



XVIII. Über die Art des Sehens mit Objektiven von großer Öffnung.

Journal of the Royal Microscopical Society (2), IV, 20—26. 1884.
Sitzung vom 12. April 1882¹⁾.

[Der Titel des englischen Originals lautet:
On the Mode of Vision with Objectives of Wide Aperture.
By Professor E. ABBE, Hon. F.R.M.S.]

Übersetzt von Dr. H. AMBRONN.

Die Ansicht, es sei eine besondere Eigenschaft der Objektive von weiter Öffnung, daß man mit ihnen „ringsherum sehen“²⁾ könne, ist vielfach und von entgegengesetzten Standpunkten aus aufgestellt worden. Von der einen Seite wurde in der Benutzung von Objektiven großer Apertur für die Beobachtung *körperlicher* Objekte ein *Vorteil* gesehen, der von dem Öffnungswinkel als solchen abhänge, indem dadurch Strahlen von allen Seiten des Objekts gleichzeitig zugelassen würden. Von der anderen Seite wurde hervorgehoben, daß gerade dieser Umstand einen *Nachteil* mit sich bringe, indem dadurch eine unnatürliche Art des Sehens

1) Die Mitteilung wurde schon in der Sitzung vom 12. April 1882 verlesen (das Manuskript war Anfang März 1882 eingesandt worden). Die Veröffentlichung wurde so lange verzögert, bis der Schluß der letzten Abhandlung [Abhandlung XVII dieser Sammlung] im Band III des Journals Roy. Microsc. Soc. vollständig erschienen war.

2) [Der englische Ausdruck hierfür ist: „all round-vision“, was wohl am einfachsten mit Ringsherumsehen übersetzt werden kann. Vergl. Abhandlung XVI dieser Sammlung, S. 367].

erzeugt werde, die kleine Körper (sofern sie nur genügend klein seien) als von sphärischer Form erscheinen lasse, obwohl sie in Wirklichkeit kubisch gestaltet seien; außerdem werde dadurch eine Vermischung verschiedener, einander unähnlicher, Bilder herbeigeführt.

Beide Anschauungen schließen die stillschweigend gemachte Voraussetzung in sich, daß für die mikroskopische Beobachtung, auch der kleinsten Objekte, im wesentlichen dieselben Bedingungen bestünden, wie für die Beobachtung mit unbewaffnetem Auge — daß also ein körperliches Objekt durch das Mikroskop dem Auge in derselben Perspektive erscheine wie beim gewöhnlichen Sehen, wenn es *in der Richtung der abbildenden Büschel* betrachtet werde.

Man nimmt z. B. an, daß ein kleiner Würfel *abcd* (Fig. 21) durch die schiefen Büschel *r* (wie sie durch die Randzone eines Objektivs von großer Öffnung eintreten) in dem mikroskopischen Bilde in der Perspektive erscheinen werde, in der ihn das Auge in einer durch *r* gegebenen Richtung sehen würde. Das Bild müßte demnach als die Projektion des Würfels auf eine *zur Richtung r senkrechte Ebene* erscheinen, oder, was dasselbe heißt, wie das Bild eines Würfels, der bei axialer Beleuchtung in geneigter Lage auf dem Tische sich befindet (Fig. 22).

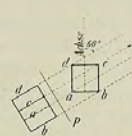


Fig. 21.



Fig. 22.

In der Tat wird angenommen, daß die Neigung der abbildenden Büschel zur Achse des Mikroskops, mit Rücksicht auf die Art der Projektion des Bildes, dieselbe Bedeutung habe und auch dieselbe Wirkung hervorrufe, wie die geneigte Lage des Objekts unter geradem (axialem) [21] Einfall der Büschel. Und auf Grund dieser Ansicht wird natürlich die Folgerung, die sich von selbst ergebe, gezogen, daß eine große Öffnung Büschel von ganz verschiedener Neigung gleichzeitig eintreten lasse, und daß infolgedessen das so entstehende Bild ebenso ganz verschiedene Perspektiven des körperlichen Objekts für das Auge des Beobachters in sich schließe, als wenn zahlreiche Objektive von kleiner Öffnung (oder Augen) *A*, *K*, *Z* u. s. w.



Fig. 23.

(Fig. 23) sich rings um das Objekt herum befänden, und die von ihnen erzeugten Bilder zu einem Gesamtbilde vereinigt würden.

Je nach dem Standpunkte und auch nach dem besonderen Geschmacke des Beurteilers wird dies nun, wie ich schon sagte, als ein Vorteil der großen Öffnung oder als ein Mangel angesehen.

