.$$

Führen wir jetzt den (mit $\triangle$ variabeln) Abstand zwischen L_1 und der Irisblende ein

$$\beta = f_1 + \triangle - \alpha - f_2,$$

so wird

$$x - f_1 = \frac{f_1 \beta}{\alpha + f_2 - \triangle} = \frac{f_1 \beta}{f_1 - \beta} \tag{19}$$

und

$$y = -\frac{f_1 \rho}{f_1 - \beta} \tag{18a}$$

Tragen wir uns die Lage dieser beiden Oeffnungen der Gesichtsfeldblende 2 R und der E.-P. schematisch auf, so werden wir, um den allgemeinen Fall zu haben, die E.-P. kleiner als 2 R annehmen, d. h. $\rho < 2\rho_{max}$. Wir erhalten dann durch die Verbindung von den beiden äussersten Punkten und der Mitte der E.-P. mit dem Rande der Gesichtsfeldblende den links vor L_1 gelegenen Raum, welcher hier durch die über der Axe liegende Hälfte einer Meridianebene gekennzeichnet ist, in vier Theile 𝔄, 𝔅, ℭ, 𝔇 getheilt. Aus 𝔄 kann überhaupt kein Strahl

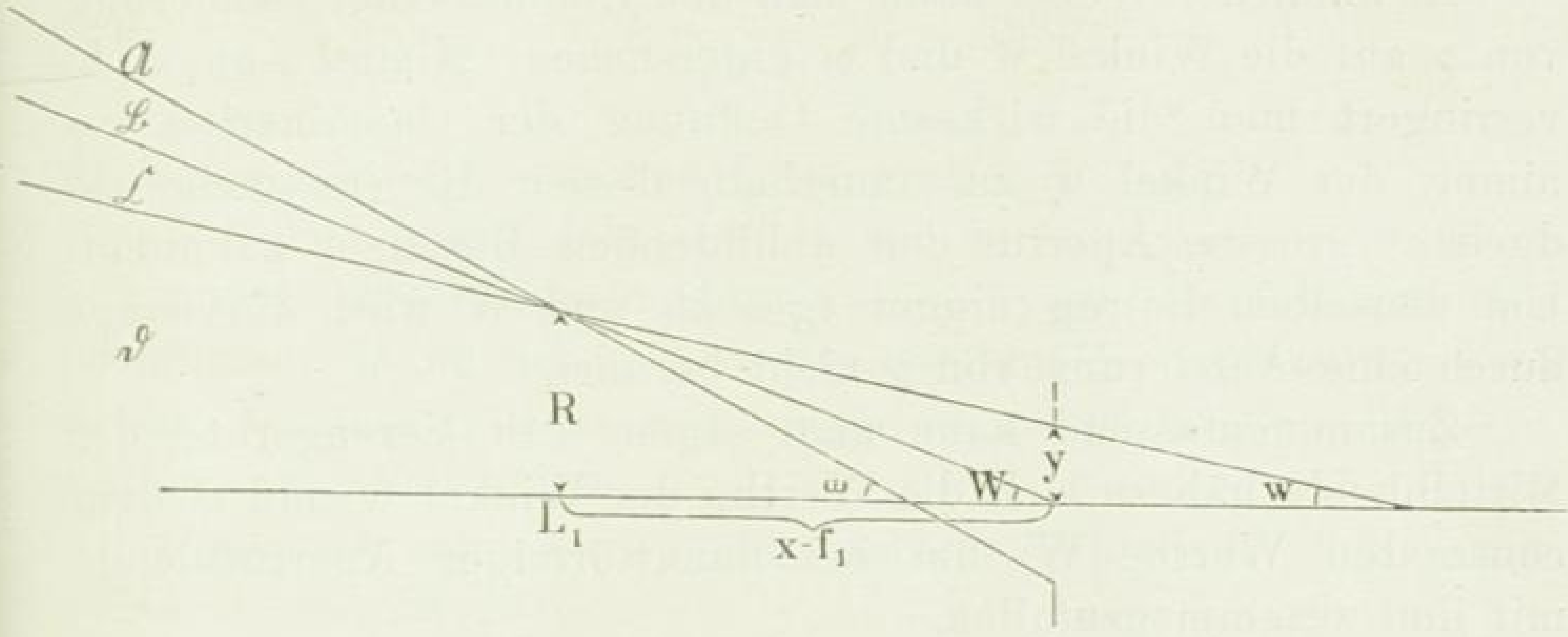

Fig. 7.

