



### VIII.

## Ueber die Bestimmung von Zeit und Polhöhe aus Beobachtungen in Höhenparallelen.

Sitzungsberichte der Jenaischen Gesellschaft für Medicin und Naturwissenschaft, Jahrg. 1879, 57–66, Sitzung vom 2. Mai 1879.

Die Darstellung eines Parallelkreises zum Horizont ist unter Benutzung verhältnissmässig sehr einfacher Hilfsmittel einer grossen Genauigkeit fähig, wie Herr N. ZINGER gezeigt hat<sup>1)</sup>. Es [58] gehört dazu in der Hauptsache nur ein Fernrohr, das auf beliebige Höhen eingestellt und im Azimuth gedreht werden kann und eine mit dem Rohr verbundene genügend empfindliche Libelle, durch welche die Gleichheit der Zenithdistanzen in verschiedenen Azimuthen herbeigeführt oder controllirt werden kann. Beobachtungen, welche ausschliesslich die Erfüllung dieser Bedingung, und zwar nur für kurze Zwischenzeiten erfordern, gewähren eine grosse Sicherheit, weil sie unberührt bleiben von mehreren Fehlerquellen, welche die Verwirklichung eines genauen Verticalkreises oder die Winkelmessung mittelst getheilter Kreise beeinträchtigen.

In der citirten Schrift hat Herr ZINGER nachgewiesen, wie günstig sich die Zeitbestimmung aus correspondirenden Höhen zweier Sterne nach einem solchen Beobachtungsverfahren gestaltet.

1) N. ZINGER, die Zeitbestimmung aus correspondirenden Höhen verschiedener Sterne. [Aus dem Russischen übersetzt von HEINR. KELCHNER. Mit einem Vorwort von OTTO STRUYE. gr. 8<sup>o</sup>. IV u. 102 S.]. Leipzig 1877.

Beobachtungsmethoden, welche auf Herstellung gleicher Neigung mittelst einer am Fernrohr angebrachten Libelle gegründet sind, sowie darauf bezügliche instrumentelle Einrichtungen sind auch schon beschrieben in

E. KAYSER, das Niveau in neuer und erweiterter Anwendung für astronom. und geodät. Zwecke. Festabhandlung. (Danzig 1873, [Verh. d. naturf. Ges. in Danzig. (2) III, Heft 2. 1873. pp. 1–28].)

Dasselbe scheint mir aber eben so grosse Vortheile für die Bestimmung der Polhöhe darzubieten, und ausserdem bei der Anwendung zur Zeitbestimmung noch eine Modification der Methode correspondirender Höhen nahe zu legen, welche unter Umständen von praktischem Nutzen sein kann.

Die Stundenwinkel  $u_1$  und  $u_2$ , mit welchen zwei Sterne von verschiedener Declination eine gleiche, übrigens ganz beliebige, Zenithdistanz erreichen, sind mit den Declinationen  $\delta_1$  und  $\delta_2$  und der Polhöhe  $\varphi$  des Beobachtungsortes durch die Gleichung verknüpft:

$$\cos u_2 \cos \delta_2 - \cos u_1 \cos \delta_1 = -(\sin \delta_2 - \sin \delta_1) \tan \varphi \dots A)$$

Auf Grund dieser Gleichung lässt sich die Polhöhe finden, wenn die Stundenwinkel des Antrittes an den betreffenden Höhenparallel bestimmt sind. Diese Stundenwinkel aber folgen aus den beobachteten Antrittszeiten, wenn die Sternzeit jeder Beobachtung, ebenso wie AR. und Decl. beider Sterne, als bekannt vorausgesetzt wird.

Die aus obiger Relation sich ergebende Gleichung

$$\frac{\sin \delta_1 - \sin \delta_2}{\cos^2 \varphi} d\varphi = \cos \delta_1 \sin u_1 du_1 - \cos \delta_2 \sin u_2 du_2$$

zeigt nun, dass der Einfluss der Zeitfehler auf die zu berechnende [59] Polhöhe beliebig verkleinert werden kann, wenn man für beide Sterne das Produkt  $\cos \delta \sin u$  sehr klein macht, die Declinationen dabei aber genügend verschieden hält. Diese Bedingung ist für beliebige Grösse des Stundenwinkels erfüllt bei sehr geringer Poldistanz und für beliebige Poldistanz bei sehr kleinem Stundenwinkel. Man erhält demnach günstige Verhältnisse für die Bestimmung der Polhöhe

entweder, indem man einen Stern auswählt, der, südlich vom Zenith culminirend, bei seiner Culmination nahe gleiche Höhe mit einem in beliebigem Stundenwinkel befindlichen Polstern erreicht und auf einen Höhenparallel einstellt, der nahe unter der Culminationshöhe des ersten Sterns liegt;

oder indem man zwei Sterne in grösserem Abstand vom Pol benutzt, welche auf entgegengesetzten Seiten des Zeniths in annähernd gleicher (aber nicht zu geringer) Zenithdistanz culminiren, und deren Durchgänge durch einen Höhenparallel beobachtet, der nur sehr wenig unterhalb der niedrigsten von beiden Culminationshöhen bleibt.





Ist auf die eine oder die andere Weise bewirkt, dass die Coefficienten der  $du$  in dem Ausdruck für  $d\varphi$  beide kleine Werthe erlangen — was für hohe Breiten durch den Faktor  $\cos^2\varphi$  begünstigt wird — so liefert die Beobachtung eines einzigen Antrittes für jeden der beiden Sterne, auch bei nur genäherter Kenntniss des Uhrstandes, alle Data zu einer genauen Breitenbestimmung. Selbstverständlich wird es aber, anderer Rücksichten wegen, immer vortheilhaft sein, beide Durchgänge durch den betreffenden Parallelkreis zu beobachten, wenn solches ohne zu grosse Verlängerung der Dauer der Beobachtungen geschehen kann, wobei dann die Stundenwinkel unabhängig vom Uhrstande aus den Durchgangsbögen sich ergeben.

Die Auswahl geeigneter Sternpaare unter denjenigen Sternen, deren scheinbare Oerter für jede Zeit leicht und in genügender Schärfe zu erhalten sind, muss für jede Breite besonders bewirkt werden. Sie wird natürlich sehr eingeengt durch die Nebenbedingung, dass die zu beobachtenden Durchgänge innerhalb eines kurzen Zeitraumes erfolgen sollen, damit uncontrollirbare Veränderungen im Instrument und in der atmosphärischen Refraction möglichst ausgeschlossen bleiben. Je nachdem man die Grenzen für die niedrigste Grössenklasse der zu verwendenden Sterne, für die zulässigen Coefficienten der Zeitfehler und für die zulässige Zwischenzeit ansetzt, wird für jeden Beobachtungsort die Anzahl der brauchbaren [60] Sternpaare grösser oder geringer ausfallen. Aber auch bei ziemlich eng gesteckten Grenzen wird für jede Breite noch ein genügendes Beobachtungsmaterial übrig bleiben. Ich finde z. B. für die Polhöhe von Jena ( $50^\circ 56'$ ) unter Beschränkung auf die fünf ersten Grössenklassen der Sterne des N.A. und des Sternverzeichnisses der Astron. Gesellschaft bei einer noch nicht einmal ganz erschöpfenden Auslese 12 Sternpaare zwischen  $11^h$  und  $17^h$ , bei welchen im Moment des Durchgangs eine halbe Zeitssekunde im Stundenwinkel nicht mehr als eine Bogensekunde in der Polhöhe austrägt und die Zwischenzeit beider Antritte 40 Minuten nicht überschreitet. Auch bei enger gezogenen Grenzen wird hiernach für jede Breite immer noch genügende Auswahl bleiben, um die Ausführung solcher Beobachtungen und die wünschenswerthe Vervielfältigung an demselben Orte nicht allzu sehr zu erschweren. — Die hier betrachtete Methode wird daher wohl in vielen Fällen, namentlich da, wo es sich um genaue Polhöhenbestimmung ausserhalb gut ausgerüsteter Observatorien han-

delt, wie bei geodätischen Operationen, nützliche Dienste leisten können.

Die an die Spitze gestellte Gleichung liefert für die gesuchte Polhöhe den Ausdruck

$$\sin(\varphi - \psi) = \frac{\cos \varphi}{\sin A} \left( \cos \delta_1 \sin^2 \frac{u_1}{2} - \cos \delta_2 \sin^2 \frac{u_2}{2} \right) \dots B)$$

$$\text{wenn } \frac{\delta_1 - \delta_2}{2} = A \text{ und } \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} = \psi \text{ gesetzt wird.}$$

Genügt nun das betreffende Sternpaar auf die eine oder auf die andere Weise der vorausgesetzten Bedingung in Bezug auf die Coefficienten der Zeitfehler, d. h. sind entweder beide Sterne bei der Beobachtung nahe der Culmination oder ist der eine von ihnen sehr nahe am Pol, so wird in allen Fällen  $\varphi$  nur wenig von  $\psi$  verschieden sein, und zwar auch dann noch, wenn der eine Stern in der untern Culmination zur Beobachtung kommt, wofern nur in diesem Falle Declination und Stundenwinkel desselben mit ihren Supplementwinkeln in Rechnung gebracht werden. In allen hier in Betracht kommenden Fällen ist demnach  $\varphi - \psi$  ein kleiner Winkel, der in grosser Genauigkeit berechnet werden kann, wenn man auf der rechten Seite obiger Gleichung  $\varphi$  durch einen genäherten Werth der gesuchten Polhöhe ersetzt.

Wenn andererseits die Polhöhe des Beobachtungsortes als bekannt vorausgesetzt wird, so lassen sich Beobachtungen zweier Sterne in einem Höhenparallel auf Grund der obigen Relation  $A$ ) zur Zeitbestimmung auf zwei verschiedenen Wegen benutzen. Einmal [61] kann man die Differenz  $u_2 - u_1$  der Stundenwinkel aus der beobachteten Zwischenzeit der beiden Antritte und der Rectascensionsdifferenz bestimmen und mit Hilfe der so gewonnenen zweiten Gleichung die Werthe von  $u_1$  und  $u_2$  oder irgend einer andern gleichwerthigen Grösse und damit die Sternzeit eines bestimmten Beobachtungsmomentes ableiten. Dieser Weg führt auf die von Herrn ZINGER betrachtete Methode, zwei Sterne von annähernd gleicher Declination zu verschiedenen Seiten des Meridians zu beobachten. Die in Rede stehende Relation lässt sich aber zweitens noch unter einem wesentlich verschiedenen Gesichtspunkt betrachten. Sie liefert den Werth des einen Stundenwinkels, wenn der Werth des andern als schon bekannt vorausgesetzt wird, d. h. die Sternzeit des einen Antritts, wenn man diejenige des andern als gegeben annimmt; und diese Voraussetzung hat einen Sinn,





sofern man solche Verhältnisse herbeigeführt denkt, dass ein bloß genäherter Werth des ersten Stundenwinkels auf einen genaueren — oder auch nur auf einen genaueren — des zweiten führen muss.

Aus der oben angeführten Gleichung folgt nun

$$du_2 = \frac{\cos \delta_1 \sin u_1}{\cos \delta_2 \sin u_2} du_1 = \frac{\sin a_1}{\sin a_2} du_1$$

wenn  $a_1$  und  $a_2$  die Antritts-Azimuths beider Sterne bezeichnen. Hiernach wird ein Fehler in  $u_1$  den zu berechnenden Werth von  $u_2$  um so weniger beeinflussen, je kleiner das Antritts-Azimuth des ersten Sterns und je grösser dasjenige des zweiten gewählt wird. Wenn also der erste Stern entweder in jedem Stundenwinkel dem Meridian sehr nahe bleibt oder andernfalls nur in der Nähe einer Culmination beobachtet wird, während der zweite Stern in der Nähe des ersten Vertikals eintritt, so kann mit Hilfe der Gleichung A) die genaue Zeit aus einer genäherten Zeit abgeleitet werden. Der Uhrstand kann sogar ganz unbekannt sein, weil die Gleichung selbst, indem man  $u_1$  in dem einen Falle gleich  $90^\circ$ , im andern gleich  $0$  oder  $180^\circ$  einführt, einen Näherungswerth für  $u_2$  liefert und darauf hin bei wiederholter Rechnung eine unbegrenzte Annäherung an den wahren Werth gewährleistet.

Da die hier zu stellende Bedingung für den einen Stern vollkommen identisch ist mit derjenigen, welche bei der zuvor betrachteten Methode der Polhöhenbestimmung beide Sterne zu erfüllen hatten, so kann eine Zeitbestimmung ohne Weiteres an jede derartige Polhöhenbestimmung angeschlossen werden, indem man zu den beiden Sternen mit langsamer Höhenänderung noch [62] einen dritten mit möglichst starker Höhenänderung hinzunimmt. Einen solchen Stern zu finden, welcher den bei der Polhöhenbestimmung benutzten Höhenparallel in bequemer Zeit, entweder eintretend oder austretend, erreicht, wird niemals Schwierigkeit haben. Die Verbindung der beiden hier betrachteten Methoden stellt demnach eine praktisch verwendbare Lösung der Aufgabe dar: aus gleichen Höhen dreier Sterne Zeit und Polhöhe zu finden.

Sofern es sich indess um Zeitbestimmung allein und namentlich um deren regelmässige Wiederholung an demselben Beobachtungsort handelt, scheint die Beschränkung auf den Gebrauch eines ein für allemal angenommenen Polsterns überall da angezeigt, wo ein solcher in bequemer Höhe zur Verfügung steht. In diesem Falle werden nicht nur die vorbereitenden Ermitt-

lungen sehr erleichtert, sondern es gestaltet sich auch die definitive Berechnung der Beobachtungen ausnehmend einfach. Letztere beschränkt sich alsdann auf die Berechnung der beiden Gleichungen

$$\begin{aligned} \cos v &= \frac{2 \cos \varphi \sin A \tan \varphi}{\cos \delta_2} \\ \sin \frac{u_2 - v}{2} &= - \frac{\cos u_1}{2 \sin \frac{u_2 + v}{2}} \cdot \frac{\cos \delta_1}{\cos \delta_2} \end{aligned} \quad C)$$

Die erste von diesen Gleichungen liefert den Stundenwinkel für den Antritt des Zeitsterns an den Höhenparallel des Poles und damit also in jedem Falle einen genäherten Werth von  $u_2$  und eine genäherte Kenntniss des Uhrstandes. Darauf hin lässt sich durch die zweite Gleichung  $u_2 - v$  ableiten, indem man, falls der Uhrstand nicht anderweitig schon genauer bekannt ist, auf der rechten Seite  $u_1$  und  $u_2$  vorläufig auf Grund des berechneten  $v$  annimmt, im Besondern also  $\frac{u_2 + v}{2} = v$  setzt. Da die Differenz  $u_2 - v$  stets einen kleinen Winkel vorstellt, so gestattet die Gleichung eine sehr rasche Annäherung an den wahren Werth des beobachteten Stundenwinkels.

Auf der nördlichen Halbkugel, soweit nicht der Polarstern zu tief am Horizont steht und andererseits nicht eine all zu hohe Breite Zeitbestimmung aus Höhen überhaupt unvortheilhaft macht, dürfte die hier betrachtete Modification der Methode der correspondirenden Höhen beim Gebrauch eines geeigneten Instruments grosse Bequemlichkeit darbieten. Passende Sterne giebt es für [63] jeden Beobachtungsort in reichlicher Auswahl. Für die Breite von  $51^\circ$  z. B. finden sich unter den Pulkowaer Hauptsternen, wenn man nur die vier ersten Grössenklassen berücksichtigt, mehr als 70 — demnach durchschnittlich 6 Durchgänge für jede Stunde — bei welchen die Höhenänderung pro Zeitsekunde nicht weniger als 9 Bogensekunden beträgt, und diese Ziffer wird beiläufig doppelt so gross, wenn man bis zu 7 Sekunden Höhenänderung Spielraum gestattet. Mit sehr geringer Mühe wird man für irgend einen Beobachtungsort ein für allemal eine für viele Jahre brauchbare Zeittafel aufstellen, welche eine zu regelmässigen Zeitbestimmungen genügende Anzahl solcher Sternantritte nach ihrer Folge verzeichnet enthält. Denn indem man für die in Betracht kommenden Declinationen — etwa von  $10'$  zu  $10'$  — den Werth von





$z$  und die für diesen Stundenwinkel bestehende Aenderung der Höhe pro Zeitminute tabellarisch berechnet, lässt sich mit Hilfe einer kleinen Tafel für die Höhe des Polarsterns leicht die Sternzeit ermitteln, in welcher jeder in Betracht genommene Stern diejenige Höhe erreicht, welche der Polarstern einige Minuten zuvor oder auch einige Minuten später erreicht. Fügt man nun noch die betreffende Höhe selbst sowie das Antrittsazimuth des Polarsterns und des Zeitsterns hinzu, so ist die Zeitbestimmung nach dieser Methode ebenso vorbereitet wie die Beobachtung von Meridiandurchgängen durch die Tafel der mittleren Sternörter im N. A. Die Operationen der Beobachtung selbst aber unterscheiden sich in Nichts von einer auf die Meridiandurchgänge von zwei Sternen gegründeten Zeitbestimmung, ausser dass eine Kreis-Einstellung mehr auszuführen ist, falls man auch für das Aufsuchen des Polarsterns die Azimutheinstellung nöthig haben sollte.

Der Einfluss des Declinationsfehlers auf das Resultat der Beobachtung stellt sich bei dieser Methode im Wesentlichen ganz so wie bei Beobachtung correspondirender Höhen zu beiden Seiten des Meridians. Ein Unterschied besteht nur darin, dass hier die genaue Kenntniss der Polhöhe vorausgesetzt wird und ein Fehler in dieser nach seinem ganzen Betrag zur Geltung kommt. Da jedoch die Einwirkung dieses Fehlers auf entgegengesetzten Seiten des Meridians mit entgegengesetzten Vorzeichen auftritt, so eliminirt sich eine etwaige Unsicherheit der Polhöhe vollständig, wenn zwei Sterne von annähernd gleicher Declination, der eine im Aufgang, der andere im Niedergang, beobachtet werden.

Wie bei Beobachtungen dieser Art, Zeitbestimmungen oder Polhöhenbestimmungen, die Correctionen für Differenzen des Niveaus [64] bei den zusammengehörigen Durchgängen, für die tägliche Aberration etc. in Ansatz zu bringen sind, bedarf keiner weiteren Erläuterung.

Die vortheilhafte Anwendung beider Methoden erfordert ein Fernrohr, welches grobe und feine Einstellung in Höhe und Azimuth zulässt, für beide Coordinaten kleine Aufsuchungskreise besitzt und dessen Verticalachse so dicht geht, dass die Feinbewegung im Azimuth während je einer Durchgangsbeobachtung keine merklichen und namentlich keine unregelmässigen Aenderungen der Neigung nach sich zieht. Ausserdem bedarf es eines mit dem Fernrohr möglichst sicher verbundenen Niveaus, dessen Empfindlichkeit mit der Scharfe des Rohrs vollkommen Schritt hält.

Ich habe beiderlei Beobachtungen seit vorigem Herbst öfters ausgeführt mit einem kleinen Passageninstrument auf Dreifuss-Stativ mit gebrochenem Fernrohr, von 40 Mm. Objectivöffnung und ca. 50facher Vergrößerung, dessen sonst ganz einfache mechanische Construction obigen Ansprüchen ausreichend genügt. Auf die Horizontalachse des Rohrs kann, innerhalb der Lager, ein zu dieser Achse senkrechter Träger mit cylindrisch abgedrehten Enden aufgesteckt, unter beliebigem Winkel gegen die Fernrohrachse festgeklemmt und dann noch mittelst einer feinen Schraube im Spielraum einiger Grade gedreht werden. Die beim gewöhnlichen Gebrauch des Passageninstruments zum Nivelliren der Horizontalachse dienende Aufsatzlibelle (1<sup>o</sup> annähernd gleich einer Bogensekunde) wird auf diesen Träger ganz so wie sonst auf die Achse aufgesetzt und nach dem Einstellen des Fernrohrs auf die betreffende Höhe mittelst der Feinbewegung des Trägers zum Einspielen gebracht. An Stelle eines Systems von Horizontalfäden ist — aus nebensächlichen Rücksichten — eine Mikrometertheilung mit feinen eingeschwärzten Diamantstrichen in Anwendung gebracht; und zwar sind zunächst dem Mittelstrich beiderseits je drei Striche gezogen, deren Intervalle der Polarstern in grösster Digression in etwa 30 Sek. passirt, ausser diesen aber noch beiderseits je drei längere Striche in solchen Abständen, dass unter hiesiger Breite ein Stern im ersten Vertical pp. 13 Sek. von einem zum andern gebraucht. Der Mittelstrich ist beiden Gruppen gemeinsam, und die Intervalle sind in jeder Gruppe so nahe gleich gemacht, dass die Unterschiede völlig unterhalb der Unterscheidungsgrenze des Oculars bleiben. Zwei zu den andern senkrechte Linien im Abstand von etwa 2 Bogenminuten markiren den verticalen [65] Durchmesser des Sehfeldes, in welchem die Antritte zu beobachten sind.

Wenn, nachdem die verticale Drehungsachse des Instruments annähernd nivellirt und das Fernrohr auf die verlangte Höhe eingestellt ist, der Durchgang von Sternen durch den betreffenden Höhenparallel beobachtet werden soll, wird der Stand des Niveaus kurz vor dem ersten und kurz nach dem letzten Antritt des ersten Sternes abgelesen, das Rohr hierauf vorsichtig mit Vermeidung jeder Erschütterung in das Azimuth des zweiten Sternes gedreht und hierauf das Niveau mittelst der Schraube zur Feinbewegung des Fernrohrs in Höhe wieder annähernd auf seinen vorigen Stand zurückgeführt, wonach dann ebenso verfahren wird wie beim ersten





Durchgang. Unregelmässige Standänderungen des Niveaus während des Nachdrehens im Azimuth im Verlauf eines Durchganges treten wenigstens dann nicht ein, wenn man dabei die Schraube immer in gleichem Sinne fort dreht.

Sterne mit langsamer Höhenänderung beobachte ich nur an der mittleren Liniengruppe mit engen Intervallen, wobei je nach den Umständen bis zu sieben Antritte genommen werden. Erfolgt aber die Bewegung in Höhe so langsam, dass die Beobachtung mehrerer Antritte einen unverhältnissmässigen Aufenthalt verursachen würde, so stelle ich ohne Weiteres den Stern wie ein festes Object auf den Mittelstrich ein und notire blos den Stand der Uhr.

Kann man bei Polhöhenbeobachtungen beide Sterne ohne Unbequemlichkeit an den nämlichen Strichen beobachten, so kommen die Intervalle des Systems bei der Berechnung gar nicht in Betracht. Andernfalls müssen die einzelnen Antritte auf den Mittelstrich reducirt werden, nachdem die Abstände aus Durchgängen des Polarsterns in grösster Digression abgeleitet sind. — Die Durchgänge der Zeitsterne bei der Zeitbestimmung werden an den Strichen des zweiten Systems beobachtet und auf die Mitte reducirt.

Nähere Angaben über die Resultate, welche beide Beobachtungsmethoden mit einem Instrument von den obigen Dimensionen und Einrichtungen zu erreichen gestatten, unterlasse ich hier, weil äussere Umstände bisher verhindert haben, eine längere Beobachtungsreihe unter genügend vergleichbaren Umständen zu erhalten, aus welcher sich die wahrscheinlichen Fehler mit einiger Sicherheit ableiten liessen.

Erwähnt sei übrigens noch, dass ein Instrument von ähnlicher [66] Einrichtung zugleich Zeitbestimmung aus correspondirenden Höhen desselben Sternes unter sehr vortheilhaften Bedingungen, aber freilich mit etwas beschränkter Anwendbarkeit, gestattet. In mittleren und niedrigen Breiten finden sich für jeden Beobachtungsort eine Anzahl Sterne der oberen Grössenklassen, die bei ihrer Culmination nicht um mehr als ein bis anderthalb Grad vom Zenith entfernt bleiben. Indem man beide Antritte eines solchen Sternes an einen Höhenparallel beobachtet, dessen Zenithdistanz nicht mehr als beiläufig das Doppelte jenes Abstandes beträgt, erhält man innerhalb eines kurzen Intervalls (unter günstigen Umständen in wenigen Minuten) eine Zeitbestimmung, welche im Wesent-

lichen gleichwerthig ist mit der Beobachtung des Meridiandurchgangs eines Zenithsterns, nur dass dabei der Einfluss eines Collimationsfehlers ganz ausser Spiel bleibt und ausserdem auch entschieden günstigere Bedingungen für den Gebrauch des Niveaus obwalten.

Endlich sei auch noch darauf hingewiesen, dass die an die Spitze dieser Erörterungen gestellte Relation zwischen Stundenwinkeln und Declinationen zweier in gleicher Höhe befindlichen Sterne unter Voraussetzung der hier betrachteten Beobachtungsweise noch nach einer ganz andern Richtung hin Verwerthung finden könnte. Nimmt man nämlich die Polhöhe des Beobachtungsortes als bekannt an, so liefert jene Relation Gleichungen für die Declinations- und für die Rectascensions-Differenz der beiden Sterne aus den beobachteten Antrittszeiten, resp. Durchgangsbögen, und bei entsprechender Anordnung der Beobachtungen treten für die Ermittlung dieser Differenzen dieselben Genauigkeits-Bedingungen ein wie bei den oben betrachteten Polhöhen- und Zeitbestimmungen. Ein Beobachtungsverfahren dieser Art würde augenscheinlich Verhältnisse herbeiführen, die ganz denjenigen beim Gebrauch des Kreis-Mikrometers analog sind. Der Mittelpunkt des entsprechenden Kreises aber würde stets direct durch das Zenith gegeben sein, während der Radius ein Bogen von 60—70 Graden werden dürfte. Da auf diesem Wege Sterne von bedeutender Differenz in Decl. oder AR. auf verhältnissmässig einfache instrumentale Voraussetzungen hin quasi mikrometrisch verglichen werden könnten, so scheint eine vortheilhafte Verwendung dieser Combination für gewisse Aufgaben der astronomischen Beobachtungskunst keineswegs ausgeschlossen zu sein.





## IX.

Referat:

### Die Fundamental-Eigenschaften der dioptrischen Instrumente.

Von Dr. Galileo Ferraris. Autorisirte Deutsche Ausgabe von F. Lippich. Leipzig 1879. Verlag von Quandt & Haendel. M. 5,20, 8°. XXIII u. 221 S.

Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. II, 1882. pp. 30 u. 31.

Das vorstehend benannte Buch hat vielfältige nahe Beziehungen zu denjenigen wissenschaftlichen Interessen, welche in dieser Zeitschrift Vertretung finden. Es wird deshalb gerechtfertigt erscheinen, dass desselben, obwohl es jetzt nicht mehr zu den Novitäten zählt, an dieser Stelle noch gebührende Erwähnung geschehe.

Der Verf. gibt im ersten Theil der Schrift mit Hülfe elementarer geometrischer Methoden eine vollständige und strenge Entwicklung der Gesetze, welche die Abbildungswirkungen durch Systeme centrischer Kugelflächen beherrschen, soweit die bekannte Beschränkung auf Strahlen von geringer Neigung zur Axe festgehalten wird. Ausgehend von den Wirkungen einer einzelnen brechenden Fläche, zeigt er, in welcher Weise die hier nachgewiesene Gesetzmässigkeit in der Lage und Grösse der Bilder fortbesteht für ein beliebig zusammengesetztes System und gelangt auf diesem Wege zu den sämtlichen Lehrsätzen der von GAUSS aufgestellten Theorie. Seine Entwicklung bietet eine durchaus erschöpfende Darstellung dieser Theorie einschliesslich der verschiedenen Ergänzungen, welche spätere Bearbeiter ihr hinzu-

gefügt haben. Für das letztere liefert ein Anhang des Uebersetzers noch einen weiteren Beitrag.

Die Behandlung des Gegenstandes hält sich im Wesentlichen innerhalb des Rahmens, den die von GAUSS gewählte Bestimmungsweise optischer Systeme durch Haupt- und Brennebenen verzeichnet; der singulären Form der Abbildungswirkung bei den sogen. teleskopischen Systemen wird eine eingehende Discussion zu Theil.

In Bezug auf die Methode der Entwicklung hat der Verf. in glücklichster Weise fortgebaut auf den Grundlagen, welche durch die Arbeiten von MAXWELL, NEUMANN, TÖPLER u. A. gegeben waren. Seine Deduction schreitet in äusserst einfachen geometrischen Betrachtungen fort, welche, ohne der Strenge der Beweisführung das Geringste zu vergeben, volles Verständniss auch bei den elementarsten mathematischen Kenntnissen eröffnen. Der besondere Vorzug aber, der dem Original nachgerühmt wird — die ausgezeichnet klare und durchsichtige Darstellung — darf, Dank der geschickten Uebertragung, auch der deutschen Ausgabe zugesprochen werden.

Alles dieses gilt in gleicher Weise auch für den zweiten (dem Umfange nach weit überwiegenden) Theil des Buches, in welchem der Verf. die Anwendung der allgemeinen Theorie auf die optischen Instrumente behandelt. In diesem werden der Reihe nach der optische [31] Apparat des Auges, die Linsen und Linsencombinationen, welche die Bestandtheile der optischen Instrumente bilden, endlich diese selbst — namentlich Fernrohr und Mikroskop — unter den Gesichtspunkten der allgemeinen Theorie discutirt. In dem hier gebotenen Versuch, die Lehrsätze der letzteren herabzuführen zu den concreten Formen der optischen Systeme und dadurch die Theorie einem gründlicheren Verständniss dieser dienstbar zu machen, besteht ein besonderes Verdienst des Buches. Denn der Mangel einer solchen Vermittelung in den meisten bisherigen Darstellungen ist — wie die Vorrede mit Recht geltend macht — der Grund, wesshalb die durch die „dioptrischen Untersuchungen“ eröffneten neuen Einsichten bis jetzt nur einen verhältnissmässig geringen Einfluss auf die eigentliche Theorie der Instrumente gewonnen haben.

Der Verf. bietet in dieser Richtung vielfältige Belehrung dar. Manche von seinen Darlegungen — beispielsweise ein Theil der Erörterungen, welche an den Ocularkreis anknüpfen — sind durchaus geeignet, das richtige Verständniss der Wirkungsweise concreter





Linsensysteme wesentlich zu fördern. Wenn Ref. trotzdem die Meinung ausspricht, dass der Versuch des Verf. nicht in allen Stücken befriedigt und den Ansprüchen an eine gründlichere Theorie der Instrumente noch keineswegs gerecht wird, so soll dieses durchaus keinen Tadel gegen das Buch bedeuten, sondern nur hinweisen auf gewisse Lücken, welche überhaupt die wissenschaftliche Behandlung des Gegenstandes noch gelassen hat. Viele zum Verständniss der Wirkungen concreter Systeme wesentliche Punkte lassen eine befriedigende Erledigung nicht zu ohne eine besondere Ergänzung der Theorie durch eine methodische Discussion der Umstände, welche die thatsächliche Begrenzung des Lichtdurchtrittes in den Linsensystemen herbeiführt; und sie erfordern ausserdem noch eine Klarstellung des Verhältnisses der allgemeinen Abbildungsgesetze zur Wirkung solcher Systeme, bei welchen die Beschränkung auf Strahlen von geringer Neigung ausdrücklich aufgehoben werden muss, sobald von wirklichen Instrumenten die Rede sein soll. So lange beide Mittelglieder für die Anwendung der GAUSS'schen Theorie fehlen, wird es unvermeidlich sein, dass diese Anwendung zu Sätzen führt, welche — wie z. B. die Aufstellung des Verf. über das Mikroskop auf S. 167 — als Schlussfolgerungen aus den gemachten Voraussetzungen zwar richtig, für die wirklichen Instrumente aber völlig bedeutungslos und in der Anwendung auf solche irreleitend sind.

Solchen, welche die Lehrsätze der Dioptrik praktisch anzuwenden Gelegenheit haben, wird es sehr willkommen sein, dass der Verf. auch die experimentelle Bestimmung der Constanten optischer Systeme in den Kreis seiner Betrachtung zieht und einfache Methoden angibt, welche wenigstens für die gewöhnlichen Zwecke bei solchen Bestimmungen ausreichend sind. — Was dagegen, nach Ansicht des Ref., hätte hinweg bleiben können, ohne dem Nutzen des Buches Abbruch zu thun, sind die überall gegebenen Anweisungen zur graphischen Lösung der Aufgaben, auf welche die Theorie führt. Soweit die betreffenden Constructionen — wie es fast immer der Fall ist — nicht sowohl dem Verständniss der Theorie als vielmehr deren praktischer Anwendung dienen sollen, werden sie schwerlich Jemandem Vortheil bringen. Derjenige, dem es nur um die theoretische Belehrung zu thun ist, wird an den mechanischen Uebungen wenig Gefallen finden; und solche, welche wirklich in den Fall kommen, die Constanten eines Linsen-

systems aus den gegebenen Elementen ableiten zu sollen, müssen doch alsbald inne werden, dass sie mit dem vierten Theil der Zeit dasselbe erreichen, wenn sie statt des Reissbrettes eine kleine vierstellige Logarithmentafel und etwa noch ein entsprechendes Reciprokantäfelchen zur Hand nehmen.

Nach dem Gesagten darf aber die deutsche Bearbeitung der genannten Schrift als eine dankenswerthe Bereicherung unserer wissenschaftlichen Litteratur bezeichnet und ihr Studium Allen gelegentlich empfohlen werden, denen eine gründliche Orientirung in den Lehren der Dioptrik von Werth sein kann.





## X.

### Productionsverzeichniss des glastechnischen Laboratoriums von Schott und Genossen in Jena.<sup>1)</sup>

Juli 1886.

#### Vorbemerkungen.

Das industrielle Unternehmen, welches hiermit zuerst in die Oeffentlichkeit tritt, ist hervorgegangen aus einer wissenschaftlichen Untersuchung über die Abhängigkeit der optischen Eigenschaften der amorph erstarrenden Schmelzverbindungen von ihrer chemischen Zusammensetzung, welche seitens der Unterzeichneten in der Absicht unternommen wurde, die chemisch-physikalischen Grundlagen der Darstellung optischen Glases ans Licht zu bringen. Diese Arbeit wurde im Januar 1881 begonnen und auf Grund eines verabredeten Planes in der Art gemeinsam betrieben, dass Dr. SCHOTT in seiner damaligen Heimath, Witten i./W., die betreffenden Versuchs-Schmelzungen ausführte, während die optische Untersuchung der erhaltenen Schmelzproben mittelst spectrometischer Messung hier in Jena durch Prof. ABBE, bezügl. dessen Assistenten Herrn Dr. RIEDEL bewirkt wurde.

Die Schmelzungen wurden in diesem Stadium in ganz kleinem Massstab (nicht mehr als 20 bis 60 Gramm Masse) ausgeführt und waren allein auf das Ziel gerichtet, möglichst alle chemischen Elemente, welche in irgend einer Form in amorphe Schmelzverbindungen

1) [Der Text des hier abgedruckten, von Prof. ABBE und Dr. SCHOTT gemeinsam herausgegebenen Prospekts stammt zum größten Teil aus der Feder von Prof. ABBE.

Die Abschnitte, die sich auf die Preise und Lieferungsbedingungen des Glases beziehen, sind hier weggelassen, die Orte der Weglassungen durch Striche bezeichnet.]

eintreten können, hinsichtlich ihres Einflusses auf Brechungsvermögen und Dispersion dieser Verbindungen genau zu studiren.

Auf diesem Wege hatten sich bis gegen Schluss jenes Jahres hin eine Reihe von Thatsachen in Betreff der specifischen optischen Wirkung gewisser Stoffe ergeben, welche Aussichten eröffneten auf Glasarten von neuen, für manche Anwendungen vortheilhafteren optischen Eigenschaften, als das gebräuchliche Crown- und Flintglas darbietet.

Um diese Ergebnisse für die praktische Optik so weit als möglich nutzbar zu machen, wurde die Fortsetzung der Arbeit beschlossen, und zwar mit dem neuen Programm: auf die gewonnenen chemisch-optischen Grundlagen hin planmässig Glasflüsse zu combiniren, welche in den optischen Eigenschaften den verschiedenen Desideraten der Optik thunlichst, genügen und dabei nach ihrer sonstigen physikalischen [2] Beschaffenheit — Härte, Unveränderlichkeit, Farblosigkeit — eine regelmässige Verwendung in der Praxis zulassen möchten. Zu diesem Behufe verlegte Dr. SCHOTT im Frühjahr 1882 seinen Wohnsitz nach Jena, wo wir ein besonderes Laboratorium mit allen für Schmelzarbeiten erforderlichen Hilfsmitteln in einem für den Zweck eigens gemietheten Gebäude einrichteten. Mit Hilfe von Gas-Schmelzöfen und durch Motor betriebenen Gebläse konnten hier Schmelzversuche in dem erforderlichen grösseren Massstab — bis zu Quantitäten von ca. 10 Kilo — ausgeführt werden.

Unter Mitwirkung eines jüngeren Chemikers für die analytisch-chemischen Untersuchungen, welche mit den synthetischen Arbeiten Hand in Hand gehen mussten, und eines ständigen Arbeitsgehilfen wurden die Versuche in diesem Laboratorium bis gegen Ende des Jahres 1883 fortgeführt und dabei hauptsächlich zwei selbständige Aufgaben verfolgt, welche uns durch die Bedürfnisse der praktischen Optik als Directiven für die Arbeit von selbst an die Hand gegeben waren.

Die erste Aufgabe betraf die Darstellung von Crown- und Flintglas-Paaren mit möglichst proportional gehender Dispersion in den verschiedenen Abschnitten des Spectrums — zum Zwecke der Ermöglichung eines vollkommeneren Grades der Achromasie, als das bisher benutzte optische Glas zu erreichen gestattet, also zur Beseitigung oder Verminderung der starken secundären Farbenabweichung, welche die Silicat-Gläser, wegen des disproportionalen





Ganges der Farbenzerstreuung im Crown und Flint, bei allen achromatischen Combinationen bekanntlich übrig lassen.

Die zweite Aufgabe, der wir nicht mindere Wichtigkeit beilegen, obwohl der Gegenstand derselben bisher kaum als ein Bedürfniss der Optik in weiteren Kreisen zum Bewusstsein gekommen ist, bezog sich auf die Erzielung einer grösseren Mannichfaltigkeit in der Abstufung der beiden hauptsächlichsten Constanten, des Brechungsexponenten und der mittleren Dispersion, beim optischen Glase.

Die bis dahin allein in Anwendung gebrachten Silicat-Gläser zeigen, der Einformigkeit ihrer chemischen Constitution entsprechend, das Bild einer einfachen Reihe, in welcher vom leichtesten Crown bis zum schwersten Flint fortschreitend, die Dispersion immer zunimmt in dem Maasse, als der Brechungsexponent zunimmt — bis auf ganz geringe, praktisch fast gleichgültige Abweichungen.

Die theoretische Bearbeitung dioptrischer Aufgaben stellt aber ausser Zweifel, dass die Ausführung solcher Constructionen, bei welchen vielerlei Bedingungen gleichzeitig zu erfüllen sind, eine wesentliche [3] Erleichterung erfahren würde, wenn dem Optiker Glasarten zur Auswahl ständen, in welchen die Dispersion bei gleichem Brechungsindex oder der Brechungsindex bei gleichbleibender Dispersion einer erheblichen Abstufung fähig ist. In Rücksicht hierauf musste es also als ein Fortschritt erscheinen — wenn auch die Verwirklichung desselben in der Praxis erst allmählich zu erwarten steht, weil hierzu eine wesentliche Weiterbildung der theoretischen und rechnerischen Unterlagen für die Ausführung der Constructionen unentbehrlich sein wird — dass die planmässige Verwendung einer grösseren Zahl von chemischen Elementen zur Darstellung von Glasflüssen die Möglichkeit bietet, Abstufungen der erwähnten Art herbeizuführen, also die Mannichfaltigkeit der verfügbaren Glasarten, welche bisher wesentlich linearen Charakters war, wenigstens an einigen Stellen nach zwei Dimensionen auszudehnen.

Inwieweit die Versuche nach den beiden hier bezeichneten Richtungen hin zu Resultaten geführt haben, wird aus dem im Folgenden gegebenen Verzeichniss von dargestellten und regelmässig darstellbaren Arten optischen Glases ersichtlich.

Indem wir uns vorbehalten, die wissenschaftlichen Ergebnisse dieser Arbeiten, welche die chemisch-optischen Grundlagen für die Darstellung der verschiedenen Glasarten enthalten, demnächst im Zusammenhang zu veröffentlichen, sei hier nur bemerkt, dass diese

Ergebnisse im Wesentlichen bis zum Herbst des Jahres 1883 festgestellt waren, und dass die ganze Untersuchung als eine wissenschaftliche Vorarbeit für die rationelle Darstellung des optischen Glases auch damals schon zum Abschluss würde gebracht worden sein, wenn nicht um diese Zeit seitens mehrerer hervorragender Gelehrten uns die Anregung geworden wäre, die Einführung der erlangten Resultate in die Praxis alsbald selbst in die Hand zu nehmen und in unmittelbarem Anschluss an die vorangehende Laboratoriumsarbeit die fabrikmässige Herstellung optischen Glases zu versuchen.

In Folge dessen wurde von uns in Gemeinschaft mit den Herren Dr. CARL ZEISS und Dr. ROD. ZEISS in Jena — welche unsere Arbeiten schon von Beginn an auf das wirksamste unterstützt hatten — die Errichtung einer Glasschmelzerei mit allen Einrichtungen zu fabrikmässigem Betrieb am hiesigen Orte unternommen, um in dieser, nachdem sie im Herbst des Jahres 1884 betriebsfähig hergestellt war, die Production des optischen Glases — und zwar sowohl der bisher gebräuchlichen Glasarten wie der neu dargestellten Combinationen — im Grossen vorzubereiten.

[4] Die Durchführung der erforderlichen sehr kostspieligen Versuche im fabrikatorischen Massstab wurde uns aber ermöglicht durch eine wiederholte sehr namhafte Subvention aus Mitteln des preussischen Staates, für deren liberale Bewilligung wir dem Königl. preussischen Unterrichtsministerium und dem Landtage des Königreichs zu hohem Danke uns verpflichtet wissen.

Nach Ueberwindung grosser und zahlreicher Schwierigkeiten, wie sie naturgemäss den Zutritt zu einem Gebiet der Technik hemmen müssen, auf welchem einem neuen Unternehmen die Erfahrungen der Vorgänger völlig verschlossen bleiben und Alles aus eigenen Kräften erlernt werden muss, ist diese in Jena errichtete Productions-Stätte für optisches Glas nunmehr durch einen längeren internen Betrieb genügend gekräftigt, und hat auch schon ihre technische Leistungsfähigkeit seit nahezu einem Jahre im Verkehr mit den meisten optischen Werkstätten Deutschlands hinreichend erprobt, um jetzt in die öffentliche Concurrenz eintreten zu können.

Jena, im Juli 1886.

Dr. E. Abbe.

Dr. Otto Schott.





[6] Zur Kennzeichnung der optischen Eigenschaften der Glasarten sind hier 5 helle Linien des Spectrums benutzt, welche sich mittelst künstlicher Lichtquellen jederzeit leicht herstellen lassen, nämlich die rothe Kali-Linie ( $K\alpha$ ), die Natronlinie ( $Na$ ) und die drei hellen Linien des Wasserstoffspectrums,  $H\alpha$ ,  $H\beta$ ,  $H\gamma$ . Da drei von diesen mit den FRAUNHOFER'schen Linien  $C$ ,  $D$ ,  $F$  des Sonnenspectrums identisch sind, und die beiden andern,  $K\alpha$  und  $H\gamma$ , den FRAUNHOFER'schen Linien  $A$  und  $G$  sehr nahe liegen, so sind im Folgenden diese Linien mit den Buchstaben  $A'$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $F$ ,  $G'$  bezeichnet<sup>1)</sup>.

Die Resultate der nach der ABBE'schen Methode ausgeführten spectrometrischen Messungen sind in der Art zusammengestellt, dass der absolute Werth des Brechungsindex nur für die  $D$ -Linie angegeben ist, zur Kennzeichnung der Dispersion aber die Differenzen der Brechungsindices für die 4 Intervalle  $CF$ ,  $A'D$ ,  $DF$ ,  $FG'$  dienen. Die Dispersionswerthe sind, entsprechend der Genauigkeit der Messungen, auf 5 Stellen angegeben, während der Brechungsindex für  $D$  nur auf 4 Decimalen bestimmt ist.

[7] Da das Intervall  $CF$  den mittleren lichtstarken Theil des Spectrums umfasst, so wird durch dasselbe die mittlere Dispersion der verschiedenen Glasarten ausreichend charakterisirt und durch das Verhältniss dieser zum Werthe des  $n_D - 1$  — da die Linie  $D$

1) Die Wellenlängen der benutzten Linien sind, in Mikro-Millim.

$A'$	$C$	$D$	$F$	$G'$
Mitte der Doppellinie		Mitte der Doppellinie		
0,7677	0,6563	0,5893	0,4862	0,4341

Mit Hilfe dieser Daten kann die Dispersion für jedes andere Intervall im Spectrum, dessen Grenzen Linien von bekannten Wellenlängen sind, durch Interpolation — am bequemsten graphische Interpolation mit den Reciproken der Wellenlänge als Abscissen — so genau ermittelt werden, als es für praktische Zwecke ein Interesse hat.

der hellsten Stelle des sichtbaren Spectrums sehr nahe liegt — ein angemessener Zahlenausdruck für die sogen. relative Dispersion  $\left(\frac{dn}{n-1}\right)$  gewonnen. Diese letztere ist in der Tabelle, um übersichtliche Zahlen zu erhalten, mit ihrem reciproken Werthe — durch den Buchstaben  $r$  bezeichnet — in der Spalte neben der mittleren Dispersion angeführt. Die ganze Reihe der Glasarten ist zugleich nach der Grösse dieser Zahl  $r$  — vom grössten Werthe zum kleinsten, also von der kleinsten relativen Dispersion zur grössten fortschreitend — geordnet, weil die Bedingungen für die Achromatisirung einer Glasart vermittelst einer anderen wesentlich durch diese Werthe und ihre Unterschiede bestimmt sind, der optische Charakter einer Glasart hinsichtlich der Achromatisirung also in jener Zahl  $r$  am unmittelbarsten zum Ausdruck kommt.

Die Dispersionswerthe für die drei Intervalle  $A'D$ ,  $DF$ ,  $FG'$  endlich gewähren Kennzeichen für den Gang der Dispersion, d. h. für die Verhältnisse der partiellen Dispersion in den verschiedenen Regionen des Spectrums und bieten die erforderlichen Anhaltspunkte zur Beurtheilung des Grades der Achromasie, der durch Combination von irgend zwei Glasarten erreicht werden kann. Um eine bequeme Uebersicht zu ermöglichen, sind unterhalb der Dispersionswerthe in derselben Spalte mit kleineren Ziffern die Zahlen angeführt, welche sich ergeben, wenn die betreffende partielle Dispersion durch den Betrag der mittleren Dispersion für das Intervall  $CF$  dividirt wird.

Eine Vergleichung dieser Quotienten bei zwei verschiedenen als Crown und Flint zu verwendenden Glasarten lässt sofort erkennen, von welcher Art und Grösse das secundäre Spectrum ist, welches die Achromatisirung dieser beiden Glasarten durch einander übrig lassen muss. Ein grösserer Werth des ersten (auf das Intervall  $A'D$  bezüglichen) Quotienten bezeichnet eine relative Verlängerung des Roth, ein grösserer Werth des dritten (auf das Intervall  $FG'$  bezüglichen) eine relative Verlängerung des Blau in dem Spectrum des betreffenden Glases. Die Unterschiede der entsprechenden Quotienten bei zwei Glasarten geben also das Maass der grösseren oder geringeren Disproportionalität ihrer Dispersionen; die Gleichheit [8] entsprechender Quotienten aber beweist





die Möglichkeit einer Achromatisirung ohne secundäre Farbenabweichung, wofern die Werthe des  $\nu$  bei den betreffenden Glasarten genügend verschieden sind, um ihre Verbindung als Crown- und Flintglas zu gestatten. Wir weisen darauf hin, dass hier zum ersten Mal den Optikern Glasarten dargeboten werden, welche bei annähernd gleicher relativer Dispersion (oder der Zahl  $\nu$ ) überhaupt beträchtliche Unterschiede in den Verhältnissen der partiellen Dispersion zeigen (vergl. z. B. die Nummern **O. 138** (9) und **S. 52** (10), **O. 152** (23) und **S. 8** (24), **S. 7** (28) und **O. 154** (29) des Verzeichnisses, und solche, welche annähernd proportionale Dispersion bei beträchtlicher Verschiedenheit der mittleren relativen Dispersion gewähren, die also achromatische Combinationen ohne secundäres Spectrum (d. h. genaue Vereinigung von drei verschiedenen Farben des Spectrums) ermöglichen — wie z. B. die Paare **O. 225** (1) und **S. 35** (21), **S. 40** (2) und **S. 35** (21), **S. 30** (3) und **S. 8** (24), **O. 60** (8) und **O. 164** (25).

Anmerkung: Eine genaue Betrachtung der in der Tabelle angeführten Zahlen lässt übrigens erkennen, dass auch die Benutzung einer viel grösseren Zahl von chemischen Elementen, als früher für optisches Glas in Anwendung gekommen sind, keine im strengen Sinne proportionale Dispersion bei Glasflüssen von merklich verschiedenem Werthe des  $\nu$  herbeigeführt hat. Bei den oben angegebenen Combinationen, welche drei Farben zu vereinigen gestatten, bleibt eine kleine Abweichung des Blau übrig, wenn das Roth mit zwei mittleren Farben zusammentrifft, oder eine Abweichung des Roth, wenn das Blau mit den mittleren Farben übereinstimmt — weil der erste und dritte Quotient nie gleichzeitig identische Werthe annehmen. Das aus dieser Abweichung entspringende tertiäre Spectrum ist jedoch praktisch verschwindend gegenüber dem grossen secundären Spectrum, welches das jetzt gebräuchliche Crown und Flint der Silicat-Reihe stets übrig lässt.

[9] Nachfolgendes Verzeichniss enthält eine Auswahl Glassorten mit der Fabrikationsnummer und den optischen Eigenschaften aufgeführt, welche wir in Zukunft herzustellen beabsichtigen. Sie sind als Typen dessen anzusehen, was wir nach dem jetzigen Stande unserer Fabrikation den Optikern bieten können.

Die von uns dargestellten Glasarten von wesentlich neuer Zusammensetzung sind durch stärkeren Druck hervorgehoben.

Tabellen siehe pp. 202—205.