Tatsächlich ist indessen weder die eine noch die andere Anschauung richtig, weil gar keine Abbildung der Objekte in der angenommenen Art stattfindet. Dies ergibt sich aus der folgenden Betrachtung, die auch zugleich zeigt, wie irrig die Ansicht ist, daß das durch ein Objektiv von großer Öffnung erzeugte Bild aus zahlreichen einander *unähnlichen* Bildern, entworfen durch Büschel verschiedener Neigungen, zusammengesetzt sei. Denn auch diese Ansicht ist ebenso, wie die anderen schon erwähnten, im wesentlichen auf derselben Hypothese aufgebaut.

Wir wollen zuerst den Fall betrachten, den ein *ebenes* Objekt darbietet. Der Strahlengang in einem Objektiv von großer Öffnung ist in Fig. 24 abgebildet, wo AB das Objekt bezeichnet. Wird vorausgesetzt, daß das Objektiv gut korrigiert (oder aplanatisch) sei, so werden alle von dem Achsenpunkte A ausgehenden Strahlen (d. h. das *ganze* Büschel a) in einem Punkte A^* wieder vereinigt werden; und dasselbe gilt nicht nur für einen Punkt der Achse, sondern auch für einen außer ihr gelegenen Punkt B (wenigstens wenn dieser Punkt nur einen geringen Abstand von der Achse hat¹⁾). Es wird also auch das ganze von B ausgehende Büschel β in einem bestimmten Punkte B^* des Bildes wieder vereinigt werden.

Nun ist es aber eine ganz klare Folgerung, daß die Ebene AB genau in derselben Weise abgebildet werden muß (als *dasselbe* Bild in der Ebene A^*B^*), wenn die Abbildung einmal durch die

1) Man hatte früher bei der Definition des Begriffes eines gut korrigierten Systems diese Bedingung völlig übersehen. Man hatte vielmehr angenommen, daß die von außer-axialen Punkten ausgehenden Strahlen stets auch in bestimmten Punkten B wieder vereinigt würden, wenn die von dem *axialen* Punkte ausgehenden in einem bestimmten Bildpunkte wieder zusammentreffen. Im Jahre 1873 [Beiträge zur Theorie des Mikroskops, Abhandlung III dieser Sammlung, S. 52; vergl. auch Abhandlung XI, S. 113—226] zeigte ich aber, daß das eine *keineswegs* eine notwendige Folge des anderen sei, daß vielmehr eine ganz bestimmte Bedingung erfüllt sein müsse, wenn dieselbe Strahlenvereinigung für außeraxiale Punkte wie für Achsenpunkte erzielt werden solle, und daß dann erst die sphärische Aberration gehoben sei. Diese Bedingung ist enthalten in dem *Gesetze der aplanatischen Konvergenz*, nämlich in der Proportionalität der *Sinus* der Konvergenzwinkel in den Punkten A und A^* .

beiden *axialen* Büschel a_a und β_a und das andere Mal durch die beiden *schiefen* Büschel a_m und β_m bewirkt wird, wie diese auch gegen die Objektebene geneigt sein mögen. Denn wenn *alle* von B ausgehenden Strahlen in B^* vereinigt werden, so können die zwei engen Büschel β_a und β_m , die doch Teile des ganzen Büschels β sind, nicht in verschiedenen Punkten vereinigt werden.

[22] Aus der einfachen, für ein aplanatisches System gegebenen, Definition folgt also mit Sicherheit, daß Büschel von verschiedener Neigung *identische* Bilder von jedem ebenen Objekt oder von einzelnen durch ein körperliches Objekt gelegten Ebenen ergeben müssen. Das entstehende Bild des Objekts kann deshalb nicht aus einander *unähnlichen* Bildern zusammengesetzt sein, wie groß auch die Öffnung sein mag; und eine große Öffnung kann somit auch nicht die Ursache einer Verwirrung im Bilde sein u. s. w.

Wir sehen auch zugleich, daß die Abbildung eines Objekts durch das Mikroskop nicht Verschiedenheiten in der Perspektive mit sich bringen kann, die von der Neigung der abbildenden Büschel zur Objektebene abhängen, wie dies bei der Theorie des „Ringsherumsehens“ angenommen wird. Das Bild irgend einer ebenen Fläche AB (z. B. der oberen Fläche des kleinen Würfels)

a, a^* : das *ganze* vom axialen Punkte A des Objekts ausgehende Büschel, das in dem Achsenpunkte A^* wieder vereinigt wird.

β, β^* : das *ganze* von einem exzentrischen Punkte B ausgehende Büschel, das in dem exzentrischen Punkte B^* des Bildes wieder vereinigt wird.

a_a, a_m^* und a_m, a_a^* , *axiale* und *marginale* Elementarbüschel vom Punkte A , die in den Büscheln a und a^* enthalten sind.