durch R und E.-P. gelangen. Die in 𝔅 gelegenen Punkte gelangen mit einer zwischen null und der Hälfte der möglichen liegenden Apertur zur Abbildung, die in ℭ mit einer zwischen $^1/_2$ und 1 liegenden und nur die in 𝔇 liegenden mit der ganzen durch y bedingten Apertur. Diese Erscheinung einer allmählich bis auf null abnehmenden Apertur ist allen den Instrumenten eigen, in denen die Gesichtsfeldblende nicht mit dem Objecte selbst oder seinem Bilde (bezw. einem seiner Bilder) zusammenfällt.

Die Tangenten der halben Gesichtsfeldwinkel ergeben sich dann ungemein einfach (y jetzt immer absolut genommen)

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} w &= \frac{R - y}{x - f_1} = \frac{R\,(f_1 - \beta) - f_1\,\rho}{f_1\,\beta} \\ \operatorname{tg} W &= \frac{R}{x - f_1} = \frac{R\,(f_1 - \beta)}{f_1\,\beta} \\ \operatorname{tg} \omega &= \frac{R + y}{x - f_1} = \frac{R\,(f_1 - \beta) + f_1\,\rho}{f_1\,\beta} \end{aligned} \tag{20}$$

Um die Abhängigkeit dieser Winkel von $\triangle$ zu erhalten, dividiren wir Zähler und Nenner durch β und erhalten beispielsweise für tg w folgende Form

$$\operatorname{tg} w = \frac{\frac{(R - \rho)\,f_1}{\beta} - R}{f_1}$$

aus der sofort ersichtlich ist, dass nur noch das erste Glied des Zählers von β also von $\triangle$ abhängig ist. tg w nimmt also ab, wenn $\triangle$ wächst und umgekehrt. In genau der gleichen Abhängigkeit bezüglich $\triangle$ stehen auch tg W und tg ω.

In ähnlicher Weise kann man den Einfluss einer Aenderung von ρ auf die Winkel w und ω untersuchen. Nimmt ρ ab, d. h. verringert man die wirksame Oeffnung der Combination, so nimmt der Winkel w zu, innerhalb dessen die (nunmehr reducirte) grösste Apertur den abbildenden Büscheln zukommt. Um denselben Betrag nimmt tg ω ab und W wird überhaupt durch eine Aenderung von ρ nicht berührt.

Zusammenfassend kann man sagen: Mit Verengerung der Mittelblende nähern sich die Werthe der Winkel w und ω dem constanten Werthe W, um bei punktförmiger Aperturblende mit ihm zusammenzufallen.

Wir hatten die Voraussetzung gemacht, dass nach dem Durchgang der Strahlen durch die Aperturblende keine weitere Abblendung einträte. Das ist nach dem Vorherhergehenden für die Hauptstrahlen selbstverständlich und, wenigstens für alle hier betrachteten Systeme, auch für den Grenzstrahl von w, der das System unter kleinerem Winkel durchsetzt. Nicht aber gilt Das von vornherein für den Grenzstrahl von ω.

Um den Winkel ω_1 zu finden, unterhalb dessen die Fassung der Negativlinse L_2 nicht mehr abblendend wirken kann, gehen wir der Einfachheit wegen auf den zwischen L_1 und L_2 stattfindenden Strahlengang zurück, und da kann gezeigt werden, dass die Irisblende 2ρ auch wirklich Aperturblende ist, wenn

$$\rho \leqq \mathfrak{r}$$

$$\mathfrak{r} = \frac{(f_1 + \triangle)\, r - R\,(\alpha + f_2)}{f_1 + \triangle}$$

Ist aber

$$\rho > \mathfrak{r}$$

so wirkt für den Raum $\mathfrak{B}$ als Begrenzungslinie nicht eine solche, die mit der Axe den Winkel ω, sondern eine, die den Winkel ω_1 einschliesst, wobei

$$\text{tg}\,\omega_1 = \frac{R\,(f_2 - \triangle) + f_1\, r}{f_1\,(f_1 + \triangle - f_2)} \quad \text{ist.}$$

Die Apertur für weit entfernte Objecte.