In Bezug auf die Anwendung der einzelnen Gläser aus dieser Reihe, machen wir darauf aufmerksam, dass für die gewöhnlichen Zwecke der Optik (Operngläser, Handfernrohre, kleine photographische Instrumente, Fernrohr- und Mikroskopobjective, an welche keine höheren Anforderungen gestellt werden, Lupen und Oculare jeder Art) die Anwendung der Crowngläser: **O. 144**, **O. 60**, **O. 203**, **O. 114**, **O. 152**, und der Flintgläser: **O. 154**, **O. 167**, **O. 103**, **O. 93**, **O. 102**, **O. 41** genügend ist. Den Bedürfnissen für die jetzt gebräuchlichen Constructionen der photographischen und spectroscopischen Instrumente dürfte die Reihe der Silicatgläser ebenfalls genügen.

Die Anwendung der Phosphate empfiehlt sich dort, wo eine absolut und relativ geringe Dispersion erwünscht ist.

Wo, wie bei feineren astronomischen Fernröhren, die Beseitigung oder Verminderung des sogen. secundären Spectrums eine Rolle spielt, werden Combinationen von Phosphaten und Boraten oder Borosilicaten sich als besonders vortheilhaft erweisen.

[18] Bei Linsensystemen, wie z. B. Mikroskop-Objectiven, bei welchen zur Erreichung der höchsten Leistungsfähigkeit nicht allein möglichste Uebereinstimmung im Gange der Dispersion von Crown und Flint, sondern auch die möglichste Aufhebung der sphärischen Aberration und deren chromatischer Differenz von Bedeutung ist, muss es der Geschicklichkeit des rechnenden oder praktischen Optikers überlassen bleiben, aus der ganzen Reihe das jeweilig Zweckmässigste auszuwählen.

Die neuen Mikroskop-Objective der hiesigen optischen Werkstätte von C. Zeiss zeigen, was auf diesem Gebiet durch sachgemässe Benutzung der hier gebotenen erweiterten Hilfsmittel zu erreichen ist.





Lau- fende Nr.	Fabri- kations- Nr.	Benennung	Brechungs- index für <i>D</i>	Mittlere Dispersion <i>C</i> bis <i>F</i>	$\nu =$
					$\frac{n-1}{\Delta n}$
1	O. 225	Leichtes Phosphat-Crown . . .	1,5159	0,00737	70,0
2	S. 40	Mittleres Phosphat-Crown . . .	1,5590	0,00835	66,9
3	S. 30	Schweres Barium-Phosphat- Crown	1,5760	0,00884	65,2
4	S. 15	Schwerstes Barium-Phosphat- Crown	1,5906	0,00922	64,1
5	O. 144	Boro-Silicat-Crown . . . . .	1,5100	0,00797	64,0
6	O. 57	Leichtes Silicat-Crown . . . . .	1,5086	0,00823	61,8
7	O. 40	Silicat-Crown . . . . .	1,5166	0,00849	60,9
8	O. 60	Kalk-Silicat-Crown . . . . .	1,5179	0,00860	60,2
9	O. 138	Silicat-Crown mit höh. Brech-Index	1,5208	0,00872	60,2
10	S. 52	Leichtes Borat-Crown . . . . .	1,5047	0,00840	60,0
11	O. 20	Silicat-Crown mit niedr. Brech.-Expon.	1,5019	0,00842	59,6
12	O. 227	Barium-Silicat-Crown . . . . .	1,5399	0,00909	59,4
13	O. 203	Gewöhl. Silicat-Crown . . . . .	1,5175	0,00877	59,0
14	O. 13	Kali-Silicat-Crown . . . . .	1,5228	0,00901	58,0
15	O. 15	Zink-Silicat-Crown . . . . .	1,5308	0,00915	58,0
16	O. 211	Schweres Barium-Silicat-Crown	1,5726	0,00995	57,5
17	O. 153	Silicat-Crownglas . . . . .	1,5160	0,00904	57,2
18	O. 114	Weiches Silicat-Crown . . . . .	1,5151	0,00910	56,6
19	O. 197	Boro-Silicat-Glas . . . . .	1,5250	0,00929	56,5
20	O. 202	Schwerst. Barium-Silicat-Crown	1,6040	0,01092	55,3
21	S. 35	Borat-Flint . . . . .	1,5503	0,00996	55,2
22	O. 252	Borat-Flint . . . . .	1,5521	0,01026	53,8

Partielle Dispersion				Specif. Ge- wicht	Bemerkungen
<i>A'</i> bis <i>D</i>	<i>D</i> bis <i>F</i>	<i>F</i> bis <i>G'</i>			
0,00485 0,698	0,00515 0,698	0,00407 0,592	2,58	Farblos.	
0,00546 0,654	0,00587 0,702	0,00466 0,557	3,07	desgl.	
0,00570 0,644	0,00622 0,703	0,00500 0,565	3,35	Relativ nicht grosse Härte.	
0,00591 0,641	0,00648 0,703	0,00521 0,565	3,66	Geringe Härte; geschützt zu verwenden.	
0,00519 0,651	0,00559 0,701	0,00446 0,569	2,47	Von ausnahmsweise hoher mechanischer Härte. Sehr farblos.	
0,00530 0,643	0,00578 0,702	0,00464 0,564	2,46		
0,00545 0,643	0,00596 0,702	0,00479 0,564	2,49		
0,00553 0,643	0,00605 0,703	0,00487 0,566	2,49	Genau übereinstimmend mit dem Hard-Crown von Chance Bros.	
0,00560 0,642	0,00614 0,704	0,00494 0,566	2,53		
0,00560 0,645	0,00587 0,700	0,00466 0,555	2,24	Nur an geschützten Stellen zu verwenden.	
0,00543 0,645	0,00592 0,703	0,00478 0,567	2,47		
0,00582 0,640	0,00639 0,703	0,00514 0,566	2,73	Sehr farblos.	
0,00563 0,642	0,00616 0,702	0,00499 0,568	2,54		
0,00572 0,635	0,00637 0,707	0,00515 0,572	2,53	Dieses Crownglas hat günstigeren Gang der Dispersion als das gewöhl. Silicat-Crown.	
0,00557 0,642	0,00644 0,704	0,00520 0,568	2,74		
0,00630 0,633	0,00702 0,706	0,00568 0,571	3,21	Farblos.	
0,00576 0,638	0,00637 0,705	0,00516 0,571	2,53		
0,00577 0,634	0,00642 0,705	0,00521 0,572	2,55	Übereinstimmend mit dem Soft-Crown von Chance Bros.	
0,00599 0,645	0,00654 0,704	0,00531 0,572	2,64		
0,00690 0,632	0,00771 0,706	0,00626 0,573	3,58	Weich in der Bearbeitung. Nicht frei von einigen feinen Bläschen zu erhalten.	
0,00654 0,636	0,00699 0,702	0,00561 0,563	2,56	An geschützten Stellen zu verwenden.	
0,00667 0,650	0,00722 0,703	0,00582 0,567	2,57	An geschützten Stellen zu verwenden.	





Lau- fende Nr.	Fabri- kations- Nr.	Benennung	Brechungs- index für <i>D</i>	Mittlere Dispersion <i>C</i> bis <i>F</i>	$\nu =$
					$\frac{n-1}{\Delta n}$
23	O. 152	Silicat-Glas	1,5368	0,01049	51,2
24	S. 8	<i>Borat-Flint</i>	1,5736	0,01129	50,8
25	O. 164	<i>Borosilicat-Flint</i>	1,5503	0,01114	49,4
26	O. 214	Silicat-Glas	1,5366	0,01102	48,7
27	O. 161	<i>Borosilicat-Flint</i>	1,5676	0,01216	46,7
28	S. 7	<i>Borat-Flint</i>	1,6086	0,01375	44,3
29	O. 154	Leichtes Silicat-Flint	1,5710	0,01327	43,0
30	O. 230	Silicat-Flint mit relativ hohem Brechungsindex	1,6014	0,01415	42,5
31	O. 184	Leichtes Silicat-Flint	1,5900	0,01438	41,1
32	S. 17	<i>Schweres Borat-Flint</i>	1,6467	0,01591	40,6
33	S. 10	<i>Schweres Borat-Flint</i>	1,6797	0,01787	38,0
34	O. 118	Gewöhnliches Silicat-Flint	1,6129	0,01660	36,9
35	O. 167	Gewöhnliches Silicat-Flint	1,6169	0,01691	36,5
36	O. 103	Gewöhnliches Silicat-Flint	1,6202	0,01709	36,2
37	O. 93	Gewöhnliches Silicat-Flint	1,6245	0,01743	35,8
38	O. 102	Schweres Silicat-Flint	1,6489	0,01919	33,8
39	O. 192	Schweres Silicat-Flint	1,6734	0,02104	32,0
40	O. 41	Schweres Silicat-Flint	1,7174	0,02434	29,5
41	O. 113	Schweres Silicat-Flint	1,7371	0,02600	28,4
42	O. 165	Schweres Silicat-Flint	1,7541	0,02743	27,5
43	O. 198	Sehr schweres Silicat-Flint	1,7782	0,02941	26,5
44	S. 57	<i>Schwerstes Silicat-Flint</i>	1,9626	0,04882	19,7

<i>A'</i> bis <i>D</i>	Partielle Dispersion		Specif. Ge- wicht	Bemerkungen
	<i>D</i> bis <i>F</i>	<i>F</i> bis <i>G'</i>		
0,00659 0,628	0,00743 0,708	0,00610 0,582	2,76	
0,00728 0,645	0,00795 0,704	0,00644 0,571	2,82	Geschützt zu verwenden.
0,00710 0,637	0,00786 0,706	0,00644 0,578	2,81	
0,00690 0,626	0,00781 0,709	0,00644 0,584	2,73	
0,00762 0,627	0,00860 0,707	0,00709 0,583	2,97	
0,00864 0,628	0,00974 0,708	0,00802 0,583	3,17	Geschützt zu verwenden.
0,00819 0,617	0,00943 0,710	0,00791 0,596	3,16	
0,00868 0,613	0,01009 0,712	0,00843 0,595	3,40	
0,00882 0,613	0,01022 0,712	0,00861 0,597	3,28	
0,00690 0,622	0,01128 0,709	0,00837 0,589	3,51	Geschützt zu verwenden.
0,01097 0,614	0,01271 0,711	0,01062 0,594	3,81	Geschützt zu verwenden.
0,01006 0,606	0,01184 0,713	0,01008 0,607	3,58	
0,01026 0,606	0,01206 0,713	0,01029 0,608	3,60	
0,01034 0,605	0,01220 0,714	0,01041 0,609	3,63	Dem dense Flint von Chance Bros. genau entsprechend.
0,01053 0,604	0,01243 0,715	0,01063 0,609	3,68	
0,01152 0,600	0,01372 0,714	0,01180 0,615	3,87	Optisch dem extra dense Flint von Chance Bros. ganz gleich.
0,01255 0,597	0,01507 0,717	0,01302 0,619	4,10	
0,01439 0,591	0,01749 0,718	0,01521 0,625	4,49	Dem double extra dense Flint von Chance Bros. entsprechend.
0,01526 0,587	0,01870 0,719	0,01632 0,627	4,64	
0,01607 0,585	0,01974 0,720	0,01730 0,630	4,78	
0,01719 0,584	0,02120 0,721	0,01868 0,635	4,99	
0,02767 0,567	0,03547 0,726	0,03252 0,666	6,33	





## XI.

### Messapparate für Physiker.

Vortrag, gehalten am 16. September 1890 auf der 63. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Bremen.

Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte.  
63. Versammlung zu Bremen.

Herausgegeben von Dr. OSCAR LASSAR.

II. Theil: Abtheilungssitzungen. Leipzig, F. C. W. Vogel, 1891. 8°. XII und 666 S., pp. 88—90<sup>1)</sup>.

Bei den Arbeiten des Physikers tritt sehr häufig der Fall ein, Längen von mässiger Grösse, im Spielraum von etlichen Centimetern, genau ausmessen zu müssen, und zwar handelt es sich hierbei bald um die Dimensionen von Körpern mit harten Grenzflächen, welche durch Contact eingestellt werden können (Platten, Cylinder und dgl.), bald um Abmessungen an Objecten, deren Grenzen nur optisch, durch Anvisiren, aufzufassen sind (Skalen, Theilungen, Gitter u. a. m.).

Das Bedürfniss, für derartige Zwecke leicht zu gebrauchende und sicher arbeitende Instrumente zur Verfügung zu haben, ver-

<sup>1)</sup> [Dieses aus ABBE's Feder stammende Referat wurde zuerst veröffentlicht in der Zft. f. Instr.-Kde., Bd. X, 1890, pp. 446—448.

Die hier abgedruckten drei Abbildungen sind der von C. PULFRICH gegebenen ausführlicheren Beschreibung der Apparate entnommen: Ueber einige von Prof. ABBE konstruirte Messapparate für Physiker, Zft. f. Instr.-Kde., Bd. XII, 1892, pp. 307—315.]

anlasste die Construction der hier zu beschreibenden Messapparate, welche die Werkstätte von Carl Zeiss in Jena schon vor längerer Zeit nach den Angaben des Vortragenden für dessen persönlichen Gebrauch ausgeführt hat und neuerdings auch für allgemeinen Gebrauch anfertigt.

Die Construction derselben hat folgende zwei Anforderungen zur Richtschnur genommen:

1) die Messung in allen Fällen, sowohl bei Contact-Einstellung wie bei Visur-Einstellung, ausschliesslich zu gründen auf eine Längentheilung, mit welcher die zu messende Strecke direct verglichen wird;

2) den Messapparat stets so anzuordnen, dass die zu messende Strecke die geradlinige Fortsetzung der als Maassstab dienenden Theilung bildet.

Die erste Forderung beruht auf der Erwägung, dass Theilungen sicherer und genauer herzustellen sind als alle anderen Messvorrichtungen; dass ihre Fehler [89] leicht ein für allemal sich bestimmen, ihre gesetzmässigen Veränderungen durch den Temperaturwechsel sicher in Rechnung sich bringen lassen; endlich, dass bei ihnen unregelmässige und uncontrolirbare Fehlerquellen, die z. B. bei Schrauben stets zu fürchten sind, so gut wie vollkommen ausgeschlossen werden können.

Die zweite Bedingung: dass Maassstab und zu messende Strecke nicht neben einander, sondern in der Richtung der stattfindenden Verschiebung hinter einander liegen sollen, verfolgt den Zweck, die Vergleichung der zu messenden Länge mit dem Maassstab unabhängig zu machen von der grösseren oder geringeren Vollkommenheit des Bewegungsmechanismus, der die Ausführung der Vergleichung vermittelt. — Gehören jene Strecke und der Maassstab zwei verschiedenen Geraden an, die einen gewissen Abstand von einander besitzen, so ist die relative Bewegung des Ableseindex gegen den Anfangspunkt des Maassstabes, d. h. also das abgelesene Maass, mit der zu messenden Länge im Allgemeinen nur dann identisch, wenn das jeweils bewegte System (Object und Maassstab, oder Object und Ableseindex, oder wie es sonst gebildet sein mag) eine reine Parallel-Verschiebung ohne Drehung ausführt. Erleidet dieses System zwischen Anfangs- und Endlage eine Drehung, so ist die Ablesung am Maassstab von der zu messenden Länge verschieden und zwar — unabhängig vom Ort



des Drehungscentrums — um das Product aus dem Drehungswinkel und dem Abstand der beiden Geraden (Maassstab und Strecke). Beträgt z. B. dieser Abstand 100 mm, so bewirkt eine Drehung von nur 2" schon eine Differenz von  $1 \mu$ . Es ist also unter solchen Umständen eine äusserst exacte Parallelführung erforderlich, wenn eine Genauigkeit der Messung bis auf  $1 \mu$  gewährleistet sein soll. Werden dagegen die zu messende Strecke und der Maassstab in ein und dieselbe Gerade gebracht, so ist der Einfluss der Drehung auf die Vergleichung beider eliminirt bis auf solche Grössen, die dem Quadrat des Drehungswinkels proportional, also von zweiter Ordnung sind.

Die in Betracht stehende Anordnung lässt sich ohne anderweitige Uebelstände natürlich nur da anwenden, wo es sich um mässige Dimensionen handelt, weil sie die Verlängerung des Messapparates auf das Doppelte des verlangten Umfanges der Messungen mit sich bringt. Wo jedoch das letztere kein Hinderniss bildet, gewährt jene Anordnung den Vortheil, die Genauigkeit der Messung fast völlig unabhängig zu machen von allen Mängeln des angewandten Bewegungsmechanismus hinsichtlich der Parallelführung. Im Besonderen gestattet sie, unbeschadet der Genauigkeit, auch ganz lose gehende Führungen, welche keinem merklichen Reibungswiderstand unterliegen, in Anwendung zu bringen.

Der Vortragende hat drei verschiedene Messapparate in dieser Art ausführen lassen: ein Contactmikrometer (Dickenmesser) bis 50 mm messend; einen kleinen Comparator für Visur-Einstellung, bis 100 mm messend zur Ausmessung von Gittern, Skalen und dgl., sowie auch der Dimensionen beliebiger anderer Objecte, deren Grenzen mittelst eines Mikroskops sich einstellen lassen; und ein Sphärometer zur Bestimmung des Krümmungsmaasses von Kugelflächen.

Bei allen drei Apparaten befinden sich die Theilungen auf Platinlamellen, welche, nur an einem Ende befestigt, völlig frei sich ausdehnen können; sie sind in 5tel Millimeter getheilt, jeder ganze Millimeter beziffert. Zur Ablesung und zur Ermittlung der Unterabtheilungen der 5tel Millimeter dient bei allen ein feststehendes Mikrometer-Mikroskop, welches der Art regulirt ist, dass einem Intervall des Maassstabes zwei Umdrehungen der Schraube am Ocular entsprechen, so dass ein Trömmeltheil der 100 theiligen Trommel immer  $1 \mu$  angiebt.

Bei dem Contact-Mikrometer [Fig. 8] ist der Contact — ein Achatstift mit sphärischer oder ebener Endfläche — mit dem Maassstab in der Art verbunden, dass er genau in der geradlinigen Fortsetzung der Theilung liegt. Die Schiene, welche [90] beides trägt, bewegt sich in einer verticalen Führung gegen eine feste Grundplatte

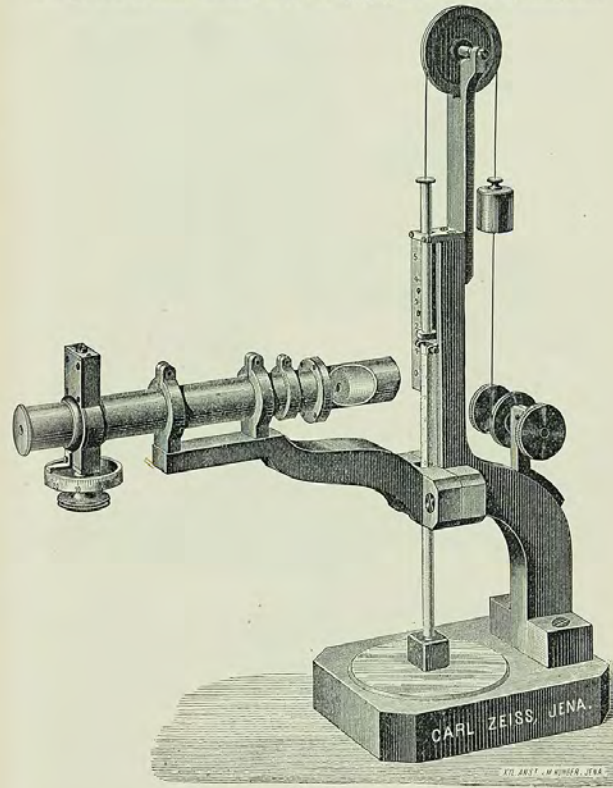


Fig. 8.  
Dickenmesser ( $1/2$  nat. Grösse).





mit ebener, polirter Oberfläche; ihr Gewicht ist mittelst Rolle und Faden durch ein Gegenwicht zum Theil balancirt. Die Führung geschieht ohne merkliche Reibung, so dass der zu messende Körper stets mit constantem, beliebig zu vermindernem Druck eingestellt wird.

Bei dem Visur-Comparator [Fig. 9] sind das zu messende Object und der Maassstab in gleicher Höhe hintereinander auf einem horizontal verschiebbaren Schlitten gelagert; die Bewegung geschieht im Groben mit freier Hand, im Feinen durch eine Schraube. Das Gestell, auf welchem der Schlitten geführt wird, trägt neben

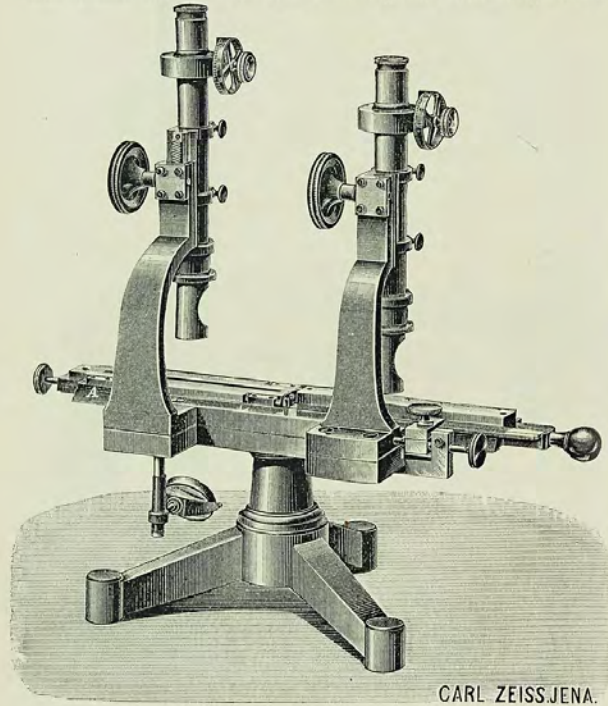


Fig. 9.  
Comparator ( $\frac{1}{3}$  nat. Grösse).

dem Ablesemikroskop für die Theilung ein zweites feststehendes Mikroskop zur Einstellung auf das zu messende Object.

Das Sphärometer [Fig. 10] ist im Wesentlichen das zuvor erwähnte Contactmikrometer, nur in der Art montirt, dass die den Contact tragende Schiene gegen eine Deckplatte sich bewegt, auf

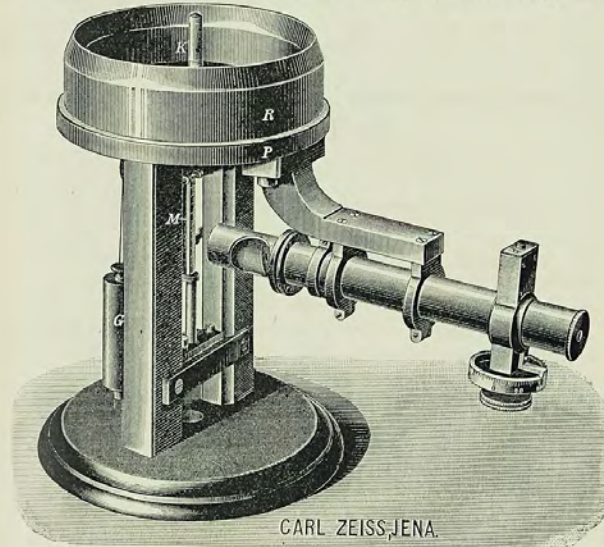


Fig. 10.  
Sphärometer ( $\frac{1}{3}$  nat. Grösse).

welche genau gedrehte kreisförmige Auflageringe von verschiedenen Durchmessern aufgesetzt werden können.

Die genauere Beschreibung dieser Apparate wird demnächst in der Zeitschrift für Instrumentenkunde<sup>1)</sup> gegeben werden.

1) [Vgl. die Anm. zu S. 206].





## XII. Methode zur Ermittlung zeitlicher Variationen der Lothlinie.

Astronomische Nachrichten. Bd. 127. 1891. No. 3030. col. 89 u. 90.

In Nr. 3019 der Astr. Nachr. bespricht Hr. A. NOBILE<sup>1)</sup> unter dem Titel „Note sur un appareil etc.“ eine Einrichtung, welche darauf abzielt, zu ermitteln, in wie weit an den neuerdings beobachteten Schwankungen der Polhöhe Veränderungen der Zenithlinie, also Schwankungen der Niveaufläche der Schwere gegen die feste Erdrinde, theilhaftig sind.

Diese Mittheilung veranlasst mich, hier eine Methode kurz darzulegen, nach welcher diese Frage meines Erachtens auf wesentlich einfachere Art und mit grösserer Sicherheit des Erfolges zu entscheiden sein wird. Ich würde selbst diese Methode schon in Ausführung zu bringen versucht haben, wenn eine für den Zweck geeignete Localität am hiesigen Ort zur Verfügung wäre.

Man denke sich einen gewöhnlichen Quecksilber- oder Oel-Horizont überdeckt mit einer genügend dicken Glasplatte, die in nur drei Contacten möglichst direct auf dem festen Boden (natürlichem Fels) frei aufliegt. Die Platte sei aus homogenem Glas, beiderseits vollkommen plan, aber in ganz geringem Maasse — um einige Bogensekunden — keilförmig und durch Abgleichen der drei Auflagestellen sehr nahe parallel der Flüssigkeitsoberfläche gelagert.

Wenn nun in beliebigem Abstand ein Fernrohr mit GAUSSISCHEM Ocular auf den Horizont eingestellt wird, so erscheint das von der Flüssigkeitsoberfläche gespiegelte Bild des Fadenkreuzes

<sup>1)</sup> [A. NOBILE: Note sur un appareil qui donnerait les variations de la latitude. Astr. Nachr. No. 3019, Bd. 126, 1890, col. 309—310.]

dicht neben zwei Bildern, welche durch Reflexion an den planen Flächen der Platte entstehen. Eine mikrometrische Messung des jeweiligen Abstandes des ersteren Bildes von einem der beiden letzteren, oder von beiden, gestattet alsdann jede zeitliche Richtungsänderung der Flüssigkeitsnormalen, also der Lothlinie, gegen die Normale der mit der Erde fest verbundenen Spiegelflächen nach Grösse und Azimuth zu bestimmen. — Durch die Reflexion wird jede Richtungsänderung auf doppelte Grösse gebracht. Bei Anwendung einer Platte von genügend grossem Durchmesser und eines entsprechend grossen Fernrohrs kann also jede gewünschte Genauigkeit der mikrometrischen Messung erreicht werden.

Statt, wie hier angenommen, ein GAUSSISCHES Ocular zu verwenden, wird man übrigens vortheilhafter eine geeignete leuchtende Marke in der Brennebene des Objectivs, aber etwas seitlich von der Axe desselben, anbringen — z. B. eine feine kreisförmige Oeffnung in einem Silberniederschlag auf Glas, welche mittelst eines Reflexionsprismas intensiveres Licht nach dem Objectiv hin sendet — und den Abstand der verschiedenen Spiegelbilder dieser Marke von einander messen. Ein für solchen Zweck geeignetes Mikrometer wäre sehr leicht herzustellen.

Noch viel einfacher aber lässt sich die Methode gestalten, wenn oberhalb des Flüssigkeitshorizontes ein etwas hoher Raum zur Verfügung steht. In diesem Falle kann ein Fernrohr ganz entbehrt werden, wenn man an Stelle der erwähnten Planplatte eine plan-convexe Linse von langer Brennweite setzt, so gelagert, dass ihre nach unten gekehrte plane Fläche der Flüssigkeitsoberfläche nahezu parallel wird. In einer Höhe über der Linse gleich der Brennweite derselben wird dann — ohne jede Rohrverbindung, auf ganz getrenntem Gestell — die zuletzt erwähnte Messvorrichtung (Marke und Mikrometer) sammt Ocular angebracht und der Abstand gemessen, welchen das von der Flüssigkeit gespiegelte Bild der Marke jeweils von dem an der planen Unterfläche der Linse reflectirten Bild nach Grösse und Azimuth zeigt. Zur Beleuchtung wäre in diesem Fall eine Natronflamme zu benutzen, um die Farbenzerstreuung des Linsenglases ausser Spiel zu setzen; die sphärische Aberration aber ist dadurch unschädlich zu machen, dass man die Brennweite der Linse sehr gross — mindestens gleich dem 60fachen der freien Oeffnung — nimmt. Das zur Beobachtung dienende Ocular erhält, der langen Brennweite entsprechend, geringe Vergrößerung, und das Mikrometer braucht entsprechend





weniger fein zu sein. — Eine Einrichtung dieser letzteren Art würde besonders vortheilhaft sein bei Aufstellung des Horizonts in einem Schacht oder in dem Keller eines Gebäudes, in welchem die Beobachtung in einer oberen Etage, durch Oeffnungen in den Zwischendecken hindurch, geschehen kann.

Unveränderliche Aufstellung des Ocularapparates ist bei diesem zweiten Verfahren offenbar ebensowenig erforderlich wie besonders feste Montirung des Fernrohrs bei dem ersten. Wesentlich ist nur, dass der angewandte Glaskörper — Platte oder Linse — sich praktisch so verhalte wie eine an die feste Erdrinde selbst angeschliffene spiegelnde Facette. Diese Bedingung zu erfüllen wird die einzige Schwierigkeit sein. Es wird dabei nicht nur darauf ankommen, dass eine ganz sichere und unwandelbare Anlagerung des Glases an ein dem Temperatur- und Feuchtigkeitswechsel nicht ausgesetztes Fundament erreicht werde, sondern zugleich darauf, dass die Beobachtungsstelle auch den mittelbaren Einwirkungen entzogen sei, welche Verschiebungen der benachbarten oberen Erdschichten in Folge wechselnder Temperatur und Durchfeuchtung ausüben können. Volle Sicherheit, dass eine etwa beobachtete Veränderung der Lothlinie nicht von solchen rein localen und zufälligen Veränderungen des Bodens an der Beobachtungsstelle herührt, dürfte wohl kaum anders als durch correspondirende Beobachtungen an mehreren Orten zu gewinnen sein.

### XIII.

#### Apparat zur Bestimmung der Brennweite von Linsensystemen (Fokometer)<sup>1)</sup>.

Catalog über „optische Messinstrumente“ der optischen Werkstätte von Carl Zeiss in Jena. 1893. No. 18. pp. 27—29.

Die Methode, welche dem Apparat zu Grunde liegt, ist: Bestimmung der Brennweite eines Linsensystems und der Oerter seiner Cardinalpunkte aus den Vergrößerungen, mit welchen das System zwei in gegebenen Abständen befindliche Objecte — Glasmaassstäbe — abbildet. Dabei erfolgt die Ermittlung der gesuchten Grössen gänzlich unabhängig von der Aufsuchung der Oerter von Bildern; es werden nur die sicher zu messenden Ab-

1) [Die erste Mitteilung über die hier behandelte Methode gab ABBE am 22. September 1891 auf der 64. Naturforscher-Versammlung in Halle in einem Vortrag über: „Messung der Brennweiten optischer Systeme“. Ein von ihm geschriebenes Referat über den Vortrag scheint nicht vorhanden zu sein. Eine ausführliche Darstellung von „Methode und Apparat zur Bestimmung von Brennweiten (Fokometer) nach ABBE“ gab S. CZAPSKI in der Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. XII, 1892, pp. 185—197, mit 5 Figuren.

Der hier abgedruckte Text stammt aus ABBE's Feder, im Gegensatz zu den 20 anderen Beschreibungen des Katalogs, die fast durchweg von ABBE herrührende Apparate behandeln, aber von seinen Mitarbeitern C. PULFRICH und — zum kleinen Teil — von S. CZAPSKI verfaßt sind.

ABBE selbst schrieb zu dem Katalog folgende Vorrede:

Die in nachstehendem Verzeichniss zusammengestellten Instrumente und Apparate sind sämtlich nach Idee und Ausführung eigene Constructionen der hiesigen Werkstätte und sämtlich aus dem Wirkungskreis der letzteren selbst hervorgegangen. Sie wurden im Laufe der Jahre von den wissenschaftlichen Mitarbeitern der Firma construirt entweder für den unmittelbaren Bedarf des technischen Betriebes oder für experimentelle Studien, welche





stände körperlicher Objecte als Daten benutzt. Die Ermittlung der linearen Vergrößerung, mit welcher ein solches Object (Glasscale) jeweils abgebildet wird, geschieht aber nach einem Verfahren, welches 1) gestattet, aus dem Grössenverhältniss zwischen Bild und Object bei endlichen — möglichst grossen — Dimensionen beider den fundamentalen Wert der Vergrößerung, d. h. den Grenzwert dieses Verhältnisses für unendlich kleine Dimensionen, abzuleiten, und welches 2) das zu bestimmende Grössenverhältniss ergibt, unabhängig von der Unsicherheit, mit welcher die Bestimmung des Ortes eines Bildes behaftet bleibt.

In der in Folgendem beschriebenen Form eignet sich der Apparat zur Bestimmung der Constanten von positiven oder negativen Systemen von ca. 50 mm Brennweite und darüber, wobei die Dimensionen des Systems 100 mm im Durchmesser und 50 mm in der Dicke (Höhe) nicht überschreiten dürfen.

Bei achromatischen Linsen von über 100 mm Brennweite erhält man die letztere leicht bis auf weniger als 0,1 Prozent, und die Abstände der Hauptpunkte von den Scheiteln auf weniger als 0,1 mm genau.

Eine ausführliche Beschreibung der Methode und des Apparates, sowie Anweisung zu seinem Gebrauch s. CZAPSKI, Zeitschrift f. Instr.-Kunde, 1892, S. 185.

Der Apparat besteht in der Hauptsache aus einem Mikroskopstativ grösserer Art mit ausziehbarem Tubus, auf dessen Tisch ein verschiebbarer Schlitten *W* angebracht ist. Die Verschiebung desselben erfolgt im Groben aus freier Hand, im Feinen durch Mikrometerschraube. Die Grösse der Verschiebung lässt sich an einer Millimeterscale *s* mit Nonius *N* bis auf ca. 0,02 mm messen.

durch die Thätigkeit der Werkstätte veranlasst waren. Demgemäss sind sie durchgängig im eigenen, zum Theil langjährigen Gebrauch praktisch erprobt, und diejenigen unter ihnen, welche schon früher beschrieben wurden, sind in der jetzt vorliegenden Ausführung das Endergebniss von wiederholten durch die praktische Erfahrung geleiteten Verbesserungsversuchen.

Bisher hat die unterzeichnete Firma die Instrumente dieser Art nur gelegentlich für Andere ausgeführt. Da dieselben aber geeignet erscheinen, Bedürfnissen weiterer Kreise zu dienen, sowohl bei wissenschaftlichen Arbeiten und technischen Untersuchungen, wie auch namentlich für Zwecke des wissenschaftlichen Unterrichts in den physikalischen Laboratorien, so hat die Firma neuerdings eine besondere Werkstattabtheilung in ihrem Betrieb eingerichtet, in welcher unter Leitung eines auf diesem Gebiet erfahrenen Physikers, des Herrn Dr. C. PULFRICH, Instrumente solcher Art nunmehr regelmässig angefertigt werden. Diese Abtheilung ist in der Lage und erbötig, ausser den im nachfolgenden Catalog verzeichneten Apparaten auch andere in das Gebiet einschlagende Instrumente nach speciellm Auftrag auszuführen.

Jena, im December 1892.

Carl Zeiss, Optische Werkstätte.]

Unterhalb des Tisches ist in einem Abstand von ca. 100 mm eine Glasscale *T*, in halbe Millimeter getheilt, fest angebracht. Eine zweite kleinere Glasscale (in Zehntel-Millimeter getheilt) lässt sich mittelst des Hebels *H* im Niveau der oberen Fläche des verschiebbaren Schlittens *W* vorübergehend in die Achse des Mikroskops führen und mittelst eines ein-springenden Zahnes feststellen.

Das zu messende Linsensystem wird annähernd centrisch zur Achse des Mikroskops auf den Schlitten *W* aufgelegt. Unter Benutzung je eines [28] Objectivs von passender Brennweite an dem Centrirkopf *Z* des Mikroskoptubus wird das Mikroskop zuerst auf das Bild eingestellt, welches das Linsensystem von der unteren Scale *T* entwirft, und sodann auf das Bild der oberen Scale *t*, und nach jeder von diesen Einstellungen wird die Verschiebung des Schlittens *W* gemessen, welche erforderlich ist, um bestimmte (in Bezug auf die Axe symmetrisch gegenüberliegende) Theilstriche der betreffenden Scale nach einander zur Deckung mit einem Strichkreuz im Ocular zu bringen.

Die Grösse der erforderlichen Verschiebung für zwei oder mehrere je an der Scale *T* oder *t* abgelesene Intervalle ergibt die Daten zur Bestimmung der linearen Vergrößerung, mit welcher die betreffende Scale durch das Linsensystem abgebildet

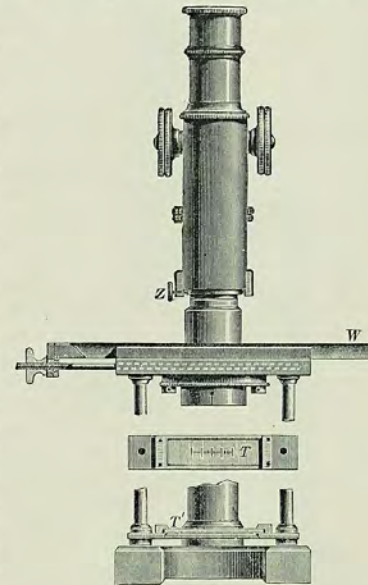


Fig. 11.  
Fokometer ( $\frac{1}{3}$  nat. Grösse).



wird in ihrem Grenzwert für unendlich kleine Objectgrößen, und zwar frei von den Fehlern ungenauer Focussirung des beobachteten Bildes. Ausserdem ist nur noch [29] der Abstand der Scale  $T$  und der Scale  $t$  von der oberen Fläche des Schlittens zu messen, um alle Daten für die Berechnung sowohl der Brennweite

des Systems wie der Abstände der Hauptpunkte von der Auflagefläche zu erhalten.

Zu dem Apparat gehören: 5 Objectivsysteme von abgestufter Brennweite, ein Mikrometer-Ocular mit Doppelstrichkreuz und Mikrometer (10 mm in 0,1 getheilt) — zum Auswechseln — sowie ein Tiefentaster zur Ausmessung des Abstandes der beiden Scalen und der Linsenscheitel von der Auflagefläche, bis 100 mm messend, mit Nonius für 0,1 mm Ablesung.

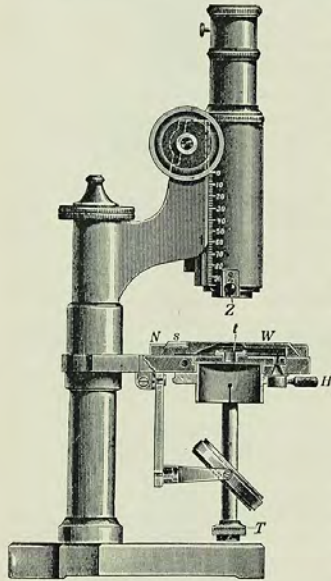


Fig. 12.  
Fokometer ( $\frac{1}{3}$  nat. Grösse).

Da das Instrument alle wesentlichen Einrichtungen eines grösseren Mikroskop-Stativs besitzt, so lässt sich dasselbe unter Zuhilfenahme stärkerer Objective ohne weiteres als Mikroskop, namentlich für physikalische Zwecke benutzen, sowie noch im Besonderen zur Ermittlung der Brennweiten von Mikroskop-Objectiven, Ocularen und dergleichen nach den verschiedenen sonst gebräuchlichen Methoden.

Für solchen anderweitigen Gebrauch des Instruments als Mikroskop empfiehlt sich die Hinzunahme eines unter dem Tisch anzubringenden Condensors mit Irisblende, der auf Bestellung mitgeliefert wird.

#### XIV.

### Ueber die Entstehung von Kometen und Meteoriten aus Planeten.

Sirius, Zeitschrift für populäre Astronomie. Neue Folge Bd. 22. 1894. pp. 169—177.

Die Abhandlung des Herrn D'ARLOZ „Das Rätsel der Kometen“, im 4. Heft [pp. 73—82] des laufenden Jahrganges dieser Zeitschrift, enthält sehr bemerkenswerte Gedanken über die Möglichkeit einer Umwandlung von Planeten in Kometen und Meteorite, sowie über die Vorgänge, durch welche eine solche Umwandlung sich vollzogen haben könnte. Die Ausführungen des Verfassers über diesen Gegenstand bedürfen indess in mehreren Punkten einer Berichtigung ihrer Grundlagen, und diese führt zugleich zu einer Ergänzung und näheren Präzisierung seiner Schlussfolgerungen, die geeignet scheint, seine Erklärung der Kometen in eine wesentlich konkretere Fassung zu bringen und viel fester zu begründen.

Was in beiden Beziehungen kurz zu sagen ist, fasse ich zusammen in den nachfolgenden Bemerkungen:

[170] Erstens: Die Inkommensurabilität der Umlaufzeiten der Planeten darf nicht angesehen werden als eine Zweckmässigkeits-Einrichtung, die der Erklärung durch das Walten einer natürlichen Selektion bedürftig oder auch nur fähig wäre. Denn es ist mathematisch unzulässig, das Auftreten eines irrationalen oder eines rationalen Verhältnisses zweier Umlaufzeiten als bei der Entstehung der Planeten gleichsam zur Wahl gestellt zu denken und demgemäss zu sagen, es hätten neben den jetzt vorhandenen irrationalen Verhältnissen ursprünglich auch rationale sich bilden müssen. Vielmehr können durch natürliche Vorgänge irgend welcher Art niemals





andere, als unter einander inkommensurable Maassbestimmungen an den Dingen zu Stande kommen. Denn im Umfang eines stetigen Grössengebietes, wie es die Gesamtheit der möglichen Umlaufzeiten im Planetensystem ist, giebt es zwischen der Eins und irgend einer beliebigen grösseren Zahl zwar unendlich viele rationale Verhältnisse neben unendlich vielen irrationalen; der letzteren aber sind es immer unendlich viel mal mehr, als der ersteren. Das Zustandekommen von unter sich wirklich kommensurablen Maassen hat demnach überall in natürlichen Vorgängen nur eine im strengen Sinne unendlich kleine Wahrscheinlichkeit für sich. — Rationale Verhältnisse giebt es demnach zwar in der Mathematik, aber nicht in der Natur. — Insoweit nun inkommensurable Maasse in irgend einem Gebilde Bedingung für seine dauernde Erhaltung sein möchten, wäre diese Bedingung immer ganz von selbst erfüllt.

Zweitens: Der dauernde Fortbestand des Planetensystems in seiner typischen Anordnung ist keineswegs schlechthin abhängig von der Inkommensurabilität der Umlaufzeiten. Denn letztere, in mathematischem Sinne, ist weder die notwendige, noch die zureichende Bedingung der Stabilität. Zeigten sowohl zwei Planeten ein streng rationales, also durch ganze Zahlen genau ausdrückbares Verhältnis der Umlaufzeiten, jedoch ein Verhältnis, welches nur durch grosse ganze Zahlen — seien es etwa drei oder vierstellige — sich darstellen liesse, so wäre dieses praktisch einem irrationalen Verhältnis völlig gleichwertig. Zwar würden alsdann nach je Hunderten oder Tausenden von Umläufen immer genau gleiche Konstellationen wiederkehren, soweit die Umlaufzeiten hierfür maassgebend sind; in der langen Zwischenzeit zwischen je zwei einander folgenden Konstellationen jener Art würden jedoch immer die übrigen Bahnelemente genügende Veränderungen erfahren haben, um eine fortgesetzte Wiederkehr und Anhäufung gleichsinniger Störungen auszuschliessen. Andererseits wäre strenge Irrationalität der Umlaufverhältnisse noch keineswegs ausreichend, solche Anhäufung gleichsinniger Störungen auf beliebig hohe Beträge zu verhindern. Denn wenn die Umlaufzeiten zweier Planeten sich verhielten z. B. wie  $2:5,0000333\dots$  — der Dezimalbruch der zweiten Zahl ins Unendliche fortgesetzt gedacht — so würde dieses Zahlenverhältnis, obwohl streng irrational, doch nicht weniger verhängnisvoll für den einen oder für beide Planeten sein, wie das rationale  $2:5$ . Etliche Tausend einander

folgende, nach je 2 und 5 Umläufen, also mit ganz kurzen Zwischenzeiten, sich wiederholende Konjunktionen würden zwar nicht völlig identische, aber durch lange Zeiträume hindurch sehr annähernd identische Störungen mit sich bringen, die fortgesetzt sich summieren müssten. — [171] Wie schon LAPLACE festgestellt hat, beruht die starke Anhäufung der Störungen, welche Saturn durch Jupiter erleidet, auf dem Umstand, dass das Verhältnis der Umlaufzeiten beider Planeten dem Verhältnis  $2:5$  all zu nahe liegt ( $2:4,964\dots$ ); und diese Näherung ist nur deshalb noch nicht kritisch für die Stabilität des ganzen Planetensystems, weil die grosse Masse dem Jupiter, also dem innern Planeten, zugehört. — Bedingung für die dauernde Erhaltung wenig exzentrischer und gegen einander wenig geneigter Planetenbahnen im Sonnensystem ist also nicht sowohl das Bestehen irrationaler Verhältnisse zwischen den Umlaufzeiten, als vielmehr das Nicht-Bestehen solcher Verhältnisse — rationaler oder irrationaler — die dem Verhältnis von kleinen ganzen Zahlen sehr nahe kommen.

Drittens: Die Hypothese des Herrn d'ARLOZ: dass Kometen entstanden seien aus früheren Planeten mit instabilen (d. h. fortschreitender Steigerung der Exzentrizität und der Neigung ausgesetzten) Bahnen, involviert hiernach thatsächlich nicht die Forderung, dass in einer früheren Epoche Planeten mit unter einander kommensurablen Umlaufzeiten vorhanden gewesen sein müssten — welche Forderung, wenn sie wirklich nötig wäre, die Hypothese in sich hinfällig machen würde. Sie involviert vielmehr die Voraussetzung: dass zu irgend einer früheren Zeit eine Mehrzahl von solchen Planeten dagewesen sei, deren Umlaufzeit im Vergleich mit der Umlaufzeit eines andern, zu erheblicher Störungswirkung befähigten, also grossen Planeten, sehr annähernd im Verhältnis von kleinen ganzen Zahlen stand. Dieses bedeutet aber — was in den Ausführungen des Herrn d'ARLOZ nicht zum Ausdruck kommt — die Voraussetzung: dass unser Planetensystem eine sehr grosse Zahl von Planeten nicht nur früher enthalte habe, sondern auch jetzt noch enthalte. Denn weitgehende Annäherung der Umlaufzeiten an irgend ein kleinzahliges Verhältnis kann, wenn nicht auf ganz exzeptionellen Zufall gerechnet werden soll, nur relativ selten statt gehabt haben, also in einer Vielheit von Fällen mit Wahrscheinlichkeit nur dann, wenn eine sehr grosse Zahl von Planeten vorhanden war. Die vorher erwähnte Annäherung des Umlaufverhältnisses zwischen Jupiter und Saturn,





die noch nicht gross genug ist, um kritisch zu sein, hat als Vorkommnis unter nur 8 Planeten, obwohl dieses Vorkommnis thatsächlich ja eingetreten ist, a priori doch eine geringe Wahrscheinlichkeit für sich. Nur unter einer sehr beträchtlichen Zahl von Körpern also kann noch wesentlich vollkommener Annäherung des Umlaufverhältnisses an derartige kleinzahlige Verhältnisse — also Instabilität der Bahn — öfters sich ereignet haben. Weil aber von der hiernach vorauszusetzenden grossen Zahl ehemals vorhandener Planeten nur ein sehr geringer Bruchteil jener Bedingung der Instabilität der Bahn entsprochen haben, also möglicherweise in Kometen verwandelt sein kann, so muss der grössere Teil der vielen ehemals vorhandenen auch jetzt noch als Planeten vorhanden sein. — Die Hypothese des Herrn d'ARLOZ würde völlig in der Luft stehen, wenn nicht die fortschreitende Kenntnis des Inhalts unseres Planetensystems in diesem Jahrhundert die Richtigkeit jener Voraussetzung des derzeitigen Daseins einer grossen Zahl von planetarischen Körpern schon erhärtet hätte.

[172] Viertens: Vorher ist schon erwähnt, dass die Annäherung des Umlaufverhältnisses zweier Planeten an das Verhältnis kleiner ganzer Zahlen den hier verlangten Erfolg: fortschreitende Zunahme der Exzentrizität einer Planetenbahn, nur dann nach sich ziehen kann, wenn mindestens einer der beteiligten Körper ein grosser Planet ist, dessen Masse nicht verschwindend klein ist gegenüber der Sonnenmasse. Andererseits darf aber auch nur einer von solchen zwei Körpern ein grosser Planet sein. Denn wenn beide es wären, so würde nicht bloss eine kleine Masse — deren Bewegungsweise für das System als Ganzes gleichgültig ist — in eine kometarische Bahn gedrängt, während dabei die Bahn der andern, der grossen Masse, ohne merkliche Störung bleibt, sondern es würden zwei grosse Massen durch die wechselseitigen Störungen allmählich in stark elliptische und stark geneigte Bahnen übergeführt werden, damit aber Auflösung des ganzen Systems gegeben sein. Demnach ist die Annahme: dass Kometen aus früheren Planeten entstanden seien durch fortgesetzte Anhäufung von Störungswirkungen seitens anderer Planeten — zur Erklärung ausreichend und dabei nicht im Widerspruch mit der Stabilität des ganzen Systems nur unter der bestimmten weiteren Annahme: es habe zu irgend einer früheren Epoche die Umlaufzeit kleiner — und zwar ausschliesslich kleiner — planetarischer Massen ein annähernd kleinzahliges Verhältnis gehabt zur Umlaufzeit eines

ihnen genügend nahe kommenden grossen Planeten. Zwei kleine wären zu wenig, zwei grosse wären zu viel.

Fünftens: Die Ausführungen des Herrn d'ARLOZ bringen treffend zum Ausdruck, dass eine Erklärung der Entstehung von Kometen auf dem in Betracht stehenden Weg, wenn sie befriedigend sein soll, den Unterschied der physischen Beschaffenheit von Kometen und Planeten auf Vorgänge zurückführen müsse, die einerseits als notwendige Folge der Deformation der Bahnen sich darstellen und andererseits nur das Wirken uns bekannter Kräfte voraussetzen. Die Annahme einer allmählichen Zertrümmerung von Planeten in Folge der Temperaturschwankungen, welchen bei sehr exzentrischer Bahn ihre Oberflächenschicht unter dem Wechsel zwischen starker Abkühlung und intensiver Sonnenbestrahlung ausgesetzt ist — und zwar unter raschem Wechsel, wenn der Planet rotiert — wird beiden Rücksichten insoweit gerecht, als es sich um den Nachweis von Ursachen handelt, welche den mechanischen Zusammenhang fester Massen aufzuheben geeignet sind. Wie wir an der Erde sehen, genügt aber das Letztere noch keineswegs zur Erklärung einer Zertrümmerung, d. h. einer dauernden Trennung der Teile; dazu bedarf es auch noch der Aufhebung des Gravitationszusammenhangs der mechanisch getrennten Massen. Es muss also gezeigt werden, dass dieselben Kräfte, welche die Abtrennung von Bruchstücken bewirken, diesen bei der Abtrennung auch Geschwindigkeiten erteilen können, die genügend sind, ihre Wiedervereinigung mit dem Mutterkörper zu verhindern. Denn so lange alle abgesprengten Bruchstücke — wie bei der Erde — auf der Oberfläche des Planeten verbleiben, kann der Zertrümmerungsvorgang aus einem Planeten niemals etwas anderes machen, als einen Planeten mit zertrümmerter Oberfläche.