β_a, β_m^* und β_m, β_a^* , die entsprechenden *axialen* und *marginalen* Elementarbüschel aus den ganzen Büscheln β und β^* .

Die beiden *axialen* Büschel a_a^* und β_a^* gehen durch die Mitte a der freien Öffnung, die *marginalen* Büschel a_m^* und β_m^* berühren den Rand m der freien Öffnung.

Die Lage der die freie Öffnung begrenzenden Blende ist zusammenfallend mit der hinteren Brennebene des Objektives gedacht (wie dies stets annähernd bei starken Systemen der Fall ist), damit die in den Büscheln a und β entsprechenden Strahlen vor dem System *parallel* oder in *derselben* Neigung verlaufen.

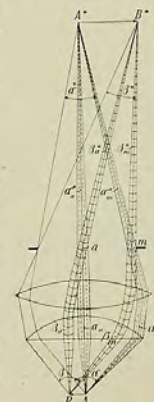


Fig. 24.

ist stets dasselbe, sowohl bei geradem wie bei schiebem Eintritt der Bündel in das Mikroskop. Wenn jene Theorie richtig wäre, so müßte das Bild von AB , wie es durch die schiefen Bündel α_m^* und β_m^* erzeugt wird, kürzer sein (gemäß der perspektivischen Verkürzung der Linien bei schiefer Projektion), als das durch die axialen Bündel α_a^* und β_a^* entworfene Bild, wie wir in der Tat ein kürzeres Bild von AB erhalten würden, wenn wir das Objekt durch ein schwach vergrößerndes Mikroskop mit geneigter Achse beobachteten.

Dieses Fehlen der perspektivischen Verkürzung der Linien bei der verschiedenen Neigung der Strahlen ergibt demnach eine wesentliche geometrische Abweichung des mikroskopischen Bildes, die einen Vergleich mit der makroskopischen Beobachtung als unzulässig erweist.

Wir wollen zweitens die Abbildung eines körperlichen Objekts, z. B. eines solchen kleinen Würfels betrachten.

[23] Diese ist offenbar vollständig gegeben durch die Feststellung der Abbildung der oberen Fläche AB und der unteren Fläche $A'B'$ (Fig. 25). Das Ergebnis der vorausgehenden Be-

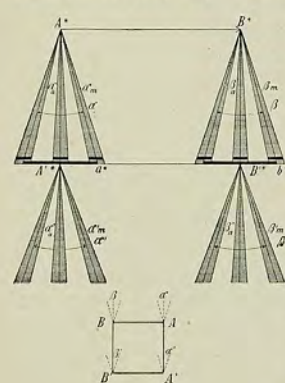


Fig. 25.

trachtung muß also auf die beiden Ebenen nacheinander angewandt werden, vorausgesetzt, daß die Entfernung der beiden Ebenen auf

($A^* B^*$) Luftbild des Objekts ($A B$)
($A' B'$)
entworfen durch das Objektiv in dem Schilde des Okulars. Die Figur zeigt die Art, in der zwei aufeinanderfolgende Schichten AB und $A'B'$ des Objekts mittels der ganzen Bündel (die der vollen Apertur entsprechen) α , β und α' , β' , oder mittels der Elementarbündel α_a , β_a und α'_a , β'_a oder α_m , β_m und α'_m , β'_m abgebildet werden, und läßt ferner erkennen, in welcher Weise das Bild der oberen Fläche auf das der unteren projiziert erscheint. Die dick ausgezogenen Linien geben die Durchmesser der Zerstreuungskreise an, in denen sich die Punkte A^* und B^* unter verschiedenen Umständen in der Bildebene der tiefer liegenden Schicht darstellen (in einem Falle breite, im andern schmale Zerstreuungskreise), unter der Annahme, daß auf die untere Schicht genau eingestellt ist und diese in voller Schärfe gesehen wird.

der Achse genügend klein ist. Denn in diesem Falle wird ein für die konjugierten Punkte A und A^* aplanatisches Objektiv auch noch aplanatisch sein für das benachbarte Paar konjugierter Punkte A' und A'^* .

Demnach werden die ganzen von der Fläche AB ausgehenden Bündel α und β ein scharfes Bild $A^* B^*$ in einer bestimmten Ebene erzeugen, und zugleich werden auch die ganzen von der anderen Fläche $A'B'$ ausgehenden Bündel α' und β' ein scharfes Bild $A'^* B'^*$ in einer anderen (tiefer gelegenen) Ebene entwerfen.