Wir werden diese Bestimmung, analog dem Früheren ausführlich nur für paralleles Licht vorzunehmen brauchen, da der

Fall für nahe Gegenstände weiter kein Interesse hat. Für diese ist die Oeffnung der abbildenden Büschel eben $= 2u$ und

$$\operatorname{tg} u = \frac{R}{a}$$

wo a der Abstand zwischen E.-E. und E.-P. ist.

Für paralleles Licht werden wir der praktischen Wichtigkeit halber eine Unterscheidung zweier Typen von Telesystemen vornehmen, je nachdem dasselbe gebildet ist mit einem einfachen Telepositiv oder mit einem photographischen Objectiv mit eigener Mittelblende.

Gehen wir zunächst auf das einfache Telepositiv, so besteht allgemein die Proportion

$$R : \rho_{max} = f_1 : \alpha + f_2 - \triangle$$

$$\rho_{max} = R \frac{\alpha + f_2 - \triangle}{f_1} \tag{21}$$

also bei der Oeffnung $2R$

$$\frac{f_1}{2R} = \frac{\alpha + f_2 - \triangle}{2\rho_{max}}$$

und bei einer kleineren wirksamen Oeffnung $2R_1$

$$\frac{f_1}{2R_1} = \frac{\alpha + f_2 - \triangle}{2\rho}$$

Nun drückt man im allgemeinen die Apertur eines photographischen Objectivs mit der wirksamen Oeffnung O und der Brennweite F aus durch:

$$\frac{O}{F} = \frac{1}{\varkappa};\ \varkappa = \frac{F}{O}$$

Für das Teleobjectiv wird also nun

$$\varkappa = \frac{f}{2R_1} = \frac{f_1 f_2}{\triangle 2R_1} = \frac{f_2}{\triangle} \frac{\alpha + f_2 - \triangle}{2\rho}$$

Nun treten aber ganz allgemein störende Beugungsaberrationen auf, wenn man mit der Oeffnung eines optischen Systems heruntergeht unter einen gewissen Betrag, den wir hier einmal zu $f/_{71}$ annehmen in Uebereinstimmung mit der dafür von Carl Zeiss, Optische Werkstaette, in seinen Blendentabellen eingeführten kleinsten nutzbaren Blende.

Setzen wir also $\varkappa_{max} = 71$, so kann dieser Werth entsprechend der eben abgeleiteten Formel herbeigeführt werden durch zu kleine Oeffnung der Irisblende, die sich aus der Gleichung

$$71 = \frac{f_2}{\triangle} \frac{\alpha + f_2 - \triangle}{2\rho_{min}} \quad \text{zu}$$

$$2\rho_{min} = \frac{f_2}{\triangle} \frac{\alpha + f_2 - \triangle}{71}$$

ergiebt. Für jedes optisches Intervall $\triangle$ giebt es also eine bestimmte, eben abgeleitete Oeffnung $2\rho_{min}$, unter die man nicht herabgehen kann, wenn nicht störende Beugungserscheinungen auftreten sollen.

Mit abnehmendem $\triangle$ wächst der Werth von $2\rho_{min}$, wie man aus der Formel sieht, und dieser Umstand giebt Veranlassung, auch eine untere Grenze für $\triangle$ anzugeben. Offenbar kann ρ_{min} nur so lange wachsen, bis es gleich dem vorher in (21) berechneten ρ_{max} Irishalbmesser bei Benutzung der ganzen Oeffnung 2 R wird. Das Gleichsetzen beider Ausdrücke ergiebt dann

$$\frac{2\,R\,(\alpha + f_2 - \triangle_{min})}{71} = \frac{f_2}{\triangle_{min}} \frac{\alpha + f_2 - \triangle_{min}}{71} \quad \text{mithin}$$