Für jeden kugelförmigen Weltkörper giebt es nun eine ganz bestimmte Grösse der relativen Geschwindigkeit, welche an seiner Oberfläche [173] ein Bruchstück mindestens erreichen muss, damit es dem Schwerkverband entzogen, also dauernd abgetrennt werde. Diese Geschwindigkeit ist numerisch bei jedem Planeten gegeben durch die Quadratwurzel aus dem Produkt: Durchmesser des Planeten mal Fallbeschleunigung an seiner Oberfläche, und zwar ganz unabhängig von der Richtung der Bewegung. Für die Erde beträgt diese Mindest-Geschwindigkeit, welche dauernde Abtrennung ermöglicht, über 11000 Met.-Sek. — ist also von einer Grösse, die





durch keinen uns bekannten natürlichen Vorgang jemals erreicht werden könnte. Bei einem Planetoiden aber, der nur 10 Kilometer Durchmesser hätte (die mittlere Dichtigkeit halb so gross als diejenige der Erde angenommen, der Dichtigkeit unserer silikatischen Gesteine entsprechend) würde sie nicht grösser sein, als etwa 6 Met.-Sek., und bei 1 Kilometer Durchmesser sogar nur 0,6 Met.-Sek. Die Geschwindigkeit von 6 m entspricht auf der Erde einer Fall- oder Wurfhöhe von weniger als 2 m, die Geschwindigkeit von 0,6 m aber einer irdischen Wurfhöhe von nur knapp 2 cm — woraus zu ersehen, dass bei derartigen kleinen Weltkörpern allerdings sehr mässige und sogar winzig kleine Kräfte genügen, abgesprengten Teilen bei ihrer Abtrennung eine Wurfgeschwindigkeit von der kritischen Grösse zu erteilen.

Werden nun an der Oberfläche eines Planeten Bruchstücke seiner Masse durch irgend welche Ursachen abgesplittert, so fallen sie nach kürzerem oder längerem Flug stets wieder auf den Weltkörper zurück, wenn die Geschwindigkeiten, welche die abtrennenden Kräfte ihnen erteilen, noch unterhalb der angegebenen Mitdestgeschwindigkeit für den betreffenden Planeten verbleiben. In diesem Falle können die in Betracht stehenden Zertrümmerungsvorgänge nichts weiter herbeiführen, als die Bildung einer Trümmerschicht auf der Oberfläche des Planeten, deren schützende Wirkung den Fortgang der Zerstörung allmählich zum Stillstand bringen muss — wie es bei der Erde geschieht und sicherlich auch bei jedem andern Weltkörper, dessen Masse gross genug ist, um eine beträchtliche Schwerewirkung an der Oberfläche hervorzubringen. Wird aber die Masse so gering, die zuvor betrachtete kritische Geschwindigkeit also so sehr herabgesetzt, dass die Wurfgeschwindigkeiten, welche die zertrümmernden Kräfte abgesplitterten Stücken erteilen können, jene kritische Geschwindigkeit erreichen oder überschreiten — gleichgiltig in welcher Richtung — so kehren die Bruchstücke, ob gross oder klein, nicht mehr zum Mutterkörper zurück, sondern bilden einen Schwarm, der jenen auf seiner planetarischen Bahn begleitet, indem die einzelnen abgetrennten Partikel die Sonne umkreisen auf Bahnen, deren Elemente von den Bahnelementen des Mutterkörpers anfänglich nur sehr wenig verschieden sind. Da in diesem Fall die zertrümmernden Kräfte an der Oberfläche des Planeten ins Unbegrenzte fortwirken können, so müssen sie nach und nach vollständige Auflösung desselben herbeiführen. Der sich bildende Trümmerschwarm aber muss

infolge der notwendigerweise vorhandenen kleinen Unterschiede der planetarischen Umlaufzeiten der einzelnen Partikel über einen immer grösser werdenden Teil der ursprünglichen Planetenbahn sich auseinanderziehen und nach genügender Zeit in einen kontinuierlichen Ring von kleinen Körpern verwandelt werden. Schliesslich muss er, vermöge der [174] zunehmenden Verschiedenheit der Bahnelemente der einzelnen Partikel durch Störungswirkungen seitens des grösseren Nachbarplaneten, immer weiter gehender Zertrennung im Planetenraum unterliegen.

Hiernach sind die bekannten Vorgänge der Gesteinszertrümmerung in der That ausreichend, die vollständige Auflösung eines planetarischen Körpers herbeizuführen, jedoch nur bei Planeten von äusserst geringer Masse, im Vergleich mit den Massen der grossen Planeten. Also führt auch diese Betrachtung wiederum zu dem Schluss, dass die Annahme einer Entstehung von Meteoriten und Kometen aus Planeten das vorherige Dasein sehr kleiner planetarischer Körper zur notwendigen Voraussetzung hat.

Gemäss der vorstehenden Bemerkungen kann die Idee einer allmählichen Umwandlung von Planeten in Kometen und Meteoritenschwärme widerspruchsfrei und folgerichtig nur auf folgenden Grundlagen — möchten dieses Thatsachen oder Hypothesen sein — aufgebaut werden:

1. Das Planetensystem hat zu keiner Zeit mehr als eine geringe Zahl von grossen geballten Massen enthalten. Diese haben von Anfang an in wenig exzentrischen und gegen einander wenig geneigten Bahnen die Sonne umkreist, mit Umlaufzeiten, deren mittlere Werte kraft der Bedingungen natürlichen Entstehens sämtlich unter einander inkommensurabel waren; und es hat auch kein exzeptioneller Zufall bei der Bildung des Systems eine kritische Annäherung des Umlaufverhältnisses zweier Körper dieser Kategorie an das Verhältnis von kleinen ganzen Zahlen herbeigeführt. Infolge dessen hat das System dieser grossen Körper die Bedingungen dauernden Fortbestandes seiner typischen Anordnung für unbegrenzte Zeiträume eo ipso in sich getragen.

2. Ausser solchen grossen Planeten hat aber des System von irgend einem Zeitpunkt ab auch eine grosse Zahl von relativ kleinen geballten Massen, „Planetoiden“, in sich enthalten. Wegen der grossen Anzahl mussten unter ihnen viele sich finden, deren Umlaufzeit verglichen mit der Umlaufzeit eines ihnen benach-





barten grossen Planeten dem Verhältnis zwischen irgend zwei kleinen ganzen Zahlen mehr oder minder nahe kam. Diese hat der betreffende grosse Planet vermöge der durch lange Zeiträume hin gleichsinnigen, sich fortgesetzt summierenden Störungen allmählich in stark exzentrische Bahnen gedrängt — ohne erhebliche Veränderung seiner eigenen Bahn. Die auf solche Art aus dem geordneten System herausgedrängten Planetoiden sind unter den an der Erde beobachteten Zertrümmerungsursachen infolge der Kleinheit ihrer Massen, also mangels erheblichen Schwereverbandes ihrer Elemente, sämtlich oder zum Teil völliger Auflösung verfallen — der Zersplitterung ihrer festen und Zerstäubung ihrer flüssigen Bestandteile. Sie sind daher als Planeten verschwunden — in Meteoritenschwärme und Kometen umgewandelt. Der weit aus grössere Teil aller ursprünglich vorhandenen Planetoiden aber hat stabile Bahnen gehabt, und diese Planetoiden sind auch jetzt noch als planetarische Körper im System vorhanden.

[175] Wenn man die Hypothese des Herrn d'ARLOZ auf diese Grundlagen stellt, wird sogleich ersichtlich, dass in ihr gar nichts Hypothetisches mehr enthalten ist. Denn was der erste Satz ausspricht, wird durch die Erfahrung bestätigt, und was der zweite Satz fordert, ist gleichfalls in allen Punkten tatsächlicher Befund — bis auf die einzige Behauptung: dass zertrümmerte Planeten als Kometen und Meteoritenschwärme sollen erscheinen können.

Allerdings zeigt im Planetensystem nur der Raum zwischen Mars und Jupiter die geforderte grosse Zahl von planetarischen Körpern — ihrer gegen 400 zur Zeit sicher beobachtet, und zwar unter Umständen, die bestimmt erwarten lassen, es werde die Anzahl der bis jetzt gesehenen nur ein kleiner Teil der wirklich vorhandenen sein. Das ist aber gerade genug. Denn sie sind nächstbenachbart dem grössten Planeten des ganzen Systems, und ihre Umlaufzeiten zeigen zu der des Jupiter Verhältnisse in fast stetiger Abstufung zwischen ungefähr  $\frac{1}{4}$  bis ungefähr  $\frac{2}{3}$ , so dass unter ihnen der Wahrscheinlichkeit nach grosse Annäherung auch an die besonders kritischen Verhältnisse 1:2, 2:3, 2:5 und 1:3 öfters sich finden musste. Planetoiden mit derartigen kritischen Umlaufzeiten mussten aber durch die Störungen des Jupiter nach und nach in kometarische Bahnen übergeführt, also aus der Schar der planetarischen Körper ausgesondert werden; und da alle Planetoiden nur sehr geringe Massen zeigen, die meisten von ihnen wahrscheinlich winzig kleine ohne irgend merklichen Schwere-

verband, so musste durch die nämlichen Ursachen, die auf der Erde Zertrümmerung der Hochgebirgsspitzen und Wüstenbildung bewirken, mindestens ein Teil von den Ausgesonderten vollständiger Auflösung verfallen.

In der That zeigt aber auch die Schar der gegenwärtig vorhandenen Planetoiden, wenn man sie nach der Umlaufzeit ordnet, Umlaufzeiten, die den erwähnten Rationalitäten sehr nahe kamen, entweder gar nicht mehr oder nur in auffällig verminderter Häufigkeit!). Also auch diese Konsequenz der früheren Betrachtung wird durch Thatsachen erhärtet.

Giebt man nun die einzige hypothetische Annahme zu, welche in dieser Theorie enthalten ist: dass zertrümmerte Planeten als Kometen und Meteoriten erscheinen müssen oder wenigstens erscheinen können, so bedarf es keinerlei weiterer Annahme zur Erklärung der Herkunft solcher Gebilde. Die Schar der kleinen planetarischen Körper zwischen Mars und Jupiter erscheint als eine genügend ausgiebige Quelle für alle Kometen- und Meteoritenbildung im Sonnensystem, und Jupiter ist ausreichend als einziger aktiver Urheber. Nach weiteren Ursprungsstellen [176] für Kometen, sei es im Sonnensystem oder ausserhalb desselben, zu suchen, wäre einsteilen durchaus überflüssig. Bis jetzt ist noch bei keinem Kometen eine hyperbolische Bahn vor seiner Annäherung an störende Planeten, also ein Anzeichen nicht-planetarischer Herkunft, festgestellt worden. Dass aber noch in anderen Regionen des Sonnensystems, ausser in der Lücke zwischen Mars und Jupiter, weitere planetarische Körper vorhanden sein sollten, ist angesichts der im sogen. BODE'schen Gesetz zum Ausdruck kommenden Regelmässigkeit der Planetenbildung äusserst unwahrscheinlich.

1) Die Lücken in der Abstufung der Umlaufzeiten der kleinen Planeten treten sehr auffällig hervor in einer graphischen Darstellung ihrer mittleren Bewegungen, die für die Planetoiden (1) bis (237) Herr HARZER gegeben hat. — Vierteljahrsschrift der Astron. Gesellsch. 20. Jahrgang (1885), pag. 235. [Der Text dazu a. a. O. pag. 249—260: P. HARZER, über einen Versuch, eine beschränkt gültige Form der Bewegungen eines kleinen Planeten zu finden für den Fall, dass dessen mittlere Bewegung doppelt so gross ist als die des Jupiter.] Die Frage: woher rühren diese Lücken? — wo mögen die hier fehlenden Vertreter gewisser Umlaufzeiten geblieben sein? — beantwortet sich nach dem Obigen dahin: sie sind in einer früheren Epoche vorhanden gewesen — Jupiter aber hat sie aus der Schar der Planeten nach und nach herausgeschubst. — Entweder findet sich mit der Zeit noch ein Teil von ihnen als kleine Planeten auf kometarischen Bahnen, wenn das Absuchen des Himmels weitere Fortschritte macht, oder sie sind inzwischen schon sämtlich zu Meteoritenschwärmen und Kometen zertrümmert worden.





Für die Erklärung der Kometen und Meteoriten als Abkömmlinge der bekannten Planetoidengruppe ist es übrigens gleichgültig, ob man annehmen will, die Schar dieser kleinen planetarischen Körper sei selbst erst durch Zertrümmerung eines ursprünglich vorhanden gewesenen grossen Planeten entstanden, oder ob man für wahrscheinlicher hält, dass nach Absonderung des Jupiter aus dem Sonnenball die nächstfolgende Absonderung unmittelbar zur Bildung zahlreicher kleiner Körper geführt habe. Denn für die hier diskutierte Frage ist wesentlich nur, dass von irgend einem Zeitpunkt an solche kleine Körper in grosser Anzahl vorhanden waren.

Der hier in Betracht stehende Vorgang der Kometen- und Meteoritenbildung wird aber vermutlich auch jetzt noch fortgehen. Unter einer grossen Zahl von Planetoiden — wären es ihrer auch nur 400 — die innerhalb einer schmalen Zone die Sonne umkreisen, werden öfters zwei einander sehr nahe kommen und alsdann trotz der Kleinheit ihrer Massen erheblichen Änderungen ihrer Bahnelemente durch wechselseitige Störungen ausgesetzt sein. Es wird also ab und zu eintreffen, dass ein Planetoid, der vor solcher Begegnung mit einem andern seinesgleichen von einer kritischen Rationalität der Umlaufzeit in Bezug auf Jupiter noch genügend entfernt war, nach der Begegnung einer solchen Rationalität plötzlich sehr nahe ist. Derartiges wird mit allmählich abnehmender Häufigkeit so lange sich ereignen müssen, als die Dichtigkeit des Schwarms der jeweils übrig gebliebenen Planetoiden noch gross genug ist, eine gelegentliche starke Annäherung zwischen zweien von ihnen zuzulassen. So gewinnt also der Kometenbildner Jupiter fortgesetzt neues Material für seine Aktion; diese Aktion aber muss dahin führen, den Ring von planetarischen Körpern zwischen Jupiter und Mars mehr und mehr zu entleeren, bis in ihm nur solche Körper noch übrig sind, deren Bahnen in allen Punkten beträchtliche Abstände von einander zeigen.

Die Idee des Herrn d'ARLOZ, in der hier dargelegten Art modifiziert und ergänzt, führt zu — wie ich glaube — völlig sicherer Feststellung eines eigenartigen Entwicklungsvorgangs, der im Planetensystem sich abgespielt hat oder noch abspielt. Dieser Vorgang schliesst eine charakteristische Auslese, im Sinne des Herrn d'ARLOZ, in der That ein, nämlich die mechanische Aussonderung solcher Körper, deren Umlaufdauer ihnen selbst keine Stabilität als Planeten gewährte. Als Selektionserscheinung im

eigentlichen Sinne kann dieser Vorgang aber nicht hingestellt werden, weil jede Beziehung auf herbeizuführende<sup>[177]</sup> Zweckmässigkeit ihm abgeht. Denn für das Quantum Materie, welches in dem ausgesonderten Körper um die Sonne kreist, ist es nicht zweckmässiger, Komet zu werden als Planet zu bleiben. Für das gesamte übrige Planetensystem aber ist es ebenfalls gleichgültig, ob kleine Massen auf instabilen Bahnen darin enthalten bleiben oder ausgeschieden und zertrümmert werden, weil solche kleine Massen in keinem Falle den Fortbestand des Ganzen gefährden können. Bei der Umwandlung von Planetoiden in Meteoritenschwärme und Kometen handelt es sich also um einen mechanischen Vorgang, der zwar Entwicklung und Umbildung des Bestehenden bedeutet, dessen Effekt aber einen Fortschritt zu grösserer Zweckmässigkeit unter kosmogonischem Gesichtspunkt nicht erkennen lässt.





## XV.

### Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers bei der Bestimmung von Mittelwerthen durch Abzählen<sup>1)</sup>.

Abgedruckt aus V. HENSEN, Methodik der Untersuchungen bei der Plankton-Expedition. Kiel und Leipzig 1895. Gr. 4°. 200 S., pp. 166—169.

Es seien Objekte irgend einer Art im Raum, oder bestimmte Ereignisse in der Zeit, oder bestimmte Merkmale innerhalb einer Vielheit von diskreten Dingen unregelmässig vertheilt, und es sei die mittlere Häufigkeit dieser Objekte oder Ereignisse oder Merkmale durch Abzählen eines gewissen Volumens oder Zeitintervalls oder Komplexes zu bestimmen. Dann wird der Befund ( $k$ ) bei der einzelnen Zählung mehr oder minder abweichen von der wahren Mittelzahl ( $n$ ) für das betreffende Zahlgebiet, die bei vielfältiger Wiederholung der Zählung sich ergeben würde. Es ist nun die Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, die dafür besteht, dass im einzelnen Fall der Unterschied ( $k-n$ ) absolut oder procentisch innerhalb oder ausserhalb gegebener Grenzen liege.

Das mathematische Schema, nach welchem in all diesen Fällen das Walten des Zufalls bei den einzelnen Zählungen zu beurtheilen und gemäss dem „Gesetz der grossen Zahlen“ ziffermässig zu bestimmen ist, ist folgendes:

In einer Urne sei eine unbestimmt grosse Anzahl von weissen und schwarzen Kugeln enthalten, und zwar in solchem

<sup>1)</sup> [Im Vorliegenden gibt ABBE die Ableitung einiger Sätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung, die er in dem Aufsatz „Ueber Blutkörper-Zählung“ (ABBE, Gesammelte Abhandlungen, Bd. I, pag. 173—180) ohne Beweis einführt.]

Verhältniss, dass im Gesamtdurchschnitt unter je  $\mu$  Kugeln  $n$  schwarze und  $\mu-n$  weisse sich finden. Aus dieser Urne werden  $\mu$  Kugeln blindlings gezogen, entweder nach einander oder mit einem Mal (z. B., falls alle von gleicher Grösse, durch Herausschöpfen des der Zahl  $\mu$  entsprechenden Volumens). Gefragt wird: Welche Wahrscheinlichkeit besteht, d. h. in welcher relativen Häufigkeit wird es bei vielfältiger Wiederholung des gleichen Experiments vorkommen, dass der Zug statt  $n$  eine gewisse andere Zahl  $k$  von schwarzen Kugeln ergibt?

Im Falle des Abzählens von im Raume vertheilten Objekten entspricht nach diesem Schema die Zahl  $\mu$  dem jeweils abgezählten Volumen, dieses ausgedrückt als Vielfaches vom Einzelvolumen der zu zählenden Objekte, wofern die letzteren sämtlich von gleicher Grösse sind. Unter diesen Umständen bezeichnet also  $\mu$  diejenige Zahl von Objekten, welche das abzuzählende Volumen vollständig erfüllen würde. Wären aber die Objekte von ungleicher Grösse, so müssten sie selbst, ebenso wie das Volumen, auf welches die Zählung sich erstreckt, in lauter gleich grosse Raumelemente zerlegt gedacht und mit  $n$ ,  $k$  und  $\mu$  diese Elemente gezählt werden, sodass also  $n$  und  $k$  im Verhältniss zu  $\mu$  das von den gezählten Dingen erfüllte Volumen im Verhältniss zum Volumen des ganzen abgezählten Raumes angeben würden.

Mit Bezug auf das obige Schema ist die Wahrscheinlichkeit einer schwarzen Kugel beim einmaligen Zug  $= \frac{n}{\mu}$ , die einer weissen  $= 1 - \frac{n}{\mu}$  und daraufhin, nach bekannten Regeln, die Wahrscheinlichkeit eines Gesamtzuges von  $\mu$  Kugeln mit  $k$  schwarzen und  $\mu-k$  weissen

$$\begin{aligned} [167] \quad W_k &= \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdots \mu}{1 \cdot 2 \cdots k \cdot 1 \cdot 2 \cdots \mu - k} \cdot \left(\frac{n}{\mu}\right)^k \cdot \left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^{\mu - k} \\ &= \frac{n^k}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdots k} \cdot \left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^\mu \cdot \frac{\mu \cdot \mu - 1 \cdot \mu - 2 \cdots \mu - k + 1}{\mu^k} \cdot \left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^{-k} \\ &= \frac{n^k}{1 \cdot 2 \cdots k} \cdot \left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^\mu \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \left(1 - \frac{2}{\mu}\right) \cdots \left(1 - \frac{k-1}{\mu}\right) \cdot \left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^{-k} \end{aligned}$$

Wird nun  $\mu$  als sehr gross im Verhältniss zu  $n$  und  $k$  vorausgesetzt, so sind die binomischen Faktoren rechts von  $\left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^\mu$





sämmtlich sehr wenig von der Einheit verschieden, während zugleich

$$\left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^\mu = e^{-n}$$

wird. Demnach ist

$$W_k = \frac{n^k}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot k} \cdot e^{-n}$$

jedenfalls ein Näherungsausdruck für die gesuchte Wahrscheinlichkeit

Um den Grad der Annäherung, den dieser Ausdruck für verschieden grosse Werthe von  $n$  und  $k$  gewährt, genauer bestimmen zu können, berechne man noch den Logarithmus des Produkts  $p$  der sämmtlichen binomischen Faktoren

$$p = \left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^\mu \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \left(1 - \frac{2}{\mu}\right) \dots \left(1 - \frac{k-1}{\mu}\right) \cdot \left(1 - \frac{n}{\mu}\right)^{-k}$$

unter Beschränkung auf diejenigen Glieder im Logarithmus, welche einzeln oder nach ihrem Gesamtbetrag grösser werden können als  $\frac{n}{\mu}$  und  $\frac{k}{\mu}$ , welche also nicht kraft obiger Annahme über das Verhältniss von  $\mu$  zu  $n$  und  $k$  von selbst verschwinden. Diese Rechnung ergibt

$$\log p = -n - \frac{1}{2} \frac{k^2}{\mu} + \frac{k \cdot n}{\mu} = -n + \frac{n^2}{2\mu} - \frac{(k-n)^2}{2\mu}$$

also

$$p = e^{-n} \cdot e^{\frac{n^2}{2\mu}} \cdot e^{-\frac{(k-n)^2}{2\mu}}$$

oder in erster Annäherung

$$p = e^{-n} \cdot \left(1 + \frac{n^2}{2\mu}\right) \cdot \left(1 - \frac{(k-n)^2}{2\mu}\right)$$

Der genauere Werth für  $W_k$  ist also

$$W_k = \frac{n^k}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot k} \cdot e^{-n} \cdot \left(1 + \frac{n^2}{2\mu}\right) \cdot \left(1 - \frac{(k-n)^2}{2\mu}\right)$$

Der zuerst angenommene einfachere Ausdruck stellt daher die zu berechnende Wahrscheinlichkeit nur dann richtig dar, wenn  $n^2$  klein ist im Verhältniss zu  $\mu$ , also  $n$  klein nicht nur im Verhältniss zu  $\mu$ , sondern auch noch im Verhältniss zu  $\sqrt{\mu}$  — unter welcher Voraussetzung beide binomische Faktoren sich auf die Einheit reduciren. Aber auch wenn  $\left(1 + \frac{n^2}{2\mu}\right)$  erheblich von 1 verschieden wäre, so würden durch diesen Faktor, weil er bei bestimmtem  $n$  für [168] alle  $k$  konstant bleibt, die Verhältnisse zwischen den den verschiedenen Zahlen  $k$  entsprechenden Werthen  $W_k$  nicht alterirt.

Die relativen Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen  $k$  — auf welche allein es ankommt — werden also richtig dargestellt durch die Formel

$$W_k = \frac{n^k}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot k} \cdot e^{-n} \left(1 - \frac{(k-n)^2}{2\mu}\right)$$

wofen nur  $n$  klein ist gegen  $\mu$  (selbst wenn es nicht mehr klein wäre gegen  $\sqrt{\mu}$ ) — also auch durch die anfänglich aufgestellte Formel

$$W_k = \frac{n^k}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot k} \cdot e^{-n}$$

wofen nur noch  $k-n$  klein ist im Verhältniss zu  $\sqrt{2\mu}$ . Diese letztere Bedingung aber ist durch die erstere ( $n$  klein gegen  $\mu$ ) schon miterfüllt, weil die möglicherweise vorkommenden Unterschiede  $(k-n)$  nicht vielmal grösser sein können als  $\pm \sqrt{2n}$  — wie im Folgenden sich ergibt durch den Nachweis, dass die „wahrscheinliche“ Abweichung des  $k$  von  $n$  nur  $0,477\sqrt{2n}$  ist.

Die Anwendung der letzten Gleichung für  $W_k$  auf den Fall des Abzählens von unregelmässig im Raum vertheilten Objekten unterliegt also keiner weiteren Bedingung als dieser: dass die zu zählenden Objekte ihrem Gesamtvolumen nach nur einen kleinen Theil des Raumes erfüllen. — Die Wahrscheinlichkeitsziffern für die verschiedenen von  $n$  mehr oder weniger abweichenden Zahlbefunde  $k$  verhalten sich dann zu einander wie die betreffenden Glieder der Potenzreihe

$$e^n = 1 + n + \frac{n^2}{1 \cdot 2} + \frac{n^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots + \frac{n^k}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot k} + \dots$$

Die grösste Wahrscheinlichkeit besteht hiernach für  $k=n$ ; für  $k > n$  und  $k < n$  nimmt die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens stetig — aber nach beiden Seiten hin unsymmetrisch — ab.

Behufs Berechnung der Wahrscheinlichkeit irgend einer bestimmten Abweichung  $k-n$  vom Mittelwerth werde  $k=n+A$  gesetzt. Dann ergibt die obige Formel

$$\begin{aligned} W_A &= \frac{n^{n+A}}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot n + A} \cdot e^{-n} = \frac{n^n}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot n} \cdot e^{-n} \cdot \frac{n^A}{(n+1)(n+2)\dots(n+A)} \\ &= \frac{n^n}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot n} \cdot e^{-n} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)\left(1 + \frac{2}{n}\right)\dots\left(1 + \frac{A}{n}\right)} \end{aligned}$$

Es werde nun  $n$  als eine grosse Zahl vorausgesetzt, sodass  $\frac{A}{n}$  für





alle praktisch vorkommenden Abweichungen  $A$  ein kleiner Bruch bleibt. Gemäss der bekannten Formel

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n) = \sqrt{2\pi} \cdot n^n \cdot e^{-n}$$

ist alsdann

$$\frac{n^n e^{-n}}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2n}}$$

und wenn

$$[169] \quad \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)\left(1 + \frac{2}{n}\right) \dots \left(1 + \frac{A}{n}\right)} = \sigma$$

gesetzt wird,

$$\log \sigma = -\left(\frac{1}{n} + \frac{2}{n} \dots + \frac{A}{n}\right) = -\frac{A(A+1)}{2n} = -\frac{A^2}{2n} - \frac{A}{2n}$$

wobei nur solche Glieder vernachlässigt sind, welche einzeln und in ihrem Gesamtbetrag der Grössenordnung nach kleiner als  $\frac{A}{n}$  sind. Daher ist

$$W_A = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2n}} \cdot e^{-\frac{A^2}{2n}} \cdot e^{-\frac{A}{2n}}$$

oder in erster Näherung

$$W_A = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2n}} \cdot e^{-\frac{A^2}{2n}} \left(1 - \frac{A}{2n}\right)$$

Entsprechend der oben erwähnten Unsymmetrie in der Abnahme des  $W$  von seinem Maximalwerth aus ist der Faktor  $\left(1 - \frac{A}{2n}\right)$  für positive  $A$  kleiner, für negative  $A$  grösser als die Einheit. Da indess  $A$  immer klein bleibt gegen  $2n$  — um so sicherer, je grösser  $n$  — so ist bei einigermaßen erheblichem  $n$  (für welchen Fall allein die gegenwärtige Entwicklung gilt) diese Unsymmetrie zu vernachlässigen und für positive wie für negative  $A$  in genügender Annäherung

$$W_A = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2n}} \cdot e^{-\frac{A^2}{2n}},$$

welcher Ausdruck der typischen Form entspricht

$$W_A = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 A^2},$$

wenn  $\frac{1}{\sqrt{2n}} = h$  gesetzt wird.

Die relative Häufigkeit bestimmter Abweichungen der einzelnen Zahlbefunde vom wahren Mittelwerth ist hiernach vollkommen konform mit der Vertheilung der zufälligen Beobachtungsfehler bei Beobachtungen, deren Präcisionsmodul den Werth

$h = \frac{1}{\sqrt{2n}}$  zeigt. Demnach ist die „wahrscheinliche“ Abweichung

eines einzelnen Zahlbefundes vom Mittelwerth — d. h. diejenige Abweichung, welche ebenso häufig überschritten wie nicht erreicht wird — stets  $= 0,477 \sqrt{2n}$  — womit alle weiteren Fragen betreffs der Häufigkeit der Abweichungen von anderer Grösse aus bekannten Sätzen der Theorie der Beobachtungsfehler sich beantworten.





XVI.  
Apparate zur Bestimmung des Brechungsexponenten und der Dispersion von Flüssigkeiten<sup>1)</sup>.

Vortrag, gehalten am 13. August 1872 auf der 45. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Leipzig<sup>2)</sup>.  
Tageblatt d. 45. Vers. deutsch. Naturforscher u. Aerzte, redigirt von Prof. Dr. A. Winter. Leipzig, in Commission bei C. Wilferodt. 1872. pp. 53 u. 54.

Apparate zur Bestimmung des Brechungsexponenten und der Dispersion von Flüssigkeiten.

Ihre Wirkung gründet sich, im Princip, auf die Totalreflexion, welche eine Flüssigkeit, in Form einer [54] dünnen Schicht zwischen Glasprismen von stärkerer Lichtbrechung eingeschaltet, an durchfallendem Licht bewirkt, sobald der Sinus des Einfallswinkels der Strahlen gegen diese Schicht dem relativen Brechungsexponenten zwischen Glas und Flüssigkeit gleich wird; ihre Einrichtung geht darauf aus, diese Totalreflexion schnell und sicher zur Beobachtung zu bringen, den gesuchten Brechungsexponenten unmittelbar, ohne Rechnung erkennbar zu machen und nebenbei das un-

1) [Es war nicht sicher festzustellen, ob das vorliegende und das ihm folgende Referat — Abhandlung XVI und XVII — von ABBE selbst geschrieben sind; sie wurden deshalb beide nicht in die vorangehenden Abhandlungen, die sämtlich im Wortlaute von ABBE herrühren, chronologisch eingereiht. Da sie jedoch, ebenso wie Abhandlung XVIII, dem Inhalte nach als Veröffentlichungen ABBE's anzusehen sind, werden alle drei hier am Schluss des ersten Theils dieses Bandes abgedruckt.]

2) [Vgl. die Anmerkung 2 zu p. 86 dieses Bandes.]

gleichzeitige Eintreten der Totalreflexion an den verschiedenfarbigen Strahlen zur Ermittlung der Dispersion zu verwerthen.

In Hinblick auf die verschiedenartigen Anforderungen bei den Anwendungen, welche diese Methode finden kann, hat der Vortragende drei verschiedene Formen der Ausführung zweckmässig gefunden. Allen gemeinsam ist ein kleines astronomisches Fernrohr, vor dessen Objectiv zwei Prismen aus Flintglas von je 60–64° brechendem Winkel so aneinander gelegt sind, dass sie zusammen eine dicke Planplatte bilden, durch welche hindurch das Licht zum Fernrohr gelangt. Ein Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit, zwischen die an einander liegenden Flächen der Prismen gebracht, liefert die total reflectirende Schicht. Bei zweien von den Formen, in welchem der Apparat ausgeführt ist, wird dieses Prismenpaar mittels einer Alhidade gegen die feste Visirlinie des Fernrohrs gedreht und die Ablesung des Brechungsexponenten erfolgt an einem Gradbogen mit entsprechender Theilung, sobald die Totalreflexion in der Achse des Fernrohrs eintritt; wobei in dem einen Falle ein Spectralocular mit Spalt und AMICI'schem Prisma die Isolirung der einzelnen Farben vermittelt, in dem andern Falle dagegen eine Combination aus zwei solchen AMICI'schen Prismen zwischen dem Objectiv und dem vorderen Prismenpaar die Totalreflexion achromatisch macht. — Diese beiden Formen gestatten bei Anwendung eines mässig schweren Flintglases die Beobachtung aller Flüssigkeiten vom Wasser bis zum Schwefelkohlenstoff; wenn jedoch ein geringerer Umfang der Messungen für specielle Zwecke ausreicht, so kann der Apparat eine dritte noch compendiösere Gestalt dadurch erhalten, dass man die Prismen, welche die Flüssigkeit aufnehmen, mit dem Fernrohr fest verbindet und die Grenze der Totalreflexion an einer Scala im Gesichtsfeld des Oculars beobachtet.

Bei allen drei Arten der Ausführung muss die Theilung auf Grund einer genauen Kenntniss des Winkels und des Brechungsexponenten der angewandten Prismen berechnet und ausgeführt werden; ist dies aber correct geschehen, so bedarf der Apparat keiner weiteren Regulirung, als der richtigen Einstellung des Alhidaden-Index, bezügl. der Scala, durch eine Beobachtung mit reinem Wasser. — Die Genauigkeit der Messung geht auch bei kleinen, für den Gebrauch in freier Hand construirten Instrumenten dieser Art über die Einheit der dritten Decimale hinaus und kann





bei etwas grösseren Exemplaren leicht auf circa 3 Einheiten der vierten Stelle gebracht werden.

Unter Hinweis auf die mögliche Verwendung dieser Apparate für manche technische Zwecke — zur Bestimmung der Concentration von Lösungen, zur Ermittlung des Zuckergehaltes in Zuckersäften, zur Unterscheidung und Prüfung der im Handel wichtigen Oele und dergl. — zeigte der Vortragende fertige Instrumente der drei angegebenen Modificationen aus der optischen Werkstatt von C. Zeiss in Jena vor.

## XVII.

### Ueber einen mikrometrischen Apparat<sup>1)</sup>.

Vortrag mit Demonstration, gehalten am 8. Sept. 1879 auf der achten allgemeinen Versammlung der astronomischen Gesellschaft in Berlin<sup>2)</sup>.

Vierteljahrsschrift der astronomischen Gesellschaft, Bd. XIV. 1879. pp. 351—355.

Das Instrument hat den Zweck, zwei Fehlerquellen zu eliminieren, welche bei mikrometrischen Messungen mittelst des Mikroskopes in Betracht kommen; nämlich erstens den Einfluss des veränderlichen Objectabstandes auf den Theilwerth der Schraube, und zweitens die Ungleichheit in der Auffassung der Coincidenzen in verschiedenen Punkten des Sehfeldes.

Das optische System ist aus zwei getrennten Theilen zusammengesetzt, von denen der eine äusserlich mit dem Ocular verbunden, principiell aber zu dem Objectiv zu rechnen ist; der andere Theil kann eine beliebig construirte achromatische Doppellinse sein. Das Wesentliche ist, dass die Begrenzung der abbildenden Strahlenbündel, welche von den einzelnen Objectpunkten ausgehen, beim Durchgang durch das Objectiv nicht durch die Oeffnung der Linse, sondern durch ein Diaphragma gebildet wird, welches im oberen Hauptbrennpunkt seinen Sitz hat. Der Zweck [352] ist, die Axen der einzelnen Strahlenkegel, welche von nebeneinanderliegenden Punkten ausgehen, parallel zu machen. Wenn nun der Objectabstand sich ändert, und die Ebene, in der die Messung erfolgt, ungeändert bleibt, so werden zwar Zerstreuungskreise auftreten, die Mitte

1) [Das vorstehende Referat wird a. a. O. mit den Worten eingeleitet:

„Herr FÖRSTER demonstirt der Versammlung einen mikrometrischen Apparat, welcher auf Grund der Anschauungen von Professor ABBE vom Optiker Zeiss in Jena ausgeführt ist. Herr ABBE bemerkt zur Erläuterung etwa Folgendes: Das Instrument

2) [Vgl. die Anmerkung 1 zu p. 236 dieses Bandes.]





derselben aber wird sich nicht ändern. Man kann auf diese Weise eine Aenderung des Objectabstandes um etwa  $\frac{1}{25}$  der Brennweite ohne wesentlichen Nachtheil für die Messung herbeiführen.

Was den zweiten Punkt anbelangt, die Beseitigung von Ungleichheiten in der Auffassung der Coincidenzen an verschiedenen Punkten des Sehfeldes, so ist dieser Zweck dadurch erreicht, dass dem unteren Theile des Ocularsystems eine zweite Linse hinzugefügt ist, die sehr dicht an der Ebene angebracht ist, in der das Bild entsteht, so dass ihr unterer Hauptbrennpunkt wieder mit dem Diaphragma coincidirt. Es wird dadurch erreicht, dass der Bildabstand auch ohne Nachtheil verändert werden könnte; man könnte das Fadenkreuz höher oder tiefer stellen, ohne dass der Mikrometerwerth sich ändert. Der eigentliche Zweck aber ist, einen vollständig symmetrischen Verlauf der das Bild erzeugenden Strahlenbündel zu erzielen. Mache ich das Ocular fest, so beobachte ich einen ausserhalb liegenden Punkt; mache ich das Ocular beweglich, wie bei den Mikrometern, so kann ich zwar immer in der Mitte des Ocularfeldes beobachten, ich habe es aber nicht gegen die Axe des Systems centrir, und ich erhalte Beobachtungen von excentrischen Punkten. Beide Ungleichheiten lassen sich jedenfalls vollkommen eliminiren durch diese Einrichtung, wenn das Ocular mit den beweglichen Fäden verbunden ist. Es sind alsdann die Strahlen, welche nach den excentrischen Punkten des Bildes gehen, den durch die Axe gehenden vollkommen gleichartig.

Die Betrachtungen, welche auf diese Einrichtung geführt haben, habe ich vor einiger Zeit in einem kleinen Aufsatz über die mikrometrische Messung mittelst optischer Bilder angegeben<sup>1)</sup>. Ich will hier nur auf den Grundgedanken zurückkommen, um die Möglichkeit zu einigen Anwendungen [353] daran anknüpfen zu können. Ich bin im Zusammenhange mit andern Untersuchungen darauf geführt worden, den Einfluss der Begrenzung der Strahlenkegel auf die Bedingungen der Ausmessung eines optischen Bildes zu untersuchen, und habe gefunden, dass die Art, wie die eintretenden Strahlenbündel begrenzt werden, die Lage des Diaphragma's u. s. w. einen maassgebenden Einfluss hat. Es zeigt sich bei einer genauen Erwägung der Bedingungen, dass bei irgend einem optischen Messapparat, sei es beim Fernrohr oder beim Mikroskop, der Reductionsfactor der Messung, der Werth eines Schraubenumgangs,

<sup>1)</sup> [ABBE, Gesammelte Abhandlungen, Bd. I, pp. 165—172.]

überhaupt nicht unmittelbar abhängt von der Brennweite des Systems, sondern wesentlich nur von der Lage der begrenzenden Oeffnung gegen die Brennpunkte des Systems und ausserdem vom Abstände des Objects von dieser Oeffnung nach der Objectseite und des Bildes nach der Bildseite. Die Verfolgung dieser Relationen hat mehrere zum Theil befremdliche Thatsachen aufgedeckt. Die eine bezieht sich auf die Function des Heliometers. Darüber habe ich mich schon anderweitig<sup>1)</sup> speciell ausgesprochen. Die Abhängigkeit der Messung von der Oculareinstellung hat ihren Grund in der Verschiebung der Begrenzung der Objectivhälften und fällt hinweg, sobald man die Bewegung der Ränder ausschliesst. Hierauf will ich nicht näher eingehen. Dieselbe Methode kann nun auch bei Mikrometermessungen mittelst des gewöhnlichen Fernrohres Bedeutung gewinnen. Ich kann das Diaphragma entweder in den vorderen Brennpunkt legen, was aber bei einem gewöhnlichen Objectiv unzweckmässig sein würde, oder aber ich kann das Objectiv durch Hinzufügung eines neuen Gliedes in ein anderes System umwandeln, dessen Hauptbrennpunkt mit dem Objectiv zusammenfällt. Dies lässt sich dadurch erreichen, dass ich irgendwo auf der Axe eine zweite (unachromatische) Convexlinse einschalte, deren vorderer Brennpunkt in die Objectivlinse fällt. Dann hat das Gesamtsystem seinen vorderen Brennpunkt im Objective, und es werden Strahlenkegel, welche ihre Begrenzung in dem Rande der Objectivlinse finden, nach dem Durchgange [354] durch das ganze System wieder parallel der Axe laufen. Die Herstellung eines solchen Objectives hat den Vortheil, dass die Bildgrösse von der Lage des Bildes unabhängig ist, dass somit derselbe Werth des Schraubenumgangs für nahe und ferne Gegenstände besteht. Namentlich wird dadurch noch erreicht, dass die Abhängigkeit des Mikrometerwerthes von der Temperatur einen sehr einfachen Ausdruck erhält. Sie ist lediglich gleich dem Ausdehnungscoefficienten des Rohres, welches die Verbindung herstellt.

Ein praktischer Gewinn scheint mir zu erwarten bei den complicirten Systemen, wie sie zur Anwendung kommen, wenn es sich um photographische Aufnahmen zu mikrometrischen Messungen handelt. Sobald der vordere Theil durch Einschaltung einer Linse die vorhin besprochene Einrichtung erhält, ist die Temperaturvariation des Vergrößerungs factors wiederum unabhängig von den

<sup>1)</sup> [ABBE, Gesammelte Abhandlungen, Bd. I, p. 171.]





Temperaturen sämtlicher Linsensysteme und nur abhängig von dem Ausdehnungskoeffizienten des Rohres.

Ich habe auch noch andere Fehlerquellen untersucht. Es ergeben sich gewisse Bedingungen, die nothwendig erfüllt werden müssen, wenn ein sicherer Rückschluss aus der beobachteten Coincidenz zwischen Fäden und Stern u. s. w. auf die wirkliche Coincidenz gestattet sein soll. Diese Bedingung ist allgemein dahin zu formuliren: es muss das beobachtete Object und die Messmarke (Fäden) auf denselben Flächenelementen des Auges und des Oculars abgebildet werden. Diese Bedingung ist durchaus nicht so leicht zu realisiren; manche Einrichtungen bei den Apparaten machen ihre Erfüllung unmöglich, namentlich erscheint es schwierig bei der Beobachtung mit beleuchteten Fäden. Die seitlich beleuchteten Fäden wirken bis zu einem gewissen Grade wie selbststrahlende Objecte; die Strahlen, die von ihnen in's Auge gelangen, können ganz weit seitlich vorbeigehen und überdies können noch die Abnormitäten in der Beschaffenheit des menschlichen Auges einen sehr grossen Einfluss gewinnen. Nach meiner Meinung muss diese Fehlerquelle eine sehr grosse Rolle spielen; vielleicht unter dem Namen [355] „veränderliche Einstellungsfehler“ u. s. w. Es gibt ein einfaches Mittel, sie auszuschliessen, nämlich die Anwendung eines centralen Diaphragma's, genau in derjenigen Ebene, in welcher das Ocularsystem das Objectiv d. h. die Eintrittsöffnung des Systems abbildet, und zwar genau von dem Durchmesser, den dieses Objectivbild hat. Dann ist der Zutritt aller Strahlen ausgeschlossen, welche nicht ihre Basis in der Oeffnung haben, durch welche die das Object abbildenden Strahlen eintreten, und es ist eine volle Identität der Flächenelemente im Ocular und in den Augenmedien gesichert.

## XVIII.

### Ueber Folgerungen aus dem Interferenzprinzip.

Vortrag, gehalten vor den wissenschaftlichen Mitarbeitern von Carl Zeiss am 25. Mai 1899<sup>1)</sup>.

Nach den Prinzipien der alten Photometrie ist bei einer einzigen Lichtquelle die Beleuchtungsstärke ( $B$ ) eines Flächenelementes  $\frac{i}{r^2} \cos(nr)$ . In dieser Formel bedeutet  $r$  die Entfernung der Lichtquelle vom Flächenelement und ( $nr$ ) den Winkel der Normale des letzteren mit den Lichtstrahlen.

Sind mehrere Lichtquellen vorhanden, so werden die Beleuchtungsstärken einfach addirt. Wie weit dieses Summationsprinzip experimentell als giltig nachgewiesen ist, soll uns hier nicht beschäftigen.

Führt man die Funktion  $V = \sum \frac{i}{r}$  ein, so läßt sich die resultierende Beleuchtungsstärke auch ausdrücken durch  $-\frac{dV}{dn}$  und man hat unmittelbar die Folgerungen: Ein in der Niveaufläche ( $V = \text{const}$ ) liegendes Flächenelement hat maximale Beleuchtung, eines mit dem Neigungswinkel  $\nu$  hat die  $\cos \nu$ fache.

Soweit wäre die Optik bequem; wie steht es aber bei den Interferenzerscheinungen? Wie bekannt, erklären sich diese dadurch, daß zwei Bestimmungsstücke periodischer Natur maßgeblich sind, die bei einem leuchtenden Punkte die Form

<sup>1)</sup> [Auf Grund von Notizen ausgearbeitet von R. STRAUBEL. Bisher nicht veröffentlicht.]





$$p = \frac{a}{r} \cos(\alpha + \beta r)$$

$$q = \frac{a}{r} \sin(\alpha + \beta r) \quad \text{haben.}$$

Darin sei  $a^2 = i$ , und  $\beta$  ist  $\frac{2\pi}{\lambda}$ , wo  $\lambda$  die Wellenlänge bedeutet.

Sind zwei Lichtquellen vorhanden, so summieren sich die Einzelbestimmungsstücke und man hat:

$$P = \Sigma p, \quad Q = \Sigma q$$

$$A^2 = P^2 + Q^2 = J.$$

Eine Tatsache ist es, daß die Lichtquellen kohärent sein müssen. Hält man an der Regel für die Bildung des Intensitätsausdruckes allgemein fest, so sind verschiedene Hypothesen zur Erklärung dieser Tatsache möglich, z. B. Phasenwechsel.

Mit der einfachen Regel scheint man auszukommen bezüglich der Lage der Maxima und Minima, sowie des ungefähren Verlaufes der Intensität. Daß das Energieprinzip gilt, wird leicht für den Fall bewiesen, daß kleine Winkel der interferierenden Strahlen vorliegen. Würde es aber nur für unendlich große Entfernungen gelten, so dürfte in jedem Fall nur eine Näherung vorliegen.

Man kann nun behaupten:

1. Die Regel für die Summierung der Lichtwirkungen ist jedenfalls unvollständig und

2. sie ist im Widerspruch mit dem Energieprinzip;  $\iint (P^2 + Q^2) df$  ist über eine die beiden Lichtquellen umschließende Fläche ( $f$ ) erstreckt nicht constant, auch nicht in erster Näherung.

Was die Unvollständigkeit der Regel anbetrifft, so läßt sich die Frage nicht beantworten: Wie muß ich einen Schirm stellen, damit der maximale Beleuchtungseffekt herauskommt, und welchen Einfluß hat eine Neigung des Schirmes?

Dies wäre die Frage der Einstrahlungsrichtung. Die andere Frage wäre: Wie muß man den Wert für die resultierende Wirkung modifizieren, damit das Energieprinzip gilt, d. h. Konstanz des über eine beliebige, die Lichtquellen umschließende Fläche erstreckten Integrales herauskommt?

Bezeichnet man die Lichtwirkung mit  $W$ , die Einstrahlungsrichtung mit  $N$ , die Flächennormale mit  $n$  und das Flächenelement mit  $df$ , so soll  $\iint W \cdot \cos(N, n) df$  konstant sein.

Aber noch eine zweite Bedingung ist zu erfüllen;  $W$  muß die Eigenschaft haben, daß sein (zeitlicher) Mittelwert für nicht-interferenzfähige Lichtquellen in  $-\frac{dV}{dn}$  übergeht.

Die aus der Anwendung des GREEN'schen Satzes leicht sich ergebenden Resultate sind folgende:

1. Man suche die Flächenschar, für die  $\frac{Q}{P}$  konstant ist, d. h. nach der Bedeutung von  $P$  und  $Q$  die resultierende Wellenflächenschar; dann gibt die Normale zu einer durch einen beliebigen Punkt gehenden Wellenfläche die Einstrahlungsrichtung ( $N$ ).

2. Man bestimme  $-\frac{Q}{P} = \text{tg } U$  gesetzt —, den Differentialquotienten  $\frac{dU}{dN}$ , d. h. das Phasengefälle senkrecht zur Wellenfläche; dann gibt — unter  $\lambda$  die Wellenlänge verstanden —

$$\frac{\lambda}{2\pi} (P^2 + Q^2) \frac{dU}{dN}$$

die resultierende Lichtwirkung.

Hiermit ist die Bestimmung der Lichtwirkung nach Richtung und Quantität erledigt, und es mögen nur noch einige Bemerkungen folgen.

Zwischen der „Wellenlänge in einem Punkte des Interferenzraumes“ ( $\lambda$ ) und der Grösse  $\frac{dU}{dN}$  besteht die Beziehung:

$$\frac{dU}{dN} = \frac{2\pi}{\lambda};$$

man kann aus ihr leicht folgern, daß die Wellenlänge im Interferenzraume variabel ist.

Anwendung auf die Interferenz von zwei Lichtpunkten.

In diesem einfachsten Falle ergibt sich folgendes: Wenn wir die Normale zur Lichtpotentialfläche ( $V = \text{const}$ ) mit  $N'$  und die Phasenwindeldifferenz  $a_2 - a_1 + \frac{2\pi}{\gamma}(r_2 - r_1)$  mit  $\delta$  und den Winkel der beiden interferierenden Strahlen mit  $w$  bezeichnen, so ist:

$$\sin(N', N) = \frac{\sin w \left\{ \left( \frac{a_1}{r_1} \right)^2 - \left( \frac{a_2}{r_2} \right)^2 \right\} \frac{a_1 a_2}{r_1 r_2} \cos \delta}{(P^2 + Q^2) \cdot \frac{dV}{dN'} \cdot \frac{dU}{dN}}$$





Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen:

1. Wellenfläche und Niveaufäche müssen (im allgemeinen) immer mehr parallel werden, je weiter man sich von den Lichtpunkten entfernt.

2. Die Neigung dieser beiden Flächen variiert mit der Phasendifferenz  $\delta$ ; es kann also in einem Interferenzstreifensystem keine feste Einstrahlungsrichtung bestehen, sondern man muß, um maximale Beleuchtung zu erhalten, das Flächenelement beim Durchwandern der Streifen drehen.