Nehmen wir *erstens* an, daß das Bild durch die engen axialen Bündel α_a und β_a erzeugt werde, und daß das Okular genau auf die Ebene des tiefer liegenden Schnittes $A'^* B'^*$ eingestellt sei. Die Punkte A^* und B^* des höher liegenden Schnittes werden dann als kleine Zerstreuungskreise auf die scharf erscheinenden Punkte A'^* und B'^* des tiefer liegenden Schnittes projiziert werden; die Zentren jener Zerstreuungskreise koinzidieren dabei mit den Punkten A'^* und B'^* .

Nehmen wir *zweitens* an, das Bild sei durch die ganze Öffnung, d. h. also durch die weit geöffneten Bündel α und β entworfen, und das Okular sei wie zuvor auf den tiefer liegenden Schnitt eingestellt, dann werden die Punkte des oberen Bildes, auf die nicht genau eingestellt ist, zwar viel breitere Zerstreuungskreise ergeben, die auf die scharf gesehenen Punkte A'^* und B'^* projiziert erscheinen, aber ihre Zentren werden ebenfalls mit jenen Punkten koinzidieren.

[24] Was ist nun der Unterschied zwischen diesen beiden Fällen? Die kleineren Zerstreuungskreise im ersten Falle gewähren noch die Möglichkeit, die obere Schicht genügend deutlich, zugleich mit der tiefer liegenden, zu erkennen; und wir sagen dann, daß die Tiefe des Objekts noch innerhalb der Tiefe des deutlichen Sehens für Bündel mit enger Öffnung liege. Die breiten Zerstreuungskreise, die von den weit geöffneten Bündeln der ganzen Apertur herrühren, werden aller Wahrscheinlichkeit nach das Bild der oberen Schicht sehr undeutlich machen, so daß das Bild des ganzen Objekts ebenfalls undeutlich erscheinen wird. Die Ursache dieser Undeutlichkeit ist offenbar eine zu große Tiefe des Objekts im Vergleich zu der geringen Sehtiefe infolge der größeren Apertur. Nehmen wir ein ähnliches körperliches Objekt, aber von viel geringerer Tiefe, so würden wir, ungeachtet der großen Apertur, dessen obere und untere Schicht in genügender Deutlichkeit sehen.

Demgemäß entsteht die Undeutlichkeit, in der ein nicht ganz ebenes Objekt erscheint, wenn es bei großer Öffnung betrachtet wird, nicht durch irgendwelche Unähnlichkeit der von den axialen und schiefen Büscheln herrührenden Bilder, sondern sie ist ganz allein auf die *Beschränkung der Sichtigkeit* zurückzuführen.

Nehmen wir *drittens* an, ein Bild sei durch die *engen schiefen* Büschel α_m und β_m , also durch die Randzone oder eine mittlere Zone der Öffnung entworfen, dann werden die scharfen Bilder *beider* Schichten AB und $A'B'$ genau dieselben sein, wie die scharfen Bilder, die von den axialen Büscheln α_a und β_a , oder die scharfen Bilder, die von den ganzen Büscheln α und β herrühren. Aber da diese Bilder in verschiedenen Ebenen entstehen, so werden sie eine *parallaktische Verschiebung* gegeneinander zeigen. Wenn das Okular und das Auge genau auf die Ebene $A'B'$ eingestellt sind, so werden die Punkte A^* und B^* auf die Punkte a^* und b^* projiziert erscheinen, und sie werden als Zerstreuungskreise gesehen werden, deren Zentren jene Punkte sind. Wir haben also nochmals ganz ähnliche Bilder, nur sind sie in horizontaler Richtung gegeneinander verschoben.

Dies muß aber eine Art der Projektion körperlicher Objekte ergeben, die wesentlich verschieden ist von der gewöhnlichen *perspektivischen* Projektion bei schiefem Sehen.

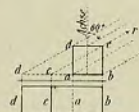


Fig. 26.

Nehmen wir an, daß der Würfel $abcd$ (Fig. 26) bei einer Neigung von 60° abgebildet werde, so wird ein perspektivisches Bild durch die Projektion auf einer *zur Richtung der Linie r senkrechten* Ebene gegeben; ein solches Bild würde einem in der Richtung r blickenden Auge oder auch einem Mikroskop erscheinen, dessen Achse mit dieser Richtung zusammenfiel. Dagegen wird das durch schiefe Büschel mit einem Objektiv von 120° Öffnungswinkel entworfene Bild eine Projektion auf *eine zur Achse des Mikroskops senkrechte* (Fig. 26), nicht aber zur Richtung r senkrechte Ebene sein. Beide Flächen, ab und cd werden deshalb in ihrem richtigen Durchmesser erscheinen, nur horizontal gegeneinander verschoben, nicht aber verkürzt wie in Fig. 21.