$$\triangle_{min} = \frac{f_1\,f_2}{2\,R \cdot 71} \quad \text{und darauf}$$

$$f_{max} = 2\,R \cdot 71$$

wie Das nach dem Vorhergehenden ja auch sein musste. Diese längste Brennweite lässt sich also nur noch ohne Verkleinerung der Mittelblende benutzen. Blendet man zu weit ab, oder benutzt man eine zu lange Brennweite, so erhält man mehr oder minder unscharfe Bilder infolge der dann mit Sicherheit auftretenden störenden Beugungsaberrationen.

Gehen wir zu der Discussion eines Anastigmaten als Vordergliedes über, so unterscheidet sich die Combination von der früher betrachteten dadurch, dass die Abblendung des Vordergliedes unabhängig ist von $\triangle$.

Ist die gerade benutzte Oeffnung des Anastigmaten entsprechend dem Durchmesser $2\rho_1$ des wirksamen Strahlenbündels:

$$\frac{1}{\varkappa_1} = \frac{2\rho_1}{f_1}$$

so ist die Oeffnung des Systems

$$\frac{1}{\varkappa} = \frac{2\rho_1}{f} = \frac{2\rho_1\,\triangle}{f_1\,f_2} = \frac{1}{\varkappa_1} \frac{\triangle}{f_2}$$

mithin

$$\varkappa = \varkappa_1 \frac{f_2}{\triangle}$$

Nun ist, wie man aus $f = \frac{f_1 f_2}{\triangle}$ ersieht, $\frac{f_2}{\triangle}$ die Vergrösserung, der das durch das positive System entworfene Bild durch das Telenegativ unterzogen wird, und wir sind zu dem Ausspruche berechtigt: Wird die Brennweite des positiven Elementes durch die Wirkung der Negativlinse auf das m-fache gebracht, so sinkt die relative Oeffnung des gesammten Systems auf den m^{ten} Theil der des Vordergliedes. Selbstverständlich ist es auch hier geboten, nicht unter

$$\varkappa_{max} = 71$$

herunter zu gehen, weil die Bilder dann unscharf werden müssen.

Es kann also nicht gebilligt werden, wenn A. Miethe [1]) folgende Regel zulässt:

„Die Einstellung erfolgt nach Abblendung des Objectivs auf $f/_9$—$f/_{12.5}$, zur Aufnahme selbst bedient man sich der Oeffnungen $f/_{18}$—$f/_{25}$"; und später unter der Rubrik „Vergrösserungen gegen die directe Aufnahme mit dem Objectiv allein" ausser der allein zulässigen Zahl 3 noch Zahlen 5, 7, 11, 15 duldet. Im letzten Falle würde die Aufnahme also mit einer Systemöffnung von $f/_{270}$—$f/_{375}$ gemacht werden.

Schon früher war darauf hingewiesen worden, dass die Ableitung des Oeffnungsverhältnisses erfolgte unter Voraussetzung parallelen Strahlenganges im Objectraum. Ich nehme hier Gelegenheit, auf eine sehr interessante Schrift von A. Scharfe hinzuweisen, in die ich vor ihrer Veröffentlichung Einsicht nehmen durfte. Dieselbe behandelt die Belichtungsverhältnisse für das Teleobjectiv in ihrer Abhängigkeit von der Objectentfernung und wird unter dem Titel „Ueber die Berechnung der Expositionszeiten bei Teleobjectiven" in den Phot. Mitt. erscheinen.

---

[1]) Preisverzeichniss der Objective und Hilfsapparate für Photographie von Voigtländer & Sohn, Braunschweig. Wissenschaftliche und technische Mitarbeiter: Dr. D. Kaempfer und Dr. A. Miethe. 8°. 48 S. Braunschweig, Krampe, Herbst 1896. SS. 32 und 33.

Berichtigung. Auf S. 14 Zeile 6 von oben, in der Ueberschrift, ist zu lesen: **Nahaufnahmen** statt Nachaufnahmen.

Druck von G. Uschmann in Weimar.