Für den Wert von  $\frac{dU}{dN}$  oder  $\frac{2\pi}{\lambda}$  ergibt sich an den Stellen mit gleicher Wirkung der Lichtquellen  $\left(\frac{a_1}{r_1} = \frac{a_2}{r_2}\right)$  der Ausdruck

$\frac{2\pi}{\lambda} \cos \frac{w}{2}$ ; die scheinbare Wellenlänge  $\lambda'$  ist demnach immer größer

als die ursprüngliche oder Ausgangswellenlänge  $\lambda$ . Da die auf der konfokalen Ellipse gemessene Streifenbreite ( $b$ ) mit Wellenlänge und Kontingenzwinkel durch die leicht zu beweisende Gleichung

$b = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{w}{2}}$  verknüpft ist, kann man in erster Annäherung

$\frac{\lambda'}{\lambda} \cos \frac{w}{2} = 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{\lambda}{b}\right)^2$  setzen.

Die Streifenbreite muß also sehr klein sein, um einen größeren Unterschied der Wellenlängen zu ergeben. Experimentell muß man aber den Unterschied nachweisen können; es muß sich so verhalten, als ob man in einem Medium mit höherer Fortpflanzungsgeschwindigkeit sich befände. Stellt man z. B. ein Gitter derart in ein Interferenzstreifensystem, daß die Maxima auf die Oeffnungen fallen, so müßte sich das Gleiche ergeben, als ob das Gitter an der Grenze von Medien mit verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten sich befände und demnach z. B. bei Schiefstellung Brechungserscheinungen zeigen.

## Patentschriften.





## XIX.

### Doppelprisma für Refraktometer.

Deutsche Patentschrift No. 65803, ausgegeben den 28. November 1892.

Bei der gewöhnlichen Einrichtung des ABBE'schen Refraktometers zur Bestimmung des Brechungsvermögens von Flüssigkeiten (beschrieben in dem Werke „Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper von E. ABBE“, Jena 1874, Seite 51)<sup>1)</sup> ist, wenn weisses Licht zur Messung benutzbar sein soll, eine besondere Vorrichtung (Compensator) erforderlich, um die Totalreflexion zu achromatisiren und die zu beobachtende Grenzlinie scharf zu erhalten.

Dieser Compensator — ein drehbares AMICI-Prisma oder ein Paar solcher zwischen Doppelprisma und Beobachtungsrohr — kann jedoch im Interesse der Vereinfachung des Instruments und seines Gebrauchs für technische Zwecke dann entbehrlich gemacht werden, wenn die refraktometrische Untersuchung auf je eine bestimmte Substanz oder Klasse von Substanzen sich beschränken soll, z. B. auf eine bestimmte Art von Fetten oder Oelen, behufs Prüfung ihrer Reinheit oder auf eine bestimmte Art von Lösungen behufs Ermittlung ihres Concentrationsgrades u. A. m. Bei Refraktometern für derartige specielle technische Zwecke kann nämlich die Achromatisirung der Grenzlinie der totalen Reflexion in praktisch ausreichender Vollkommenheit durch das Doppelprisma

<sup>1)</sup> [Seite 134 dieses Bandes.]





selbst herbeigeführt werden, indem man dieses so construirt, dass die Farbenzerstreuung bei der totalen Reflexion an der Grenze zwischen Glas und Flüssigkeit gerade compensirt wird durch die Farbenzerstreuung an der Austrittsfläche des Doppelprisma's nach der Seite des Beobachtungsrohres.

Doppelprismen von dieser besonderen Wirkungsweise sind folgendermassen zu construiren.

Sind Brechungsexponent  $n$  und Dispersion  $\Delta n$  der zu untersuchenden Substanz und der in Anwendung zu bringenden Glasart gegeben, so berechne man den Grenzwinkel  $e$  (s. nebenstehende Zeichnung) der totalen Reflexion für die mittlere Farbe und die Differenz dieses Grenzwinkels für zwei verschiedene Farben, z. B. für die FRAUNHOFER'schen Linien C und F. Die letztgenannte Differenz giebt das Mass der Dispersion bei der totalen Reflexion. Hierauf bestimme man den einzuführenden brechenden Winkel  $\varphi$  des Prisma's und den davon abhängigen Incidenzwinkel  $i$  des Strahles an der Austrittsfläche des Prisma's nach bekanntem Rechnungs-

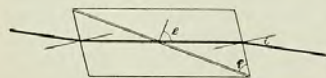


Fig. 13.

verfahren so, dass die Dispersion bei der Brechung des Lichtes an dieser Austrittsfläche einen der Grösse nach gleichen, dem Sinne nach aber entgegengesetzten Betrag erhält mit der vorher bestimmten Dispersion bei der Totalreflexion. Ein dieser Vorschrift gemäss construirtes Doppelprisma ergibt ohne Weiteres eine farblose Grenzlinie der totalen Reflexion für die vorausgesetzte Substanz.

Die Erfüllung der genannten Constructionsbedingung ist immer möglich, wenn der Quotient  $\frac{\Delta n}{n}$  für die anzuwendende Glasart

nicht allzu stark abweicht von dem entsprechenden Quotienten für die zu untersuchende Substanz. Besonders vortheilhaft ist es jedoch, für das zu construierende Prisma eine solche Glasart auszuwählen, bei welcher der Werth des erwähnten Quotienten demjenigen für die in Betracht kommende Substanz möglichst gleichkommt. [2] In diesem Falle wird die verlangte Compensation mit kleinem Incidenzwinkel  $i$ , geeignetenfalls sogar bei senkrechter Incidenz erreicht.

Als Beispiele für derartige Refraktometer-Prismen seien angeführt:

1. Doppelprisma für Butteruntersuchung.

	$n_D$	$\frac{\Delta n}{n} = n_F - n_C$	$\frac{\Delta n}{n}$
Butter, geschmolzen . . . . .	1,4572	0,00841	0,00577
Crownglas 0,871 . . . . .	1,5395	0,00904	0,00587

Hier ergibt sich der Grenzwinkel der totalen Reflexion für  $D$  zu:

$$e = 71^\circ 11'$$

der erforderliche brechende Winkel zu:

$$\varphi = 68^\circ 19'$$

und der Incidenzwinkel an der Austrittsfläche für  $D$  zu:

$$i = -4^\circ 26'$$

Das Minuszeichen bedeutet, dass der austretende Strahl der brechenden Kante zugekehrt ist.

2. Doppelprisma für ätherische Lösungen von Milchfett.

	$n_D$	$\frac{\Delta n}{n} = n_F - n_C$	$\frac{\Delta n}{n}$
Milchfettlösung von mittlerem Fettgehalt . . . . .	1,3736	0,00657	0,00478
Crownglas 0,802 . . . . .	1,4967	0,00705	0,00511

Die in Betracht kommenden Winkelwerthe sind hier der Reihe nach:

$$e = 66^\circ 36'$$

$$\varphi = 58^\circ 10'$$

$$i = -12^\circ 42'$$

Doppelprismen der vorherbeschriebenen Construction können in jeder Grösse ausgeführt und mit jeder Art von Fassung, je nach den besonderen Bedürfnissen der beabsichtigten Anwendung versehen werden, im Besonderen auch mit doppelwandiger oder Hohlkörperfassung, welche behufs Regulirung der Temperatur ein Hindurchleiten erwärmten Wassers gestattet. Die Verbindung mit einem Beobachtungsfernrohr geschieht in der gewöhnlichen Weise; zur Messung von Unterschieden des Brechungsvermögens der untersuchten Substanzen kann, wie bei den bisher gebrauchten Refraktometern, eine Ocularscala im Beobachtungsfernrohr, wie auch





Drehung des Doppelprisma's gegen die Achse des letzteren und deren Ableseung an einem Gradbogen Verwendung finden. In Fällen endlich, wo die untersuchten Körper gleiches Brechungs-, aber ungleiches Dispersionsvermögen besitzen, genügt das Auftreten der gefärbten Grenzlinie statt der farblosen zur Unterscheidung, und es kann dann von jeder Ablese- und Einstellungsrichtung, ja selbst von der Anwendung des Fernrohrs abgesehen werden.

## PATENT-ANSPRUCH:

Ein Doppelprisma für Refraktometer ABBE'scher Construction, welches bei Beschränkung der Anwendung des Refraktometers auf bestimmte Substanzen so hergestellt wird, dass die Grenzlinie der totalen Reflexion durch das Prisma selbst achromatisirt wird.

## XX.

## Fernrohrocular mit weit abliegendem Augenpunkt.

Deutsche Patentschrift No. 67823, ausgegeben den 15. April 1893.

Für manche praktische Zwecke ist es von Vortheil, ein Fernrohr so einrichten zu können, dass es die Beobachtung der Bilder entfernter Objecte von einem Punkt aus gestattet, der beträchtlich von der letzten Ocularlinse entfernt liegt, und zwar um einen Abstand, welcher ein Multiplum von der Brennweite des Oculars beträgt.

Die bisher bekannten Constructionen für Fernrohroculare gestatten nicht die Erfüllung dieser Anforderung, denn sie verlangen sämtlich die Annäherung des beobachtenden Auges bis zu einem geringen Abstand von der letzten Ocularlinse, damit überhaupt das Bild sichtbar werde.

Die im Folgenden beschriebene Oculareinrichtung, welche eine Linsenverbindung von wesentlich abweichender Zusammensetzung in Anwendung bringt, erfüllt den oben bezeichneten Zweck.

Diese als Fernrohrocular zu verwendende neue Linsenverbindung besteht aus einem zusammengesetzten Linsensystem *A*, eine Sammellinse von grosser relativer Oeffnung darstellend, die als „Augenglas“ dem beobachtenden Auge zugewendet ist, und aus einer Zerstreuungslinse *B* an Stelle des bei gewöhnlichen Ocularen benutzten „Collectivglases“, im Hauptbrennpunkt des Augenglases oder nahe demselben angebracht.

Mit dem vorderen Theil *C* des Fernrohres, welcher das Objectiv desselben und — falls ein terrestrisches Fernrohr in Anwendung kommt — das bildaufrichtende System trägt, sind beide





oben genannte Bestandtheile durch eine Fassung von beliebiger Form in solcher Art in Verbindung gesetzt, dass:

1. das vom Objectiv des Fernrohres oder von dem ihm folgenden bildaufrichtenden System entworfene reelle Bild entfernter Objecte mit dem Hauptbrennpunkt des Systems  $A$  zusammenfällt, damit ein auf grosse Entfernung accommodirtes Auge jenes Bild durch das System  $A$  deutlich wahrnehme, und dass
2. der Ort des Auges  $P$  bei solchem Abstand des Auges vom Augenglas, wie der jeweilige Gebrauch ihn erfordert, conjugirt werde in Bezug auf das ganze System ( $A$  und  $B$ ) zu dem Punkt  $O$  der Achse, von welchem aus die das reelle Bild des Objects erzeugenden Strahlenkegel divergiren nach ihrem Durchtritt durch das Objectiv und etwa durch das bildaufrichtende System.

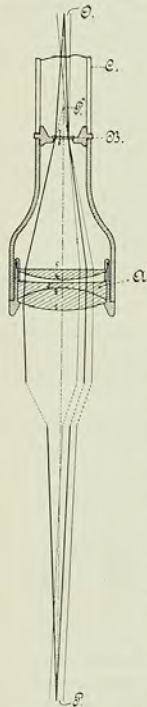


Fig. 14.

Die letztere Bedingung bezweckt, von allen Bildpunkten innerhalb des durch die Oeffnung des Systems  $A$  gegebenen Sehfeldes Strahlen zum beobachtenden Auge in  $P$  zu leiten. Sie ist stets dadurch zu erfüllen, dass der Zerstreuungslinse  $B$  diejenige Brennweite gegeben wird, bei welcher der Divergenzpunkt  $O$  conjugirt wird, bezüglich der Linse  $B$ , zu dem Punkt  $P^*$ , welcher dem Ort des Auges  $P$  in Bezug auf das System  $A$  allein zugeordnet sein würde.

Sind beide vorgenannten Bedingungen erfüllt, so erblickt ein Auge, welches vom Punkt  $P$  der Achse oder von einem etwas näheren oder etwas entfernteren Punkt aus nach dem Augenglas  $A$  hinsieht, ein deutliches, virtuelles Bild der entfernten Objecte, welches die ganze freie Oeffnung des Systems  $A$  ausfüllt und nach Massgabe der Gesamtvergrößerung des Fernrohres vergrößert erscheint.

[2] Wenn in dem Fernrohr ein Fadenkreuz verlangt wird, ist es zweckmässig, der Zerstreuungslinse  $B$  die Form einer Planconvexlinse zu geben und die beiden Theile des Oculars gegen einander

und gegen die übrigen Linsen des Fernrohres so einzustellen, dass die Planfläche von  $B$  genau in den Hauptbrennpunkt des Systems  $A$  fällt und zugleich das reelle Bild entfernter Gegenstände gerade auf diese Planfläche projicirt wird. Alsdann kann das Fadenkreuz durch ein auf der Planfläche eingeritztes Strichkreuz dargestellt werden.

Je nachdem das Ocularsystem  $A$  eine mässige Oeffnung im Verhältniss zu seiner Brennweite erhalten darf oder behufs Erzielung möglichst grossen Sehfeldes eine relativ grosse Oeffnung  $-\frac{1}{2}$  von der Brennweite oder mehr  $-$  darbieten soll, ist dazu eine gewöhnliche verkittete Linse oder ein aus drei Einzellinsen zusammengesetztes System anzuwenden. In jedem Falle aber hat seine Construction  $-$  abgesehen von der Forderung einer annähernden Achromasie  $-$  der besonderen Bedingung zu genügen, dass zwischen der Tangente des Neigungswinkels irgend eines nach dem Augenort  $P$  hinzielenden Strahles (der Neigungswinkel von der Achse aus gemessen) und der Schnitthöhe (Abstand von der Achse), in welcher der entsprechende Strahl auf der anderen Seite die Brennebene des Systems, also die Ebene des reellen Bildes trifft, ein constantes Verhältniss sich herstelle, damit für das Auge in  $P$  das Bild in gleichförmiger Vergrößerung, d. h. frei von Verzerrung erscheine.

Die Möglichkeit, diese Bedingung auch dann noch zu erfüllen, wenn der Abstand des Auges ein Vielfaches von der Brennweite des Oculars betragen und gleichzeitig die freie Oeffnung im Verhältniss zur Brennweite gross sein soll, beruht darauf, dass das Verhältniss zwischen den oben genannten beiden Grössen abhängig ist von der sphärischen Aberration des Systems für das Paar conjugirter Punkte  $P P^*$  und in genügender Annäherung immer dadurch constant gemacht werden kann, dass man für dieses Paar conjugirter Punkte einen bestimmten Betrag von sphärischer Aberration (und zwar im Sinne von sphärischer Unter correction) absichtlich einführt. Wenn die Brennweite und die verlangte Oeffnung des Systems  $A$  und der gewünschte Abstand des Augenortes gegeben sind, lässt sich die erforderliche Grösse der sphärischen Aberration und das Krümmungsmass, welches den einzelnen Linsenflächen behufs Erzielung derselben gegeben werden muss, nach bekannten Methoden berechnen.

Die Zeichnung stellt  $-$  im Durchschnitt durch die Achse  $-$  ein correct ausgeführtes Ocular von dieser Einrichtung dar. Es





ist berechnet für eine Aequivalentbrennweite von 70 mm, eine freie Oeffnung von 40 mm, einen Abstand des Augenortes  $P$  von der äusseren Fläche des Oculars = 400 mm und einen Abstand des Divergenzpunktes  $O$  der das reelle Bild erzeugenden Strahlenkegel vom Ort dieses Bildes = 60 mm (den Verhältnissen eines terrestrischen Fernrohres entsprechend). Dabei ist als Augenglas ein System aus drei Einzellinsen, von welchen die beiden ersten zu einer verkitteten Linse verbunden sind, eingeführt, und an Stelle des bei anderen Ocularen angewendeten „Collectivglases“ eine planconcave Linse von 18,6 mm negativer Brennweite, deren plane Fläche in den Brennpunkt des Augenglases gelegt ist.

Die Constructions-Elemente dieses Oculars sind:

Krümmungsradien		Abstände und Linsendicken	
Fläche 1 . . . . .	+ 53,3 mm	von Fläche 1 bis 2 . . . . .	9,8 mm
- 2 . . . . .	- 40,0 -	- 2 - 3 . . . . .	2,5 -
- 3 . . . . .	+ 332,0 -	- 3 - 4 . . . . .	0,5 -
- 4 . . . . .	+ 51,0 -	- 4 - 5 . . . . .	4,0 -
- 5 . . . . .	$\infty$	- 5 - 6 . . . . .	61,3 -
- 6 . . . . .	$\infty$	- 6 - 7 . . . . .	1,0 -
- 7 . . . . .	+ 9,5 mm		

Die Constanten der angewendeten Glasarten sind:

	mittlerer Brechungsindex	Farbenzerstreuung (von $C-F$ )
Crown	1,509	0,00796
Flint	1,621	0,01730

Der Abstand zwischen dem Hauptbrennpunkt des Systems und dem zum angenommenen Augenort  $P$  conjugirten Punkt  $P^*$  ergibt sich in diesem Ocular = 14,2 mm, und die zur Erzielung gleichformiger Vergrößerung erforderliche sphärische Längsabweichung im Punkt  $P^*$  = 1,32 mm zwischen Achsenstrahl und Randstrahl.

#### PATENT-ANSPRUCH:

Ein Fernrohrcular, welches die Beobachtung des teleskopischen Bildes bei grossem Abstand des Auges vom Ocular ermöglicht, bestehend aus der Verbindung eines positiven (collectiven) Linsensystems von grosser relativer Oeffnung mit einer Zerstreulinse.

## XXI.

### Justirvorrichtung für Entfernungsmesser mit zwei Fernrohren.

Deutsche Patentschrift Nr. 73 568, ausgegeben den 28. Februar 1894.

Hierzu Tafel II.

Bei den Entfernungsmessern, welche mit kurzer Standlinie arbeiten, kommt es darauf an, den Richtungsunterschied der Visirachsen zweier Fernrohre an den Endpunkten der Standlinie beim gleichzeitigen Anvisiren eines entfernten Objects mikrometrisch zu ermitteln, um aus diesem Richtungsunterschied, als dem der Standlinie entsprechenden parallaktischen Winkel, die Entfernung entweder rechnerisch oder durch ein mechanisches Uebersetzungsverfahren abzuleiten. Bei allen Apparaten dieser Art stellt sich dem sicheren Gebrauch die Schwierigkeit entgegen, dass der Nullpunkt der mikrometrischen Messung — nämlich diejenige Stellung der beiden Fernrohre, bei welcher ihre Visirachsen einander genau parallel sind — nicht dauernd oder auch nur für mässige Zeiträume festzuhalten ist, wenn das Instrument Erschütterungen und Stössen oder starken Temperaturveränderungen ausgesetzt ist.

Die nachfolgend beschriebene Einrichtung macht diese Schwierigkeit dadurch praktisch unschädlich, dass sie den Entfernungsmessern der genannten Art einen leicht anzubringenden Hilfsapparat beifügt, der den Beobachter befähigt, sein Instrument in jedem Augenblick neu zu justiren, und zwar ganz so, wie wenn ihm überall ein Distanzzeichen in genau bekannter Entfernung zur Verfügung stände.





Zur Erläuterung werde ein Entfernungsmesser der einfachsten Form betrachtet:

Zwei ungebrochene Fernrohre  $A_1 A_2$  in paralleler Lage an den Enden einer Schiene  $T$  befestigt, das erste versehen mit einem festen Faden  $a_1$  in seinem Ocularfeld, das andere mit einem beweglichen Faden  $a_2$ , der durch irgend eine Mikrometervorrichtung  $M$  messbar im Ocularfeld dieses Fernrohres verschoben werden kann — wie Fig. 1 [auf Tafel II] in schematischem Durchschnitt durch die Achsen beider Rohre darstellt.

Es werden nun zwei PRANDL'sche Winkelspiegelprismen  $P_1 P_2$  von je  $90^\circ$  Ablenkungswinkel mit Hilfe geeigneter Fassungen zeitweilig vor den Objectiven der beiden Fernrohre so angebracht, dass ihre Hauptschnitte in entgegengesetzter Lage einander parallel und zugleich parallel der Ebene der Fernrohrachsen sind, und hinter dem Ocular  $O_1$  des ersten Fernrohres werde ein Spiegel  $S$  oder ein Reflexionsprisma so aufgesetzt, dass das Licht des Wolkenhimmels durch das Ocular in axialer Richtung in dieses Fernrohr eintritt. Wenn jetzt der Beobachter in das Ocular  $O_2$  des zweiten Fernrohres einblickt, so sieht er auf hellem Hintergrund gleichzeitig mit dem beweglichen Faden  $a_2$  dieses Oculars das viermal gespiegelte Bild des Fadens  $a_1$  im anderen Ocular, und er kann nun das Mikrometer so einstellen, dass der direct gesehene Faden mit dem gespiegelten Bild des anderen genau coincidirt. Sind die Ablenkungswinkel  $W_1$  und  $W_2$ , welche die beiden Prismen nach dem Schema der Fig. 2 [auf Tafel II] zeigen, einander genau gleich, so dass diese Prismen zusammenwirkend einen viermal reflectirten Strahl genau um  $180^\circ$  gegen seine Eintrittsrichtung drehen, so ergibt die zuvor betrachtete Einstellung des Mikrometers unmittelbar die richtige Nullstellung, nämlich diejenige Stellung des beweglichen Fadens, bei welcher die Visirrichtung des zweiten Fernrohres derjenigen des ersten genau parallel ist. [2] Sind dagegen die Winkel  $W_1$  und  $W_2$  verschieden, so ist der austretende Strahl um einen Winkel

$$\omega = W_1 - W_2$$

geneigt gegen die Richtung des eintretenden, und die beschriebene Einstellung des beweglichen Fadens führt alsdann eine Neigung der beiden Visirachsen gegen einander um diesen Winkel  $\omega$  herbei, entspricht also der richtigen Einstellung auf ein Object, welchem mit Bezug auf die gegebene Basis des Entfernungsmessers ein parallaktischer Winkel  $= \omega$  zukommt, welches also — wenn  $\Delta$

die Länge dieser Basis, d. h. den Abstand der beiden Fernrohr-objective bezeichnet — in einer Entfernung

$$e = \frac{\Delta}{\omega}$$

vom Beobachter sich befindet.

Man hat also den Entfernungsmesser genau justirt, wenn man seine Mikrometervorrichtung so justirt, dass sie bei der in Betracht stehenden Einstellung jenen parallaktischen Winkel  $\omega$  oder die ihm entsprechende Entfernung  $e$  genau anzeigt.

Die Ablenkungswinkel eines Prismas der vorausgesetzten Art, also auch der durch ein solches Prismenpaar dargestellte parallaktische Winkel  $\omega = W_1 - W_2$ , lässt sich für jedes gegebene Paar ein für allemal in jeder verlangten Genauigkeit bestimmen, und diese Grösse  $\omega$  bleibt, wofern nur die Hauptschnitte beider Prismen annähernd parallel gehalten werden, dauernd bestehen und ist völlig unveränderlich, weil die Winkel  $W_1 W_2$  durch Drehungen der Prismen innerhalb ihrer Hauptschnitte nicht beeinflusst werden.

Ein solches Prismenpaar von bekanntem Werthe der Differenz  $\omega$  stellt demnach für irgend einen Entfernungsmesser ein unveränderliches Prototyp einer bestimmten Entfernung dar, welches der Beobachter mit sich herumführen und durch zeitweilige Verbindung mit seinem Instrument nach dem zuvor beschriebenen Verfahren benutzen kann, um dasselbe jederzeit neu zu justiren, und zwar ganz so, wie wenn ihm in jedem Gelände eine Distanzmarke von genau bekannter Entfernung gegeben wäre.

Um das zeitweilige Anbringen der Prismen vor den Objectiven eines Entfernungsmessers rasch und ohne Umstände bewirken zu können, sind vielerlei Wege möglich.

In einfache Metallgehäuse eingesetzt, lassen sich die Prismen durch Scharniere mit regulirten Anschlägen mit den Objectivköpfen der Fernrohre verbinden, so dass sie ohne Zeitverlust vor- und zurückgeschlagen werden können, oder sie können auf Schieber aufgesetzt werden, welche in Coulißen an den Objectivköpfen vor- und zurückzuschieben sind. Auch kann man die beiden Prismen unter sich durch eine leichte Schiene oder einen Rahmen vereinigen und diese Schiene mittelst eines Scharniers in solcher Art mit dem Körper des Entfernungsmessers in Verbindung setzen, dass beide Prismen *a tempo* in richtiger Lage vor die Objective und wieder zurückzuführen sind u. dergl. m.





Die hier beschriebene Justirvorrichtung lässt sich bei allen Arten von Entfernungsmessern anwenden, bei welchen — in irgend einer Anordnung — zwei Fernrohre mit getrennten oder auch nur theilweise getrennten Ocularfeldern benutzt werden. Es ist dabei völlig gleichgültig, ob diese Fernrohre geradsichtig sind (wie in Fig. 1 [auf Tafel II] dargestellt) oder beliebig gebrochene — z. B. in die Basisrichtung verlegte — Achsen aufweisen. Ebenso gleichgültig ist die Einrichtung und Wirkungsweise des Messapparates, mittelst dessen die parallaktischen Winkel der anvisirten Objecte und die ihnen entsprechenden Entfernungen ermittelt werden, weil bei jeder Beobachtungsweise und bei jedem Messapparat eine vollständige Justirung immer herbeizuführen ist durch Anvisiren eines Objectes in bekannter Entfernung, das hier beschriebene Verfahren aber völlig gleichwerthig ist mit der Erzeugung und Beobachtung einer künstlichen Distanzmarke von bekannter Entfernung.

Eine Vereinfachung lässt der in Rede stehende Justirapparat bei völlig ungeänderter Wirkungsweise und ganz derselben Art des Gebrauches für den Fall zu, dass Entfernungsmesser mit ganz kurzer Basis in Frage stehen. In diesem Fall kann man das zuvor beschriebene Paar von Winkelspiegelprismen mit je  $90^\circ$  Ablenkung auch ersetzen durch ein einziges Winkelspiegelprisma von doppeltem Spiegelwinkel und doppeltem Ablenkungswinkel, also durch ein gleichschenkelig rechtwinkliges Prisma, dessen reflectirende Kathetenflächen auf den Abstand der beiden Fernrohr-objective aus einander gerückt sind, wie Fig. 3 [auf Tafel II] schematisch darstellt. Je nachdem der Winkel zwischen den spiegelnden Flächen mehr oder weniger von  $90^\circ$  abweicht, repräsentirt ein derartiges Glasstück einen Etalon für einen grösseren oder kleineren, in jedem Fall genau bestimmbareren parallaktischen Winkel  $w$ , der sich ganz in der zuvor beschriebenen Art als Etalon oder Prototyp für eine bestimmte Entfernung benutzen lässt, wenn dieses Glasstück so vor den Objectiven des Entfernungsmessers angebracht wird, dass der Hauptschnitt des Prismas sehr nahe parallel der Achsenebene ist.

Statt ein derartiges Winkelspiegelprisma in Form einer massiven Glaslamelle darzustellen, kann man auch zwei gleichschenkelig rechtwinklige Prismen mit einem haltbaren Kitt auf die senkrecht abgeschliffenen Enden eines cylindrischen [3] Glasrohres in paralleler Lage der Hauptschnitte aufkitten (Fig. 4 auf Tafel II). Jedoch ist bei der einen wie bei der anderen Art der Ausführung dieses ein-

fachen Prismas die völlige Unveränderlichkeit der Winkel nur bis zu solchen Dimensionen gesichert, bis zu welchen eine Biegung durch Druck oder Temperaturdifferenzen noch als ausgeschlossen oder als unschädlich angesehen werden darf.

#### PATENT-ANSPRÜCHE:

1. Bei Entfernungsmessern mit zwei Fernrohren eine Vorrichtung zur Herstellung eines bestimmten Richtungsunterschiedes der Visirachsen dieser Fernrohre, bestehend aus zwei Winkelspiegelprismen von bekannter, annähernd  $90^\circ$  betragender Ablenkung, welche vorübergehend vor den Objectiven der Fernrohre so anzubringen sind, dass der Faden oder das sonst benutzte Zielmittel im Ocular des einen Fernrohres bei Beleuchtung von der Ocularseite her im Ocularfeld des zweiten Fernrohres sichtbar wird, und welche wie ein Object in genau bekannter Entfernung zur Justirung des Messapparates benutzt werden.
2. Behufs Vereinfachung der unter 1. geschützten Vorrichtung der Ersatz der Winkelspiegelprismen durch zwei Reflexionsprismen, die in solcher Art unveränderlich verbunden sind, dass die zusammen einen Winkelspiegel von bekannter, annähernd  $180^\circ$  betragender Ablenkung darstellen.





## XXII.

### Doppelfernrohr.

Deutsche Patentschrift Nr. 76 735, ausgegeben den 9. August 1894.

Hierzu Tafel III.

Die nachstehend beschriebene Einrichtung von Doppelfernrohren bezweckt, die Verbindung zweier Fernrohre zum binocularen Gebrauch in vortheilhafterer Form zu bewerkstelligen, als durch das bisher gebräuchliche Nebeneinanderlagern beider Rohre mit parallel gerichteten Rohrachsen ermöglicht wird.

Das Wesentliche dieser Einrichtung besteht darin, dass 1. bei den zu verbindenden Fernrohren die Durchsichtsrichtung senkrecht gemacht wird zur Rohrachse durch zweimalige Ablenkung der Lichtstrahlen um je  $90^\circ$  mittelst eines Reflexionsprismas am Objectiv und eines zweiten Reflexionsprismas mit gleichliegender Hauptschnittebene am Ocular des Fernrohrs, und dass 2. die so modificirten Fernrohre mit zweimal gebrochener optischer Achse in der Nähe ihrer Ocularenden verbunden werden durch ein Gelenk oder ein Gelenksystem, welches ein scheeren- oder fächerartiges Zusammenklappen und Auseinanderspreizen der beiden Fernrohre innerhalb einer zur Durchsichtsrichtung senkrechten Ebene ermöglicht.

Die beiden Figuren der Zeichnung [auf Tafel III] stellen in zwei Projectionen diese Einrichtung in der einfachsten Form der Ausführung dar, angewendet auf zwei Fernrohre mit gewöhnlichen terrestrischen Ocularen.

Vor das Objectiv  $L$  eines jeden der beiden Fernrohre  $A$  und  $B$  ist ein gleichschenkelig rechtwinkliges Reflexionsprisma  $M$  gesetzt (welches auch mit dem Objectiv  $L$  zu einem Stück verkittet sein

kann), um die optische Achse auf der Objectivseite um  $90^\circ$  gegen die Rohrachse abzulenken. Ein zweites gleichartiges Reflexionsprisma  $N$ , dessen Hauptschnitt dem Hauptschnitt von  $M$  parallel liegt, ist nahe vor dem eigentlichen Ocular  $O$  jedes Fernrohrs — d. h. zwischen diesem Ocular und dem bildumkehrenden Zwischensystem  $R$  eingeschaltet, um durch nochmalige Ablenkung der optischen Achse um  $90^\circ$  innerhalb der Ebene des gemeinsamen Hauptschnittes beider Prismen diese optische Achse wieder parallel ihrer Richtung auf der Objectivseite, die Durchsichtsrichtung aber (und die Ocularachse) senkrecht zur Rohrachse zu machen.

Das Prisma  $N$  ist bei jedem Fernrohr in ein würfelförmiges Metallgehäuse  $P$  am Ende des Rohrkörpers eingesetzt, dessen eine zur Rohrachse parallele, zum Hauptschnitt des Prismas senkrechte Seitenfläche den Ocularstutzen  $O$  trägt.

Mit den genannten würfelförmigen Endstücken sind nun ferner beide Rohre symmetrisch an die Schenkel eines Gelenkes oder Scharniers  $G$  in der Art angesetzt, dass die Achsen der beiden Oculare  $O$  der Drehungsachse des Gelenkes genau parallel liegen, mithin beide Rohre innerhalb einer zur Gelenkachse und zur Durchsichtsrichtung der Fernrohre senkrechten Ebene wie die Schenkel einer Scheere bewegt und auf grössere oder geringere Divergenzwinkel eingestellt werden können, wie Fig. 2 [Taf. III] zur Darstellung bringt.

Die Stellung des Gelenkzapfens gegen die Ocularachsen der beiden Fernrohre ist so bemessen, dass

1. beide Rohre für den Transport bis zu annähernd paralleler Lage zusammengeklappt werden können, so dass das eine Rohr  $A$  [2] die in der Figur punktirt gezeichnete Stellung  $A^1$  gegen das andere  $B$  einnimmt, und dass

2. beim Auseinanderklappen der Scheere die Ocularachsen zweimal durch Abstände zwischen 58 und 72 mm hindurchgeführt werden, die Fernrohre also für jeden Beobachter zweimal binoculare Durchsicht mit genauer Anpassung des Ocularabstandes an den Augenabstand gestatten — nämlich zuerst bei einer Divergenz der beiden Rohre von ca.  $30^\circ$  (für den mittleren Augenabstand von 65 mm in der Figur 2 [Taf. III] durch die Stellung  $A^0$  des punktirt gezeichneten Rohres dargestellt) und ein zweites Mal, wenn beide Rohre, wie gezeichnet, in annähernd gestreckte Lage aus einander gespreizt sind.





Die spezifischen Vortheile, welche die hier beschriebene Einrichtung des binocularen Fernrohres gegenüber der bisher angewendeten darbietet, bestehen in Folgendem:

a) die Handhabung des Doppelfernrohres beim freihändigen Gebrauch wird wesentlich erleichtert, besonders bei Benutzung starker Vergrößerungen. Dieses gilt für beide zuvor erwähnte Stellungen der Rohre  $A^0$  und  $A$  der Fig. 2 [auf Tafel III], weil bei beiden der Schwerpunkt des Instruments ganz dicht am Kopfe des Beobachters verbleibt; namentlich aber gilt es hinsichtlich der Stellung mit geringer Divergenz ( $A^0$  der Fig. 2), weil bei dieser die Rohre, wenn der Beobachter sie nach unten wendet, als sehr bequeme Handhaben sich darbieten;

b) bei der Einstellung auf geringe Divergenz ( $A^0$  in Fig. 2) ermöglicht ein solches Doppelfernrohr Beobachtung hinter einer Deckung, welche auch den Kopf des Beobachters noch überragt, weil, wenn bei dieser Einstellung die Rohre nach oben gehalten werden, die Eintrittsöffnungen der Objective fast um die ganze Rohrlänge über Augenhöhe des Beobachters liegen;

c) die Einstellung auf die gestreckte Lage ( $A$  in Fig. 2), welche die Eintrittsöffnungen der Objective annähernd auf die doppelte Rohrlänge in der Richtung der Verbindungslinie der beiden Oculare aus einander rückt, gewährt eine entsprechende Steigerung der Tiefenwahrnehmung. Die beschriebene Einrichtung des Doppelfernrohres macht demnach zugleich das Princip und die Wirkungsweise des HELMHOLTZ'schen Telestereoscops in bequemer Form für den Anwendungsbereich des Handfernrohres nutzbar.

Unbeschadet des Fortbestehens der hier namhaft gemachten spezifischen Vortheile gestattet die zuvor beschriebene und in der Zeichnung [auf Taf. III] dargestellte Einrichtung des Doppelfernrohres in der Ausführung mannigfache Abänderungen, welche das Wesen der Sache unberührt lassen — sowohl in der Anordnung der optischen Theile wie auch in der mechanischen Verbindung der Fernrohre.

Hinsichtlich der ersteren ist zunächst hervorzuheben, dass jede Art von Fernrohren, welche aufrechte Bilder zeigen, angewendet werden kann, also ausser den Fernrohren mit terrestrischem Ocular (wie in der Zeichnung angenommen ist) auch GALILEI'sche Fernrohre und Fernrohre, in welchen die Bildaufrichtung — ohne das Zwischensystem des terrestrischen Oculars — durch eine Prismencombination bewirkt wird.

Abgesehen von dem verschiedenen Constructionstypus der zu verbindenden Fernrohre ist auch in der Anordnung der beiden Reflexionsprismen zur zweimaligen Brechung der optischen Achse erheblicher Spielraum gegeben. Wesentlich ist nur, dass die eine Brechung nahe am Objectiv, die andere Brechung — welche die optische Achse wieder ihrer Eintrittsrichtung im Objectraum parallel machen soll — nahe am Ocular erfolge. Dabei kann aber das Prisma  $M$  statt vor das Objectiv  $L$  — wie die Zeichnung darstellt — ebensogut auch hinter das Objectiv gelegt, und das Prisma  $N$  kann, statt es dicht an die Collectivlinse des eigentlichen Oculars  $O$  heranzurücken, ebensowohl weiter von dieser Collectivlinse abgerückt als auch näher an die Augenlinse des Oculars herangerückt, also zwischen Collectiv- und Augenlinse oder sogar hinter der letzteren (ausserhalb der Augenlinse) angebracht werden, je nachdem man einen längeren oder kürzeren Ocularstutzen für wünschenswerth findet.

Selbstverständlich ist, dass die in der Beschreibung vorgesehenen Reflexionsprismen überall — wenn auch stets unvortheilhaft — durch ebene Spiegel ersetzt werden können, die gegen die Achsenrichtung unter  $45^\circ$  geneigt sind.

Was andererseits die mechanische Verbindung der beiden Fernrohre durch ein Gelenk- oder Scharnierstück anlangt, so ist für diese nur wesentlich, dass sie die scheerenförmige Bewegung der beiden Rohre innerhalb der zu den Ocularachsen senkrechten Ebene ermögliche und sichere, weil hiermit sowohl der Parallelismus der Visirlinien der Fernrohre wie die genaue Anpassung des Ocularabstandes an den Augenabstand des Beobachters wenigstens bei einem Divergenzgrad der Rohrachsen gegeben ist. Dass hierbei die Gelenkachse symmetrisch stehe zu den beiden Rohren, letztere also in allen Stellungen symmetrische Lage zur Verbindungslinie der beiden Oculare behalten — wie in der Zeichnung angenommen —, ist ebenso wenig wesentlich, wie dass die Gelenkverbindung nur eine einzige Drehungsachse darbiete. Ebensogut wie ein symmetrisch angeordnetes Gelenk kann ein solches verwendet werden, dessen Achse unsymmetrisch steht gegen die Ocularachsen der beiden Fernrohre und dessen Schenkel ungleiche Länge besitzen und entsprechend ungleiche Winkel bilden mit [3] den Rohrachsen, z. B. zu dem Zwecke, bei Einstellung der Oculare auf den mittleren Augenabstand das eine Rohr annähernd waagrecht, das andere aber senkrecht nach unten gerichtet zu erhalten, um





letzteres als bequeme Handhabe zum Halten des Instruments benutzen zu können. Ebenso kann es vortheilhaft sein, trotz der grösseren Schwierigkeit der technischen Ausführung, statt eines Scharniers mit nur einem Drehzapfen eine Gelenkverbindung mit zwei oder mehreren unter sich parallelen Achsen in Anwendung zu bringen, sei es zu dem Zwecke, bei grösseren Fernrohren ein möglichst compendiöses Zusammenlegen für den Transport zu ermöglichen, oder zu dem Zwecke, eine noch grössere Mannigfaltigkeit von Stellungen der beiden Rohre bei einem dem Augenabstand entsprechenden Ocularabstand herbeizuführen, als mit einem einfachen Gelenk erreichbar ist.

PATENT-ANSPRUCH:

Doppelfernrohr zum binocularen Gebrauch, bestehend aus zwei, aufrechte Bilder zeigenden Fernrohren, deren Durchsichtsrichtung durch Reflexionsprismen oder Spiegel am Objectiv und am Ocular unter rechtem Winkel gegen die Rohrachse abgelenkt ist, welche beiden Fernrohre an ihren Ocularenden durch ein einfaches oder mehrfaches Gelenk in solcher Art mit einander verbunden sind, dass sie innerhalb einer zur Durchsichtsrichtung senkrechten Ebene scheerenartig zusammengelegt und aus einander bewegt werden können.

XXIII.

Doppelfernrohr mit vergrössertem Objectivabstand.

Deutsche Patentschrift No. 77 086, ausgegeben den 1. Oktober 1894.

Hierzu Tafel IV.

Die nachfolgend beschriebenen Einrichtungen für binoculare Fernrohre bezwecken, die Objective solcher Doppelfernrohre auf einen grösseren Abstand aus einander zu rücken, als die Augenweite und der durch diese gegebene Abstand der Oculare von einander beträgt.

Durch eine solche Vergrösserung des Objectivabstandes wird eine entsprechend grössere parallaktische Verschiedenheit der Bilder in beiden mit einander verbundenen Fernrohren und infolge dessen eine entsprechend gesteigerte Raumschauung (Tiefenwahrnehmung), also erhöhte Plastik der Bilder beim binocularen Sehen herbeigeführt.

Das Auseinanderrücken der Objective zu diesem Zweck ist bisher — im Telestereoskop von HELMHOLTZ — auf dem Wege bewirkt worden, dass man an zwei Fernrohren mit gewöhnlichen terrestischen Ocularen je einen unter  $45^\circ$  gegen die Achse geneigten Spiegel vor dem Objectiv angebracht und einen ebensolchen Spiegel oder ein ihm gleichwerthiges Reflexionsprisma zwischen Objectiv und Ocular nahe am letzteren eingeschaltet hat. Diese Fernrohre mit zweimal gebrochener, zu ihrer Längsachse senkrecht gerichteter Visirlinie hat man dann in gestreckter Lage mit einander verbunden. Auf diese Weise lässt sich der Abstand der Objectivöffnungen von einander leicht auf ein beträchtliches Vielfaches der Augenweite vergrössern, jedoch nur dadurch, dass den sonst er-





forderlichen optischen Elementen des terrestrischen Fernrohres in jedem Rohr noch zwei neue Elemente — je zwei Spiegel oder Reflexionsprismen — hinzugefügt werden, die ausschliesslich dem Zweck dienen, die Längsrichtung des Fernrohres senkrecht zur Visirlinie zu machen und dadurch die Ocularachsen gegen die Objective seitlich zu versetzen.

Ein Auseinanderrücken der Objective im Doppelfernrohr lässt sich aber erreichen ohne irgend ein Hinzuthun anderer optischer Elemente, als sie für jedes Fernrohr ohnehin erforderlich sind, wenn man beim binocularen Fernrohr zur Bildaufrichtung, anstatt sie mittelst des bildumkehrenden Linsensystems des sogen. terrestrischen Oculars zu bewirken, eine der beiden vierfach reflectirenden Prismencombinationen benutzt, welche PORRO 1853 und 1856 dazu verwandte, um einfache Fernröhre von compendioser Form herzustellen. Die Prismenanordnungen PORRO's, in Verbindung gesetzt mit einem Objectiv und einem einfachen astronomischen Ocular, führen mit der Aufrichtung des Bildes zugleich eine seitliche Versetzung der Ocularachse gegen die Objectivachse, also eine Excentricität des Objectivs gegen das Ocular, herbei. Der Kern der vorliegenden Erfindung besteht nun in einer derartigen Verbindung zweier PORRO'scher Fernröhre zu einem Doppelfernrohr, dass der Abstand der Objective desselben von einander verschieden wird von dem Abstand der Oculare und im besonderen eine Vergrösserung des Objectivabstandes gewonnen wird, also in der Vereinigung der beiden Rohre in solcher Stellung, dass die Excentricitäten der Objective sich ganz oder theilweise zum Abstand der Ocularachsen addiren.

Die Fig. 1 und 2 [Taf. IV] zeigen in perspectivischer Projection die zwei typischen Grundformen der [2] PORRO'schen Prismencombination — die vier Elemente derselben als gleiche gleichschenkelig rechtwinklige Reflexionsprismen dicht an einander gelagert — und veranschaulichen den Weg eines sie passirenden, senkrecht zu den Kathetenflächen ein- und austretenden Lichtstrahls. Dabei wird ersichtlich, dass die viermalige totale Reflexion, welche — wie schon durch PORRO festgestellt ist — Bildumkehrung herbeiführt, zugleich eine seitliche Verschiebung des austretenden Strahles gegen den eintretenden mit sich bringt, deren Grösse bei den in Fig. 1 und 2 dargestellten Anordnungen unmittelbar durch die Seitenlänge der Kathetenfläche der Prismen bestimmt, nämlich in Fig. 1 dieser Seitenlänge gleich, in Fig. 2 das  $\sqrt{2}$ fache der-

selben ist. Wird nun ein solches Prismensystem zwischen Objectiv und Ocular eines astronomischen Fernrohres eingeschaltet, so gewinnt dieses Fernrohr infolge der viermaligen Reflexion der hindurchtretenden Strahlen die Wirkungsweise eines terrestrischen Fernrohres, in welchem jedoch die Objectivachse um das eine oder andere der obigen Masse gegen die Ocularachse excentrisch ist.

Diese Excentricität, welche bei PORRO durch die Abmessungen seiner Prismen bestimmt ist, lässt sich nun ohne Vergrösserung der Prismen (und darin besteht ein zweiter Theil der Erfindung) beliebig steigern, wenn man Elemente des Prismensystems in diesem Sinne aus einander rückt, was durch PORRO nicht geschehen ist.

Die Fig. 3 und 4 [Taf. IV] veranschaulichen je die einfachste Anordnung der vier Prismen, welche auf diese Weise behufs Vergrösserung der seitlichen Verschiebung des austretenden Strahles gegen den eintretenden aus den in Fig. 1 und 2 dargestellten Grundformen sich ableiten lässt. In diesen Anordnungen ist je das erste (oder letzte) Prisma von den drei nachfolgenden (oder vorangehenden) abgetrennt und gemäss der zuvor gegebenen Regel parallel verschoben. Bei der in Fig. 2 gegebenen Grundform der Prismencombination lässt sich der erstrebte Zweck, so lange man sich auf eine einzige Trennung beschränken will, nur in der Weise nach Fig. 4 erreichen. Dagegen lässt sich bei der in Fig. 1 gegebenen Grundform die Trennung auch ebenso zweckentsprechend zwischen der zweiten und dritten reflectirenden Fläche ausführen, wie dies aus Fig. 5 [Taf. IV] ersichtlich wird.

Wenn ein in dieser Art modificirtes PORRO'sches Prismensystem zwischen Objectiv und Ocular des astronomischen Fernrohres eingeschaltet oder sonst mit dem Linsensystem desselben in Verbindung gesetzt wird in solcher Art, dass die Achsen sämtlicher Linsen mit dem Wege eines senkrecht zur ersten Kathetenfläche eintretenden Strahles coincidiren, so erhält man wiederum ein Fernrohr, welches aufrechte Bilder zeigt, bei welchem aber die Excentricität des Objectivs (oder allgemeiner der Achse der eintretenden Strahlen) gegen das Ocular über den früher bezeichneten Minimalwert hinaus mehr oder weniger vergrössert ist, je nach dem Betrag, um welchen die beiden Theile des Prismensystems aus einander gerückt wurden.

Durch die Verbindung von zwei gleichen oder symmetrisch gleichen Fernröhren der beschriebenen Art zu einem Doppelfernrohr ist nun in jedem Fall (mag dabei die Excentricität in ihrem





Minimalwerth wie bei PORRO belassen oder unter Anwendung des zweiten Theiles der vorliegenden Erfindung beliebig vergrössert sein) das Mittel gegeben, um den Objectivabstand des Doppelfernrohres nach Belieben kleiner oder grösser zu machen als den Ocularabstand (oder die Augenweite), ohne zu diesem Behuf irgend ein neues Element den optischen Bestandtheilen der Fernröhre hinzuzufügen zu müssen, vielmehr durch blosse Regelung der Stellung, in welcher die Fernrohrkörper neben einander gelagert und verbunden werden. Führt man die Verbindung so aus, dass bei Anpassung des Abstandes der Ocularachsen  $o_1$ ,  $o_2$  an die Augenweite die Achsenebenen  $E_1$ ,  $E_2$  beider Röhre (d. h. diejenigen Ebenen, welche Ocularachse und Objectivachse je eines Fernrohres in sich enthalten) gegen die Ebene  $E$  der beiden Ocularachsen nach innen spitze Winkel bilden (wie in Fig. 6a auf Taf. IV), so wird der Abstand der Objectivachsen  $O_1$ ,  $O_2$  kleiner als die Augenweite und kann bei genügender Excentricität bis zur Berührung der Objective vermindert werden, was bei kleinen Objectiven dem Doppelfernrohr die — nur für ganz vereinzelte Zwecke vortheilhafte — Eigenschaft verleiht, fast ganz unplastische, rein flächenhafte Bilder zu zeigen. Werden dagegen bei der Verbindung der beiden Röhre ihre Achsenebenen  $E_1$ ,  $E_2$  unter nach aussen spitzen Winkeln gegen die Ebene  $E$  der Ocularachsen eingestellt (nach dem Schema von Fig. 6b auf Taf. IV), so wird der Objectivabstand grösser als die Augenweite und kann bei grosser Excentricität auf ein beliebiges Vielfaches der letzteren gebracht werden.

Dem eingangs bezeichneten Zweck: Steigerung der Tiefenwahrnehmung beim binocularen Sehen, dient allein die letztere Anordnung. Welcher Art dabei die mechanische Vereinigung der beiden Fernrohre sein mag, ist für diesen Zweck unwesentlich. Die Fernrohrkörper können entweder durch ein Scharnier oder Gelenk mit einander verbunden sein, welches behufs Anpassung des Ocularabstandes an die individuelle Augenweite des Beobachters Annäherung oder Entfernung der Röhre unter Erhaltung des Parallelismus der Achsen gestattet, [3] oder sie können in starre Verbindung gesetzt sein, sei es unter Verzicht auf eine Veränderung des Ocularabstandes, sei es unter Benutzung anderweitiger Hilfsmittel für solche Veränderung. Wesentlich ist nur, dass die mechanische Verbindung der Rohrkörper geeignet sei, bei Einstellung der Oculare auf den Augenabstand den Achsenebenen beider Fernrohre solche Neigungswinkel gegen die Ebene der Ocular-

achsen zu ertheilen, bei welchen die Excentricität der Objective gegen die Oculare im ganzen Betrag oder zu einem erheblichen Bruchtheil zum Abstand der Ocularachsen sich addirt.

In den Fig. 7 und 8 [Taf. IV] sind zwei extreme Ausführungsformen für derartige Doppelfernrohre mit vergrössertem Objectivabstand dargestellt.