Wenn wir nun das Bild des körperlichen Objekts, wie es durch die schiefen [25] Büschel α_m und β_m entworfen wird, mit dem Bilde vergleichen, das durch die axialen Büschel α_a und β_a , oder mit dem Bilde, das durch andere schiefe Büschel (z. B. von gleicher aber *entgegengesetzter* Neigung) entsteht, so haben wir allerdings unähn-

liche Bilder. Aber diese Unähnlichkeit rührt ganz allein von der Projektion *aufeinanderfolgender* Schichten her und besteht in nichts anderem, als in der verschiedenen *parallaktischen* Verschiebung der aufeinanderfolgenden Schichten. Sie kann beim mikroskopischen Sehen nur dann wirksam werden, wenn diese Bilder durch verschiedene Teile der Öffnung *getrennt* erzeugt werden, d. h. wenn die abbildenden Büschel (oder die für die Abbildung in Betracht kommenden Teile der Öffnung) getrennt werden, und die einen zu dem einen Bilde, die anderen zu dem anderen Bilde gelangen, wie dies z. B. durch die verschiedenen Einrichtungen geschieht, die dem stereoskopischen Sehen dienen. So lange die verschiedenen Teile *gleichzeitig* wirksam werden und *ein* Bild erzeugen, haben wir nur eine Verbreiterung der Zerstreuungskreise in den Ebenen, auf die nicht scharf eingestellt ist, und demgemäß eine Beschränkung der Tiefe des deutlichen Sehens. Wir haben aber kein „Ringsherumsehen“, weil das *Sehen aufhört*, wenn das „Ringsherum“ wirksam wird.

Das Ergebnis der ganzen Betrachtung läßt sich deshalb folgendermaßen zusammenfassen:

1. Bei einem gut korrigierten (oder aplanatischen) Objektiv sind die Bilder eines ebenen Objekts, die durch Büschel von verschiedener Neigung erzeugt werden, stets vollkommen ähnlich. Die Neigung der Strahlen gegen das Objekt führt keine Verschiedenheit der Perspektive herbei, wie sie beim gewöhnlichen Sehen oder dann auftritt, wenn das Objekt mit einem in schiefer Stellung befindlichen Mikroskop beobachtet wird. Das Mikroskop kann deshalb auch körperliche Objekte nicht perspektivisch abbilden, und ein „Ringsherumsehen“ ist überhaupt nicht möglich; es kann also auch weder einen Nachteil noch einen Vorteil bieten.

2. Die Bilder körperlicher Objekte rühren her von der Projektion *aufeinanderfolgender* Schichten in vollkommener Ähnlichkeit, wie groß auch die Apertur sein mag (Brechung der Strahlen durch einzelne Teilchen der Struktur innerhalb der Schichten ist dabei außer Betracht gelassen). Solange die Tiefe des Objekts innerhalb der Sichtigkeit bleibt, wie sie durch die angewandte Apertur und Vergrößerung gegeben ist, erhalten wir eine scharfe *Parallelprojektion* aller aufeinander folgenden Schichten auf eine gemeinsame zur Achse des Mikroskops senkrechte Ebene (einen richtigen Grundriß), entweder streng orthogonal (Fig. 27), wenn die abbildenden Büschel, eng oder weit, axial sind, oder mit einer



bestimmten Schiefe der Projektion, wenn diese Büschel (d. h. ihre Achsen oder Hauptstrahlen) gegen die Achse des Mikroskops geneigt sind. Wenn die Tiefe des Präparats größer ist, als die Tiefe des deutlichen Sehens reicht, so muß diese Projektion unscharf werden, da die ober- und unterhalb des Bereiches

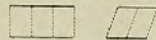


Fig. 27.

des deutlichen Sehens liegenden Schichten breite Zerstreuungskreise ergeben, die mit den scharfen Teilen des Bildes zusammenfallen. Da also die Sehtiefe unter sonst gleichen Umständen mit wachsender Apertur abnimmt, so ist die gute „Definition“ durch große Aperturen auf *dünnere* Objekte beschränkt, als die gute Definition durch enge Aperturen.