Die erstere (Fig. 7), welche ein Doppelfernrohr von achtfacher Vergrösserung (Feldstecher) in nahezu natürlicher Grösse in Aufriss und Grundriss vorführt, ist gegründet auf die Anwendung der in Fig. 2 dargestellten zweiten Grundform der PORRO'schen Prismencombination unter Beschränkung der Excentricität auf den durch die Dimensionen der Prismen gegebenen Minimalwerth, die Diagonallänge der Kathetenflächen. Die der genannten Grundform entsprechenden Prismen sind — je zwei zu einem grösseren gleichschenkelig rechtwinkligen Prisma,  $\beta$  und  $\gamma$ , vereinigt, dessen Kathetenflächen die reflectirenden Hypotenusenflächen der einzelnen Elemente darstellen — zwischen Objectiv  $O$  und Ocular  $o$  im Innern eines Metallgehäuses  $G$  auf Leisten an dessen Innenwand befestigt. Dieses Gehäuse  $G$ , welches den Körper des Fernrohres bildet, ist mit dem symmetrisch gleichen des zweiten Fernrohres durch ein Gelenk (Scharnier)  $H$  verbunden, dessen Drehungsachse den Achsen beider Fernrohre parallel steht. Dieses Gelenk aber ist an die Fernrohrkörper in solcher Art angesetzt, dass bei Einstellung der Ocularachsen auf den mittleren Augenabstand (ca. 65 mm) die Achsenebenen der beiden Fernrohre (nach dem Schema Fig. 6b) annähernd parallel der Ebene der Ocularachsen werden und die Objectivachsen auf einen Abstand von 112 mm, also auf das 1,7fache der mittleren Augenweite, aus einander rücken.

Die relativ nicht sehr beträchtliche Vergrösserung des Objectivabstandes, welche bei dieser auf möglichste Compendiosität abzzielenden Construction erreicht wird, führt schon eine sehr wahrnehmbare Steigerung der Tiefenwahrnehmung oder der Plastik im Bild herbei. Da das Unterscheidungsvermögen für Entfernungsunterschiede beim binocularen Sehen durch ein Doppelfernrohr proportional dem Product aus der Vergrösserungsziffer mit dem Abstand der Mittelpunkte der Objectivöffnungen von einander wächst, so gewährt bei der beschriebenen Anordnung die achtfache Vergrösserung schon dieselbe Tiefenwahrnehmung, die bei einem Doppelfernrohr der gewöhnlichen Art erst mit vierzehnfacher Vergrösserung, also bei wesentlich beschränkterem Gesichtsfeld, er-





reicht wird. Die in Fig. 7 [Taf. IV] dargestellte Construction ermöglicht also Doppelfernrohre, welche die für den freihändigen Gebrauch besonders bequeme Form zweier mit ihren Längsachsen parallel neben einander gelagerter Gehäuse beibehalten, hinsichtlich der Plastik der Bilder aber gleichwerthig sind gewöhnlichen Doppelfernrohren von erheblich stärkerer Vergrösserung und entsprechend engerem Sehfeld.

Das in Fig. 8 [Taf. IV] dargestellte Doppelfernrohr zeigt die Anwendung des oben dargelegten Constructionsprincipis in dem Falle, dass auf Compendiosität verzichtet und möglichst weite Trennung der Objectivöffnungen erstrebt wird.

Bei dieser Construction ist die der Fig. 3 entsprechende, aus der ersten Grundform des PORRO'schen Prismensystems (Fig. 1) abgeleitete Anordnung der Prismen benutzt und das eine Prisma von den drei übrigen um annähernd die ganze Brennweite des Objectivs abgerückt. Das abgetrennte Prisma  $P$  ist dicht vor dem Objectiv  $O$  des Fernrohres angebracht, die drei anderen Elemente des Prismensystems — dargestellt durch ein grösseres gleichschenkelig rechtwinkliges Prisma  $q$  mit reflectirenden Kathetenflächen und ein an dieses angesetztes Prisma  $p$  von halber Grösse — sind zwischen Objectiv und Ocular, dicht am letzteren, in dem das Ocular tragenden Gehäuse  $G$  befestigt. Bei dem in der Zeichnung dargestellten Instrument vermittelt dieses Gehäuse zugleich die starre Verbindung der beiden in ihrer Anordnung symmetrisch gleichen Fernrohre zum Doppelfernrohr, welche Verbindung jedoch auch auf vielerlei andere Weisen bewirkt werden kann.

Ein Doppelfernrohr dieser Art stellt nach Einrichtung und Wirkung ein Telestereoskop dar, nur dass bei ihm die zum Auseinanderrücken der Objective erforderliche zweimalige Ablenkung der Visirlinie gegen die Längsachse der Rohre, statt durch besondere Hilfsmittel, ausschliesslich durch geeignete räumliche Anordnung der zur Bildaufrichtung dienenden optischen Elemente der Fernrohre bewirkt wird.

Für den gleichen Zweck kann aber auch die der Fig. 4 [Taf. IV] entsprechende Anordnung des PORRO'schen Prismensystems oder auch diejenige nach Fig. 5 benutzt werden. Unwesentlich ist dabei, ob der abgetrennte Theil des Prismensystems, wie in Fig. 8, vor das Objectiv gesetzt oder hinter demselben, zwischen ihm und dem Ocular, angebracht wird. Auch kann es bei Fernrohren von geringer Vergrösserung, bei welchen öfters der Durchmesser [4] des Ob-

jectivs kleiner bleibt als der Durchmesser des Ocularfeldes, vortheilhaft sein, bei Anwendung der den Fig. 3 oder 4 entsprechenden Anordnungen das einfache Prisma, statt dasselbe, wie in Fig. 8, an das Objectiv zu setzen, an das Ocular zu bringen und die drei übrigen Elemente an das Objectiv, um statt drei grösserer und eines kleineren Prismas drei kleinere und ein grösseres einführen zu können.

Die Einzelrohre, welche die zuletzt erläuterten Doppelfernrohre mit grosser Differenz zwischen Ocularabstand und Objectivabstand zusammensetzen, sind wegen ihres selbstständigen Charakters nicht nur Mittel, sondern selbst Gegenstand der Erfindung. Ihre wesentliche Abweichung von den PORRO'schen Rohren, welche durch Auseinanderrückung von Prismen quer zur Durchsichtsrichtung erzielt ist, giebt ihnen zugleich einen neuen technischen Werth, indem man mit ihnen in einem dem praktischen Bedürfniss entsprechenden Masse „um die Ecke sehen“ kann. Diese Eigenschaft, welche z. B. für militärische Zwecke werthvoll ist, da sie dem Beobachter gestattet, vollständig hinter einer Deckung zu bleiben, konnte wie die stereoskopische der Doppelfernrohre bisher nur durch zusätzliche Prismen oder Spiegel hervorgebracht werden.

Fig. 9 [Taf. IV] stellt ein für diesen Zweck brauchbares einfaches Fernrohr dar, bei welchem die aus der zweiten Grundform des PORRO'schen Prismensystems (Fig. 2) abgeleitete Anordnung der Prismen nach Fig. 4 in Anwendung gebracht ist. Von den vier Elementen des Prismensystems ist hier das eine abgetrennt und als ein gleichschenkelig rechtwinkliges Reflexionsprisma  $P$  dicht vor dem Objectiv  $O$  des Fernrohres angebracht, während die drei übrigen Elemente — dargestellt durch ein grösseres Reflexionsprisma  $q$  mit zwei reflectirenden Flächen und ein an dieses angesetztes kleineres  $p$  — in dem Gehäuse  $G$  befestigt sind, welches das Ocular  $o$  des Fernrohres trägt. Für den gleichen Zweck kann auch die der Fig. 3 oder der Fig. 5 entsprechende Anordnung der Prismen Verwendung finden.

#### PATENT-ANSPRÜCHE:

1. Ein Doppelfernrohr mit stereoskopischer Wirkung, bestehend aus zwei PORRO'schen Fernrohren, welche mit parallelen Achsen derart zu einander stehen oder eingestellt werden können, dass bei einer Entfernung der Oculare gleich der Augenweite die Achsenebenen beider Fernrohre mit der





- Ebene beider Ocularachsen zusammenfallen oder unter nach aussen spitzen Winkeln gegen dieselbe geneigt sind.
2. Eine Ausführungsform des im ersten Anspruch gekennzeichneten Doppelfernrohres, bei welcher die Elemente der dem Porro'schen Fernrohr eigenthümlichen Prismencombination derart aus einander gerückt sind, dass die mit letzterer verbundene seitliche Verschiebung der Achse der einfallenden Strahlen gegen die Ocularachse den durch die Abmessungen der Prismen gegebenen Werth übersteigt.
  3. Das als Einzelfernrohr benutzte Element des im zweiten Anspruch gekennzeichneten Doppelfernrohres.

## XXIV.

## Stereoskopischer Entfernungsmesser.

Deutsche Patentschrift No. 82571, ausgegeben den 27. Juli 1895.

Bei der Beobachtung einer Landschaft im binocularen Sehen durch ein Doppelfernrohr, welches aufrechte Bilder zeigt, kommt eine Anschauung der Tiefendimension, d. h. eine unmittelbare Wahrnehmung des Entfernungswertes hinter einander liegender Gegenstände dadurch zu Stande, dass die reellen Bilder, welche durch die Objective der beiden Fernrohre in ihren Brennpunktebenen entworfen werden, nicht völlig identisch sind, sondern in der Anordnung correspondirender Punkte innerhalb der Brennpunktebenen parallaktische Unterschiede zeigen. Sind  $A B C \dots N$  Gegenstände in verschiedenen Entfernungen vom Beobachter, welche in annähernd gleicher Richtung erscheinen, also in den Ocularfeldern der beiden Fernrohre nahe bei einander abgebildet werden, in den Punkten  $A_1 B_1 \dots N_1$  des einen Sehfeldes und in den Punkten  $A_2 B_2 \dots N_2$  des anderen Sehfeldes, so sind die linearen Abstände  $A_1 B_1, A_1 C_1 \dots A_1 N_1$  innerhalb des einen Ocularfeldes verschieden von den linearen Abständen der entsprechenden Punkt-paare  $A_2 B_2, A_2 C_2 \dots A_2 N_2$  des anderen Feldes, weil die Projectionscentren für beide Bilder um den Abstand der Objective von einander entfernt sind.

Die Grösse dieser parallaktischen Unterschiede lässt sich auf Grund bekannter Regeln in folgender Art leicht allgemein definiren.

Sind  $A_1 A_2$  Punkte der beiden Sehfelder, in welchen ein unendlich entferntes Object  $A$  sich abbildet,  $N_1 N_2$  Punkte, in wel-





chen gleichzeitig ein Object  $N$  abgebildet wird, das in einem endlichen Abstand  $E$  vom Beobachter sich befindet, so ist der Unterschied der beiden linearen Abstände  $A_2 N_2$  und  $A_1 N_1$ , also die parallaktische Differenz zwischen den Bildern eines unendlich entfernten und eines im endlichen Abstand  $E$  befindlichen Objectes

$$A_2 N_2 - A_1 N_1 = \delta \\ = \frac{A}{E} \cdot f,$$

wenn  $f$  die Aequivalentbrennweite der Fernrohrobjective und  $A$  den Abstand ihrer Achsen von einander bezeichnet.

Für zwei Objecte  $N$  und  $N_1$ , welche beide in endlichen Entfernungen  $E, E_1$  vom Beobachter stehen, wird demnach die parallaktische Differenz in den beiden Bildern

$$N_2 N_2 - N_1 N_1 = \left( \frac{1}{E} - \frac{1}{E_1} \right) \cdot A \cdot f.$$

Die Grösse  $A$  ist bei einem gewöhnlichen Doppelfernrohr durch die Augendistanz des Beobachters gegeben;  $A$  kann aber zu einem beliebigen Multiplum dieser Augendistanz gemacht werden, wenn die Objective des Doppelfernrohres nach dem Princip des Teleskops unter Zuhilfenahme von Spiegeln oder Reflexionsprismen aus einander gerückt sind.

Unter  $f$  ist bei einem terrestrischen Fernrohr, sofern die reellen Bilder vor den eigentlichen Ocularen betrachtet werden, die Aequivalentbrennweite des ganzen optischen Systems, welches diese Bilder erzeugt, in Anschlag zu bringen, also die Brennweite des Systems: Objectiv + bildumkehrende Zwischenlinsen.

Die nach obigen Formeln ihrer linearen Grösse nach zu berechnenden parallaktischen Differenzen der von beiden Objectiven entworfenen [2] reellen Bilder sind unabhängig davon, an welcher Stelle der Sehfelder und in welchem Abstand von einander die zu vergleichenden Objecte erscheinen mögen. Diese Differenzen werden nun den Augen des Beobachters, durch die als Lupen wirkenden Oculare der Fernrohre vergrössert, sichtbar gemacht, und sobald sie für irgend zwei Objecte in verschiedenen Entfernungen  $E, E_1$  mit Hilfe der Oculare in das Unterscheidungsvermögen des Beobachters gerückt werden, so erscheinen in dem Raumbild der beobachteten Landschaft, welches durch die stereoskopische Verschmelzung der beiden Einzelbilder im binocularen Sehen entsteht, die beiden Objecte in verschiedener Tiefe.

Ganz in gleicher Art, wie hiernach bei der binocularen Beobachtung eines Geländes mit natürlichen Objecten durch ein Doppelfernrohr ein Raumbild dieses Geländes zu Stande kommt, in welchem die Lage der einzelnen Objecte nach der Tiefendimension zu unmittelbarer Anschauung kommt, lässt sich mittelst des Doppelfernrohres auch ein Raumbild von künstlichen Objecten durch stereoskopische Vereinigung der Bilder von ungleichartig geordneten künstlichen Marken in den beiden Ocularfeldern erzeugen.

Es seien auf einer in das erste Ocularfeld eingesetzten durchsichtigen Glasplatte mehrere Marken  $a_1 b_1 \dots n_1$  — Punkte, Striche oder dergl. — in einer der Verbindungslinie der Fernrohrachsen parallelen Richtung angeordnet und entsprechende Marken  $a_2 b_2 \dots n_2$  in ähnlicher Art in dem Ocularfeld des zweiten Fernrohres. Die linearen Abstände  $a_1 b_1, a_1 c_1 \dots a_1 n_1$  der Marken auf der einen Ocularplatte seien beliebig gewählt, die Abstände  $a_2 b_2, a_2 c_2 \dots a_2 n_2$  der entsprechenden Paare auf der anderen Platte aber so regulirt, dass die Differenzen  $a_2 b_2 - a_1 b_1, a_2 c_2 - a_1 c_1 \dots a_2 n_2 - a_1 n_1$  der Reihe nach die Grössen

$$\frac{A \cdot f}{e_b}, \frac{A \cdot f}{e_c}, \dots, \frac{A \cdot f}{e_n}$$

erhalten — unter  $A$  wiederum den Abstand der beiden Objective des Doppelfernrohres, unter  $f$  die Brennweite der abbildenden Linsensysteme verstanden —, und es sei endlich die Stellung der Platten in den beiden Ocularfeldern so regulirt, dass irgend ein in sehr grosser (unendlicher) Entfernung befindliches Object, wenn es sich in dem einen Ocularfeld auf der Marke  $a_1$  abbildet, gleichzeitig in dem anderen Ocularfeld genau auf der Marke  $a_2$  abgebildet wird. Dann entsprechen diese beiden Gruppen von Marken  $a_1 b_1 c_1 \dots n_1 - a_2 b_2 c_2 \dots n_2$  correcten Stereogrammen einer Gruppe von Objecten  $a b c \dots n$ , welche — bei übrigens ganz beliebiger Gruppierung — vom Ort des Beobachters die Entfernungen  $\infty, e_b, e_c, \dots, e_n$  besitzen, und die Vereinigung der durch die Oculare gesehenen Bilder der beiden Markengruppen im binocularen Sehen muss das Raumbild dieser Gruppe von Objecten zur Anschauung bringen, deren Abstände  $e_b, e_c, \dots, e_n$  vom Beobachter gemäss der Formel

$$e_n = \frac{A \cdot f}{a_2 n_2 - a_1 n_1}$$

bestimmt, also bekannt sind, wenn man die der Construction der Marken zu Grunde gelegten Differenzen  $a_2 b_2 - a_1 b_1, a_2 c_2 - a_1 c_1 \dots$





kennt. Wenn man nun das Doppelfernrohr auf ein Gelände mit den in unbekanntem Entfernungen  $E_A E_B \dots E_N$  stehenden Objecten  $A B \dots N$  richtet, so erscheint in das Raumbild des Geländes hineinprojicirt das Raumbild einer Gruppe von künstlichen Objecten  $a b \dots n$  von je bekannter Entfernung, und die Vergleichung der ersteren Objecte mit den letzteren hinsichtlich ihrer Tiefen im Raumbild ermöglicht, die unbekanntem Entfernungen der wirklichen Objecte  $A B \dots N$  durch die bekannten Abstände der künstlichen  $a b \dots n$  zu bestimmen.

Die vorstehende Betrachtung begründet eine neue Methode der Entfernungsmessung, welche von allen bisher angewendeten Methoden sich darin grundsätzlich unterscheidet, dass sie auf der directen stereoskopischen Wahrnehmung der Tiefendimension beim binocularen Sehen beruht.

Die Methode lässt sich auf zwei verschiedene Arten in Anwendung bringen, die zwar im Wesen der Sache übereinstimmen, aber verschiedene Einrichtungen zur Messung verwerthen.

Erstens kann man die im Vorangehenden betrachteten Gruppen von Marken in beiden Ocularfeldern des Doppelfernrohres in Form von Scalen construiren, welche in der Anordnung ihrer Striche richtige Stereogramme einer geradlinigen oder krummlinigen Reihe von Objecten mit ungleichmässig oder gleichmässig abgestuften — z. B. je von 100 zu 100 m wachsenden — Entfernungen darstellen. Durch Verschmelzung der Bilder dieser Scalen im binocularen Sehen erscheint alsdann, in das Raumbild des beobachteten Geländes hineinprojicirt, das Raumbild einer steilen oder weniger steil in die Tiefe führenden Reihe von optischen Distanzmarken, in welcher die Entfernung einer jeden Marke mit Hilfe einer geeigneten Bezifferung der Scalen unmittelbar abzulesen ist. Die Bestimmung der Entfernung eines anvisirten Objectes in dem betrachteten Gelände erfolgt dabei dadurch, dass man durch Richten des Fernrohres das anvisirte Object an die stereoskopisch gesehene Distanzscala heranführt und unter Schätzen von Bruchtheilen der ganzen Scalenintervalle beobachtet, [3] mit welcher Stelle der Distanzscala es hinsichtlich der Tiefe übereinstimmt, oder an welcher Stelle es diese Scala bei leichter Drehung des Fernrohres in horizontaler Ebene zu durchschneiden scheint. Scalen, welche richtige Stereogramme solcher Reihen von Distanzmarken mit vorgeschriebener regelmässiger Abstufung der Entfernung darstellen, lassen sich nach Anleitung der oben gegebenen Formeln sowohl auf photo-

graphischem Wege, wie auch mittelst der Theilmachine durch Einritzen von Diamantstrichen auf Glasplatten herstellen.

Zweitens kann man in die Ocularfelder eines Doppelfernrohres Marken einführen, welche beim stereoskopischen Sehen nicht, wie bei dem oben beschriebenen Verfahren, Objecte in verschiedener Entfernung gleichzeitig neben einander zur Erscheinung bringen, sondern die Erscheinung eines Objectes herbeiführen, welches nach einander in verschiedene, je bestimmte Entfernungen rückt; bringt man in jedem Ocularfeld nur eine einzige Marke an — einen Diamantstrich auf durchsichtiger Glasplatte, oder einen einfachen Faden — und trifft Einrichtung, dass diese Marke in dem einen Ocular durch eine Schraube oder irgend einen anderen Bewegungsmechanismus in der Richtung der Verbindungslinie der beiden Ocularachsen stetig und in messbarer Weise verschoben werden kann, während diejenige im anderen Ocular unverändert in der Nähe der Mitte des Gesichtsfeldes verbleibt, so erzeugt bei stetiger Verschiebung der beweglichen Marke die binoculare Vereinigung der beiden Ocularbilder die Erscheinung eines Objectes, welches dem Beobachter stetig sich nähert oder stetig von ihm forttrückt. Es giebt dabei eine Stellung des beweglichen Striches oder Fadens, bei welcher das stereoskopische Bild in unendlich grosser Entfernung auftritt — diejenige Stellung nämlich, bei welcher irgend ein wirkliches Object in solcher Entfernung, wenn es durch das Objectiv des einen Fernrohres auf dem festen Strich oder Faden sich projicirt, gleichzeitig durch das andere Objectiv genau auf den beweglichen Strich oder Faden projicirt erscheint. Wird nun der letztere aus dieser Stellung (als der Nullstellung) verschoben, um eine gewisse Strecke  $\delta$ , so zeigt jetzt das stereoskopische Sehen ein Object, dessen Abstand  $e$  vom Beobachter der Gleichung  $\delta = \frac{A \cdot f}{e}$  oder  $e = \frac{A \cdot f}{\delta}$  entspricht, also bei gegebenen Werthen von  $A$  und  $f$  aus der gemessenen Grösse der linearen Verschiebung  $\delta$  abgeleitet werden kann. Die unbekanntem Entfernung  $E$  eines anvisirten Objectes in einem binocular beobachteten Gelände wird jetzt dadurch bestimmt, dass man die Stellung der beweglichen Marke (also die Verschiebung  $\delta$ ) aufsucht, bei welcher das stereoskopisch gesehene künstliche Object im Raumbild in gleicher Tiefe mit dem wirklichen Object erscheint.

Diese zweite Methode der stereoskopischen Entfernungsmessung gestattet nun noch die Modification, dass man, statt die





Faden- oder Strichmarke in dem einen Ocular zu verschieben, die Marken in beiden Ocularen in unveränderter Lage belässt und dafür das reelle Bild der äusseren Objecte in dem einen Ocular gegen die feststehende Marke im letzteren mikrometrisch so verschiebt, wie es infolge einer Drehung der Achse des einen Fernrohres gegen die des anderen sich verschieben würde. In diesem Falle erscheint beim binocularen Sehen eine stereoskopische Marke in constantem Abstand vom Beobachter, und zwar in grösserem oder kleinerem Abstand, je nach der Stellung der Ocularmarken gegen die Achsen der Oculare, und die Verschiebung des Bildes des beobachteten Geländes in dem einen Ocularfeld bewirkt ein scheinbares Heranrücken oder Hinwegrücken des jeweils anvisirten Objectes in der Tiefendimension des Raumbildes. Bei einer bestimmten Verschiebung erscheint das letztere in gleicher Tiefe mit der stereoskopischen Marke.

Wenn nun bei der mikrometrischen Messung der Verschiebung des beweglichen Bildes seine jeweilige Stellung bezogen wird auf diejenige Stellung desselben, bei welcher ein unendlich entferntes äusseres Object gleiche Tiefe mit der stereoskopischen Marke zeigt, so ergibt sich für irgend ein Object in endlicher Entfernung  $E$  diese Entfernung wiederum aus der zuvor angeführten Gleichung

$$E = \frac{A \cdot f}{\delta}$$

mit Hilfe der von jener Nullstellung aus gemessenen Verschiebung  $\delta$ , welche dieses bestimmte Object in gleiche Tiefe mit der stereoskopischen Marke rückt.

Die hierbei erforderliche Verschiebung des Geländebildes in dem einen Ocularfeld lässt sich in messbarer Weise bewirken durch jede Veränderung in den Theilen des einen Fernrohres, welche gleichwerthig ist einer Drehung seiner Achse gegen die Achse des anderen Fernrohres innerhalb der Ebene, in welcher beide Achsen enthalten sind, z. B. durch mikrometrische Verschiebung des Objectivs senkrecht zu seiner Achse oder bei telestereoskopisch angeordneten Fernrohren durch mikrometrische Drehung eines der Reflexionsprismen, welche die Achse des Fernrohres um  $90^\circ$  ablenken, oder durch irgend eine andere unter den bei Entfernungsmessern gebräuchlichen Methoden mikrometrischer Messung.

[4] Das hier beschriebene Verfahren kann demnach auch benutzt werden im Anschluss an Einrichtungen, welche bisher schon für

Entfernungsmessungen in Gebrauch sind, soweit dieselben darauf ausgehen, Bilder eines Objectes durch zwei Fernrohre zu entwerfen und die Entfernung dieses Objectes durch mikrometrische Messung seines parallaktischen Winkels in Bezug auf die Standlinie, welche von den Objectiven beider Fernrohre gebildet wird, zu bestimmen.

Alle Entfernungsmesser dieser Art lassen sich für die Anwendung der im Vorangehenden beschriebenen stereoskopischen Methode geeignet machen, indem man Einrichtung trifft, die jetzt gebräuchliche monoculare Beobachtung beider Fernrohre durch binoculare Beobachtung zu ersetzen.

Auch bei dem letzterwähnten Verfahren bleibt — wie bei Anwendung der stereoskopischen Tiefenscale oder der veränderlichen Tiefenmarke — das charakteristische und für den praktischen Gebrauch wichtige Merkmal der hier beschriebenen Methode der Entfernungsmessung erhalten: dass die Messung gegründet ist auf stereoskopische Auffassung der Tiefenunterschiede in einem Raumbild, und dass demgemäss kein Pointiren des anvisirten Objectes verlangt, vielmehr nur gefordert wird, die stereoskopische Marke dem Object so nahe zu bringen, als für ein leichtes Erkennen von Gleichheit oder Ungleichheit der Tiefe nöthig ist.

#### PATENT-ANSPRÜCHE:

1. Ein Entfernungsmesser, bestehend aus einem Doppelfernrohr — einschliesslich der als Telestereoskope construirten Fernrohre mit vergrössertem Objectivabstand —, in dessen Oculare Scalen von solcher Art eingesetzt sind, dass sie beim binocularen Sehen das stereoskopische Bild einer in die Tiefe gehenden Reihe von Marken erzeugen, welche vom Beobachter in bestimmten Entfernungen abstehen und in das Raumbild des durch das Doppelfernrohr gesehenen Geländes hineingepflanzt erscheinen, so dass die Entfernung durch Einordnung des Zieles zwischen zwei Marken der Scale gefunden wird.
2. Ein Doppelfernrohr oder Telestereoskop, in dessen Oculare zum Zweck der Entfernungsmessung je eine einfache Strich- oder Fadenmarke eingesetzt ist, die in dem einen Ocular feststeht, in dem anderen messbare Verschiebung durch eine Mikrometervorrichtung gestattet, in der Art, dass bei der binocularen Betrachtung in das Gelände eine Entfernungsmarke hineingepflanzt erscheint, deren jeweiliger Stand an





dem Mikrometer bestimmbar ist und den Abstand des Zieles vom Beobachter ergibt.

3. Bei Entfernungsmessern, bei welchen die Bestimmung der Entfernung eines Objectes durch mikrometrische Messung seiner Parallaxe in zwei mit einander verbundenen Fernrohren erfolgt, die Einrichtung zur gleichzeitigen binocularen Beobachtung des anvisirten Objectes und der Pointirungsmarken beider Fernrohre in der Art, dass ein stereoskopisches Bild dieser Marken mit dem stereoskopischen Bild des anvisirten Objectes nach der Tiefendimension verglichen werden kann.

## XXV.

Anamorphotisches Linsensystem<sup>1)</sup>.

Deutsche Patentschrift No. 99722, ausgegeben den 25. Oktober 1898.

Hierzu Tafel V.

Die nachstehend beschriebene Erfindung zielt ab auf die Lösung der Aufgabe: ein ebenes Object durch ein Linsensystem so abzubilden, dass allen Punkten des Objectes scharfe Bildpunkte entsprechen, also die von den Objectpunkten ausgehenden Strahlenbündel in der Bildebene wieder zu homocentrischer Vereinigung kommen, die lineare Vergrößerung aber in zwei zu einander senkrechten Durchmessern der Bildebene verschieden ist, Bild und Object also nicht das Verhältniss der Aehnlichkeit, sondern das der Affinität zeigen.

Die Verwirklichung einer derartigen Abbildung, die unter Wahrung der punktweisen Strahlenvereinigung im Bild die hier bezeichnete Art der Unähnlichkeit und die ihr entsprechende gesetzmässige Distortion herbeiführt, hat für manche technische Zwecke ein erhebliches Interesse. Die so gestellte Aufgabe musste indess angesichts der bisher zur Erzeugung von optischen Bildern benutzten Hilfsmittel als unlösbar erscheinen. Denn alle bisher angewendeten Abbildungseinrichtungen stehen unter der Alternative: entweder sie erreichen das Homocentrischbleiben eines von einem Objectpunkt ausgehenden homocentrischen Strahlenbündels dadurch,

1) [Die Konstruktion des ersten und einfachsten hier beschriebenen Anamorphoten, aus zwei achsensenkrechten Zylinderlinsen (Fig. 1 der Tafel V), rührt von ABBE's Mitarbeiter P. RUDOLPH her. ABBE fügte die beiden weiteren Konstruktionen (Figg. 2 u. 3 der Tafel V) hinzu und stellte die allgemeine Theorie der anamorphotischen Systeme auf, die in der vorliegenden Patentschrift wiedergegeben ist. Ihr Wortlaut stammt aus ABBE's Feder.

Kurz nach der Veröffentlichung der Patentschrift stellte es sich heraus, daß die in ihr beschriebenen Konstruktionen Vorgänger hatten, die in Vergessenheit geraten waren (vgl. p. 395 des Buches: Theorie und Geschichte des photographischen Objectivs, von M. VON ROHR. Berlin 1899). Es wurde deshalb auf das Patent verzichtet.]





dass die hinter einander wirksamen brechenden oder spiegelnden Flächen jede einzeln das homocentrische Bündel in ein anderes homocentrisches überführen, dann wird bei ihnen diese Bedingung nicht nur für einen Objectpunkt erfüllt, sondern stets für alle Punkte der als Achse auftretenden Geraden; und dann muss kraft geometrischer Nothwendigkeit jede zu dieser Geraden senkrechte Ebene in nach allen Richtungen gleicher Vergrößerung, d. h. streng ähnlich, abgebildet werden; oder sie erreichen Distortion der Bilder dadurch, dass sie die Bedingungen des Homocentrischbleibens der gebrochenen oder reflectirten Strahlenbündel preisgeben, indem sie zum Zweck der Distortion der Bilder reflectirende oder brechende Flächen von doppelter Krümmung einführen; dann entsprechen den Punkten des Objectes nicht Punkte des Bildes, sondern Zerstreuungskreise von der Grössenordnung des Querschnittes der zur Wirkung kommenden Strahlenbündel.

Der erste Fall liegt vor in den gewöhnlichen, aus centrirten Kugelflächen zusammengesetzten optischen Systemen hinsichtlich derjenigen Geraden, welche die Achse des Systems bildet. Die Strahlenbündel von allen Punkten derselben sind nach dem Durchgang durch das System wiederum homocentrische Bündel, mindestens in demjenigen Grad der Annäherung, der bei der Brechung durch eine einzige Kugelfläche bestehen bleibt (also unter Vernachlässigung der sogen. sphärischen Aberration). Infolge dessen besteht Strahlenvereinigung dieses Grades für die Punkte aller zur Achse senkrechten Flächenelemente des Objectraumes, aber zugleich auch als geometrisch nothwendige Consequenz solcher Vereinigung für alle diese Flächenelemente strenge Identität der linearen Vergrößerung in den verschiedenen Richtungen, d. h. strenge Aehnlichkeit zwischen den Bildebenen und den Objectebenen. Die Möglichkeit einer Distortion des Bildes im Verhältniss zum Object (d. h. ungleicher Vergrößerung in verschiedenen Richtungen) ist hierbei also ausgeschlossen.

[2] Der zweite Fall ist gegeben in den bisher angewendeten optischen Mitteln zu sogen. Anamorphosen — cylindrischen oder konischen Spiegeln und Gläsern mit cylindrisch oder unregelmässig gestalteter Oberfläche —, durch welche ungleiche Vergrößerung des Bildes in verschiedenen Richtungen oder unregelmässige Verzerrung desselben von beliebiger Art erreicht wird. Bei allen diesen Mitteln ist der Effect der disproportionalen Vergrößerung bedingt durch die Einführung von solchen brechenden oder spiegel-

den Flächen, die homocentrische Strahlenbündel aus den Objectpunkten in anacentrische Bündel verwandeln, in Strahlenbündel, die an keiner Stelle im Raum einen punktförmigen Querschnitt — einen Brennpunkt — ergeben, sondern stets zwei senkrecht zu einander stehende Brennlinien in grösserem oder kleinerem Abstand von einander und an allen anderen Stellen elliptische Zerstreuungsflächen von wechselndem Achsenverhältniss. Die Erscheinung eines reellen oder virtuellen Bildes des Objectes kommt bei allen diesen Mitteln nur insoweit zu Stande, als die wirksamen Strahlenbündel sehr eng sind, so dass ihre Querschnitte in der Bildfläche (die Zerstreuungsflächen) sehr klein bleiben und noch keine auffällige Undeutlichkeit des Bildes herbeiführen. Abbildung mit scharfen Bildpunkten ist bei allen diesen Einrichtungen ausgeschlossen.

Die beiden Forderungen: homocentrische Strahlenvereinigung in den Bildpunkten und disproportionale Vergrößerung des Bildes schliessen hiernach bei den bis jetzt benutzten Einrichtungen zur Erzeugung optischer Bilder einander gegenseitig aus; die Erfüllung der einen Anforderung tritt stets in Widerspruch mit der Erfüllung der anderen.

Die Annahme aber, dass trotzdem beide Anforderungen nicht überhaupt und bedingungslos unvereinbar sind, beruht auf folgender Einsicht:

Bei den optischen Systemen der ersten Art (Systemen von centrirten Kugelflächen) scheint die Unmöglichkeit ungleicher Vergrößerung der Bilder in den verschiedenen Richtungen bedingt durch die Symmetrie des Systems in Bezug auf seine Achse, weil schon diese Symmetrie es ausschliesst, dass die Wirkung in verschiedenen durch die Achse gelegten Ebenen verschieden sein könnte. In Wahrheit aber ist auch bei Systemen dieser Art die geometrische Unvereinbarkeit der disproportionalen Vergrößerung mit der homocentrischen Strahlenvereinigung nicht begründet in ihren Symmetrieverhältnissen; vielmehr würde die Unvereinbarkeit der beiden Attribute als geometrische Nothwendigkeit ganz ebenso bestehen, wenn die homocentrische Abbildung der Punkte auf der Achse statt durch centrirte Kugelflächen durch irgend welche andere brechende Flächen von ganz unsymmetrischer Stellung und Wirksamkeit herbeigeführt würde. Die blosse Thatsache, dass überhaupt die Punkte der Achse in continüirlicher Folge scharf, d. h. durch homocentrisch bleibende Bündel, abgebildet werden, steht, ganz





ohne Rücksicht auf die Entstehungsart der homocentrischen Büschel, in geometrischem Widerspruch mit der Annahme einer disproportionalen Vergrößerung der zur Achse senkrechten Objectebene. Andererseits aber ist dieser geometrische Widerspruch auch lediglich bedingt durch die Voraussetzung einer kontinuierlichen Abbildung der Achse. Ungleichförmige Vergrößerung der Bilder und homocentrische Strahlenvereinigung in den Bildpunkten würden geometrisch vereinbare Attribute eines optischen Systems sein, wenn das zweite Attribut nur für einzelne Punkte der Achse zu bestehen brauchte.

Diese aus den allgemeinsten Lehrsätzen der geometrischen Optik zu entnehmende Einsicht: einerseits, dass die Unvereinbarkeit scharfer Abbildung und disproportionaler Abbildung bei den gewöhnlichen optischen Systemen ganz unabhängig von Symmetriebedingungen schon gegeben ist durch die scharfe Abbildung der Achsenpunkte in stetiger Folge, andererseits aber auch nur durch die Stetigkeit dieser Abbildung der Achsenpunkte, bringt die eingangs bezeichnete optische Aufgabe unter die Fragestellung:

Ist es möglich, ein System von brechenden oder spiegelnden Flächen darzustellen, welches mit Bezug auf eine ihm beigelegte Abbildungsachse die Eigenschaft besitzt, Strahlenbüschel von einzelnen Punkten dieser Achse homocentrisch zu transmittieren, die Strahlenbüschel von allen anderen Punkten der Achse aber anacentrisch zu machen, d. h. in Büschel mit zwei zu einander rechtwinklig gekreuzten Brennlinien zu verwandeln?

Unter dieser Fragestellung ergibt sich die Lösung der Aufgabe an der Hand der nachfolgenden Feststellungen, die eine Ergänzung der bekannten, aus den MALUS'schen Theorien abzuleitenden Sätze über das Verhalten optischer Strahlenbüschel bilden.

Ein Lichtstrahl  $AA'$  (s. Fig. 4 der Tafel V) werde nach den Gesetzen der Brechung oder Spiegelung durch eine beliebige Combination von beliebig gestalteten und beliebig gegen die Richtung des Strahles geneigten, aber stetig gekrümmten Flächen  $f_1 \dots f_n$  hindurch verfolgt und als Abbildungsachse für den ihn umgebenden Raum in Bezug auf das System der Flächen betrachtet. Dann wird ein homocentrisches Strahlenbüschel, welches reell oder virtuell von irgend einem Punkte  $P$  dieser Achse im Objectraum ausgeht, im Allgemeinen transmittirt als ein anacentrisches [3] Büschel, welches an keiner Stelle des Bildraumes einen Vereinigungspunkt hat, sondern an zwei von einander mehr oder weniger abstehenden

Punkten der Achse  $A'$  zu dieser senkrechte und gegen einander rechtwinklig gekreuzte Brennlinien zeigt. Dabei aber sind geometrisch vier verschiedene Fälle möglich:

1. Es giebt keinen Punkt  $P$ , von welchem ausgehend ein Strahlenbüschel homocentrisch transmittirt würde, d. h. so, dass die beiden Brennlinien an derselben Stelle der Achse  $A'$  zusammentreffen und in einen gemeinsamen Brennpunkt übergehen; dann wird jede Ebene senkrecht zur Achse  $A$  im Objectraum auf Ebenen im Bildraum, die in der Nähe der beiden Brennlinien des Achsenbüschels liegen, zwar durch Zerstreungskreise der transmittirten Strahlenbüschel mit wechselnder Vergrößerung und wechselnder Distortion abgebildet, aber keine von diesen Objectebenen wird mit scharfen Bildpunkten abgebildet. Das System wirkt in diesem Fall für alle Stellen des Objectraumes so wie die zuvor angeführten bekannten Hilfsmittel optischer Anamorphosen.

2. Oder es giebt einen und nur einen Punkt  $P$  auf der Achse  $A$ , für welchen das transmittirte Büschel homocentrisch wird. Dann wird eine zur Achse senkrechte Ebene in  $P$  in allen Punkten der nächsten Umgebung der Achse scharf auf einer Ebene in  $P'$  abgebildet, und zwar in irgend einer bald höheren, bald geringeren linearen Vergrößerung, aber stets so, dass die Vergrößerung in allen Richtungen übereinstimmt, das Bild also dem Object streng ähnlich bleibt. Demnach verhält sich in diesem Fall das System hinsichtlich dieser einen Objectebene genau so wie ein System aus centrirten Kugelflächen, hinsichtlich aller anderen Objectebenen aber wie die gewöhnlichen Vorkehrungen zu Anamorphosen.

3. Oder es giebt auf der Achse  $A$  zwei Punkte  $P_1$  und  $P_2$ , und nicht mehr als zwei, von welchen ausgehend ein Strahlenbüschel homocentrisch bleibt. Dann werden die beiden Objectebenen in  $P_1$  und  $P_2$ , und auch nur diese, auf Bildebenen an den entsprechenden Punkten  $P'_1$  und  $P'_2$  der Bildraumachse  $A'$  scharf abgebildet, aber stets und nothwendigerweise mit in zwei zu einander senkrechten Durchmessern verschiedener Vergrößerung, also nicht mit Aehnlichkeit zwischen Bild und Object, sondern mit der Affinitätsbeziehung zwischen beiden entsprechenden regelmässigen Distortion, und zwar ist diese Distortion für die Objectebene in  $P_2$  nothwendigerweise genau entgegengesetzt derjenigen, die für die Ebene in  $P_1$  besteht, nämlich der Art, dass, wenn für die Ebene in  $P_1$  die Vergrößerungen in den zwei zu einander senkrechten Durchmessern im Verhältniss von  $n:m$  stehen, sie für die





Ebene in  $P_2$  in denselben Durchmessern das umgekehrte Verhältniss  $m:n$  zeigen.

4. Oder endlich es giebt auf der Achse  $A$  mehr als zwei Punkte, für welche die Strahlenbüschel homocentrisch bleiben; dann muss das Gleiche nothwendigerweise für alle Punkte der Achse eintreten, und es werden dann alle zur Achse senkrechten Objectebenen in continuirlicher Folge mit scharfer Strahlenvereinigung, aber zu gleich auch in strenger Aehnlichkeit abgebildet. Das System verhält sich in diesem Falle trotz der völligen Unsymmetrie seiner Elemente und ihrer Wirkungsweise für den ganzen Objectraum genau so wie ein System aus centrirten Kugelflächen.

Mit diesen vier Fällen sind alle geometrisch möglichen Wirkungsweisen einer Combination von spiegelnden und brechenden Flächen allgemeinsten Art völlig erschöpft<sup>1)</sup>.

Durch diese Feststellung wird die eingangs bezeichnete Aufgabe nunmehr zurückgeführt auf die Forderung: eine Combination von solchen brechenden Flächen herzustellen, die einzeln — sämmtlich oder zum Theil — Anacentricität der von ihnen transmittirten Lichtbüschel herbeiführen, ihrer Gesamtwirkung nach aber dem dritten von den zuvor aufgezählten Fällen entsprechen, d. h. eine Combination, welche die besondere Eigenschaft hat, für zwei und auch nur für zwei Punkte der Achse homocentrische Strahlenvereinigung zu gewährleisten.

Aus der unendlichen Mannigfaltigkeit möglicher Anordnungen, die diesen Erfolg herbeiführen können, kommen für die praktische Anwendung nur solche in Betracht, die den Bedingungen genügen:

1. dass die Abbildungsachse, wenn sie nicht geradlinig aus dem Objectraum in den Bildraum sich fortsetzt, bei allen Brechungen innerhalb einer einzigen Ebene verbleibt;

2. dass die Hauptkrümmungsebenen aller wirksamen Flächen nur in zwei zu einander senkrecht durch die Achse gelegten Ebenen liegen, d. h. übereinstimmend orientirt sind.

Die erste von diesen Bedingungen involvirt zugleich die Forderung, dass die Tangentialebenen an alle brechenden Flächen in den Durchtrittspunkten der Achse senkrecht stehen, wo nicht

<sup>1)</sup> [Darstellungen der vorstehenden Theorie und Literaturangaben dazu findet man bei P. CULMANN (pp. 194 ff. des Buches: Die Theorie der optischen Instrumente, bearbeitet von wissenschaftlichen Mitarbeitern an der optischen Werkstätte von C. Zeiss. Bd. I. Berlin 1904) und O. EPPENSTEIN (p. 103 u. 104 des Buches: Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE von S. CZAPSKI. 2te Aufl. Leipzig 1904)].

zur Achsenrichtung im Durchtrittspunkt, so doch zu der die Achse enthaltenden Ebene.

Unter diesen Voraussetzungen lassen sich alle Elemente, welche zum Aufbau einer Combination der neuen Art dienen können, auf nur drei verschiedene Arten von brechenden Flächen reduciren, nämlich:

a) Kugelflächen, die gegen die Abbildungsachse centrirte sind wie bei einem gewöhnlichen Linsensystem und also paarweise zusammengefasst Linsen der gewöhnlichen Art darstellen;

[4] b) Cylinderflächen, deren Mittelpunkte auf der Abbildungsachse liegen, deren Cylinderachsen senkrecht zur letzteren stehen und zum Theil nach der einen, zum Theil nach der anderen Hauptkrümmungsebene orientirt sind;

c) Ebenen, die senkrecht stehen zur Ebene der Abbildungsachse und gegen diese Achse unter beliebigem Winkel geneigt sind, paarweise zusammengefasst also Prismen bilden, in deren Hauptschnitt die Abbildungsachse verläuft.

Dass in der That alle möglichen Modificationen anacentrischer Strahlenbrechung durch Elemente dieser drei Arten vollständig dargestellt werden können, ergibt sich aus folgenden Erwägungen:

Die Brechungswirkung, die eine gegen die Achse unter beliebigem Winkel  $\mu$  geneigte Fläche von doppelter Krümmung hervorbringt, lässt sich immer zerlegen in die Wirkung einer ebenen Grenzfläche, die unter diesem Winkel  $\mu$  gegen die Achse geneigt steht, und die Wirkung der unendlich dünnen, auf einer Seite planflächigen, auf der anderen Seite doppelt gekrümmten Linse, die man durch einen Schnitt parallel zur Tangentialebene abspalten könnte. Diese unter dem Winkel  $\mu$  geneigte Linse aber lässt sich hinsichtlich aller in der Nähe ihres Scheitels auftretenden Brechungswirkungen vollständig ersetzen durch eine andere, zur Achse senkrecht stehende Linse mit auf der einen Seite planer, auf der anderen Seite doppelt gekrümmter Oberfläche von anderen Hauptkrümmungsmassen.

Jede zur Achse senkrechte plan-doppeltgekrümmte Linse endlich kann, wenn ihre Hauptkrümmungsradien gegeben sind, auf unbestimmt viele Weisen ersetzt werden durch eine centrirte Kugelfläche oder Kugellinse und eine oder mehrere centrirte Cylinderflächen, deren Cylinderachsen nach den Hauptkrümmungsebenen orientirt sind.





Hiernach kann also ein optisches System von der zur Lösung der Aufgabe geforderten Wirkungsweise unbeschadet voller Freiheit hinsichtlich der Mannigfaltigkeit möglicher Wirkungen dargestellt werden, ohne andere Elemente einführen zu müssen, als centrirte Kugelflächen, centrirte Cylinderflächen oder Ebenen, d. h. Glaskörper in Form von sphärischen Linsen, Cylinderlinsen oder Prismen.

Für die praktische Verwendbarkeit der Methode ist dieser Umstand von besonderer Bedeutung wegen der grossen technischen Schwierigkeiten, die der genauen Formgebung bei doppelt gekrümmten Flächen entgegenstehen, falls diese nicht — wie Cylinderflächen — noch Rotationsflächen sind.

Abgesehen aber von dieser technischen Rücksicht hat der vorstehende Nachweis des Ausreichens der drei genannten optischen Elemente zugleich die Bedeutung, dass nunmehr die rechnerische Behandlung jeder concreten Aufgabe solcher Art in ganz bekannte Wege geleitet ist. Denn wenn verlangt wird, ein an einer bestimmten Raumstelle  $P_1$  befindliches ebenes Object scharf abzubilden in einer Ebene an einer bestimmten anderen Raumstelle  $P'_1$  mit einer vorgeschriebenen Vergrößerung  $n$  in dem einen Durchmesser und mit einer anderen Vergrößerung  $m$  in dem dazu senkrechten Durchmesser, also mit dem Distortionsverhältniss  $n:m$ , so ist nunmehr nur zweimal in ganz gleicher Art — nämlich nach einander für die Ebene des einen und des anderen Durchmessers — die jedem Optiker geläufige Aufgabe zu lösen: die Krümmungsradien und Scheitelörter eines optischen Systems aus sphärischen Flächen festzustellen, welches von einem Object in  $P_1$  ein Bild in  $P'_1$  entwirft, das eine Mal mit der Vergrößerung  $n$ , das andere Mal mit der Vergrößerung  $m$ . Der Unterschied besteht allein darin, dass die Krümmungsradien der beiden Systeme jetzt zu interpretiren sind als Krümmungsradien von Cylinderflächen, deren Achsen senkrecht stehen zu dem betreffenden Durchmesser, so weit sie nicht auf denselben Ort der Achse fallen und nach Grösse und Vorzeichen identisch sind, also deshalb durch eine einzige Kugelfläche dargestellt werden können. Auch die etwaige Einführung von Prismen neben Linsen begründet hierin keine wesentliche Abweichung, weil die Verschiebung des Bildpunktes und die Aenderung des Convergenzwinkels eines Strahlenbüschels durch eine zur Achse geneigte ebene Fläche in jeder von den beiden Hauptebenen in gleicher Art bestimmbar ist, wie die entsprechenden Wirkungen durch eine

Kugelfläche, nur dass an Stelle eines Krümmungsmaasses der Neigungswinkel der Ebene gegen die Achse zu berücksichtigen ist.

Ist nun durch zweimalige Anwendung des gedachten Verfahrens die Aufgabe in Bezug auf die vorgeschriebenen Punkte  $P_1$  und  $P'_1$  unter Wahrung der sonst zu nehmenden Rücksichten auf Zweck und Anwendungsbedingungen der Construction gelöst, so ist das Vorhandensein eines zweiten Punktepaars  $P_2$  und  $P'_2$ , in welchem nochmals scharfe Abbildung, aber mit dem umgekehrten Vergrößerungsverhältniss  $m:n$  eintritt, nach dem Früheren *co ipso* gewährleistet. Das Aufsuchen dieser anderen Punkte  $P_2$   $P'_2$  auf der Achse — welches insofern ein Interesse hat, als zweckmässigerweise Eintritts- und Austrittspupille des Systems in sie zu verlegen sind — kann ohne Weiteres mittels der Grundformel für Lage und Grösse der Bilder gewöhnlicher Linsensysteme geschehen, nachdem man die Brennweiten der festgestellten Combination für die den beiden Durchmessern entsprechenden Hauptebenen berechnet hat.

[5] Für dieses Verfahren zur rechnerischen Bestimmung eines solchen anamorphotischen Systems mit scharfer Abbildung macht es keinerlei Unterschied, ob Abbildung mit reeller Strahlenvereinigung oder mit virtueller für eine beliebig angenommene Bildebene gefordert wird. Es können also Systeme der betrachteten Art sowohl für Projectionszwecke hergestellt werden, wie auch solche Systeme, die der Wirkungsweise einer Lupe oder eines Fernrohres entsprechen. Der Aufbau aller dieser Systeme der verschiedensten Art ist aber durch ein charakteristisches Merkmal gekennzeichnet: es können diejenigen Elemente, die — wie Cylinderlinsen — die Lichtbrechung mittels doppelt gekrümmter Flächen verwirklichen, niemals nur an einer Stelle der Achse auftreten; vielmehr müssen derartige Elemente wenigstens noch an einer zweiten, von der ersten verschiedenen Stelle vorhanden sein, es sei denn, dass an einer zweiten Stelle eine zur Achse geneigte ebene Fläche vorkäme. Denn wären ohne das letztere die anacentrisch brechenden Flächen des Systems sämmtlich an einen Ort der Achse zusammengedrückt, so dass sie in ihrer Gesammtheit annähernd einer einzigen dünnen Linse mit doppelt gekrümmten Flächen äquivalent würden, so möchten ausser ihnen noch beliebig viele sphärische Flächen im System vorhanden sein, in jedem Fall wäre der Scheitelort jener Linse ein Punkt der Achse, für welchen homocentrische Strahlenvereinigung und gleichzeitig identische Vergrößerung in den verschiedenen Richtungen besteht. Dieser Scheitelort würde





also entweder der »eine und nur der eine Punkt« des zweiten unter den oben festgestellten vier Fällen oder einer von den »mehr als zwei Punkten« des vierten Falles sein, und damit wäre der dritte Fall, auf dem die Lösung der Aufgabe beruht, von vornherein ausgeschlossen.

Die Verwirklichung der im Vorhergehenden formulierten Aufgabe lässt sich nun auf folgende Arten mit möglichst einfachen Mitteln erreichen, nämlich durch centrirtre Cylinderlinsen allein oder durch sphärische Systeme, die mit centrirtren Cylinderlinsen oder mit solchen Prismencombinationen verbunden sind, deren Hauptschnitt die Systemachse enthält.

Der einfachste Fall wird durch die Verwendung von zwei Cylinderlinsen verwirklicht, deren Achsen einander senkrecht kreuzen. Man wird diese Anordnung dann wählen, wenn die Abbildung des betreffenden Objectes durch Strahlenbüschel kleiner Öffnung geleistet wird, und wenn es sich nur um ein mässiges Bildfeld handelt. Solche einfachen oder achromatisirten Cylinderlinsen sind, soweit ihre Hauptschnitte in Frage kommen, mit Fehlern behaftet, die denen einfacher oder achromatisirter sphärischer Linsen äquivalent sind; man wird also von dem so gebildeten anamorphotischen System hinsichtlich der Strahlenvereinigung nicht mehr verlangen können, als von einfachen oder achromatisirten sphärischen Linsen.

In Fig. 1 [Taf. V] ist eine Ausführungsform dieses einfachsten anamorphotischen Systems gegeben.

Will man die Bildqualität und die nutzbare Lichtstärke dieser Cylindercombination erhöhen, so wird im Princip an der Construction nichts geändert, wenn die eine oder auch beide Cylinderlinsen durch eine Gruppe von einzelstehenden oder mit einander verkitteten Cylinderlinsen ersetzt werden. Auch wird man je nach der besonderen vorgeschriebenen Verwendung des Systems nur positive Gruppen oder positive und negative Gruppen oder Einzelnlinsen benutzen. Innerhalb des eben beschriebenen Typus lässt sich daher jede bekannte Linsencombination ausführen, also z. B. jede beliebige Art von Objectiven, Ocularen, Fernrohren und Mikroskopen, welche im Bilde einen vorbestimmbaren Grad der Verzerrung geben sollen.

Beabsichtigt man die Abbildung mit Büscheln grösserer Öffnung herbeizuführen, so wird es sich empfehlen, eine Trennung der hauptsächlich sammelnden und der verzerrenden Wirkung vorzunehmen. Zu diesem Zweck schaltet man in den Strahlengang

eines gut corrigirten sphärischen Objectivs, welches eine streng ähnliche Abbildung in bestimmtem Maassstabe liefert, entweder Systeme von Cylinderlinsen oder Prismencombinationen ein, welche nunmehr durch einseitige Aenderung der Convergenz des ursprünglichen Strahlenganges eine Verzerrung herbeiführen.

Was den ersten Unterfall, Systeme von Cylinderlinsen in Verbindung mit einem sphärischen System angeht, so besteht ein solches System im einfachsten Falle aus einer sammelnden und einer zerstreuenen Cylinderlinse in endlichem Abstände. Die Brennweiten der Cylinderlinsen sind dabei verhältnissmässig lang, so dass also die Wirkung auf die Qualität des durch die sphärische Linse entworfenen Bildes gering anzuschlagen ist. Natürlich können auch zwei solcher zu einander achsensenkrecht gekreuzter Systeme verwendet werden.

In Fig. 2 der Tafel V ist ein Beispiel gegeben, in welchem der Abbildungsmaassstab des collectiven Kugellinsensystems  $\mathcal{L}$  gleichzeitig in zwei zu einander senkrechten Richtungen geändert wird, in welchem also zwei achsenrechtwinklig gekreuzte Gruppen aus positiver und negativer Cylinderlinse zur Verwendung kommen. Die Cylinderlinsengruppe  $L_1$  und  $L_2$  verstärkt die Vergrösserungswirkung des collectiven Kugellinsensystems  $\mathcal{L}$ , die zu derselben achsenrechtwinklig gekreuzte Gruppe von Cylinderlinsen  $L_3$  und  $L_4$  [6] aber vermindert dieselbe. Dabei können  $L_1$  mit  $L_3$ ,  $L_2$  mit  $L_4$  verkittet sein, oder es können  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  und  $L_4$  getrennte Einzelnlinsen oder verkittete Linsen sein, ohne dass dadurch an dem Wesen der Construction etwas geändert würde.

Im zweiten Unterfalle sind sphärische Linsen mit einem Prismensatz — dessen Hauptschnitt, wie früher erläutert, die Achse des sphärischen Linsensystems enthalten muss — verbunden. Die Benutzung eines achromatischen Prismensatzes, welcher in der Ebene des Hauptschnittes eine andere Strahlendivergenz erzeugt, als in der dazu senkrechten Ebene, würde im Allgemeinen eine Drehung der Achse in der Ebene des Hauptschnittes bewirken; benutzt man indessen einen geradsichtigen BREWSTERschen Prismensatz, wie in der Zeichnung angenommen, so ändert sich die Lage der Achse nicht.

Da ein solcher Prismensatz die Eigenschaft hat, parallele Strahlenbüschel parallel austreten zu lassen, divergente indessen anacentrisch zu machen, so muss die Einschaltung desselben an einer Stelle geschehen, wo streng oder sehr angenähert paralleler Strahlengang herrscht.





Ersteres lässt sich nun immer durch Anwendung eines symmetrischen Objectivs erreichen, in dessen innerem Luftraum man stets für eine bestimmte Vergrößerung parallelen Strahlengang hervorbringen kann. Der letztere Fall des angenähert parallelen Ganges wird sich dann darbieten, wenn die durch das sphärische System hervorzubringende Vergrößerung des Objectes eine beträchtliche ist. Fig. 3 [Taf. V] stellt eine solche Anordnung dar.

Im Folgenden sind die detaillirten numerischen Angaben je einer speciellen Ausführungsform für die drei in der Zeichnung dargestellten Anordnungen des neuen anamorphotischen Systems gemacht, wobei die Bezeichnungen dieselben sind wie die in den Figuren. Jedes System ist in der Zeichnung in zwei Schnitten dargestellt, und zwar in den beiden Hauptschnitten der verwendeten Cylinderlinsen, d. h. in dem Schnitt durch die Achse der Cylinderlinse und in dem hierzu senkrechten Schnitt bezw. in den zwei Hauptschnitten der Prismencombination. Die Zeichnungen sind rein schematisch und die Dimensionen der Bestandtheile des dargestellten Systems sind aus Rücksicht auf das Blattformat der Zeichnung nicht proportional den in den Beispielen angegebenen numerischen Werthen.

Der Buchstabe  $\mathcal{L}$  bedeutet ein Linsensystem aus sphärischen Flächen,  $L$  ein solches aus Cylinderflächen,  $a$  den Objectabstand,  $b$  den Bildabstand,  $d$  die Entfernung zwischen zwei Linsen und  $P$  eine Prismencombination.  $A$  bedeutet das Object, welches als Kreisscheibchen gedacht ist,  $B$  und  $B'$  sind die Bilder von  $A$  in den beiden Hauptschnitten des anamorphotischen Systems.

#### Beispiel 1.

Anamorphotisches Linsensystem aus zwei zu einander achsenrechtwinklig gekreuzten einfachen Cylinderlinsen, von denen beide sammelnde Wirkung besitzen (dargestellt in Fig. 1 der Tafel V).

Brennweiten:

$$L_1 = 8,5 \text{ mm}, L_2 = 16,5 \text{ mm}.$$

Abstände:

$$a = 9,4 \text{ mm}, b = 82,6 \text{ mm}, d = 11,3 \text{ mm}.$$

Abbildungsmaassstab:

$$B = 10 \times A, B' = 4 \times A.$$

#### Beispiel 2.

Anamorphotisches System aus einem Collectivglas in Verbindung mit zwei zu einander achsenrechtwinklig gekreuzten Gruppen von Cylinderlinsen (dargestellt in Fig. 2 der Tafel V). Gruppe  $L_1 L_2$  ist achsenrechtwinklig zu Gruppe  $L_3 L_4$  gekreuzt.

Brennweiten:

$$\mathcal{L} = 11,3 \text{ mm}, L_1 = +30,0 \text{ mm}, L_2 = -34,5 \text{ mm};$$

$$\mathcal{L} = 11,3 \text{ mm}, L_3 = -13,5 \text{ mm}, L_4 = +35,9 \text{ mm}.$$

Abstände:

$$a = 8,9 \text{ mm}, b = 79,5 \text{ mm}, d_1 = 4,0 \text{ mm}, d_2 = 10,9 \text{ mm}.$$

Abbildungsmaassstab:

$$B = 10 \times A, B' = 4 \times A.$$

#### Beispiel 3.

Anamorphotisches System aus einem sphärischen Collectivglas (Projectionssystem bezw. photographischem Objectiv) und einer hinter demselben aufgestellten geradsichtigen Prismencombination nach BREWSTER [dargestellt in Fig. 3 der Tafel V].

Brennweite des Collectivglases:

$$\mathcal{L} = 20 \text{ mm}.$$

Abstände:

$$a = 22 \text{ mm}, b = 220 \text{ mm}.$$

Abbildungsmaassstab:

$$B = 20 \times A, B' = 10 \times A.$$

#### PATENT-ANSPRUCH:

Ein anamorphotisches Linsensystem, welches aus sphärischen Linsen, cylindrischen Linsen und ebenflächigen Prismen, oder allein aus [7] cylindrischen Linsen oder aus sphärischen Linsen in Verbindung mit cylindrischen Linsen oder ebenflächigen Prismen so zusammengesetzt ist, dass es für zwei Punkte der Achse homocentrische Strahlenvereinigung, für alle anderen Punkte aber Anacentricität der transmittirten Strahlenbüschel herbeiführt und infolge dessen eine in einen dieser beiden ausgezeichneten Achsenpunkte gebrachte Ebene zwar scharf, aber mit einer nach zwei auf einander senkrechten Richtungen verschiedenen Vergrößerung abbildet.





## XXVI.

### Vorrichtung zur Betrachtung oder Wiedergabe eines Randtheiles von einem durch ein Linsensystem entworfenen Bilde.

Deutsche Patentschrift No. 109091, ausgegeben den 7. März 1900.

Hierzu Tafel VI.

Beim Arbeiten mit optischen Instrumenten ergibt sich öfters das Bedürfniss, einen excentrischen Theil des von einem Linsensystem entworfenen Bildes durch ein zweites Linsensystem weiter abzubilden. Dieser Fall liegt z. B. vor, wenn es sich, wie in Fig. 1 [Taf. VI] dargestellt, darum handelt, das von einem photographischen Objectiv  $A$  in der Fläche  $F$  entworfene Bild — behufs genauerer Prüfung des Correctionszustandes des Objectivs ausser der Achse — in grösserem oder kleinerem Abstand von der Achse mittelst einer vergrössernden Lupe oder eines Oculars  $B$  zu beobachten oder ein begrenztes seitliches Stück der Bildfläche  $F$  durch ein anderes Projectionssystem vergrössert wiederzugeben.

In allen derartigen Fällen wird die correcte Abbildung eines seitlich von der Objectivachse liegenden Stückes der Bildfläche durch den Umstand behindert, dass die Bildfläche  $F$  nicht mehr, wie in der nächsten Nähe der Achse, senkrecht zur Richtung der abbildenden Strahlenkegel steht, sondern gegen diese senkrechte Stellung (in Fig. 1 [Taf. VI] punktirt) um so stärker geneigt ist, je weiter die beobachtete Stelle von der Achse abliegt. Bei einem photographischen Objectiv z. B., dessen Bildfläche in ihrer ganzen Ausdehnung annähernd eine zur Achse senkrechte Ebene darstellt, ist diese Neigung gleich dem Winkel  $u$ , den der mittlere Haupt-

strahl der die beobachtete Bildstelle erzeugenden Büschel mit der Achse des Objectivs  $A$  bildet. Bei einem Objectiv, dessen Bildfeld  $60^\circ$  umfasst, erreicht sie also am Rand dieses Bildfeldes den Betrag von  $u = 30^\circ$ . Da nun die optische Achse des zweiten Systems  $B$ , mittelst dessen die weitere Abbildung des excentrischen Gebietes bewirkt werden soll, wenigstens annähernd die Richtung der abbildenden Strahlenkegel erhalten muss, damit letztere das Linsensystem  $B$  ohne Ablendung und ohne grobe Aberrationen durchlaufen können, so liegt die abzubildende Fläche auch gegen eine zur Achse des zweiten Systems senkrechte Ebene annähernd um denselben Winkel  $u$  geneigt. Sie hat also in ihren verschiedenen Punkten ungleichen Abstand von der Brennebene des Systems  $B$  (in höherem oder geringerem Mass, je nach der Grösse des Neigungswinkels  $u$ ). Infolge dessen kann bei je einer bestimmten Einstellung des Systems  $B$  immer nur ein schmaler Streifen der Bildfläche  $F$  sich scharf abbilden, von welchem aus nach beiden Seiten hin wegen zunehmender Focusdifferenz wachsende Undeutlichkeit der zweiten Abbildung eintreten muss. Aus diesem Grund lassen sich z. B. bei einem photographischen Objectiv die seitlich liegenden Theile der Bildfläche nur unter Einschaltung einer Mattscheibe, welche diffuse Strahlung herbeiführt, beobachten, was abgesehen von dem Lichtverlust Verzicht auf jede stärkere Vergrösserung bedeutet.

Die nachstehend beschriebene Anordnung gestattet nun, dieses Hinderniss zu beseitigen und auch für excentrisch gelegene Theile der Bildfläche eines Linsensystems  $A$  correcte Abbildung durch ein zweites System  $B$  zu ermöglichen.

[2] Zu diesem Zweck wird, wie in Fig. 2 [Taf. VI] dargestellt, in den Weg der vom System  $A$  ausgehenden Strahlenbüschel, und zwar in der Nähe der Bildfläche  $F$  am besten zwischen  $F$  und  $A$  ein Prisma eingeschaltet, dessen brechende Kante von der Achse des Systems  $A$  abgewendet und zur Bildfläche parallel gerichtet ist, so dass die Achse des Systems  $A$  in dem Hauptschnitt des Prismas liegt. Die Strahlenbüschel, die von  $A$  ausgehend nach den Punkten  $o_1 o_2$  der Bildfläche  $F$  hinzielen, werden durch das Prisma  $P$  abgelenkt und in Bildpunkten  $o'_1 o'_2$  vereinigt, deren Oerter auf den abgelenkten Hauptstrahlen der Büschel durch die Bedingung bestimmt sind, dass für jeden Hauptstrahl die Wegstrecke  $No'$ , vermehrt um einen gewissen Bruchtheil des Glasweges  $MN$ , der Wegstrecke  $Mo$  gleich sein muss. Der in An-





satz zu bringende Bruchtheil von  $MN$  ist immer annähernd  $= \frac{1}{n} \cdot MN$ , wenn  $n$  den Brechungsindex des Prismas bezeichnet.

Demnach muss auf jedem Strahl die gesammte Wegstrecke von  $M$  über  $N$  zu  $o'$  immer grösser sein als die Strecke  $Mo$ , und zwar um einen Betrag, der annähernd  $= \frac{n-1}{n} \cdot MN$  ist. Da nun

die Strecke  $MN$ , wenn man von dem mittleren, zum Punkte  $o$  hinführenden Strahl ausgeht, nach Maassgabe des Prismenwinkels stetig sich ändert, und nach der Seite von  $o'_1$  hin kleiner, nach der Seite von  $o'_2$  hin grösser wird als auf dem mittleren Strahl, so muss der Punkt  $o'_2$  von  $M_2$  mehr abgerückt sein als  $o'_1$  von  $M_1$ . Hieraus aber folgt, dass die Verbindungslinie  $o'_1 o' o'_2$  gegen eine zur Austrittsrichtung des gebrochenen Mittelstrahles  $AMN o'$  senkrechte Ebene weniger geneigt sein muss als die Verbindungslinie  $o_1 o o_2$  gegen eine zur Richtung des ursprünglichen Mittelstrahles  $AMo$  senkrechte Ebene, dass also das Prisma die Bildfläche stets dreht im Sinne der Annäherung an die Senkrechtstellung zur Richtung des mittleren Hauptstrahles. Es muss also möglich sein, durch geeignete Wahl des brechenden Winkels diese Senkrechtstellung vollkommen herbeizuführen.

Die hier betrachtete Wirkung eines Prismas ist im letzten Grund nichts anderes als die Consequenz der bekannten Erscheinung, dass ein Object, durch eine Schicht eines stärker brechenden Mediums hindurchgesehen, dem Auge genähert (gehoben) erscheint nach Maassgabe der Dicke der Schicht. Auch ist die hieraus sich ergebende Eigenschaft des Prismas, ungleiche Verschiebung der Bildpunkte herbeizuführen, schon insoweit bekannt, als sie Abbildungsdefecte veranlasst, wenn ein Prisma mit einem Linsensystem so verbunden wird, dass jenes den centralen Theil des Bildes beeinflusst (vergl. R. Straube: Ueber einen Abbildungsfehler beim Prisma. Wied. Ann., Bd. 66, 1898, pp. 346—349). Das Vorstehende aber zeigt, wie umgekehrt das Prisma auch dazu dienen kann, Abbildungsdefecte aufzuheben, wenn es einem Linsensystem ausserhalb der Achse desselben, also so zugefügt wird, dass es nur schief zur Achse verlaufende Strahlenbüschel aufnimmt.

Der brechende Winkel  $a$ , mit dem ein Prisma von gegebenem Brechungsindex  $n$  ausgeführt werden muss, damit es bei der vorher beschriebenen Anordnung eine bestimmte Neigung  $u$  der ursprünglichen Bildfläche  $o_1 o o_2$  gegen die Senkrechte zur ursprüng-

lichen Strahlenrichtung ( $Mo$ ) gerade compensire, damit es also eine genau senkrechte Lage der neuen Bildfläche  $o'_1 o' o'_2$  gegen die neue Strahlenrichtung  $N o'$  herbeiführe, ist durch die folgenden zwei Paare von Gleichungen gegeben:

$$\frac{\operatorname{tg} i_t}{\cos^2 \frac{a_t}{2}} = \frac{n^2}{2(n^2 - 1)} \operatorname{tg} u ; \quad \sin \frac{a_t}{2} = \frac{1}{n} \sin i_t$$

$$\operatorname{tg} i_s = \frac{n^2}{2(n^2 - 1)} \operatorname{tg} u ; \quad \sin \frac{a_s}{2} = \frac{1}{n} \sin i_s$$

Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Stellung des Prismas dem Minimum der Ablenkung des Mittelstrahles entspreche.

Von diesen Gleichungen für  $a$  gilt das erste Paar in Bezug auf die Bildfläche der Strahlen in der Hauptschnittebene, das zweite aber in Bezug auf die Bildfläche der Strahlen im dazu senkrechten Sagittalschnitt. Die Verschiedenheit des zur Compensation erforderlichen Winkels  $a$  entspricht dem Astigmatismus, den das Prisma nach Maassgabe der ungleichen Länge des Glasweges auf den verschiedenen Hauptstrahlen hervorbringt. Er wird praktisch unschädlich gemacht, indem man dem Winkel  $a$  einen mittleren Werth, zwischen  $a_t$  und  $a_s$ , ertheilt.

Die Farbenzerstreuung, die das Prisma einführt, wirkt um so weniger störend, je näher dasselbe an die ursprüngliche Bildfläche  $o_1 o o_2$  herangerückt wird. Sie lässt sich aber auch völlig beseitigen, wenn man das Prisma in bekannter Art achromatisirt.

Die Ablenkung, die bei obiger Anordnung der nach dem Punkt  $o$  hinzielende Mittelstrahl [3] in seiner Richtung erfährt, ist in bekannter Weise durch den Winkel  $a$  des Prismas bestimmt.

Derselbe Effect, den nach dem Vorstehenden ein Deflexionsprisma vermöge der für die verschiedenen Strahlenkegel ungleichen Länge des Glasweges herbeiführt, lässt sich auch erreichen durch ein Reflexionsprisma, welches dem Mittelstrahl durch eine zwischen die beiden Brechungen eingeschaltete Spiegelung eine beliebige grosse Richtungsänderung ertheilt. Wie eine einfache Betrachtung lehrt, wird in diesem Fall die senkrechte Stellung der neuen Bildfläche  $o'_1 o' o'_2$  zur schliesslichen Richtung des reflectirten Mittelstrahles dann erreicht, wenn man die beiden Basiswinkel  $\beta \gamma$  des Reflexionsprismas ungleich macht, und zwar um den Betrag  $a$  desjenigen Winkels, den das zuvor betrachtete Deflexionsprisma bei gleichem Brechungsindex  $n$  erhalten müsste. Es muss also  $\gamma - \beta = a$





gemacht werden und dabei immer der kleinere Winkel ( $\beta$ ) der Achse des Systems zugewendet und das Prisma so gestellt sein, dass der Incidenzwinkel des mittleren Strahles an der Ein- und an der Austrittsfläche gleich und gleich demjenigen Incidenzwinkel wird, den ein Deflexionsprisma vom Winkel  $\alpha$  in der Stellung des Minimums der Ablenkung herbeiführt. Alles Uebrige bestimmt sich in bekannter Weise durch den Winkel  $w$ , um welchen durch das Reflexionsprisma der Mittelstrahl aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt sein soll.

PATENT-ANSPRUCH:

Vorrichtung, um einen schief zur Richtung der abbildenden Strahlenkegel liegenden Theil (Randtheil) der Bildfläche eines Linsensystems zu beobachten oder (vergrössert) wiederzugeben, dadurch gekennzeichnet, dass in den Strahlengang ein ablenkendes Prisma mit die Achse des Systems enthaltendem Hauptschnitt eingeordnet ist, dessen brechender Winkel so bemessen ist, dass der durch das Prisma beeinflusste Theil der Bildfläche eine zur Richtung der zweimal gebrochenen Strahlen senkrechte Lage erhält, wobei im Falle der Einschaltung einer Spiegelung zwischen die beiden Brechungen das Deflexionsprisma in ein ungleichschenkliges Reflexionsprisma übergeht.

XXVII.

Linsensystem mit Correction der Abweichungen  
schiefer Büschel.

Deutsche Patentschrift No. 119 915, ausgegeben den 7. Mai 1901.

Die nachfolgend beschriebene Erfindung giebt der ausübenden Optik ein neues Hilfsmittel für die Ausführung solcher Linsensysteme, bei denen scharfe Strahlenvereinigung nicht nur auf der Achse oder für ein relativ kleines Bildfeld, sondern auch noch für Bildpunkte in grösserem Abstände von der Achse, also namentlich noch möglichste Correction der Wölbung der Bildfläche sowie des Astigmatismus, der Verzerrung und der Coma schiefer Büschel gefordert wird.

Dieses Hilfsmittel besteht in der Anwendung von sphäroidischen Flächen an Stelle strenger Kugelflächen oder neben solchen, d. h. von brechenden oder spiegelnden Flächen, die Rotationsflächen sind in Bezug auf die optische Achse des Systems und in ihrer äusseren Gestalt nur sehr wenig von reinen Kugelflächen abweichen, deren Krümmung aber vom Scheitel nach dem Rand hin in bestimmter Weise stetig sich ändert.

Von der Kugelform abweichende Flächen sind in der Optik zu Correctionswirkungen bei abbildenden Systemen schon mehrfach verwendet worden, z. B. in den parabolischen Spiegeln für Spiegelteleskope und in den sogenannten aplanatischen Flächen bei Linsen. Sie sind auch in Anwendung gekommen bei Fernrohrobjectiven, deren sphärische Abweichung man empirisch, durch zonenweises Nachpoliren einer vorher kugelförmig gebildeten Linsenfläche, zu verbessern gesucht hat. In allen diesen Fällen aber hat die Abweichung von der Kugelform immer nur den Zweck verfolgt, die





sphärische Abweichung zu corrigiren, und hat auch niemals einen anderen Erfolg herbeiführen können, namentlich keine Correctionswirkung in Hinsicht auf die specifischen Fehler der Strahlenvereinigung schiefer Büschel (Astigmatismus, Coma etc.). Denn in allen zuvor erwähnten Fällen handelt es sich um solche optische Systeme, bei denen die freien Linsenflächen selbst die Eintrittsöffnung bilden, bei denen mithin alle Strahlenbüschel, centrale wie schiefe, dieselben Theile der Linsenflächen passiren müssen. Unter diesen Umständen aber besteht keine Möglichkeit, durch die Flächenform ein geneigtes, von einem excentrischen Punkt der Objectfläche ausgehendes Strahlenbüschel anders zu beeinflussen als das centrale Büschel.

Demgegenüber zielt nun die gegenwärtige Erfindung auf solche optische Systeme ab, bei denen — wie z. B. bei Ocularen und bei photographischen Objectiven — die Eintritts- oder Austrittsöffnung des Systems (der Blendenort) einen grösseren oder geringeren Abstand von einer oder mehreren Flächen desselben besitzt, so dass die Strahlenbüschel der seitlichen Objectpunkte diese Flächen an anderen Stellen durchdringen als das Strahlenbüschel des axialen Objectpunktes, und die Erfindung verfolgt den neuen Zweck, Abweichungen der Flächen von der reinen Kugelform für die Correction der schiefer Büschel nutzbar zu machen auf Grund dieser Verschiedenheit der Durchtrittsstellen, die es mit sich bringt, dass die Abweichung von der Kugel auf ein schiefes Büschel anders wirkt wie auf das centrale.

I.

[2] Eine Fläche  $F$  (Fig. 15) der gedachten Art kann in ihrer Gestalt immer auf folgende Weise defnirt werden:

Für einen Punkt  $P$  der durch die (punktirte) Meridiancurve dargestellten Fläche  $F$  sei  $s = PP^0$  der Abstand dieses Punktes von derjenigen durch den Scheitel  $O$  gehenden Kugelfläche  $F^0$ , deren Radius  $r^0$  der Scheitelkrümmung der Fläche  $F$  entspricht. Dann liegt die Strecke  $s$  in der Richtung des Radius dieser Kugelfläche. Ihre Grösse lässt sich bestimmen als Function des Kreisbogens  $OP^0 = l$ , der durch den zum Punkte  $P^0$  gehörigen Mittelpunktswinkel  $u^0$  gegeben ist.

Jedem Punkt der Sphäroidfläche gehört ein bestimmter Winkel  $u$  zu, der die Abweichung misst, die zwischen der Normalen der Sphäroidfläche in diesem Punkte und der Richtung des durch

denselben Punkt  $P$  gehenden, zu  $P^0$  gehörigen Kugelradius  $r^0$  besteht. Ferner gehören zu jedem dieser Punkte zwei von einander verschiedene Hauptkrümmungsradien  $r_1$  und  $r_2$ , von denen der erstere auf die Ebene des Meridianschnittes, der zweite auf die dazu senkrechte Ebene eines durch die Normale gelegten Sagittalschnittes Bezug hat. Der Radius  $r_2$  des Sagittalschnittes ist, weil die Sphäroidfläche als Rotationsfläche vorausgesetzt wird, stets gleich der Länge der Normalen vom Punkte  $P$  bis zur Rotationsachse. Der Radius  $r_1$  des Meridianschnittes aber ist gleich der Länge der Normalen vom Punkt  $P$  bis zum Berührungspunkt  $E$  mit der Evolute der Meridiancurve.

Wie die Abweichung  $s$ , so können auch die Grössen  $ur_1r_2$  (oder die diesen Radien reciproken Hauptkrümmungmaasse  $\varrho_1\varrho_2$ ) als Functionen der Bogenlänge  $l$  der Scheitelkugel dargestellt gedacht werden, und jede von diesen Functionen  $s u \varrho_1 \varrho_2$  kann zur Definition der Sphäroidfläche dienen.

Unter der durch die Benennung »Sphäroidfläche«

ausgedrückten Voraussetzung: dass die lineare Abweichung  $s$  von der Scheitelkugel  $F^0$  überall innerhalb der Fläche  $F$  sehr klein ist im Vergleich zur Länge des Scheitelradius  $r^0$ , die höheren Potenzen des Quotienten  $\frac{s}{r^0}$  also vernachlässigt werden können, bestehen unter den vier als Functionen der Bogenlänge  $l$  gedachten Grössen  $s u \varrho_1 \varrho_2$  folgende leicht nachzuweisenden Beziehungen:

$$u = \frac{ds}{dl}; \quad s = \int_0^l u \, dl;$$

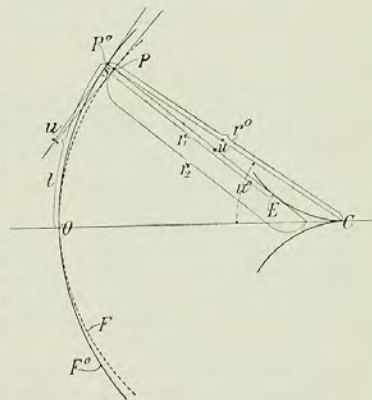


Fig. 15.





$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{1}{r^0} + \frac{du}{dl} + \frac{s}{r^{02}} \\ &= \frac{1}{r^0} + \frac{d^2 s}{dl^2} + \frac{s}{r^{02}}; \\ Q_2 &= \frac{1}{r^0} + \frac{u}{r^0 \lg u^0} + \frac{s}{r^{02}} \\ &= \frac{1}{r^0} + \frac{ds}{r^0 \lg u^0} + \frac{s}{r^{02}}; \\ Q_1 - Q_2 &= \frac{d^2 s}{dl^2} - \frac{ds}{r^0 \lg u^0}, \end{aligned}$$

worin  $u^0 = \frac{l}{r^0}$ .

Die Abweichung  $s$  der Sphäroidfläche  $F$  von der ihrer Scheitelkrümmung entsprechenden und im Scheitel sie berührenden Kugel  $F^0$  ist aber immer durch eine Funktion von der Form

$$s = \frac{1}{4} k l^4 + \frac{1}{6} m l^6 + \frac{1}{8} n l^8 + \dots$$

aus welcher  $u = k l^3 + m l^5 + n l^7 + \dots$  folgt, innerhalb eines beschränkten Bereichs der Grösse  $l$  in beliebiger Annäherung darzustellen, wonach also die Gestalt jeder möglichen Sphäroidfläche durch ihren Scheitelradius  $r^0$  und durch eine bestimmte Anzahl von Coefficienten  $k m n \dots$  eindeutig bestimmt werden kann.

In erster Annäherung lässt sich mithin jede Sphäroidfläche  $F$  definiren durch ihren Scheitelradius  $r^0$  und den Coefficienten  $k$  des Hauptgliedes der Abweichung, wonach die Näherungsformeln bestehen:

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{4} k l^4; \\ u &= k l^3; \\ Q_1 &= \frac{1}{r^0} + 3 k l^2 + \frac{1}{4} \frac{k l^4}{r^{02}}; \\ Q_2 &= \frac{1}{r^0} + \frac{k l^3}{r^0 \lg u^0} + \frac{1}{4} \frac{k l^4}{r^{02}} \\ &= \frac{1}{r^0} + \frac{k u^0 l^2}{\lg u^0} + \frac{1}{4} \frac{k l^4}{r^{02}}. \end{aligned}$$

II.

Auf Grund der vorstehenden geometrischen Definitionen lässt sich das Wesen der in Betracht stehenden Erfindung wie folgt darstellen.

Es werde das Bild betrachtet, welches eine sammelnd wirkende brechende Linsenfläche von einem ebenen Object entwirft, wenn die Hauptstrahlen der von den Objectpunkten ausgehenden Strahlenbüschel nicht im Scheitel der Fläche, sondern in einem Punkt vor oder hinter dieser Fläche sich kreuzen, wenn also die Abbildung der verschiedenen Punkte der Objectfläche durch verschiedene Elemente der Linsenfläche erfolgt.

In Fig. 16 sei  $A-B$  die ebene Objectfläche,  $F$  die brechende Fläche, und zwar zunächst [3] als Kugelfläche vom Radius  $r^0$  vor-

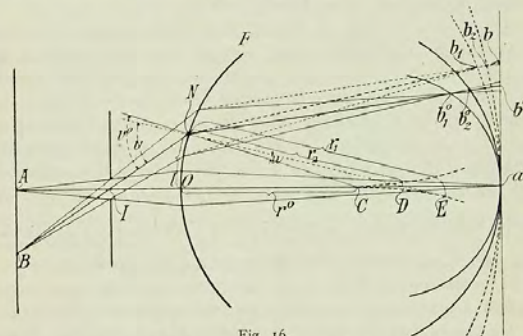


Fig. 16.

ausgesetzt,  $C$  ihr Mittelpunkt,  $O$  ihr Scheitel und  $I$  der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen (die sogenannte Eintrittspupille für die brechende Fläche). Die Strahlen, die vom Achsenpunkt  $A$  des Objectes ausgehen, mögen nun durch die brechende Fläche in dem Achsenpunkt  $a$  der Bildfläche monocentrisch vereinigt werden. Der Ort dieses Punktes  $a$ , sowie auch das Grössenverhältniss zwischen Bild und Object in nächster Nähe der Achse sind nach den dioptrischen Grundformeln vollkommen bestimmt durch den Abstand  $AO$ , den Radius  $CO = r^0$  der Kugelfläche und die Brechungsindices der Medien zu beiden Seiten der Fläche.

Ferner wird das Strahlenbüschel, das mit dem Hauptstrahl  $BIN$  von einem excentrischen Punkt  $B$  der Objectebene ausgeht, durch die Kugelfläche so gebrochen, dass der im Meridianschnitt





verbleibende Hauptstrahl nach einem bestimmten Punkt  $b^0$  der durch  $a$  gelegten, zur Achse senkrechten Ebene (Bildebene) hinzielt, dass aber auf diesem Hauptstrahl  $Nb^0$  wegen der Anacentricität des gebrochenen Strahlenbüschels statt eines einzigen Bildpunktes zwei zu einander senkrechte Brennlinien an den Punkten  $b_1^0$  und  $b_2^0$  auftreten. Die im Meridianschnitt verlaufende Strahlengruppe findet ihren Vereinigungspunkt in  $b_1^0$ , die Strahlengruppe im Sagittalschnitt (die in der Projection auf die Meridianebene mit dem Hauptstrahl  $Nb^0$  zusammenfällt) wird in  $b_2^0$  vereinigt. In der zur Achse senkrechten, durch  $a$  gelegten Bildebene tritt dabei an Stelle eines scharfen Bildpunktes eine (elliptische) Zerstreuungsfur auf, deren Mittelpunkt der Punkt  $b^0$  ist, in welchem der gebrochene Hauptstrahl diese Ebene trifft.

Unter den in Fig. 16 dargestellten Verhältnissen — collective Brechung mit reellem Bild — sind nun, wie bekannt, die Schnittweiten  $Nb_1^0$  und  $Nb_2^0$  stets kleiner als die Strecke  $Nb^0$ , und zwar die erstere in höherem Grad als die letztere. Die Brechung an der Kugelfläche führt also unter diesen Verhältnissen stets auf zwei gewölbte — und zwar nach  $O$  hin concave — Bildflächen  $ab_1^0$  und  $ab_2^0$  und auf eine von der Achse nach dem Rand des Bildfeldes hin wachsende astigmatische Differenz der schiefen Strahlenbüschel. Ferner ist das Verhältniss  $\frac{ab^0}{AB}$ , welches

die lineare Vergrößerung des Bildes bestimmt, immer kleiner als das Vergrößerungsverhältniss in der nächsten Nähe der Achse. Das Bild zeigt also eine (-)förmige (tonnenförmige) Verzerrung.

Es werde nun an Stelle der bisher vorausgesetzten Kugelfläche eine Sphäroidfläche eingeführt, deren Krümmung im Scheitel identisch ist mit derjenigen der Kugel vom Radius  $CO = r^0$ , vom Scheitel nach dem Rand hin aber stetig abnimmt, also von entgegengesetztem Charakter wie die in Fig. 15 dargestellte. Die Evolute ihrer Meridiancurve sei durch die Curve  $CE$  (Fig. 16) gegeben. Die Richtung ihrer Normalen im Treffpunkt  $N$  des Hauptstrahls ist alsdann durch die Richtung der Tangente  $NE$  gegeben, und für denselben Punkt  $N$  der Krümmungsradius  $r_1$  im Meridianschnitt durch die Strecke  $NE$ , der Krümmungsradius  $r_2$  im Sagittalschnitt durch die Strecke  $ND$ , welche beide Strecken länger sind als  $r^0$ .

Diese sphäroidische Deformation der vorherigen Kugelfläche lässt nun den Ort  $a$  des Bildes auf der Achse und die Vergrösse-

rung in nächster Nähe der Achse völlig ungeändert; sie ändert aber das Vergrößerungsverhältniss für die ausseraxialen Punkte, und zwar im Sinne einer Verminderung der vorher bestehenden (-)förmigen Verzerrung. Denn da der Incidenzwinkel  $v$  des Hauptstrahles  $BI$  im Punkt  $N$  jetzt um den Betrag des Winkels  $u$  kleiner ist als der Incidenzwinkel  $v^0$  desselben Hauptstrahls an der Kugel, so wird dieser Hauptstrahl durch die Brechung jetzt weniger abgelenkt, trifft also die durch  $a$  gelegte Bildebene in einem Punkt  $b$ , der weiter von der Achse abliegt als Punkt  $b^0$ . Das Vergrößerungsverhältniss  $\frac{ab}{AB}$  ist mithin grösser als  $\frac{ab^0}{AB}$ , demnach weniger als letzteres von der Vergrößerung in der Achse verschieden.

Ferner ist ersichtlich, dass die in der angenommenen Art deformirte Fläche sowohl auf die Strahlengruppe im Meridianschnitt wie auf diejenige im Sagittalschnitt je wie eine Kugelfläche mit verminderter Krümmung wirken muss, weil sowohl der Krümmungsradius  $r_1 = NE$ , wie der Krümmungsradius  $r_2 = ND$  grösser ist als  $r^0$ . Demnach rücken die Vereinigungspunkte  $b_1$  und  $b_2$  beider Strahlengruppen auf dem gebrochenen Hauptstrahl näher an die Ebene  $ab$  heran; die Wölbung beider Bildflächen wird also vermindert. Da aber  $r_1 - r^0$  stets grösser ist als  $r_2 - r^0$  — in erster Annäherung im Verhältniss von 3:1 gemäss den unter I. gegebenen Formeln —, so muss hierbei der Punkt  $b_1$  dem Punkt  $b_2$  sich nähern, die astigmatische Differenz in dem schiefen Büschel also kleiner werden.

Endlich wird auch die Coma aberration des schiefen Büschels nach der Brechung vermindert, weil die vom Scheitel nach dem Rand hin abnehmende Krümmung der Fläche einen negativen Werth des Differentialquotienten  $\frac{d\theta_1}{dl}$  mit sich bringt und dadurch compensatorisch der Zunahme des Incidenzwinkels  $v$  nach dem Rand hin entgegenwirkt.

[4] Eine sphäroidische Deformation von entgegengesetztem Charakter, wie oben angenommen, ergibt unter sonst gleichen Bedingungen in jeder Hinsicht den entgegengesetzten Effect.

Die mathematischen Formeln für die quantitative Bestimmung der hier betrachteten Wirkungen aus den Werthen der Coefficienten  $k, m, n, \dots$ , die gemäss I. zur Definition der sphäroidischen Gestaltung dienen, können aus den bekannten Theorien der Dioptrik leicht abgeleitet werden.





## III.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich ohne Weiteres folgende Feststellung:

Wenn ein Linsensystem von beliebiger Zusammensetzung, welches — wie z. B. ein photographisches Objectiv oder ein Fernrohrcular — die verschiedenen Punkte eines ausgedehnten Objectes durch verschiedene Theile seiner freien Oeffnung abbildet, bei streng sphärischer Gestalt sämtlicher Linsenflächen bestimmte Aberrationen in der Strahlenvereinigung der schiefen Büschel — Vergrößerungsfehler, Wölbung der Bildfläche, Astigmatismus, Coma — uncorrectirt lässt, so kann immer einer von diesen Fehlern, wenigstens für Bildpunkte eines bestimmten Abstandes von der Achse, durch sphäroidische Deformation einer Linsenfläche gehoben werden; und es können — im Allgemeinen — 2, 3 . . . von diesen Fehlern gleichzeitig gehoben werden, wenn an 2, 3 . . . Flächen des Systems sphäroidische Deformationen so sich anbringen lassen, dass nicht zwei oder mehrere durch eine einzige äquivalent zu ersetzen sind. Das letztere tritt nur bei solchen Flächen ein, die der Hauptstrahl eines schiefen Büschels in annähernd gleicher Höhe über der Achse trifft. Unwirksam in Bezug auf die Aberrationen ausser der Achse bleibt aber die sphäroidische Deformation solcher Flächen, die in der Nähe des Scheitels von den Hauptstrahlen getroffen werden. Demnach können für die in Betracht stehenden Correctionen nur solche Flächen des Systems wirksam gemacht werden, die erheblichen Abstand haben von einander und von der Iris des Systems.

Selbstverständlich ist die sphäroidische Deformation einer Linsenfläche, wenn sie auch den Ort des Bildes auf der Achse und die Vergrößerung in der nächsten Nähe der Achse ganz unberührt lässt, nicht ohne Einfluss auf die sphärische Aberration des axialen Strahlenbüschels. Dieser Einfluss bemisst sich nach dem Werth, den  $\frac{d^2\varrho_1}{dl^2}$  im Scheitel der Sphäroidfläche annimmt, also — gemäss der unter I. gegebenen Relation — in erster Annäherung nach der Grösse des Coëfficienten  $k$ . Handelt es sich nun um ein Linsensystem, bei welchem neben der Correction der Abweichungen schiefer Büschel auch sphärische Correction des axialen Büschels erforderlich ist, so steht die Auswahl der sphäroidischen Deformationen unter der Bedingung, dass die axialen Aberrationen aller Linsenflächen unter Berücksichtigung der Deformationscoëfficienten sich gegenseitig compensiren. Im Allgemeinen bedeutet

dieses eine Beschränkung hinsichtlich der erreichbaren Correctionswirkungen an den schiefen Büscheln. Indess ist keineswegs ausgeschlossen, dass bei manchen Constructionstypen die Correction der Abweichungen schiefer Büschel unter Beihilfe sphäroidischer Deformationen auch die sphärische Correction auf der Achse vollkommener herbeizuführen gestattet, als mit rein sphärischen Flächen möglich wäre.

Die Anwendung des hier beschriebenen neuen Hilfsmittels für die Beseitigung von Abbildungsfehlern der schiefen Büschel bei Linsensystemen ermöglicht in vielen Fällen eine Vereinfachung der Constructionen in Hinsicht auf die Zahl der erforderlichen Einzellinsen. Denn die sphäroidischen Flächen stellen mehr von einander unabhängige Elemente für die Correction der verschiedenen Fehler zur Verfügung als reine Kugelflächen. Daher lässt sich die gleiche Vollkommenheit der Correction jetzt mit einer geringeren Zahl von Flächen, also mit einer geringeren Zahl von Einzellinsen, erreichen.

Der praktischen Verwerthung des dargelegten Correctionsverfahrens kommt der Umstand zu statten, dass die unter II. betrachteten Wirkungen sphäroidischer Flächen schon bei sehr geringen Abweichungen von der Kugelform eintreten. Den unter I. angeführten Formeln gemäss genügt bei Linsen von 40 bis 50 mm Durchmesser schon eine Deformation, die im linearen Maass ( $s$ ) nicht mehr als einige Hundertstel des Millimeters am Rand der Linsenfläche beträgt, um für die Randzone eine sehr erhebliche Abweichung der beiden Hauptkrümmungsmasse  $\varrho_1$  und  $\varrho_2$  von einander und von der Scheitelkrümmung  $\varrho^0$  und damit eine beträchtliche Verschiebung der beiden Bildpunkte eines schiefen Büschels und ihrer astigmatischen Differenz herbeizuführen.

Die Benutzung des oben unter II. dargelegten Correctionsmittels im Sinne der vorstehenden Ausführungen steht jedoch unter einer charakteristischen Beschränkung, die aus allgemeinen Lehrsätzen der Dioptrik sich ergibt — dass nämlich dieses Mittel nur dienen kann zur Correction solcher Abweichungen schiefer Büschel, die in ihrem Grössenbetrag von der zweiten oder von einer höheren Potenz des Neigungswinkels des Büschels (bezw. seines Hauptstrahls) abhängen. Denn alle Correctionsmerkmale schiefer Büschel, die nicht mindestens der zweiten Potenz dieses Neigungswinkels [5] (oder des Achsenabstandes im Bildfeld) folgen, sind, nach bekannten Sätzen der Optik, ebenso unabhängig vom »Blendenort« des Systems, d. h. von der Lage der Kreuzungspunkte der Hauptstrahlen zu





den Linsenflächen, wie die Correctionsmerkmale des axialen Büschels, und zwar bei jeder Gestalt der Flächen. Insoweit nun dieses statt hat, ist auch bei nichtsphärischen Flächen ein Effect durch das Abrücken des Divergenzpunktes der Hauptstrahlen vom Scheitel der Fläche ausgeschlossen; insoweit bleibt die Wirkung der Fläche auf die schiefen Büschel immer dieselbe, mögen sie die Fläche an verschiedenen oder an derselben Stelle durchdringen. Dieses gilt im Besonderen für die Kugelabweichung und die Coma der schiefen Büschel, soweit (in der Nähe der Achse) die erstere noch identisch ist mit der Kugelabweichung des axialen Büschels und die letztere schon bestimmt ist durch die sogenannte »Sinusbedingung«. Das unter II. dargelegte Correctionsmittel: Abrücken des Divergenzpunktes der Hauptstrahlen vom Scheitel einer nichtsphärischen Fläche, wird also erst wirksam ausserhalb der nächsten Umgebung der Achse des Systems; seine Anwendung ist daher überhaupt auf solche Systeme beschränkt, bei denen der Bereich der Abbildung (die Grösse des Bildfeldes) Spielraum gewährt für das Auftreten von Aberrationen der schiefen Büschel, die mit der zweiten oder mit einer höheren Potenz ihres Neigungswinkels oder des Abstandes ihrer Bildpunkte von der Achse anwachsen.

Hierdurch grenzt sich der Gegenstand der hier beschriebenen Erfindung deutlich ab von den eingangs erwähnten Anwendungen nichtsphärischer Flächen bei Fernrohrobjectiven und Teleskopspiegeln zum Zweck der Correction der Kugelabweichung oder der Erfüllung der Sinusbedingung. In diesen früheren Anwendungen konnten wegen der Kleinheit des Bildfeldes Wirkungen nichtsphärischer Flächen, die von der Lage der Divergenzpunkte der Hauptstrahlen, also vom Ort der Aperturblende, abhängig gewesen wären, niemals zur Geltung kommen.

PATENT-ANSPRUCH:

Ein Linsensystem zur Erzeugung optischer Bilder, bei dem eine oder mehrere Flächen durch die von den seitlichen Objectpunkten herrührenden Strahlenbüschel (die schiefen Büschel) an anderen Stellen durchdrungen werden als durch das axiale Büschel, dadurch gekennzeichnet, dass zur Correction der Abweichungen der schiefen Büschel mindestens eine dieser Linsenflächen eine Krümmung besitzt, die sich vom Scheitel nach dem Rande hin stetig ändert, also mindestens eine dieser Flächen eine Abweichung von der Kugelgestalt zeigt, wie sie in ähnlicher Form, aber unter andersartigen Verhältnissen, zu Correcturzwecken bekannt ist.

## XXVIII.

### Verfahren, sphäroidische Flächen zu prüfen und Abweichungen von der vorgeschriebenen Gestalt nach Lage und Grösse zu bestimmen.

Deutsche Patentschrift No. 131 536, ausgegeben den 10. Juni 1902.

Hierzu Tafel VII.

Bei manchen optischen Systemen wird die richtige Correction der Abbildungsfehler erleichtert, wenn neben strengen Kugelflächen auch solche Flächen angewendet werden, die zwar noch Rotationsflächen zur optischen Achse des Systems sind, deren Krümmung aber vom Scheitel nach dem Rand hin nach einem vorgeschriebenen Gesetze stetig sich ändert.

Eine Fläche dieser Art (Sphäroidfläche) kann in ihrer Meridiancurve  $F$  (Fig. 1, Taf. VII) dadurch definiert werden, dass man angiebt 1. den Radius  $CO = r^0$  der Scheitelkrümmung und 2. die lineare Abweichung  $s$  eines jeden Curvenpunktes  $P$  von dem Krümmungskreis  $F^0$  des Scheitels, gemessen in der Richtung des Kreisradius  $CP^0 = r^0$  und ausgedrückt als Function der Bogenlänge  $l$  des Scheitelkreises. Wenn neben dem Radius  $r^0$  der Scheitelkrümmung noch  $s = f(l)$  (von  $l = 0$  bis zu einem gewissen Werth von  $l$ ) gegeben ist, so ist dadurch die Gestalt der Sphäroidfläche für das Gebiet vom Scheitel bis zu einer dem grössten Werthe von  $l$  entsprechenden Randlinie vollständig bestimmt.

Für optische Zwecke kommen nur solche Sphäroidflächen in Betracht, bei denen die lineare Abweichung  $s$  von der Scheitelskugel innerhalb des wirksamen Theiles der Fläche auf sehr kleine Grössen (einige Hundertstel des Millimeters) beschränkt bleibt.





Wenn aber die optische Wirkung solcher Flächen nicht grobe Defecte zeigen soll, muss verlangt werden, dass ihre technische Ausführung die theoretisch bestimmte Gestalt bis auf sehr kleine Beträge (meist bis auf kleine Bruchtheile eines Mikron) genau wiedergebe, welchem Anspruch kein maschinelles Verfahren der Formgebung zu genügen vermag.

Eine Sphäroidfläche von vorgeschriebener Scheitelkrümmung und mit vorgeschriebenem Verlauf der sphäroidischen Abweichung  $s$  durch Copiren nach einem entsprechenden sphäroidischen Probegläse herzustellen, bietet wohl grössere, aber keine anderen Schwierigkeiten als die Darstellung einer Kugelfläche mit Hilfe des entsprechenden sphärischen Probegläses. Dagegen ist die Erzeugung des sphäroidischen Probegläses, überhaupt die erste Ausführung einer bestimmten Sphäroidfläche, nach dem verhältnissmässig einfachen, bei sphärischen Probegläsern angewendeten Verfahren nicht zu erreichen; sie wird aber durch ein die Formgebung regelndes Messverfahren ermöglicht, das den Gegenstand der hier zu erläuternden Erfindung bildet. Die Messungen erfolgen mit Hilfe einer genau sphärischen Modellfläche, deren Krümmungsradius bekannt und nur wenig von der Scheitelkrümmung der darzustellenden Fläche verschieden ist.

Die geometrische Grundlage des Verfahrens ist aus Fig. 2 [Taf. VII] ersichtlich.

Es sei wieder im Meridianschnitt  $F$  die Sphäroidfläche,  $F^0$  die Kugelfläche vom Radius  $r^0$ , die der Scheitelkrümmung entspricht, und  $F^1$  eine Kugelfläche vom Radius  $r^1$ , welche die Sphäroidfläche im Scheitel berührt.