[26] 3. Unähnlichkeit der Bilder von *körperlichen* Objekten, erzeugt durch die Wirkung verschiedener Teile der Apertur, ist nichts anderes als Verschiedenheit der Projektion (orthogonale Projektion gegenüber schiefer Projektion — oder ein gewisser Grad der Schiefe bei axialen Büscheln gegenüber entgegengesetzter Neigung bei schiefen Büscheln). Sie hängt deshalb ausschließlich von der Art ab, in der *aufeinanderfolgende* Schichten auf eine gemeinsame (zur Achse des Mikroskops senkrechte) Ebene projiziert erscheinen, oder von dem *Tiefenunterscheidungsvermögen*, und keineswegs von der Abbildung der ebenen Schichten selbst. Diese für das mikroskopische *Sehen* wirklich vorhandene Unähnlichkeit ist beschränkt auf den Fall einer tatsächlichen Trennung der Bilder durch Einrichtungen für die stereoskopische Beobachtung; denn wenn diese Unähnlichkeit *wahrnehmbar* sein sollte, während die Teilbilder nicht getrennt (beim Sehen mit beiden Augen) beobachtet werden, so würden die nicht genau eingestellten Schichten verschwommen erscheinen, und es könnte kein *Sehen* in die Tiefe möglich sein, wie oben schon auseinander-gesetzt worden ist. Wir haben dann keinen Vorteil von der beschriebenen Unähnlichkeit.

4. Stereoskopisches Sehen im Mikroskop ist vollständig abhängig von der beschriebenen Unähnlichkeit der Projektion, die durch die verschiedenen parallaktischen Verschiebungen der Bilder von aufeinanderfolgenden Schichten auf einer gemeinsamen Projektionsebene entsteht. Es gibt keine *wahre* perspektivische Verschiedenheit der durch verschiedene Teile der Apertur erzeugten Bilder, weil das mikroskopische Bild keine perspektivische Verkürzung der Linien zuläßt, die schief zur Richtung der abbildenden Büschel verlaufen.

XIX.

Bemerkungen über die richtige Definition der Vergrößerung einer Linse oder eines Linsensystems.

Journal of the Royal Microscopical Society, (2), IV, 348—351, 1884.
Sitzung vom 12. März 1884.

[Der Titel des englischen Originals lautet:

Note on the Proper Definition of the Amplifying Power of a Lens or a Lens-system.

By Prof. E. ABBE, Hon. F.R.M.S.]

Übersetzt von Dr. A. KÖNIG.

Die allgemein übliche Bezeichnung „lineare Vergrößerung in einer bestimmten Entfernung“ ist in Wahrheit eine recht sonderbare und unrationelle Art, die vergrößernde Kraft einer Linse oder eines Linsensystems zu definieren. Leider ist kaum zu hoffen, daß ein zweckmäßigerer Ausdruck allgemein Eingang findet, da er wohl „zu abstrakt“ erscheinen wird. Trotzdem dürfte die folgende Betrachtung nicht unnütz sein.

Nach der Formel $N = \frac{l}{f}$ ändert sich die „Vergrößerung eines und desselben Systems“ mit der Länge l oder der „deutlichen Sehweite“, sodaß man einen nach Übereinkunft willkürlich festgesetzten Wert von l (10 Zoll oder 250 mm) einführen muß, um vergleichbare Zahlen zu erhalten. Die tatsächliche „lineare Vergrößerung“ eines Systems ist natürlich verschieden, je nachdem es sich

um ein kurzsichtiges Auge, das das Bild in eine Entfernung von 100 mm, oder um ein weitsichtiges Auge handelt, das es in eine Entfernung von 1000 mm projiziert. Nichtsdestoweniger ist die „vergrößernde Kraft“ irgend eines Systems für beide dieselbe, weil für kurzsichtige und weitsichtige Beobachter das Bild desselben Gegenstandes unter demselben Schwinkel erscheint, und folglich der Durchmesser des Netzhautbildes derselbe ist. Daß sich dies so verhält, geht aus Fig. 28 hervor, wo der Gang der Strahlen für ein kurzsichtiges Auge durch dünnere Linien, für ein weitsichtiges Auge durch dickere Linien dargestellt ist; vorausgesetzt ist dabei, daß sich das Auge in jedem Falle im hinteren Brennpunkte des Systems befindet. Der halbe Schwinkel u , unter dem ein

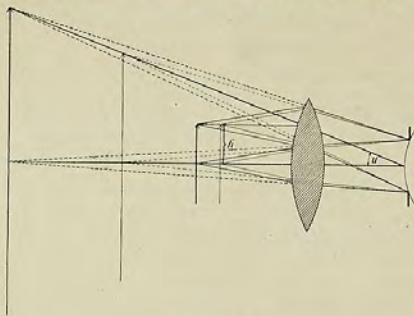


Fig. 28.