Wenn  $s=f(l)$  gegeben ist, kann für jeden Punkt  $P$  der Sphäroidfläche leicht berechnet werden:

1. sein Abstand  $PP^1=l$  von der Kugelfläche  $F^1$ , gemessen in der Richtung des Radius der Scheitelskugel  $F^0$ ;
- [2] 2. sein Abstand  $h$  von der Fläche  $F^1$ , gemessen in der Richtung der Achse  $CO$ ,

und diese beiden Grössen  $l$  und  $h$  können auf Grund der gegebenen Function  $s=f(l)$  und der gegebenen Werthe von  $r^0$  und  $r^1$  leicht als Functionen der Strecke  $p$  (also des Abstandes des Punktes  $P$  von der Achse) dargestellt werden, so dass für jedes beliebige  $p$  sowohl der Werth von  $l$  wie der Werth von  $h$  sich numerisch berechnen lässt.

Unter der Voraussetzung, dass  $s$  überall nur kleine Werthe zeigt und dass  $r^1$  nur wenig von  $r^0$  verschieden ist, sind die betreffenden Formeln ganz elementar abzuleiten.

Nun bedeutet aber  $l$  die in der Richtung des Radius  $r^0$  gemessene Dicke des Zwischenraumes zwischen der Sphäroidfläche  $F$  und der sie berührenden Kugelfläche  $F^1$  für die durch  $p$  bestimmte Zone, wenn  $F$  convex,  $F^1$  concav und  $r^1 > r^0$  ist, sowie auch, wenn  $F$  concav,  $F^1$  convex und  $r^1 < r^0$  ist. (Fig. 2 [Taf. VII] entspricht dem ersteren Fall). Die Grösse  $h$  aber bedeutet die Differenz der Pfeilhöhen, die beide Flächen,  $F$  und  $F^1$ , für eine Zone vom Radius  $p$  zeigen, wenn beide convex, oder beide concav sind.

Bei dem Messverfahren, das den Gegenstand der Erfindung bildet, wird nun eine sphärische Modellfläche von dem Radius  $r^1$  verwendet, um die Abstände  $l$  festzustellen. Ausserdem wird bei starker Abweichung der vorgeschriebenen Sphäroidfläche von der Kugelform die vorbereitende Bearbeitung der Glasfläche zweckmässig noch durch ein minder feines Messverfahren controlirt, bei dem eine andere Modellkugel von demselben Radius  $r^1$ , aber entgegengesetzter Krümmung, dazu dient, die Abstände  $h$  zu bestimmen.

Man giebt der darzustellenden sphäroidischen Linsenfläche zunächst die vorläufige Gestalt einer Kugel, deren Radius so gewählt ist, dass aus ihr die richtige Gestalt durch zonenweises Abtragen des Glases mittels Schleifens und Polirens hervorgehen kann, und stellt ausserdem eine Modellkugel von gleichartiger Krümmung her, deren Radius  $r^1$  genau bekannt und nur wenig von der Scheitelkrümmung  $r^0$  der verlangten Sphäroidfläche verschieden ist. Man berechnet hierauf für eine Reihe von abgestuften Werthen  $p_1, p_2, p_3, \dots$  des Halbmessers  $p$  die numerischen Werthe  $h_1, h_2, h_3, \dots$  der Grösse  $h$ , die mit Bezug auf die gewählte Modellkugel dann auftreten müssen, wenn die darzustellende Fläche ihre richtige Gestalt gewonnen hat, und corrigirt nun die Fläche zonenweise mittels Schleifens und Polirens so lange, bis die jeweilig gemessenen Pfeilhöhenunterschiede  $h$  für die verschiedenen Grössen  $p$  den berechneten in genügender Annäherung gleich sind.

Zur directen Messung der Grösse  $h$  für verschiedene Zonen  $p$  dient am besten ein Sphärometer, bei welchem der Auflagekreis durch drei im gleichseitigen Dreieck stehende Stützen mit kugelförmigen Enden gegeben ist, welche Stützen mittels irgend einer geeigneten Zwangführung successive auf Dreiecke von verschiedener Seitenlänge, also auf verschiedene Werthe der Grösse  $p$ , eingestellt werden können. Man erhält alsdann für die verschiedenen Zonen den jeweils vorhandenen Werth der Grösse  $h$ , indem man abwechselnd Modellkugel und die zu bearbeitende Linsenfläche auf das Sphäro-





meter auflagt und die Einstellungsdifferenz direct abliest. Der Unterschied (beobachtet minus berechnet) ergibt alsdann den in jeder Zone noch vorhandenen Fehler in linearem Maasse an.

Nach diesem Verfahren kann die verlangte Gestalt der sphäroidischen Fläche ohne Schwierigkeit in allen Zonen bis auf etwa ein Mikron genau hergestellt werden, wofern die benutzte Modellkugel entsprechend richtig ist.

Da aber im Allgemeinen für optische Zwecke eine wesentlich grössere Genauigkeit der sphäroidischen Form erfordert wird, ist die Linsenfläche zu ihrer letzten Annäherung an die vorgeschriebene Gestalt zonenweise zu poliren und diese Arbeit Schritt für Schritt durch das Messverfahren zu controliren, das im engeren Sinne die Erfindung ausmacht und nun zu beschreiben ist. Es gehört dazu wiederum eine Modellkugel (dargestellt als Convex- oder als Concavfläche an einer Glasscheibe mit ebener und polirter Rückfläche), deren Krümmung der Scheitelkrümmung der zu prüfenden Sphäroidfläche ungefähr gleich, aber von entgegengesetzter Art ist.

Mit Bezug auf diese zweite Modellkugel und die mögliche Art der Berührung zwischen ihr und der vorgeschriebenen Sphäroidfläche (im Scheitel oder in einem bestimmten Kreise) wird der Werthverlauf berechnet, den die vorher mit  $l$  bezeichnete Grösse als Function der Grösse  $p$  zeigen muss, wenn die richtige sphäroidische Gestalt erreicht ist; und es wird behufs allmählicher Annäherung der bearbeiteten Fläche an diese richtige Gestalt der jeweils bestehende Werthverlauf von  $l$  dadurch festgestellt, dass man den Abstand zwischen beiden, an den vorausgesetzten Stellen in Berührung gebrachten Flächen für verschiedene Zonen  $p$  nach der Methode der Interferenzen direct misst.

Zu diesem Zwecke beleuchtet man (nach einer zuerst von FIZEAU benutzten Anordnung, Fig. 3 [Taf. VII]) die dünne Luftschicht zwischen den beiden polirten Flächen mit monochromatischem Licht mittels eines kleinen Spiegels oder Prismas, welches auf der Achse des Flächenpaares in solchem Abstand angebracht ist, dass die von ihm ausgehenden Lichtstrahlen [3] nach dem Eintritt in das obere Glasstück die beiden Flächen  $F$  und  $F^1$  nahezu senkrecht treffen und, an beiden reflectirt, schliesslich wieder dicht neben dem Beleuchtungsprisma sich kreuzen. Ein Auge, an letztere Stelle gebracht, sieht alsdann (erforderlichenfalls unter Zuhilfenahme einer Lupe oder, bei grossem Abstand des Auges von den Flächen, eines kleinen Fernrohres) einen dunklen Interferenzring auf jeder Zone,

an welcher der senkrechte Abstand zwischen beiden Flächen ein ganzes Vielfaches von  $\frac{\lambda}{2}$  ist, unter  $\lambda$  die Wellenlänge des angewendeten Lichtes verstanden. Indem man nun einerseits die Halbmesser  $p$  verschiedener Interferenzringe an einer auf die Glasstücke aufgelegten oder an einer mittels Spiegelung in das Niveau der Luftschicht projicirten Längenscala misst, andererseits die Ordnungszahlen  $m_1, m_2, \dots$  der Ringe abzählt, am dunklen Fleck im Scheitel mit Null beginnend, erhält man für eine Reihe von Werthen  $p_1, p_2, \dots$  in den Producten  $m_1 \frac{\lambda}{2}, m_2 \frac{\lambda}{2}, \dots$  je die Grösse der tatsächlich vorhandenen Werthe  $l_1, l_2, \dots$ . Die Differenz (beobachtet minus berechnet) ergibt nun unmittelbar den in der betreffenden Zone noch vorhandenen und daselbst zu corrigirenden Fehler der Fläche.

Die Anzahl der Interferenzringe, die zwischen Scheitel und Rand der Fläche auftreten, hängt ab von der Grösse der sphäroidischen Abweichung und von dem Betrag, um welchen der Radius  $r^1$  der Modellkugel von dem geforderten Scheitelradius  $r^0$  der darzustellenden Fläche  $F$  abweicht. Ist diese Anzahl so gross, dass eine directe Bestimmung der Zahlen  $m$  durch Abzählen der Ringe vom Scheitel ab unsicher oder unthunlich wird, so kann man die Zahlen  $m$  indirect ermitteln, indem man gleichzeitig mit Licht von zwei verschiedenen Farben beleuchtet, deren Wellenlängen man kennt, und nach der bekannten Methode der Coincidenzen nur die Stellen abzählt, in denen die dunklen Ringe der beiden verschiedenfarbigen Ringsysteme zusammenfallen.

In Fig. 4 [Taf. VII] ist nebst dem zugehörigen System von Interferenzringen die Form der Curve dargestellt, nach der die Grösse  $l$  vom Scheitel zum Rand hin verläuft, wenn die Modellkugel die Sphäroidfläche im Scheitel berührt und diese letztere entweder convex ist, mit nach aussen zunehmender Krümmung, oder concav, mit nach aussen abnehmender Krümmung. Fig. 5 zeigt das Entsprechende für den Fall, dass die Modellkugel mit einem genau kreisförmigen Rand auf der Sphäroidfläche aufliegt. Fig. 6 endlich entspricht dem Fall, dass Berührung beider Flächen in einer Kreislinie stattfindet, die nicht zugleich Randlinie einer der beiden Flächen ist. Durch geeignete Wahl des Radius  $r^1$  der Modellkugel hat man es in der Gewalt, denjenigen Werthverlauf der Grösse  $l$





herbeizuführen, der für die Bestimmung der Zahl und der Durchmesser der Ringe möglichst günstig erscheint.

Vermöge der Feinheit des Maassstabes, der in der Wellenlänge des Lichtes gegeben ist, gestattet die zuletzt betrachtete Controlmethode, Sphäroidflächen von vorgeschriebener Gestalt bis auf sehr kleine Bruchtheile des Mikron genau herzustellen, ohne dass etwas Anderes gegeben zu sein braucht als eine entsprechend genaue sphärische Fläche (Modellkugel).

Die Anwendung der Interferenzmethode hat zur Voraussetzung, dass vorher schon eine genügende Annäherung der Flächengestalt an die geforderte definitive Form erreicht sei. Bei Sphäroidflächen, die merklich von einer Kugelfläche abweichen, ist deshalb als vorbereitende Operation die Regulirung der Flächengestalt mit Hilfe des Sphärometers, wie oben beschrieben, erforderlich. Diese vorbereitende Operation wird jedoch überflüssig, wenn die verlangte sphäroidische Gestalt von einer reinen Kugel überall so wenig abweicht, dass sie aus einer Kugel von geeignet gewähltem Radius lediglich durch zonenweises Poliren erzeugt werden kann.

#### PATENT-ANSPRUCH:

Verfahren, sphäroidische Flächen zu prüfen und Abweichungen von der vorgeschriebenen Gestalt nach Lage und Grösse zu bestimmen, dadurch gekennzeichnet, dass die zu untersuchende Sphäroidfläche mit einer Modellkugel, deren Krümmung bekannt und derjenigen im Scheitel der vorgeschriebenen Sphäroidfläche nahezu gleich, aber entgegengesetzt ist, im Scheitel oder in einer ringförmigen Zone in Berührung gebracht, auf der dünnen Luftschicht zwischen beiden Flächen in bekannter Weise mit senkrecht einfallendem monochromatischem Licht ein System von Interferenzringen erzeugt und aus den gemessenen Durchmessern einer Anzahl solcher Ringe der Abstand zwischen beiden Flächen für beliebige Zonen bestimmt und mit dem aus dem vorgeschriebenen Verlauf der Sphäroidfläche berechneten Abstand verglichen wird.

## Gedächtnisreden.





## XXIX.

### Gedächtnissrede auf JOSEPH FRAUNHOFER.

Zur Feier des 100jährigen Geburtstages FRAUNHOFERS gehalten im Hörsaal  
des physikalischen Instituts zu Jena am 5. März 1887.

Hochgeehrte Versammlung!

Der heutige Tag ist der Vorabend des 100jährigen Geburtstages JOSEPH FRAUNHOFER'S.

Es kann vielleicht — wenn auch wohl kaum in diesem Kreise — einer Rechtfertigung bedürftig erscheinen, dass dieser Tag zum Anlass einer Erinnerungsfeier genommen wird, welche aus dem Kreise der nächsten Fachangehörigen heraustritt. Denn es muss zugestanden werden, dass die unmittelbare Wirksamkeit dieses Mannes beschränkt geblieben ist auf ein verhältnissmässig enges Gebiet menschlichen Schaffens — im Theoretischen auf eine einzelne Disciplin der physikalischen Wissenschaft, und nach der praktischen Seite hin auf eine wenig bekannte und wenig verbreitete technische Kunst. Sie ist also direct weder sichtbar geworden in den grossen Wellen der geistigen Bewegung seiner Zeit, noch hat sie in bemerkbarem Grade gestaltend eingreifen können in die Fortentwicklung der äusseren Lebenszustände seines Volkes. Es fehlen also dieser Wirksamkeit gerade diejenigen Merkmale, nach welchen — im Allgemeinen wohl mit Recht — die Bedeutung des Einzelnen für das grössere Ganze bemessen, und sein Anspruch auf eine bleibende Stelle im Gedächtniss der Nachwelt gewöhnlich abgeschätzt wird.

Nichtsdestoweniger aber gehört FRAUNHOFER zu den Männern, welchen eine solche Stelle unzweifelhaft gebührt und welchen sie auch gesichert ist, selbst über die Grenzen unseres Volkes hinaus,





in allen denjenigen Kreisen, in denen ideale Interessen Verständniss und Werthschätzung finden.

Die Wirksamkeit dieses Mannes ist in ihrer Beschränkung so durchaus eigenartig gewesen, und sie bietet, zusammengedrängt in den kurzen Zeitraum von kaum zwei Jahrzehnten, ein so wunderbares Bild der Entfaltung reichster Geistesgaben und seltenster Thatkraft dar, dass sie schon für sich genommen, ohne alle Beziehung auf ihre Erfolge, als ein kaum übertroffenes Beispiel und Vorbild menschlicher Tugend dauernder Erinnerung aufbewahrt zu werden verdient.

Nach ihren Erfolgen bemessen aber hat diese kurze Thätigkeit in dem Gebiet, welchem sie zugewandt war, als wahrhaft schöpferisch sich erwiesen. Die Optik als technische Kunst und die ihr nächststehenden Zweige der sogenannten Präcisions-Mechanik verdanken alle Grundlagen ihrer heutigen Verfassung FRAUNHOFER. Die praktische Optik vor ihm und die nach ihm haben, in ihren besten Leistungen verglichen, kaum mehr als den Namen und die äusserliche Form ihrer Verrichtungen gemein. Alles auf diesem Arbeitsfeld hat FRAUNHOFER erneuert. Die Aufgaben und Ziele dieser Kunst haben durch ihn andere Richtung erhalten; die geistigen Hilfsmittel und die technischen Unterlagen für ihre Ausübung hat er umgestaltet; aus einem Gewerbe, welches sich bis dahin in keinem Stück über den Gesichtskreis des ehrsamem Brillenschleifers erhoben hatte, der sein frühester Vertreter war, ist unter seinem Impuls eine hochentwickelte technische Kunst geworden, welche auch heute noch dasteht als unübertroffenes Muster eines innigen Zusammenwirkens reiner Wissenschaft und praktischer Geschicklichkeit.

Und in diesen Erfolgen gewinnt nun das Wirken FRAUNHOFER's mittelbar auch die höhere Bedeutung für das Ganze, welche der enge Interessenkreis, in dem sie sich bewegt, ihr zu versagen scheint. Denn die Bestrebungen, in deren Dienst er sein Talent und seine geschickte Hand gestellt, waren alle auf dieses eine Ziel gerichtet: Vervollkommnung der Hilfsmittel, welche das tiefere Eindringen in die Geheimnisse der Natur unterstützen — der Werkzeuge des künstlichen Sehens, Fernrohr und Mikroskop, die das menschliche Auge über die Schranken erheben, welche die körperliche Organisation seiner natürlichen Leistung setzt. Diese Aufgabe hat er unbestritten mehr gefördert, als vor ihm und nach ihm ein Einzelner vermochte. Wenn aber der Aufschwung, den

die Erkenntniss der sinnlichen Natur in unserer Zeit genommen, mit sammt seinen weittragenden Folgen unzweifelhaft in erheblichem Grade abhängig gewesen ist von dem gleichzeitigen Fortschritt in der Verfeinerung der Beobachtungswerkzeuge und der Beobachtungskunst, so hat der Urheber dieses Fortschrittes ebenso unzweifelhaft Antheil an der geistigen Errungenschaft dieses Jahrhunderts.

So gewinnt also auch das stille Wirken dieses Mannes auf seinem begrenzten Arbeitsfeld die Beziehung zu den grossen Interessen der Menschheit, welche ihm das Anrecht auf ein dankbares Andenken der Nachwelt sichert.

In mehreren deutschen Städten — ausser in der Hauptstadt des Reiches, namentlich in München, dem Schauplatz der persönlichen Thätigkeit FRAUNHOFER's — wird der morgende Tag Anlass bieten, in einer Gedächtnissfeier grösseren Stils weite Kreise der lebenden Generation an seine Verdienste zu erinnern. Hier in Jena aber, wo gleichfalls die von FRAUNHOFER gross gezogenen Künste eine Stätte gefunden haben und strebsame Jünger dieser Künste in ansehnlicher Zahl vereinigt sind, muss es als eine besondere Pflicht der Pietät erscheinen, das Andenken des Mannes zu ehren, auf dessen vorbildlichem Wirken die erspriessliche Thätigkeit vieler unserer Mitbürger mittelbar beruht — in dessen Fuss-tapfen fortzuschreiten die hiesigen Vertreter der praktischen Optik ausdrücklich sich rühmen wollen.

Wollen Sie mir also gestatten, dass ich versuche, in kurzen Umrissen den Lebenslauf dieses Mannes Ihnen vorzuführen und in weiterer Ausführung des zuvor Gesagten wenigstens die Hauptmomente seiner hervorragenden Leistungen kenntlich zu machen.

JOSEPH FRAUNHOFER wurde in Straubing, einem kleinen Städtchen Niederbayerns, am 6. März des Jahres 1787 geboren. Wie so viele von unseren bedeutenden Männern, ist er hervorgegangen aus dem breiten Grunde unseres Volksthums, aus dessen urwüchsiger und ungeschwächter Kraft die Triebe für die geistige Blüthe der Nation fortdauernd sich erneuern. Sein Vater war ein armer Glasermeister, der nur unter stetem Kampf mit der Noth des Lebens seine zahlreiche Familie zu ernähren vermochte — 10 Kinder, von denen das letztgeborene unser FRAUNHOFER war. Frühzeitig zur Mithilfe bei des Vaters Arbeit gebraucht, ist ihm die Wohlthat eines geordneten Jugend-Unterrichts so gut wie ganz versagt geblieben. Selbst Lesen und Schreiben hat er in seiner Kindheit





nur nothdürftig erlernen können, und das Unglück wollte, dass er schon im 12. Lebensjahr beider Eltern durch den Tod sich beraubt sah. Als Waise wurde er, wenig über 12 Jahre alt, durch seinen Vormund einem Spiegelmacher oder Spiegelschleifer Namens Weichselberger in München übergeben, der es übernahm, ihn ohne Lehrgeld diesem jetzt gänzlich verschollenen Handwerk zuzuführen, dafür aber freilich eine sechsjährige Lehrzeit ausbedang. Bis auf das letzte halbe Jahr, welches er schliesslich seinem Meister abkaufen konnte, hat FRAUNHOFER diese Lehrzeit ausgehalten. Für ihn, den feiner organisirten Geist, ist dieser Lebensabschnitt eine Zeit peinvollster Entsagung gewesen. Nichts als rohe Handarbeit und Dienstleistungen niederster Art, ohne alle geistige Anregung, unter einem Lehrherrn, der so beschränkt und engherzig war, dass er lange Zeit nicht einmal den Besuch der Feiertagsschule dem Lehrling gestattete, das Lesen eines Buchs aber niemals dulden wollte.

Im zweiten Jahre seiner Lehre — 1801 — trat nun ein Ereigniss ein, welches, obwohl es als feindseliges Verhängniss über ihn kam, mit jähem Tod ihn bedrohend, in seinen Folgen den wohlthätigsten Einfluss auf sein Geschick geübt hat.

Das baufällige Haus Weichselbergers, im Thiereckgässchen nahe der Frauenkirche in München gelegen, brach mit sammt einem Nachbarhaus eines Tages plötzlich in sich zusammen, die Insassen unter seinen Trümmern begrabend. Der Lehrling war unter den Verschütteten. Während aber die Katastrophe mehreren von den Betroffenen das Leben kostete, blieb FRAUNHOFER wie durch ein Wunder verschont. Balken und Sparren hatten in ihrem wilden Sturz zu einem schützenden Gehäuse für ihn sich zusammengefügt, aus welchem er — allerdings erst nach vier Stunden steter Todesgefahr — schliesslich ohne gefährliche Verletzungen an das Tageslicht gebracht werden konnte.

Die mitleidige Theilnahme, zu deren Gegenstand dieses, ganz München in Aufregung versetzende Ereigniss ihn machen musste, hat FRAUNHOFER den Faden in die Hand gegeben, an welchem er später den Weg zu seinem Beruf finden sollte. — Auf der Unglücksstätte war auch der damalige Churfürst spätere König Maximilian Joseph erschienen, die bei der Ausgrabung thätigen, selbst stark gefährdeten Leute anzuspornen und den Verschütteten Muth zuzusprechen. Nach gelungener Rettung sorgte er für gute Pflege des nur leicht verletzten Knaben und beschenkte ihn nach seiner

Heilung freigebig mit 18 Dukaten. Was aber folgenreicher war — er empfahl ihn der Fürsorge eines ausgezeichneten, den technischen Künsten zugethanen Mannes, des damaligen Hofkammerrathes UTZSCHNEIDER, hierdurch die persönliche Beziehung zwischen beiden anknüpfend, welche auf die spätere glückliche Entfaltung der Talente FRAUNHOFER's den entscheidenden Einfluss geübt hat. — Aus dem Verhalten UTZSCHNEIDER's während der nächsten Jahre lässt sich entnehmen, dass bei ihm, der sich auch sonst als Menschenkenner bewährt hat, das blosser Mitleid alsbald in ein tieferes Interesse für die Person des Schützlings übergegangen ist — dass UTZSCHNEIDER in dem unscheinbaren, schwächlichen und äusserst schüchternen Handwerkslehrling, den der Zufall ihm in den Weg führte, schon damals die Regungen des aufstrebenden Geistes verstanden hat.

Die unmittelbare Wirkung der dem armen Lehrling bezugten Theilnahme war nicht gerade gross. Aus seiner Slaverei konnte sie ihn nicht befreien; der einzige Vortheil, den sie ihm dem Meister gegenüber brachte, scheint gewesen zu sein, dass dieser nunmehr den Besuch der Feiertagsschule gestatten musste, welchen FRAUNHOFER denn auch bis in sein 19. Jahr fortsetzte. Unzweifelhaft aber hat er in dem Bewusstsein solcher Theilnahme und eines für seine Begriffe reichen Besitzes aus dem Geschenk des freundlichen Churfürsten einen kräftigen inneren Halt gefunden gegen den Druck seiner augenblicklichen Lage und die Ermuthigung, schon jetzt Pläne zu verfolgen, an deren Verwirklichung er sonst wohl hätte verzweifeln müssen. Wie UTZSCHNEIDER später berichtet, hat ihm der 14jährige FRAUNHOFER gleich damals auf die Frage, was er denn mit seinen 18 Dukaten anzufangen gedenke, geantwortet, er wolle sie benutzen, um die Optik zu erlernen.

Dieser Wunsch kennzeichnet das früh erwachende Bewusstsein der Kraft zu grösseren Aufgaben, wenn er auch zunächst nicht mehr ausdrücken konnte, als die Sehnsucht nach einer Thätigkeit, die ihn von roher Handarbeit befreien und Spielraum zur Bethätigung von Nachdenken und Geschicklichkeit gewähren möchte. Einen anderen Begriff von Optik, als die ihm bekannte Arbeit des Brillenschleifers ihm an die Hand gab, konnte FRAUNHOFER damals unmöglich haben. Für den regsamen Kopf, der unter einförmiger Handarbeit seufzte, musste aber die im Technischen seiner gewohnten Hantirung verwandte, nur feinere und mannigfaltigere Verrichtung des Brillenschleifers als das nächstliegende und auch das einzig erreichbare Strebensziel erscheinen. Denn zu diesem





Gewerbe, welches jetzt gleichfalls von der Grossindustrie längst aufgesaugt ist, gehörte auch die Anfertigung jener in Pappe und Holz gefassten Fernröhre, wie man sie gelegentlich noch auf den Jahrmärkten antrifft — in deren geheimnissvollen Wirkungen der 14jährige Knabe augenscheinlich die ersten, in seinem Gesichtskreis liegenden Gegenstände des Nachsinnens gefunden hat.

In der That verwandte FRAUNHOFER den grösseren Theil des churfürstlichen Geschenkes, sich nach und nach die verschiedensten Werkzeuge für jene Arbeiten anzuschaffen, in denen er sich auch mit Unterstützung eines ihm wohlwollenden Brillenmachers die technischen Fertigkeiten aneignete, welche die Grundlage seiner späteren auf höhere Aufgaben gerichteten praktischen Geschicklichkeit bilden. Aber nur unter erschwerenden Umständen konnte er solcher Beschäftigung nachgehen. Sein Lehrherr wollte bei sich die Abschweifung vom edlen Handwerk des Spiegelmachers nicht dulden. Nur ausser dem Hause, und natürlich auch nur an den Feiertagen, konnte also FRAUNHOFER seiner Neigung folgen.

Bei der Vorbereitung auf die technischen Verrichtungen der Optik hat er es aber schon in dieser Zeit nicht bewenden lassen. Gleich in der ersten Unterredung mit UTZSCHNEIDER hatte ihm dieser — der unter Optik natürlich etwas Anderes verstand als der 14jährige Knabe dabei sich denken konnte — gesagt, dass dazu auch mancherlei wissenschaftliche Kenntnisse gehörten — Algebra und Geometrie und Physik — und hatte ihm nachher, auf sein Drängen, wiederholt Bücher aus diesen Fächern gegeben — zu Anfang vermuthlich eher gewärtig, eine Entmuthigung als eine Hilfe herbeizuführen. Später, als er die Fortschritte seines Schützlings sah, hat er ihn auch an einen Professor SCHIEGG in München empfohlen, der ihm bereitwillig Winke und Rathschläge für die Fortsetzung seines Selbststudiums gegeben hat.

Unter den Augen seines Lehrmeisters durfte FRAUNHOFER Beschäftigung mit Büchern vollends nicht wagen; sie hätten nach dessen Meinung den Lehrling noch unbrauchbarer zur Arbeit gemacht, als er ihm ohnehin schon schien. Seine Kammer aber war ohne Fenster, und Licht durfte er darin niemals haben. So blieb also FRAUNHOFER zum Studiren keine andere Gelegenheit, als in der freien Natur; wie er später selbst erzählte, hat er an den Feiertagsnachmittagen auf einer Wiese vor dem Carlsthor in München, die jetzt zum botanischen Garten gehört, unter einem Baum sitzend,

Geometrie und Algebra und die optischen Schriften von KÄSTNER, KLUGEL und EULER studirt.

Unter den vielen erstaunlichen Leistungen des seltenen Mannes ist diese, seine früheste, ohne Zweifel die erstaunlichste: dass er, der kaum des Schreibens und Lesens mächtig, die ganze Woche zu einförmiger Handarbeit angehalten, auf die knappe Zeit beschränkt, die Anderen zur Erholung kaum ausreichend ist, ohne irgend eine Vorbildung und ohne mündliche Unterweisung all der schwierigen und verwickelten Materien Herr geworden ist, welche zu kennen sein selbst gestecktes Ziel ihm auferlegte — und zwar so vollständig Herr geworden, dass er wenige Jahre später das gelehrt Rüstzeug der mathematischen Optik schon frei und selbstständig zu handhaben verstand — dass er, noch nicht 20 Jahre alt, eine schwierige mathematische Studie über die Wirkungen parabolischer und hyperbolischer Spiegel abfassen konnte und im 28. Lebensjahre eine grosse und mustergültige physikalische Untersuchung — die berühmte Arbeit über das Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögen der Glasarten — die ihn alsbald an die Seite der angesehensten Gelehrten stellte, den Zeitgenossen vorzulegen vermochte.

In der Geschichte der Wissenschaften gibt es wenig Beispiele, welche solche geistige Kraft mit solcher alle Hindernisse besiegenden Ausdauer gepaart zeigen.

Unter den geschilderten Anstrengungen zur Vorbereitung auf einen besseren Beruf, kam für den armen Spiegelmacher das Ende der Lehrzeit im Frühjahr 1805 endlich heran; das letzte halbe Jahr hat er mit dem Rest seiner 18 Dukaten, wie schon erwähnt, dem Lehrherrn abgekauft. Um sein eigener Herr bleiben und seinen Neigungen endlich freier folgen zu können, versuchte er es, ausserhalb seines Handwerks den Lebensunterhalt zu gewinnen. Er hatte — gleichfalls ohne fremde Anleitung — im Metallgraviren sich geübt und es auch hierin zu bemerkenswerther Fertigkeit gebracht — wie die von ihm eigenhändig gestochenen Kupfertafeln zu seinen späteren wissenschaftlichen Abhandlungen erkennen lassen. Diese Fertigkeit glaubte er zum Broderwerb verwerthen zu können, indem er zierlich gestochene Metallstempel zu Visitenkarten anfertigte und zum Verkauf bot. Unter der Ungunst der damaligen kriegerischen Zeitläufte gelang es ihm aber nicht, für solche Luxusdinge genügende Abnahme zu finden; um bitterer Noth zu entgehen, musste er sich widerwillig entschliessen, als Handwerks-





geselle zur Spiegelmacherei zurückzukehren. Diese letzte Episode seiner entbehrungsreichen Jugendzeit hat aber glücklicher Weise nur kurze Zeit gedauert. Schon das folgende Jahr, 1807, bezeichnet den Wendepunkt seines Geschickes, von wo an die Entfaltung seines Talentes ihn für das weitere Leben aller äusseren Sorgen überhebt.

An diesem Wendepunkt tritt wieder derselbe Mann auf, der schon dem verlassenen Lehrling die ersten Winke nach dem richtigen Weg gegeben hatte. Wo FRAUNHOFER's Andenken gefeiert wird, muss auch JOSEPH UTZSCHNEIDER's in ehrender Erinnerung gedacht werden; denn ihm gebührt das Verdienst, FRAUNHOFER an den richtigen Platz gestellt zu haben.

UTZSCHNEIDER war ein Mann von ausserordentlichen Fähigkeiten und ganz merkwürdiger Vielseitigkeit — gelehrt und welt erfahren, beseelt von kühnem Unternehmungsgeist und ein organisatorisches Talent ersten Ranges; was aber vor Allem zu seinem Ruhm gesagt sein muss — er war ein Mann frei von Selbstsucht, von wahrhaft hochherziger Gesinnung. — In einem vielbewegten, fast abenteuerlichen Lebenslauf hat er den verschiedenartigsten Interessen mit gleicher Hingabe und gleicher Geschicklichkeit gedient. Alles mögliche ist er der Reihe nach gewesen — Diplomat und Professor, Verwaltungsbeamter in den verschiedensten Zweigen des Staatsdienstes, Vorsteher der politechnischen Schule, Bürgermeister von München, Geschäftsmann und noch Einiges mehr. Zu wiederholten Malen ist er mit hohen Stellungen im bairischen Staatsdienst bekleidet gewesen, bald in der Landeskultur, bald im Steuerwesen — bald die Salinenverwaltung, bald das Katasterwesen von Grund aus reformirend.

Dazwischen durch und nachher wieder hat er als Privatmann grosse industrielle Unternehmungen der mannigfachsten Art begonnen und mit glücklicher Hand geleitet. — Mehrere wichtige Industriezweige hat er zum dauernden Vortheil des bairischen Landes dort eingeführt. In allem Wechsel seiner Thätigkeit ist aber der bleibende Zug sein Interesse für die mechanische Kunst. Er ist der Urheber der kühnen, vielbewunderten Salinenbauten zwischen Reichenhall, Berchtesgaden und Rosenheim, welche noch heutigen Tages bestehen; die Idee dieser Anlagen, die dann REICHENBACH im Einzelnen ausgeführt hat, rührt von ihm her.

Diesem Interesse für die Mechanik folgend, war UTZSCHNEIDER im Jahre 1804 eine Verbindung eingegangen mit dem bekannten

Mechaniker REICHENBACH und einem Uhrmacher Liebherr, zur Gründung eines mathematisch-mechanischen Instituts in München — einer Werkstätte für den Bau astronomischer und geodätischer Instrumente — mit dem ausgesprochenen Zweck, dieser Deutschland ganz verloren gegangenen Kunst in München wieder eine Stätte zu bereiten. Dank dem Erfindungsgeist REICHENBACH's hatte das Unternehmen auf dem Gebiet mechanischer Constructionen schon grosse Erfolge erzielt; die optische Ausrüstung der gebauten neuen Instrumente schien aber auf unüberwindliche Hindernisse zu stossen — obwohl UTZSCHNEIDER, freigebig und über grosse Mittel verfügend, nicht nur einen für tüchtig angesehenen Optiker, den Münchener Niggel für das Institut gewonnen, sondern auch den Schweizer Guinand — den Ersten, welcher Glas speziell für optische Zwecke zu schmelzen unternahm — in seinen Dienst gezogen hatte. Aber in Allem was das Glas betraf, sowohl dessen Erzeugung wie dessen Bearbeitung, war mit den zur Verfügung stehenden Kräften nicht über die gewöhnlichste Mittelmässigkeit hinauszukommen.

In dieser Zeit erinnerte sich nun UTZSCHNEIDER seines früheren Schützlings, den er unter der Arbeitslast seiner vielfältigen Geschäfte und unter dem Kriegslärm dieser Jahre, wie es scheint, längere Zeit ganz aus dem Auge verloren hatte. Sei es, dass UTZSCHNEIDER FRAUNHOFER aufsuchen liess, sei es, dass dieser selbst bei dem mathematischen Institut um Beschäftigung nachgefragt hat — kurz, er wurde im Beginn des Jahres 1807 in diese Werkstätte aufgenommen. Zu Anfang war er hier in ganz untergeordneter Stellung, als Gehülfe dem Optiker Niggel beigegeben. REICHENBACH soll aber schon nach Verlauf von wenigen Tagen UTZSCHNEIDER gegenüber mit Bezug auf den erst 20jährigen FRAUNHOFER geäussert haben: „Das ist der Mann, der uns bis jetzt gefehlt hat!“

Nach Ablauf des ersten Jahres wurde denn auch schon FRAUNHOFER die selbständige Leitung der gesammten optischen Arbeiten übertragen. Die Werkstätte wurde zu dieser Zeit von München nach dem nahen Benedictbeuren verlegt in die Räumlichkeiten einer ehemaligen Abtei, welche UTZSCHNEIDER angekauft hatte und in denen bis dahin der Glasschmelzer Guinand mit sehr zweifelhaftem Erfolg allein wirthschaftete. Die Verlegung sollte FRAUNHOFER die Möglichkeit gewähren, auch diese Arbeiten unter seine Obhut zu nehmen.

Hiermit beginnt nun die denkwürdige Epoche des Zusammenwirkens dieser drei in ihrer Art gleich ausgezeichneten Männer —





des geschickten und kühnen Organisators mit den beiden genialen Erfindern, REICHENBACH und FRAUNHOFER. Der geistige Zusammenhang zwischen den beiden letzteren und ihre fruchtbare Wechselwirkung haben fortbestanden, auch nachdem 8 Jahre später mit dem wachsenden Umfang der Unternehmungen REICHENBACH sich äusserlich von den beiden Genossen getrennt und die mechanische Abtheilung des Instituts selbständig übernommen hatte.

Im Laufe von noch nicht ganz zwei Jahrzehnten hat dieses denkwürdige Zusammenwirken die mechanische Kunst von Grund auf reformirt — ihre Aufgaben und Ziele ungleich höher gestellt, als sie zuvor gefasst worden waren und ihr neue Wege eröffnet, solche höhere Aufgaben erfüllen zu können. Der Wissenschaft hat diese Reform unschätzbare Dienste geleistet — in erster Reihe der astronomischen Forschung und den ihr nächststehenden beobachtenden und messenden Disciplinen.

Während REICHENBACH's erfinderischer Scharfsinn fast alle der eigentlichen Messung dienenden Werkzeuge in ihrem ganzen Aufbau umgestaltete, für feinere Verwendung sie geeignet machte und mit zahlreichen neuen Hilfsmitteln ausrüstete, vermochte FRAUNHOFER durch eine noch tiefer greifende Reform des Arbeitsverfahrens seines Gebietes die optischen Mittel der Beobachtungskunst auf eine vorher unerreichte und kaum geahnte Höhe der Leistung zu erheben.

Der Dorpater Refractor und das Königsberger Heliometer — die letzten und berühmtesten von seinen eigenen Werken — sind auf lange Zeit unübertroffene Vorbilder der optischen Kunst geblieben; der Gewinn aber, welchen diese Werke — ganz abgesehen noch von ihrem vorbildlichen Einfluss — unmittelbar der Wissenschaft gebracht haben, kann nicht besser bezeugt werden, als durch die wichtigen zum Theil bahnbrechenden Untersuchungen, welche Astronomen wie STRUVE und BESSEL mit Hilfe dieser Instrumente durchzuführen in den Stand gesetzt waren.

Indess muss auch noch nach einer ganz andern Seite hin den Werken dieser Männer ein hohes Verdienst beigemessen werden. — Bis auf REICHENBACH und FRAUNHOFER hat die mechanische Kunst in ihren edelsten, den Wissenschaften dienenden Bethätigungsformen in Deutschland nirgends Pflege gefunden, nachdem ihre frühere Blüthe in Nürnberg [seit Jahrhunderten vergangen war].

Alles was unter den Namen „wissenschaftliche Instrumente“ fiel, konnte bis dahin, wenn es über das allgewöhnlichste hinaus-

ging, nur aus Paris und London beschafft werden. Mit dem Aufblühen des neuen Münchener Instituts war diese Sachlage so vollständig verändert, dass schon vom Beginn des zweiten Jahrzehntes in diesem Jahrhundert an die deutsche Industrie in diesem Punkt des unbestrittenen Vorrangs sich rühmen durfte. München selbst ist auf Jahrzehnte hinaus die Hauptstätte des Instrumentenbaues für die ganze wissenschaftliche Welt geblieben. Der von hier ausgehende und fortwirkende Impuls hat aber gleichgerichtete Bestrebungen in den verschiedensten Theilen Deutschlands angeregt und kräftig gestützt. Ein allgemeiner und nachhaltiger Aufschwung der feineren mechanischen Künste in Deutschland war die natürliche Wirkung des in München errungenen Erfolges; und bis auf den heutigen Tag haben seitdem in allen Zweigen der wissenschaftlichen Industrie die Deutschen eine angesehene Stelle, in einigen sogar einen anerkannten Vorsprung behauptet.

Die dauernde Blüthe dieser, wie man sie nennt „exacten Künste“ hat unserem Lande ohne Zweifel nicht nur namhafte wirtschaftliche Vortheile eingebracht, sondern auch der deutschen Wissenschaft einen werthvollen Rückhalt geschaffen; und diejenigen Männer, welche diese Blüthe gross gezogen haben, verdienen also auch unter dem vaterländischen Gesichtspunkt Dank und Anerkennung. Wenn berechtigter Stolz auf die erfolgreiche Theilnahme des eigenen Volkes an der Beförderung grosser Culturinteressen eine zweifellos gute und würdige Art des Nationalstolzes und nationalen Ehrgeizes ist, so darf bei einer Gedenkfeier FRAUNHOFER's auch die Genugthuung darüber rückhaltlos Ausdruck finden, dass durch ihn unserem Volke solche neue Wege gewiesen und angebahnt sind, auf denen es seine natürlichen Anlagen und die Vortheile seines gehobenen Bildungsstandes im friedlichen Wettstreit der Nationen mit Ehren zur Geltung bringen kann.

Der rasche Aufschwung des UTZSCHNEIDER-REICHENBACH'schen Instituts hat den ferneren Lebensweg FRAUNHOFER's vollkommen geebnet. Seine äussere Lage wurde bald eine sehr günstige, ja glänzende. Schon 1809 nahmen ihn die beiden Genannten nach dem Ausscheiden Liebherr's als Theilhaber in ihre Gesellschaft auf, und von UTZSCHNEIDER erhielt er zur Anerkennung seiner glänzenden Erfolge ein Kapital von 10 000 Gulden als Ehrengabe. Was aber belangerreicher ist, und den weiten Blick UTZSCHNEIDER's sowie seinen über allen engherzigen Geschäftsgeist erhabenen Sinn noch deutlicher kennzeichnet: er erhielt von Anfang an volle Frei-





heit in der Art seiner Bethätigung — eingeschränkt nur durch die Pflicht, den stetig wachsenden optischen Betrieb der Werkstätte (die zuletzt über 50 Leute in Thätigkeit hatte) in allen Stücken zu leiten — die denkbar günstigsten Bedingungen also für die Entfaltung seiner Fähigkeiten.

Und diese Entfaltung zeitigt nun in rascher Folge eine Fülle originaler Leistungen mannigfachster Art, welche praktischen Scharfsinn, Kraft des Denkens, Erfindungsgabe und hohen wissenschaftlichen Sinn in gleichem Grade bekunden.

Ich kann nicht versuchen wollen, diese Leistungen im Einzelnen aufzuführen; ihre Darstellung fällt beinahe zusammen mit einer Geschichte der Optik während des ersten Viertels unseres Jahrhunderts — in welcher von hervorragenden Arbeiten Anderer fast nur diejenigen von YOUNG und FRESNEL, die ausschliesslich auf die Theorie des Lichtes Bezug haben, fehlen würden. Nur einige Hauptpunkte also kann ich flüchtig hier berühren.

Zunächst auf die Verbesserung der Technik der optischen Arbeit hingewiesen, ersinnt FRAUNHOFER neue Maschinen und Werkzeuge zum Schleifen und Poliren der Linsengläser, neue Arbeitsmethoden und zahlreiche scharfsinnig combinirte Apparate und Verfahrensweisen zur genauen Prüfung und Controlle der technischen Arbeit — Alles planvoll auf den einen Zweck gerichtet: das Arbeitsverfahren der praktischen Optik aus der Tradition des Brillenschleifers herauszubringen und an Stelle der bis dahin geübten rohen ausschliesslich auf die unsichere Geschicklichkeit der arbeitenden Hand basirten Behandlung des Glases eine Gestaltgebung zu setzen, welche eine vollkommene Verwirklichung strenger mathematischer Formen — von denen die beabsichtigte Wirkung der Linsengläser abhängt — gewährleisten könnte. Als ein in dieser Richtung liegendes und besonders prägnantes Beispiel erwähne ich die sinnreiche Methode zur strengen Prüfung sphärischer und ebener Flächen mit Hilfe der sogenannten Farben dünner Plättchen — jener Erscheinung, die aus dem bunten Farbenspiel der Seifenblasen Jedem bekannt ist. Diese alltägliche Erscheinung hat FRAUNHOFER, indem er sie hervorrief und verfolgte an den dünnen Luftschichten, die beim Ineinanderlegen polirter Glasflächen von nahe übereinstimmender Krümmung sich bilden, zum feinsten Hilfsmittel der Gestaltprüfung optischer Flächen gemacht. Er gewann in jenem Farbenspiel einen automatisch arbeitenden Maassstab, einen körperlosen Taster, welcher Abweichungen einer Fläche von ihrer

idealen Form ganz unmittelbar durch die Länge der Lichtwellen zum Ausdruck bringt und eine solche Empfindlichkeit darbietet, dass sogar kleine Bruchtheile von einer Lichtwelle — von denen doch gegen 2000 auf dem Raum eines einzigen Millimeters Platz haben — noch sicher beobachtet werden können. Von meinen Zuhörern kennen viele aus täglicher Uebung diese Methode, welche, weit davon entfernt, der geschickten Hand etwa ihren Werth zu rauben, eine fast wunderbar exacte Formgebung beim Glase gerade dadurch möglich macht, dass Hand und Auge durch sie eine sichere Leitung gewinnen.

Zu den wichtigsten Leistungen FRAUNHOFER's auf technischem Gebiet gehört aber vor Allem auch die Darstellung von Glas in der eine feinere optische Verwendung ermöglichenden Beschaffenheit. Die Idee des hierzu führenden Verfahrens rührt wohl von dem früher schon genannten Schweizer Guinand her; Thatsache aber ist, dass FRAUNHOFER der Erste war, dem es wirklich gelang, Crown- und Flintglas von solcher Gleichförmigkeit der Lichtbrechung zu erzeugen, dass die Ausführung grösserer Fernröhre mit Erfolg unternommen werden konnte. UTZSCHNEIDER berichtet über die zeitraubenden und ausnehmend anstrengenden Versuche, welche FRAUNHOFER in Benedictbeuern persönlich durchführen musste, um dem Mangel an brauchbarem optischen Glas abzuhelpen, der trotz Guinand's langjährigen Experimentirens noch alle Fortschritte zu hemmen drohte. Man muss aber Gelegenheit gehabt haben, selbst dieser Aufgabe näher zu treten, um ermessen zu können, welche Schwierigkeiten hier für ihn zu überwinden, was für Hindernisse zu besiegen waren in einer Zeit, der noch alle die Behelfe der Chemie und der Mechanik fehlten, welche heute eine hochentwickelte Industrie solchen Unternehmungen zur Verfügung stellt.

Was nach diesen verschiedenen Richtungen hin FRAUNHOFER der praktischen Optik an neuen Hilfsmitteln zuführte, hat zwar in der Zwischenzeit bis heute noch manche Vermehrungen und Verbesserungen im Einzelnen erfahren, namentlich seit das astronomische Fernrohr allmählich zu immer grösseren Dimensionen fortgeschritten ist; in der Hauptsache aber sind diese Hilfsmittel bis auf den heutigen Tag die Grundlage aller feineren optischen Technik geblieben — in solchem Grade, dass sich sogar in den meisten Neuerungen die Anknüpfung an FRAUNHOFER'sche Ideen wiedererkennen lässt. Es hat allerdings längere Zeit gedauert, bis alle diese Errungenschaften wirklich Gemeingut geworden sind.





Das geschäftliche Interesse des Münchener Instituts legte eine begriffliche Zurückhaltung der Verbreitung solcher Erfahrungen auf, welche für den Betrieb eine directe Bedeutung besaßen und den Vorsprung der dortigen Werkstätte begründeten. Nach dem Tode FRAUNHOFER's und der bald darauf folgenden Loslösung UTZSCHNEIDER's von dem Unternehmen ist aber von Seiten der Nachfolger hierin besonders ängstlich verfahren worden. Wichtige Ergebnisse aus FRAUNHOFER's Arbeiten sind auf lange Zeit secretirt geblieben — dabei ist leider auch Manches, was bei seinem Tode noch im Werden begriffen war, augenscheinlich ganz verloren gegangen. Unter diesen Umständen haben seine praktischen Erfindungen nicht sowohl direct Verbreitung gefunden, als vielmehr hauptsächlich durch die Erzeugnisse, zu denen sie führten — insofern deren Ueberlegenheit für viele andere kräftige Antriebe schaffte, die ihr zu Grunde liegenden Arbeitsmethoden aus unbestimmten Andeutungen, halb errathend, zu reconstruiren, theilweise auch selbständig nachzuerfinden. Nichts aber könnte deutlicher sprechen für die erschöpfende Vollständigkeit, mit welcher FRAUNHOFER seine Aufgabe behandelt und für die Folgerichtigkeit, mit welcher er sein Arbeitsverfahren den jeweiligen Zwecken angepasst hat, als die Thatsache, dass bis 50 Jahre nach seinem Tode das Beste, was die Nachstrebenden auf jenem Wege eines mehr oder minder selbständigen Nacherfindens ersonnen haben, hinterher immer als das befunden wurde, was FRAUNHOFER selbst schon in Anwendung gebracht hatte. In diesem Sinne kann ich also zu Ehren FRAUNHOFER's hier auch erwähnen, dass unter meinen Zuhörern heute Abend Einer ist, der sich rühmen darf, mit dem grossen Meister in Wettbewerb getreten zu sein, durch die vollkommen selbständige Wiedererfindung der vorhin genannten sinnreichen Methode zur Herstellung streng richtiger Kugelkrümmungen mit Hilfe der NEWTON'schen Farben.

Der verdiente Lehrmeister der hiesigen Optiker, unser August Löber, hat, indem er diese selbige Methode von sich aus hier einführte, zu einer Zeit, als das FRAUNHOFER'sche Verfahren ausserhalb Münchens noch nicht bekannt war, unbewusst den Beweis erbracht, dass auch auf dem Gebiete der Mikroskop-Optik, welches FRAUNHOFER selbst nur wenig cultivirte, jeder erfolgreiche Anlauf zur Verfeinerung der Technik und zur Vervollkommnung der Leistungen in die Wege FRAUNHOFER's einmünden musste.

Was ich bis jetzt berührt habe, liegt wesentlich auf dem Gebiete des Technischen. Nicht minder folgenreich, in ihrer allgemeinen Bedeutung aber zweifellos höher stehend, sind nun diejenigen Bestrebungen FRAUNHOFER's, die auf dem Boden der Wissenschaft sich bewegen. Sie kommen gleichfalls in zahlreichen Einzelarbeiten zur Erscheinung, welche bald dieses, bald jenes besondere Problem betreffen. Diese sind aber sämmtlich durch einen leitenden Gedanken verknüpft, der seine ganze Thätigkeit vom Beginne seines selbständigen Wirkens an augenscheinlich beherrscht hat. Es ist die Idee: die praktische Ausführung der Linsencombinationen, welche eine bestimmte Art von Wirkungen — z. B. die des Fernrohrs — hervorbringen sollen, zu gründen auf eine vollständige, alle Einzelheiten dieser Wirkung umfassende Vorausbestimmung derselben, welche für die Technik nur die möglichst strenge Verwirklichung der vorausbestimmten Elemente dieser Wirkung als einzige Aufgabe übrig lassen sollte. Mit dieser Idee hat sich FRAUNHOFER in einen bewussten grundsätzlichen Gegensatz gestellt zu der bis dahin als selbstverständlich geltenden Behandlung aller praktischen Aufgaben nicht nur in der Optik, sondern in allen Gebieten der sogenannten angewandten Wissenschaft. In der Optik stand bis dahin auch für die besten von FRAUNHOFER's Vorgängern, z. B. einen DOLLOND, die Aufgabe so: Gegeben sind durchsichtige Stücke von Crown- und Flintglas von verschiedener Farbenzerstreuung. Die Theorie der Optik lehrt, dass es geometrische Formen geben muss — die bekannten Gestalten der Sammel- und Zerstreuungslinsen — bei welchen zwei solche Glasstücke, mit einander verbunden, die Fähigkeit erhalten, von lichtstrahlenden Gegenständen vollkommen scharfe Bilder zu entwerfen — und diese Theorie gibt auch im Allgemeinen die Linsengestalten an, mit welchen dieser Erfolg eintritt. Es ist nun Sache des erfahrenen und geschickten ausübenden Optikers, die richtigen Gestalten der Linsen im Einzelnen zu finden, indem er von Fall zu Fall die Wirkung des Ausgeführten prüft und durch angemessene Abänderung die vollkommenste Wirkung herbeizuführen sucht.