Gegenstand vom halben Durchmesser h erscheint, ist für beide Beobachter gleich, da die Änderung, die die Verschiedenheit der Lage des Gegenstandes bewirkt, nur den Grad der Divergenz der verschiedenen von verschiedenen Punkten des Gegenstandes (und des Bildes) ausgehenden Bündel betrifft, während die Brechung der von verschiedenen Punkten ausgehenden Haupt- (mittleren) Strahlen ungeändert bleibt.

Diese Betrachtung führt auf einen Ausdruck „vergrößernde Kraft“, der den oben erwähnten Kern der Sachlage trifft. Der Bruch

$$\frac{tg u}{h}$$

in dem u der halbe Schwinkel ist, der dem halben Durchmesser h des Gegenstandes entspricht, ist für jedes System eine konstante

Größe, die nicht von den besonderen Umständen des beobachtenden Auges abhängt; wie ersichtlich, gibt dieser Bruch den größeren oder kleineren [349] Schwinkel an, unter dem jedes Auge eine gegebene Länge h durch das System sieht. Der Zahlenwert dieses Bruches ist die Tangente des Schwinkels, unter dem die Längeneinheit ($h = 1$) durch das System erscheint. Daher ist dieser Bruch, d. h. das Verhältnis von $tg u$ zu h oder der durch die Tangente gemessene Schwinkel, der der Längeneinheit entspricht, der geeignete Ausdruck für die Vergrößerung oder die „Stärke“ eines Linsensystems, da für jeden Beobachter die Vergrößerungen, unter denen er irgend einen Gegenstand durch verschiedene Systeme sieht, genau in demselben Verhältnis zu einander stehen, wie die Werte dieses Bruches.

Aus der grundlegenden Definition der „Äquivalentbrennweite“ eines Linsensystems folgt die Übereinstimmung des oben erwähnten Bruches mit dem reziproken Werte von f (Brennweite), wir haben

$$\frac{tg u}{h} = \frac{1}{f}.$$

Folglich ist der reziproke Wert der Brennweite eines Systems ohne weiteres der geeignete Ausdruck für seine vergrößernde Kraft, da dieser reziproke Wert der zahlenmäßige Ausdruck des Schwinkels (gemessen durch die Tangente) ist, unter dem die Längeneinheit durch das System erscheint.

Dieser äußerst einfache Ausdruck für die vergrößernde Kraft eines Systems gilt allerdings streng nur unter der oben erwähnten Voraussetzung, daß nämlich der Augenort in den hinteren Brennpunkt des Systems fällt oder, was auf dasselbe herauskommt, daß die von den verschiedenen Punkten des Gegenstandes ausgehenden Hauptstrahlen sich in diesem Punkte kreuzen.

Bei dem zusammengesetzten Mikroskop kommt nur dieser Fall [350] in Betracht; denn der „Augenpunkt“ des Mikroskops fällt praktisch mit dem hinteren Brennpunkte des ganzen Systems zusammen. Bei einer Lupe kann jedoch der Augenort innerhalb eines mäßigen Bereiches wechseln, der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen kann so gegen den hinteren Brennpunkt des Systems verschoben sein. Für diesen allgemeineren Fall lautet die genaue Formel für die nach der oben erwähnten Methode bestimmte Stärke des Systems

$$\frac{tg u}{h} = \frac{1}{f} \left(1 + \frac{d}{l} \right) = \frac{1}{f} + \frac{1}{f} \cdot \frac{d}{l}.$$



hier bezeichnet l wieder die deutliche Sehweite des beobachtenden Auges und d die Verschiebung des obenerwähnten Kreuzungspunktes oder des Augenortes gegen den hinteren Brennpunkt. (d ist mit positivem Vorzeichen einzusetzen, wenn der Brennpunkt hinter dem Auge liegt, mit negativem, wenn er vor dem Auge liegt).

Gemäß dieser allgemeinen Formel zerfällt der Ausdruck für das genaue Verhältnis des Schwinkels zu der linearen Größe des Gegenstandes in ein Hauptglied $\left(\frac{1}{f}\right)$, das von allen besonderen

Umständen unabhängig ist, und ein Zusatzglied $\left(\frac{1}{f} \cdot \frac{d}{l}\right)$, das sich mit der Lage und der Akkommodation des beobachtenden Auges ändert.

Da in allen praktisch vorkommenden Fällen $\frac{d}{l}$ ein kleiner Bruch zu sein pflegt, bedeutet das Zusatzglied nur eine kleine Korrektion und diese Korrektion hängt nur von der Sehweite und dem Augenorte ab. Der einfache reziproke Wert der Brennweite liefert daher in *allen* Fällen das geeignete Maß für die Vergrößerungskraft eines Linsensystems, weil es *denjenigen* Bestandteil der Vergrößerung ausdrückt, der dem System eigentümlich ist, und der unabhängig von den mannigfachen Verhältnissen ist, unter denen es benutzt wird.