Im Gegensatz hierzu sagt nun FRAUNHOFER: Wenn es nur gelingt, den zu Grunde liegenden Vorgang der Lichtbrechung genügend vollständig in der Theorie zu verfolgen, und alle Umstände, welche dabei maassgebend sind, scharf zu definiren, so muss es möglich sein, die sämmtlichen Bedingungen, von welchen die gesuchte Wirkung abhängt — also die genaue geometrische Form





jener Glasstücke und ihre sonstigen Abmessungen — in allen Einzelheiten zum Voraus festzustellen — also die ganze Aufgabe schon im Geiste zu vollenden — und es braucht dann die praktische Kunst nichts Anderes zu leisten, als die möglichst strenge Verwirklichung dieser theoretisch festgestellten Bedingungen.

Dieser Gedanke, körperliche Gebilde, bei welchen die Gestalt nicht wie etwa bei einem Bauwerk an sich maassgebend ist, sondern als Bedingung einer daran geknüpften sehr verwickelten physikalischen Wirkung in Geltung tritt, doch auf dieselbe Art zu erzeugen, wie der Architekt das Bauwerk schafft — der bildenden Hand nur die Verkörperung der vollendeten Idee überlassend — dieser Gedanke war für die damalige Zeit ein absolutes Novum. Der Gegenwart ist er freilich nicht mehr so fremd; denn inzwischen hat er auch ausserhalb der Optik auf manchen Gebieten der angewandten Wissenschaft — vor Allem im Maschinenbau wie in der Elektrotechnik — sich Bahn gebrochen und in den erreichten Erfolgen die Kraft FRAUNHOFER'scher Ideen bewährt. Für die Optik aber ist er von FRAUNHOFER an der Leitern jedes Fortschrittes geblieben. Je mehr die Aufgaben sich verfeinerten und je verwickelter damit die Bedingungen wurden, welche für den Erfolg maassgebend sind, desto mehr ist die Ueberlegenheit der auf die Theorie gegründeten Praxis über die alte Empirie zur Geltung gekommen. Jeder wirkliche Fortschritt auf diesem Gebiete ist — auch da, wo er nicht direct in FRAUNHOFER's Arbeiten vorbereitet war, auf dessen Wegen zu Stande gekommen; der Empirie ist nur das Nachahmen offen geblieben.

Alle Grundlagen für die Verwirklichung jenes Gedankens aber hat FRAUNHOFER selbst erst schaffen müssen. Die Verfassung der Optik der damaligen Zeit war auch in den wissenschaftlichen Erkenntnissen, die auf den Gegenstand Bezug haben, soweit davon entfernt, dieser Idee entgegen zu kommen, geschweige denn sie etwa nahe zu legen, dass vielmehr umgekehrt diese Idee erst den Impuls gegeben hat zu den wichtigen Untersuchungen, durch welche FRAUNHOFER auch die wissenschaftliche Optik bereichern konnte.

FRAUNHOFER musste nicht nur die Theorie der Optik über die Wirkungsart der Linsengläser und die Erzeugung optischer Bilder, nach ihrer mathematischen Seite hin, wesentlich vertiefen — er musste vor Allem auch die Grundphänomene der Lichtbrechung und der Farbenzerstreuung des Lichtes in durchsichtigen Körpern

physikalisch viel schärfer bestimmen, um eine genügend sichere und vollständige Vorausberechnung der Wirkungen einer Linsencombination überhaupt zu ermöglichen.

Aus diesem letzteren ganz planvoll verfolgten Bestreben ist unmittelbar die berühmte Entdeckung der nach seinem Namen benannten dunkeln Linien im Sonnenspectrum hervorgegangen, welche er im Jahre 1815 der Münchener Academie vorlegte. Sie hat zuerst die Mittel an die Hand gegeben, alle Vorgänge der Lichtbrechung in allen ihren Modificationen so scharf zu bestimmen, dass die Wirkungsweise jedes optischen Instruments aus seinen Constructionselementen zum Voraus, bevor es noch körperlich existirt, erschöpfend festgestellt werden kann.

Noch ein zweites Mal haben die praktischen Probleme FRAUNHOFER's auf physikalische Untersuchungen von hoher wissenschaftlicher Bedeutung geführt. Zu einer grossen Abhandlung, die er unter dem Titel: „Neue Modificationen des Lichts“ im Jahre 1821 wiederum der Münchener Academie übergab, deren Mitglied er inzwischen selbst geworden war, hat er in einer mustergültigen Experimentaluntersuchung gewisse Grundphänomene der sogenannten Beugung des Lichts genau festgestellt, welche alle Erscheinungen auf eine Wellenbewegung zurückführt, und mit ihrer Hilfe zum ersten Male eine sichere numerische Bestimmung der Länge der Lichtwellen durchgeführt — und zwar mit solcher Exactheit, dass es erst in der jüngsten Vergangenheit möglich gewesen ist, die von ihm festgestellten Ergebnisse in kleinen Details noch zu verbessern. Auch bei dieser Untersuchung, die in ihren Endergebnissen nur noch eine sehr entfernte Beziehung zu FRAUNHOFER's praktischen Problemen verräth, ist der subjective Zusammenhang mit diesen aus mehreren Anzeichen deutlich zu erkennen.

Die Tragweite dieser auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Optik liegenden Arbeiten reicht weit hinaus über die Zwecke, in deren Interesse sie begonnen wurden. Denn in den Entdeckungen über das Sonnenspectrum und den in Anschluss hieran schon von FRAUNHOFER selbst gegebenen Festsetzungen über das Auftreten heller Linien in dem Spectrum von leuchtenden Flammen, über deren genaues Zusammenfallen mit einer dunkeln Linie im Sonnenspectrum — über die Verschiedenheit der Spectren verschiedener Fixsterne u. A. — sind zugestandener Maassen die unmittelbaren Keime und auch die wesentlichsten thatsächlichen Unterlagen ent-





halten für die grosse Erweiterung des wissenschaftlichen Gesichtskreises, welche 40 Jahre nachher die Arbeiten eines KIRCHHOFF und BUNSEN herbeigeführt haben. Und die andere vorhin erwähnte Untersuchung über die Beugung des Lichts hat in nicht minderm Grade Bedeutung für die reine Wissenschaft, weil sie der Undulationstheorie des Lichts wichtige Stützen geliefert und die strenge Durchführung ihrer Folgerungen [auf dem Wege der Messung] wesentlich befördert hat.

In den Resultaten von FRAUNHOFER'S wissenschaftlichen Werken ist also der Zusammenhang mit praktischen Problemen gänzlich verwischt. Um aber diesen Werken vollkommen gerecht zu werden, muss man sie zurückversetzen auf den Boden, auf welchem sie gewachsen sind. FRAUNHOFER hat nicht als Gelehrter gearbeitet, nicht in dem Berufe, unmittelbar die wissenschaftliche Erkenntnis zu fördern. Sein Arbeitsplatz war nicht ein physikalisches Laboratorium, sondern eine Werkstatt. Vor FRAUNHOFER und nach FRAUNHOFER hat die Wissenschaft durch die Arbeit Einzelner wohl mehrfach gleich grosse oder selbst grössere Erweiterung als durch ihn erfahren. Aber nur dieses eine Mal ist es geschehen, dass Aufgaben, welche ihrem Wesen nach auf dem Gebiete praktischer Interessen liegen, auf diesem Gebiete selbst in so hohem wissenschaftlichen Geist behandelt worden sind, dass der Nebenerfolg ihrer Bearbeitung eine grosse Bereicherung der Wissenschaft war.

Ich nähere mich nun dem Ziele meiner heutigen Aufgabe. Denn der biographische Bericht über den letzten Lebensabschnitt FRAUNHOFER'S verlangt nur wenig Worte. Bemerkenswerthe äussere Ereignisse sind nicht mehr zu erzählen, ausser dass im Jahre 1819 das UTSCHNEIDER-FRAUNHOFER'SCHE Institut von Benedictbeuern wieder nach München zurückverlegt wurde und FRAUNHOFER von da ab in dieser Stadt seinen dauernden Wohnsitz behalten hat. Da er nicht verheirathet war, so fehlen die engeren Beziehungen, welche die Familie mit der Umgebung anknüpft. Der ganze Inhalt seines späteren Lebens war Wirken auf dem vorhin geschilderten Arbeitsfeld.

In seinem menschlichen Charakter steht FRAUNHOFER ebenso hoch wie in seinen Leistungen. Er war im höchsten Maasse selbstlos — trotz seiner grossen Verdienste, die auch bei seinen Lebzeiten volle Anerkennung fanden, ein Muster von Anspruchslosigkeit. Man sagt von ihm, er habe keinen Feind gehabt.

Leider hat das Schicksal seinem verdienstvollen Wirken nur eine kurze Spanne Zeit gegönnt. Die ohnehin nicht kräftige Constitution, die wohl auch von den Entbehrungen der harten Jugend nicht unberührt geblieben ist, vermochte jener intensiven geistigen und körperlichen Thätigkeit nicht für lange Zeit Stand zu halten. Schon bald nach dem Jahre 1820 traten die Symptome gefährlichen Lungenleidens hervor, dem er einige Jahre nachher auch erlegen ist. Er starb am 7. Juli 1826, nur wenig über 39 Jahre alt. Von einem längeren Krankenlager ist er verschont geblieben; die wohlthätigen Illusionen, mit denen die heimtückische Krankheit ihre Opfer zu blinden pflegt, haben auch ihm die letzte Krise erleichtert; denn bis wenige Tage vor seinem Hinscheiden hat er die Hoffnung nicht aufgegeben, durch eine längst geplante Reise nach dem milden Klima des Südens wieder volle Genesung zu finden.

Ein eigenthümliches Verhängniss hat es gewollt, dass die beiden Männer, deren persönlichem Zusammenwirken die mechanische Kunst so viel verdankt, beide fast gleichzeitig aus dem Leben schieden. Der 15 Jahre ältere REICHENBACH war FRAUNHOFER wenige Tage im Tode vorangegangen. So ruhen nun beide Männer auf dem Münchener Kirchhof dicht bei einander.

Die Stadt München hat das Andenken eines ihrer besten Bürger durch die schöne Bildsäule geehrt, deren Abbild heute diesen Hörsaal schmückt. Die treffendste Würdigung der Bedeutung des Mannes aber, welche Worte ausdrücken können, hat UTSCHNEIDER ausgesprochen, indem er auf den Grabstein des Freundes als einzige Inschrift setzen liess:

approximavit sidera!

Die Gestirne hat er uns näher gerückt!

Der frühzeitige Tod FRAUNHOFER'S war für die praktische wie für die wissenschaftliche Optik ein unersetzlicher Verlust. Weittragende Ideen, die er in den letzten Lebensjahren verfolgt hat, deren Verwirklichung die Optik noch um Jahrzehnte weiter vorwärts gebracht haben würde, sind erweislich mit ihm zu Grabe gegangen. Die Arbeit zweier nachfolgender Generationen ist erforderlich gewesen, die Wege wieder aufzufinden, die er schon angebahnt hatte, um neue Aufgaben ihrer Lösung entgegenzuführen. Es betrifft dieses ganz besonders das Problem des optischen Glases. Schon seine erste grosse Arbeit über das Sonnenspectrum enthält die Anzeichen dafür — wenn diese Anzeichen auch erst viel später ganz verstanden worden sind — dass er auch diese fundamentale





Aufgabe der praktischen Optik unter ganz neuen Gesichtspunkten zu bearbeiten begonnen hat —, dass er schon dazu fortgeschritten war, auch das Arbeitsmaterial der Optik, das Glas, nicht mehr als etwas traditionell Gegebenes zu betrachten, sondern seine Erzeugung selbst unter den Anspruch einer planmässigen Anpassung an die einzelnen Zwecke der Optik zu stellen — und dass er auch schon mehrere wertvolle Unterlagen für die praktische Lösung dieser Aufgabe gewonnen hatte. Beinahe 60 Jahre nach seinem Tode erst hat — nach mehreren vergeblichen Anläufen — diese Aufgabe in FRAUNHOFER'schem Sinne ihre Erfüllung gefunden. So ist auch der Erfolg der jahrelangen Arbeit unseres verdienten Mitbürgers OTTO SCHOTT thatsächlich der unverwelkliche Lorbeerzweig auf das Grab FRAUNHOFER's, den an seinem 100jährigen Geburtstag unser Jena dem Andenken des grossen Meisters der Optik widmen darf.

## XXX.

## Nachruf auf Carl Zeiss.

Gehalten an seinem Sarge in der Garnisonkirche in Jena am 5. December 1888.

## Geehrte Trauerversammlung!

Wollen Sie dem langjährigen Mitarbeiter unseres theuren Entschlafenen gestatten, ein Wort pietätvoller Würdigung seiner Wirksamkeit dem Andenken des geschiedenen Freundes zu widmen.

Was Carl Zeiss im Leben gewirkt und geschaffen — welche Bedeutung seine Thätigkeit für unsere Stadt gewonnen — welche Dienste sie unmittelbar auch der Wissenschaft geleistet hat — dieses Alles ist offenkundig. Aber nicht über Das will ich hier reden, was bekannt ist; ich will vielmehr sprechen von Dem, was nach Lage der Umstände gegenwärtig nur Wenige wissen können — nicht von den sichtbaren Erfolgen seines Wirkens, sondern von den unsichtbaren Kräften, welche diese Erfolge zeitigt haben.

Wer möchte in Abrede stellen wollen, dass auch in seine Thätigkeit vielseitig solche Factoren eingegriffen haben, begünstigend und fördernd, welche der Einzelne nicht als sein Verdienst beanspruchen kann, die Jeder vielmehr hinnehmen muss, dankbaren Herzens, als glückliche Fügung eines freundlichen Geschickes. Aber der Mensch ist seines Glückes Schmied! Bei Carl Zeiss kommt dieses Wort zu seinem vollen Recht und gewinnt eine ganz prägnante Bedeutung. Denn nicht blindes Ungefähr hat ihm Erfolge in den Schooss geworfen; sie sind ihm geworden als wohlverdienter Lohn eines zielbewussten Strebens, dem die Gunst der Umstände nur ungehinderte Bethätigung gewährt hat. In diesem





Streben und seinen nächsten Ergebnissen aber greift das Wirken des Verstorbenen weit hinaus über den Kreis persönlicher und localer Interessen, und gewinnt eine kenntliche Beziehung zu den grösseren, dauernden Zielen menschlicher Thätigkeit.

Mir, der ich zu den Wenigen gehöre, die in der Lage sind, seine Wirksamkeit vollständig zu würdigen, nicht nur nach ihren Erfolgen, sondern zugleich nach ihren tieferen Triebfedern — mir muss es eine Ehrenpflicht sein, vor dem Sarge des geschiedenen Freundes Zeugniß dafür abzulegen: dass dieser schlichte Mann, der unter uns gewandelt ist wie der einfachste Bürger unserer Stadt, in seinem Auftreten fast über Gebühr bescheiden, — dass dieser Mann zu den Bevorzugten gehört, in deren Lebenswerk eine neue fruchtbare Idee Anfang und Vollendung gefunden hat und denen hierdurch beschieden ist, bleibende Spuren ihres Daseins zu hinterlassen.

In der That — Alles was heute vorliegt als hervorgegangen aus der Thätigkeit von Carl Zeiss, ist durchaus nichts Anderes als die Bewährung eines originalen Gedankens, den der jetzt Verstorbene aus sich heraus erfasst und durch ein Vierteljahrhundert hin kämpfend durchgeführt hat.

Als Schüler unserer Hochschule noch in reiferen Jahren in die mathematisch-physikalische Wissenschaft eingetreten, hat Carl Zeiss selbständig die Idee gefasst, aus dieser Wissenschaft neue Grundlagen zu gewinnen für den Fortschritt der technischen Kunst, die er zu seinem Beruf erwählte. Die Ausübung dieser Kunst war bis dahin, wenigstens soweit ihm hinsichtlich seines engeren Arbeitsfeldes bekannt sein konnte, ausschliesslich Sache rein individueller Erfahrung und Geschicklichkeit, in ihren besten damaligen Leistungen aber Bethätigung eines seltenen Talents zu intuitivem Schaffen geblieben. Carl Zeiss ist, Dem gegenüber, zu der Einsicht durchgedrungen: dass jene künstlichen Gebilde aus Glas und Metall, deren die Wissenschaften bedürfen zur Unterstützung des forschenden Auges — wenn es nur gelänge, die Bedingungen ihrer Wirksamkeit richtig zu erkennen — geschaffen werden könnten und werden sollten nach strenger verstandesgemässer Methode — in allen Einzelheiten fertig gemacht im Geiste, in der Art etwa, wie der Architekt ein Bauwerk schon vor seiner wirklichen Ausführung im Geiste vollendet hat — der arbeitenden Hand nur die körperliche Darstellung der zum Voraus bestimmten Formen und Maasse übrig lassend.

Diesen Gedanken, die praktische Construction des Mikroskopes ganz und gar auf die wissenschaftliche Theorie zu gründen und alle Kunstfertigkeit unter deren strenge Leitung zu stellen — diesen Gedanken hat Carl Zeiss verfolgt über alle Hindernisse hinweg mit einer Beharrlichkeit und Ausdauer, wie nur ein festes Vertrauen auf die Wahrheit einer Erkenntniß sie gewähren kann.

Zuerst hat er versucht, sein Ziel ganz mit eigenen Kräften zu erreichen — nach des Tages Arbeit in der Werkstatt den Nächten die Zeit abbringend zu dem Bemühen, der theoretischen Aufgaben Herr zu werden. Nachher aber hat er, in Verfolgung desselben Gedankens, in wiederholten Anläufen sich bestrebt, Andere in den Dienst dieser Aufgaben zu stellen — Andere, welche frei von der Last geschäftlicher Arbeit den ungewöhnlichen Schwierigkeiten besser als er selbst gewachsen sein möchten. Vollständiger Misserfolg eines ersten Versuches dieser Art hat ihn nicht abgeschreckt, einige Jahre später das Gleiche nochmals zu unternehmen und nochmals jahrelange Misserfolge, welche für seine damaligen Verhältnisse schwere Opfer bedeuteten, unentmuthigt hinzunehmen — bis er sein Ziel erreicht sah.





XXXI.  
Gedächtnissrede auf HERMANN SCHÄFFER.

Gehalten an seinem Sarge in der Collegienkirche in Jena  
am 7. Februar 1900.

Geehrte Trauerversammlung!

Wollen Sie hier an der Bahre unseres dahingeschiedenen Freundes dem ältesten von seinen in Jena verbliebenen Schülern und zugleich dem ältesten unter seinen Fachgenossen gestatten, in schlichten Worten den Gefühlen der Trauer und des Schmerzes Ausdruck zu geben, die in dieser Stunde uns Alle bewegen — und mir gestatten, den Tribut des Dankes und der Verehrung dem Andenken eines Mannes darzubringen, der fast 50 Jahre hindurch seine ganze Kraft unserer Hochschule gewidmet und in dieser Zeit in der Eigenartigkeit seines Wirkens der Universität unschätzbare Dienste geleistet hat.

Trauer und Schmerz dieser Stunde gelten vor Allem dem Verlust des edlen Menschen, der bis vor kurzem unter uns gewohnt hat und nun uns entrissen ist. Vielen war er ein treuer Freund, theilnehmend, hilfsbereit, aufopferungsvoll; Alle aber, die ihm irgend näher getreten sind, innerhalb seiner Berufsthätigkeit wie ausser ihr, sind der wohlthuenden Wirkungen theilhaftig geworden, die nach allen Seiten hin von seiner Person ausgingen. Seinen Schülern war er ein väterlicher Freund, ein sorgsamer Mentor. Weiten Kreisen unserer Stadt hat er nicht nur als Lehrer Quellen werthvoller geistiger Anregung erschlossen, sondern auch als immer freundlicher Berather in grossen und kleinen Angelegenheiten bereitwillig Hilfe und Beistand geboten. Alt und Jung aber hat sich erfreut an der Frische und Ursprünglichkeit seines Wesens, an der unerschöpflichen Heiterkeit seines Gemüthes. Wie

er selbst an Allen, die jemals ihm nahe getreten waren, dauernd liebevollen Antheil nahm, so trauert nun um seinen Verlust die ganze Bürgerschaft unserer Stadt. Und man darf von ihm auch sagen, wie von Wenigen: er habe keinen Feind gehabt.

Trauer und Schmerz gelten aber nicht minder dem Hinscheiden des charaktervollen Mannes, der bei aller Bescheidenheit und Anspruchslosigkeit im Auftreten, bei aller Güte und Milde in Urtheilen und Aeusserungen, in Gesinnung und Willen stark war wie Wenige — der, ohne das äussere Gepräge einer kraftvollen Natur zu zeigen, in seinem Wesen doch gefestigt war gegen alle Anfechtungen, denen Andere, scheinbar Kraftvollere, unterliegen. Er war ganz frei von jeder Eitelkeit — ein Mann, der niemals etwas scheinen wollte, nur sein, sein, was er nach eigener Kraft und Neigung sein konnte. Gleichgiltig gegen alle Aeusserlichkeiten des Lebens, hat er Genugthuung und Befriedigung ganz allein gesucht und gefunden in der vollen Hingabe an seinen Beruf, Freude nur geschöpft aus der Erfüllung seiner Pflicht. Und in der langen Zeit seiner hiesigen Wirksamkeit hat dieser Mann viele mal, in grossen wie in kleinen Dingen, das Beispiel höchster Selbstlosigkeit, des Zurücksetzens aller eigenen Interessen hinter das Interesse unserer Universität, gegeben. So steht er auch hierin in unserer Erinnerung da als seltenes Vorbild hoher menschlicher Tugend!

Trauer und Schmerz dieser Stunde aber mildern sich ab für uns zum Gefühl stiller Wehmuth bei dem Gedanken, dass dem dahingeschiedenen Freund doch ein langes Leben, eine lange Zeit freudigen, rüstigen Schaffens vergönnt war, und dass er uns nicht früher entrissen worden ist, als nach dem natürlichen Lauf der Dinge das Menschenleben abschliesst. Und so richten wir nun, dankbar dem freundlichen Geschick, das ihn so lange uns erhalten hat, unsern Blick auf den reichen Inhalt dieses nun abgeschlossenen Lebens — auf die lange Wirksamkeit unseres dahingeschiedenen Freundes und auf die besondere Bedeutung, die sein Wirken namentlich für unsere Hochschule gewonnen hat.

SCHÄFFER'S Lebensweg ist von äusserst einfachem Verlauf, fast ohne Ausbiegungen und Windungen, und demgemäss arm an äusserlich hervorstechenden Ereignissen.

Geboren im Jahre 24 dieses Jahrhunderts in Weimar, hat er seine ganze Jugendzeit dort zugebracht. Auf dem Gymnasium unserer Nachbarstadt hat er die Vorbereitung zum Studium empfangen,





und ein vorzüglicher Lehrer, LUDWIG KUNZE, hat sein Interesse frühzeitig auf die mathematischen Wissenschaften hingelenkt. Als Zwanzigjähriger bezog er unsere Universität, um sich dem Studium dieser Wissenschaften ganz zu widmen. Sein hiesiger Lehrer, CARL SNELL, hervorragender Pädagoge auf dem Gebiete des höheren mathematischen Unterrichts, hat das Interesse seines Schülers schon hier, im Beginn seines Studiums, für die didaktischen Aufgaben seines Faches gewonnen, und hat ihm, seinem späteren Collegen, schon hier Richtung und Weg zur Bethätigung der eigenen Fähigkeiten und Anlagen gezeigt.

Von Jena ging SCHÄFFER zur Fortsetzung seiner Studien nach Berlin und dann nach Leipzig. In dieser Zeit ist er Schüler von mehreren der ausgezeichneten Mathematiker gewesen, die um die Mitte des Jahrhunderts Zierden der deutschen Hochschulen waren: JACOBI, STEINER, DIRICHLET, OHM, MOEBIUS. Von STEINER und MOEBIUS hat er nachhaltige Anregungen zur Vertiefung und Erweiterung seiner wissenschaftlichen Interessen empfangen.

Nachdem SCHÄFFER schon im Sommer 1847, als er noch in Leipzig sich aufhielt, von hiesiger philosophischer Facultät auf Grund einer von ihm früher gelösten Preisaufgabe die Ehren des Doctor Jenensis erworben hatte, ist er im Sommer 1850, also vor bald 50 Jahren, als Privatdocent in den Lehrkörper unserer Universität eingetreten. Damit ist er eingetreten in den Wirkungskreis, den beinahe 40 Jahre lang mit fast ungeschwächter Kraft auszufüllen ihm vergönnt war, und dem völlig zu entsagen die Schwächen des Alters und zunehmende Kränklichkeit erst ganz vor kurzem ihn genöthigt haben.

Wie ich schon sagte: der Lebenslauf unseres Freundes ist arm an äusseren Ereignissen. Denn nicht einmal eine eigene Familie hat er begründet; die Wissenschaft ist seine einzige Braut geblieben. — Bei alledem ist ihm die Quelle höherer Lebensfreude, die aus dem Familienleben entspringt, keineswegs verschlossen geblieben; und die Gefahr des Cölibatärs, der einsame und öde Lebensabend, hat ihn zu keiner Zeit bedroht. In den heranwachsenden Kindern seiner Brüder und seiner Schwester hat er für die eigene Familie Ersatz gefunden. Und die väterliche Liebe, die er den Neffen und Nichten zuwandte, ist ihm von deren Seite mit kindlicher Liebe erwidert worden. In der schweren Zeit des letzten Jahres, während seiner langen Krankheit, hat seine Nichte mit der Hingebung einer Tochter ihn gepflegt.

Blicken wir nun hin auf Das, was den eigentlichen Inhalt dieses Lebens gebildet hat, auf die Lehrwirksamkeit unseres Freundes, so ist zu sagen, dass ihre richtige Bewertung gänzlich unter dem Gesichtspunkt der Würdigung der didaktischen Aufgaben und der Lehrinteressen der Universität steht. Von den beiden Aufgaben, die der Beruf des Hochschullehrers umfasst: Mitarbeit zum Fortbau der Wissenschaft selbst, zur Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntniss, einerseits — und Ueberlieferung des jeweiligen Besitzes der Wissenschaft an das jüngere Geschlecht und dessen Vorbereitung zur späteren eigenen Mitarbeit, andererseits — von diesen beiden Aufgaben hat unser Freund die letztere, bescheidenere, gewählt.

Seiner Veranlagung und Neigung entsprechend hat er seinen Beruf ganz und gar darin gesehen: seinen Schülern durch pädagogische Kunst die Zugangswege zu den mathematischen und physikalischen Wissenschaften zu ebeneden, die Eingangspforten zu den schwierigeren Gebieten zu eröffnen. Und den Fortschritten der Forschung ist er mit lebhaftem Interesse bis in seine späten Jahre gefolgt unter dem Gedanken: aus sprödem Stoff durch die Kunst des Lehrers neue assimilationsfähige geistige Nahrung für die Schüler zu gewinnen. Gerade diese Beschränkung aber auf die didaktischen Aufgaben seines Faches hat SCHÄFFER zu hervorragenden Leistungen als Lehrer befähigt.

Unter den Lebenden sind nicht mehr Viele, die aus eigener Kenntniss und Erfahrung die besondere Bedeutung würdigen können, die SCHÄFFER's Lehrthätigkeit für unsere Universität lange Zeit hindurch gehabt hat. Wer ihm erst nahe gekommen ist in den späteren Jahren, als schon Schwächen des Alters seine Kraft lähmten, hat naturgemäss neben seinen Tugenden die Fehler dieser Tugenden mehr bemerken müssen als es in seiner guten Zeit geschah. Diejenigen aber, die seine Schüler waren, als er seinem Beruf noch in voller Kraft und Frische oblag, haben an sich selbst erprobt, was er in dieser Zeit als Lehrer gewesen ist — wie er nicht nur verstand, die Hindernisse und Schwierigkeiten zu beseitigen, die gerade auf seinem Lehrgebiet den Anfänger abschrecken können — wie er seine Schüler nicht nur fortgesetzt anzuspornen und zu ermuntern, sondern auch mit Liebe und Begeisterung für seine Wissenschaft zu erfüllen wusste.

Aus eigener persönlicher Erfahrung kann ich bekunden, dass dank der pädagogischen Kunst SCHÄFFER's und seiner hingebenden





Thätigkeit, unser Jena in der Zeit, als er mit seinem gleichgestimmten älteren Collegen und Freund SNELL hier zusammen wirkte und Beide auf der Höhe ihrer Kraft standen, wohl auf ein paar Jahrzehnte hin einen deutlichen Vorzug, einen bemerkbaren Vorsprung vor den meisten deutschen Universitäten, vielleicht vor allen, voraus gehabt hat, in diesem Punkte: Ebenung der Zugangswege, Erschliessung der Eingangspforten zum Studium der mathematischen und physikalischen Wissenschaften. Der Rückblick auf diese selbst erlebte Zeit lässt mich lebhaft wünschen, dass im Kreis unserer Hochschule auch in Zukunft immer Männer sich finden möchten, die nach dem Vorbild der beiden eben genannten gerade in der Pflege der specifischen Lehraufgaben einen würdigen Beruf des Universitätslehrers erblicken und dass die an sich bescheidenere Wirksamkeit solcher Männer, neben der auf den Fortschritt der Wissenschaft gerichteten Arbeit, auch in Zukunft die gebührende Werthschätzung finden möchte.

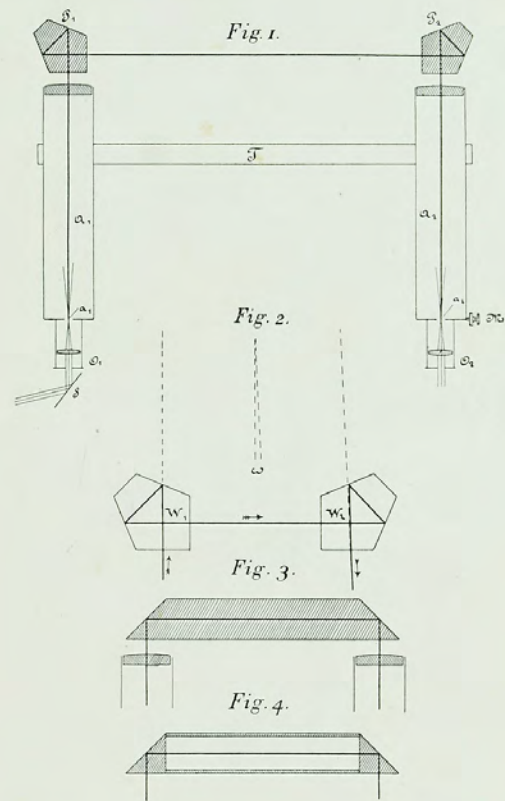
Es bedeutet aber gewiss keine Herabminderung des Werthes der Wirksamkeit unseres Freundes, wenn ich mit Bezug auf ihn und in Hinblick auf Das, was ich vorhin über sein menschliches Wesen sagte, noch hinzufüge: Alles was er als Lehrer gewirkt hat, hat er nicht gewirkt durch die Macht seiner Persönlichkeit, sondern gewirkt durch die Liebe, die in wärmenden Strahlen um seine Person sich ausbreitete. Zeugniß dafür aber ist die dankbare Anhänglichkeit und die unbegrenzte Verehrung, die Alle ihm gezollt haben, die zu irgend einer Zeit seine Schüler waren.

So scheiden wir nun von Dir, HERMANN SCHÄFFER — in Wehmuth der Zeit gedenkend, da Du noch unter uns weiltest! Das freundliche Bild Deines edlen menschlichen Wesens aber wird bei Allen, die im Leben Dir nahe gekommen sind, in pietätvoller Erinnerung lebendig bleiben; — und Deinem verdienstvollen Wirken an unserer Hochschule wird ein ehrenvolles Andenken für alle Zeit gesichert sein.









Zu Abhandlung XXI.

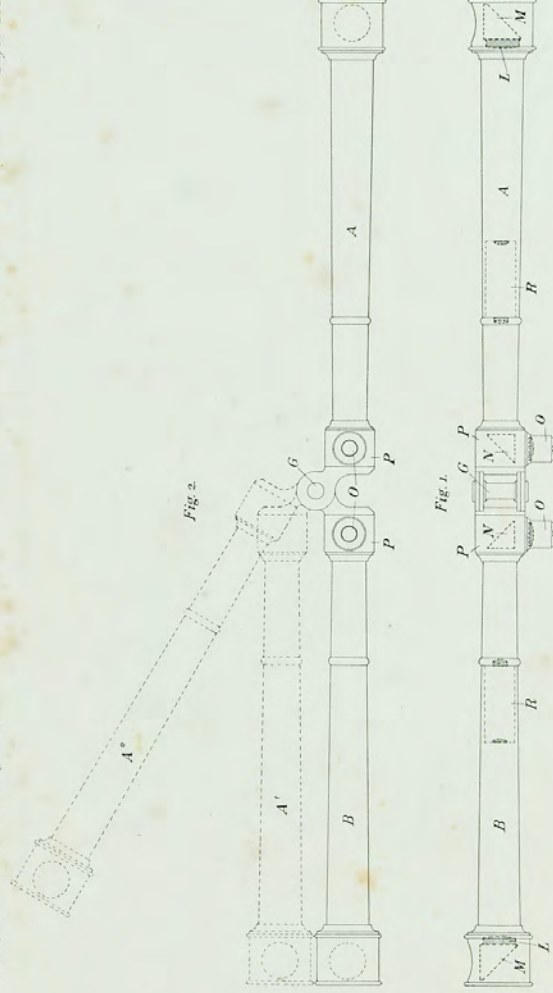
Verlag von Gustav Fischer in Jena.





Abbe, Geometrie Abhandlungen II.

Tafel III.

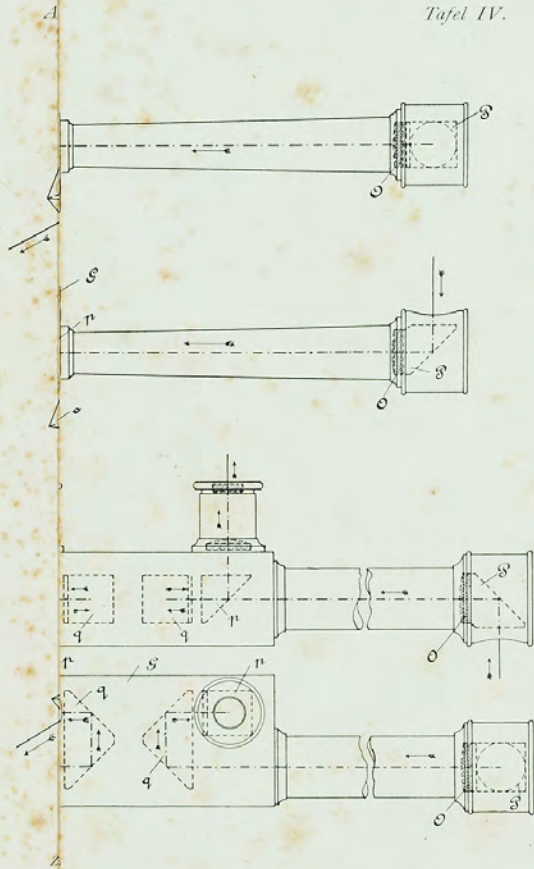


Zu Abhandlung XXXI.

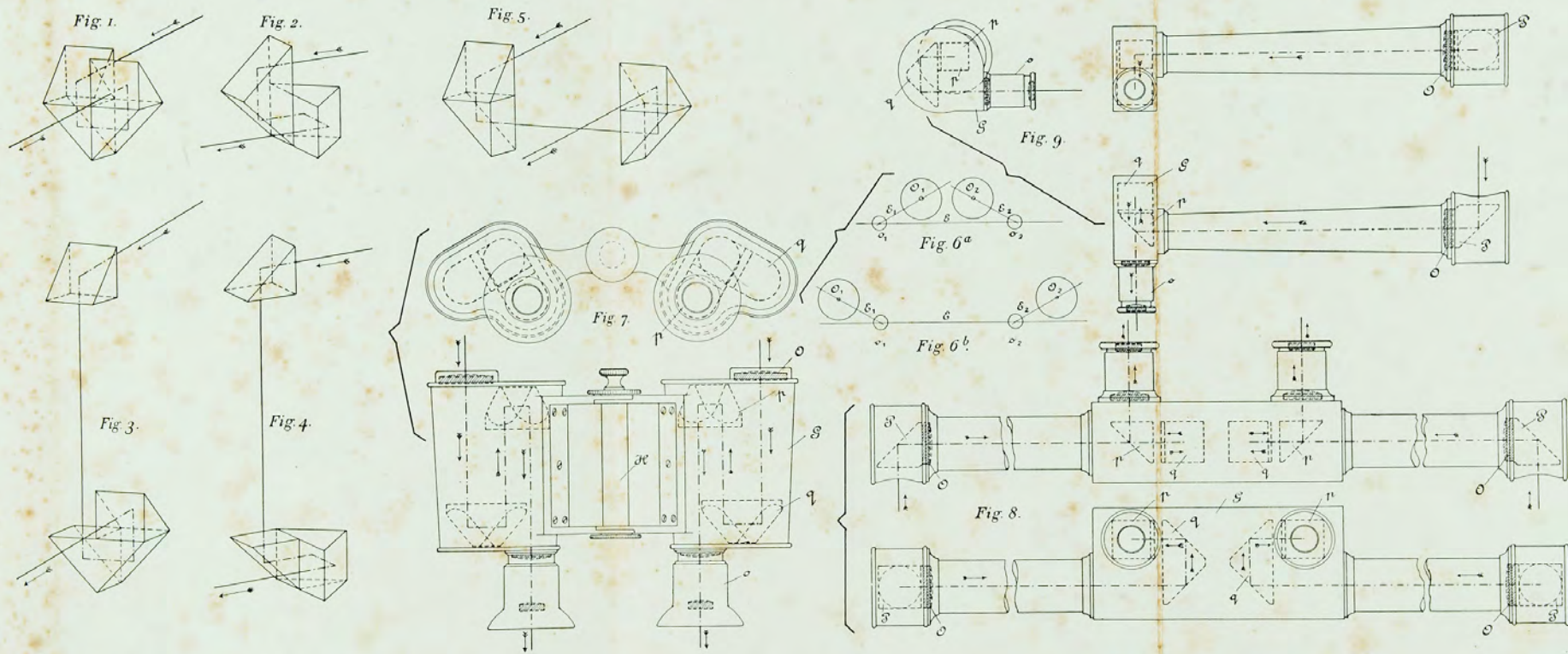
Verlag von Gustav Fischer in Jena.



Tafel IV.

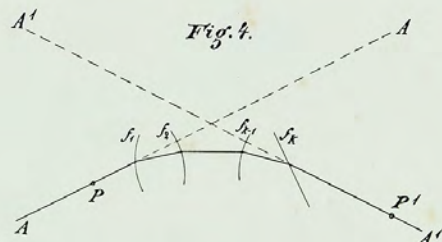
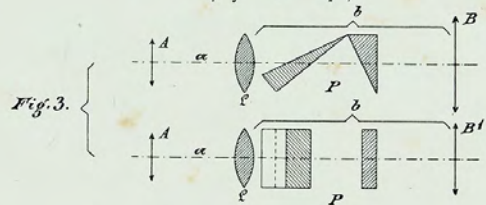
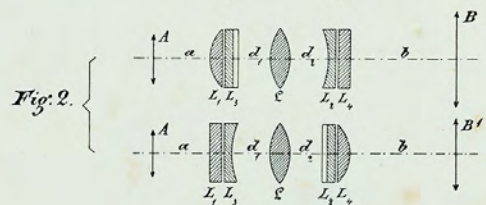
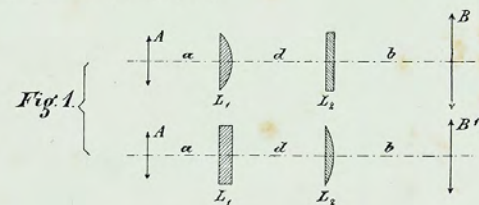






Zu Abhandlung XXIII.

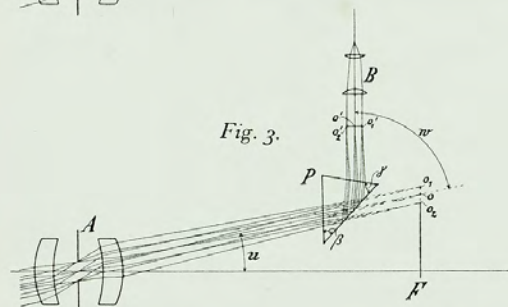
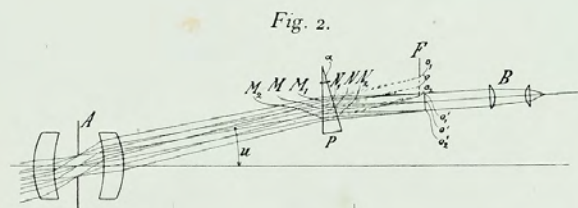
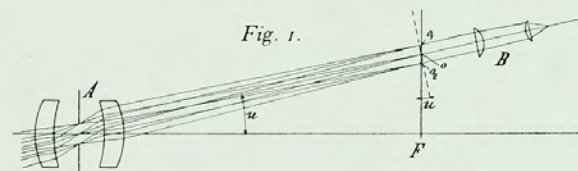




Zu Abhandlung XXV.

Verlag von Gustav Fischer in Jena.





Zu Abhandlung XXVI.



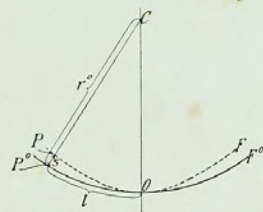


Fig. 1.

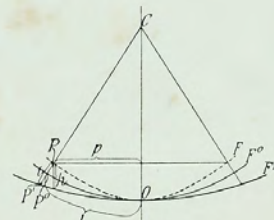


Fig. 2.



Fig. 3.

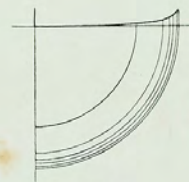


Fig. 4.

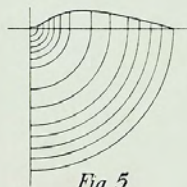


Fig. 5.

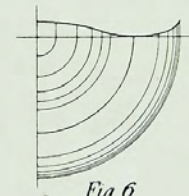
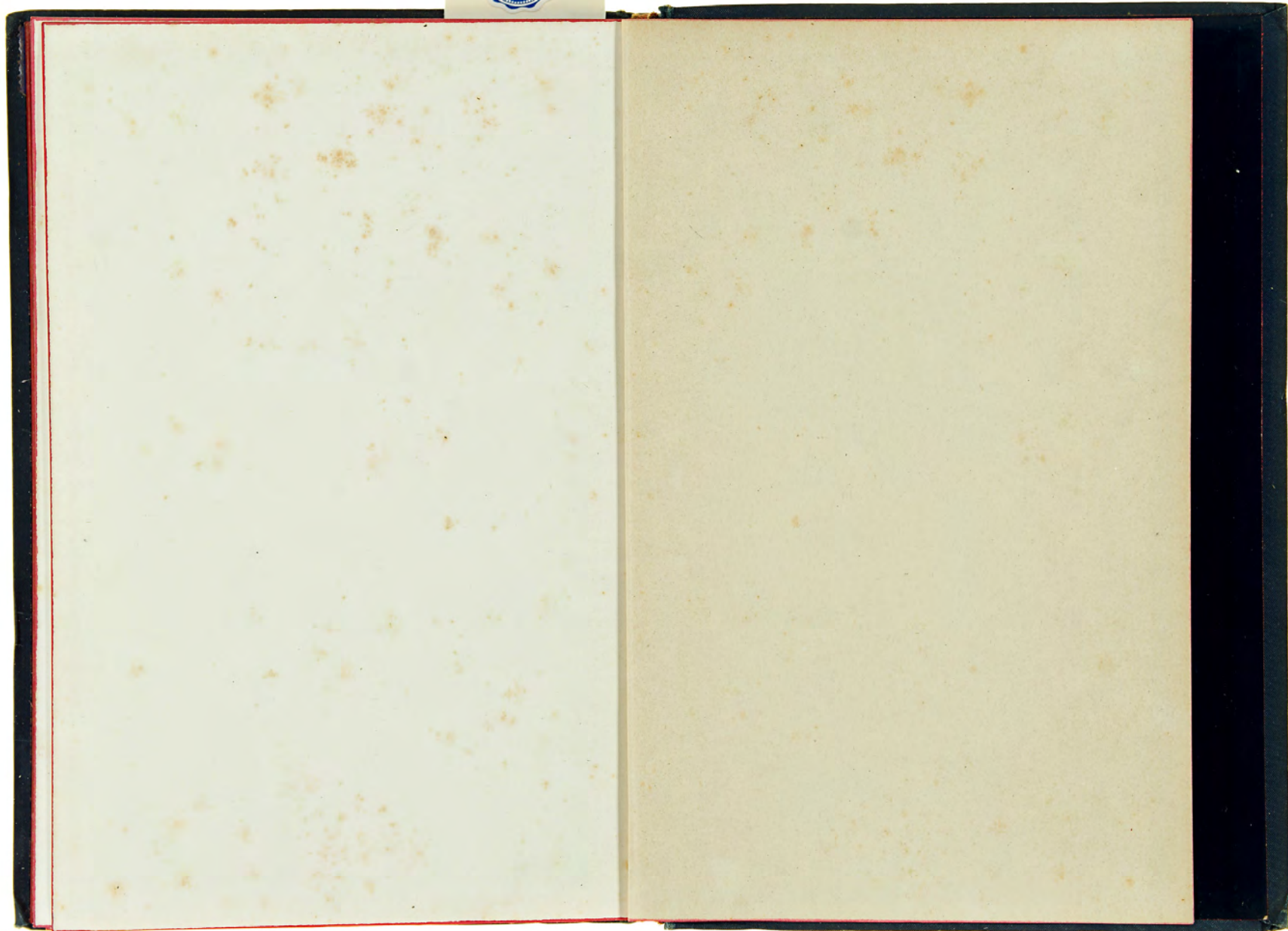


Fig. 6.

Zu Abhandlung XXVIII.

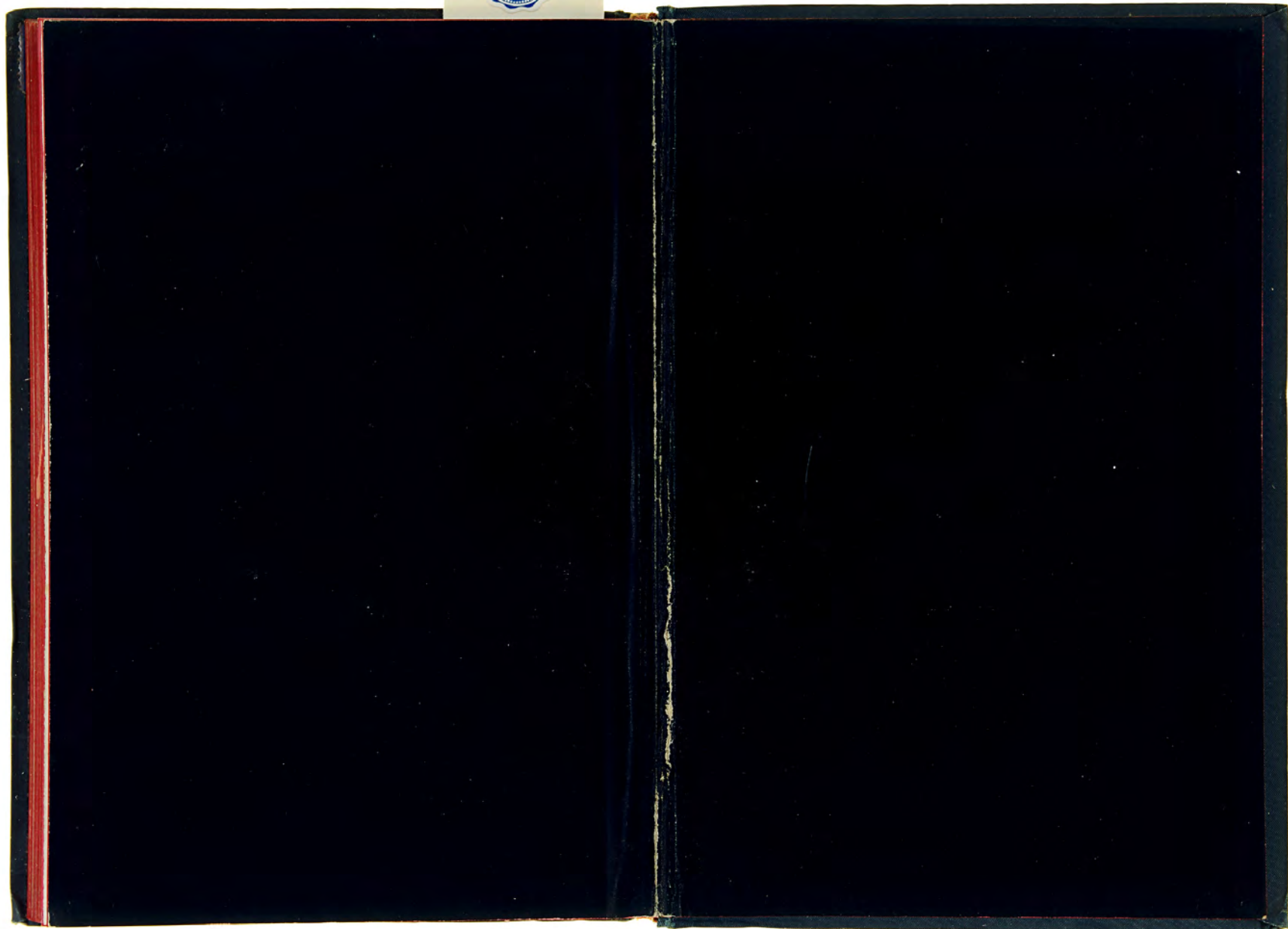


貴重書





貴重書





貴重書

ER  
GE  
ABE

175