Der andere allgemein übliche Ausdruck für die vergrößernde Kraft $N = \frac{l}{f}$ kann auf eine *etwas* rationellere Grundlage, als gewöhnlich der Fall ist, gestellt werden, indem man die Länge l (250 mm oder 10 Zoll) nicht als „deutliche Sehweite“ sondern vielmehr als „den Projektionsabstand“ definiert. Insoweit als „deutliches Sehen“ für die Bestimmung der Vergrößerung angenommen wird, hat der Wert von N überhaupt keine tatsächliche Bedeutung für einen Beobachter, der statt auf 250 mm auf fünfmal größeren Abstand deutlich sieht. In der Tat behaupten viele Mikroskopiker, daß die gewöhnlichen Vergrößerungszahlen für sie unbrauchbar seien, weil sie das Bild in der angenommenen Entfernung nicht beobachten könnten. Es gewinnt so den Anschein — und viele sind dieser Meinung — als ob die Leistung des Mikroskops inbezug auf Vergrößerung *wesentlich* von der Akkommodation des beobachtenden Auges abhinge. [351] Diese irreführende Vorstellung, die durch die gewöhnliche Ausdrucksweise hervorgerufen wird, wird ausgeschlossen, indem man die 10 Zoll

[250 mm] einzig und allein als den Abstand vom Auge definiert, in dem das Bild gemessen wird, *gleichgültig ob das Bild deutlich oder undeutlich sei*. Wenn nämlich ein Beobachter, gemäß der Akkommodation seines Auges, ein deutliches Bild in einer Entfernung von 10 Fuß [3 m] sieht, so kann ich nichtsdesoweniger eine Ebene in einer Entfernung von 250 mm vom Auge annehmen, auf die sich das entfernte Bild virtuell projiziert und den Durchmesser dieser Projektion messen. Nun ist dieser Durchmesser genau derselbe wie der Durchmesser desjenigen Bildes, das von einem anderen Beobachter tatsächlich in einer Entfernung von 250 mm deutlich gesehen wurde. Der einzige Unterschied besteht darin, daß wir in dem ersten Falle die Mittelpunkte der Undeutlichkeitskreise statt der scharfen Bildpunkte im letzten Falle nehmen müssen.

Wenn die konventionelle Länge von $l = 250$ mm oder 10 Zoll *diese Auslegung* erfährt (als Entfernung der Projektionsebene unabhängig von der Möglichkeit deutlichen Sehens) wird wenigstens der Widersinn vermieden, daß ein *tatsächlicher* Einfluß der Akkommodation auf die Stärke des Mikroskops bestehe. So tritt deutlich hervor, daß für weitsichtige wie für kurzsichtige Augen dasselbe N denselben Schwinkel der vergrößerten Gegenstände oder dieselbe Größe des Netzhautbildes anzeigen muß, weil es denselben Durchmesser der Projektion in 250 mm Abstand zeigt.



XX. Ueber Neue Mikroskope¹⁾.

Sitzungsberichte der Jenaischen Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaft,
Jahrgang 1886, 107–128, Sitzung vom 9. Juli 1886.

Seit dem Jahre 1881 haben Dr. SCHOTT in Jena und der Verfasser, mit thätiger Unterstützung der Inhaber der hiesigen optischen Werkstätte von C. Zeiss, fortgesetzt Versuche behufs Verbesserung des optischen Glases unternommen, deren Ergebniss die Darstellung neuer Glasarten für den Gebrauch der Optiker gewesen ist.

Durch spectrometrische Untersuchung von zahlreichen Probeschmelzungen, die mit den verschiedensten chemischen Elementen systematisch dargestellt worden sind, wurde die Abhängigkeit der optischen Eigenschaften der amorph erstarrenden (glasartigen) Schmelzverbindungen von ihrer chemischen Zusammensetzung genauer erforscht und auf Grund der gewonnenen Ergebnisse wurden alsdann geeignete Synthesen ausgearbeitet, vermittelt welcher sich bestimmte, für die Anwendung erwünschte optische Eigenschaften des Glases herbeiführen lassen.

Auf diesem Wege ist es gelungen, unter Verwendung einer viel größeren Anzahl von chemischen Elementen, als bisher in der Glasfabrikation benutzt wurden, im Besonderen durch Anwendung der Phosphorsäure und der Borsäure als Grundbestandtheilen von Glasflüssen, neben der früher allein benutzten Kieselsäure, namentlich zwei bisher unerfüllt gebliebene Desiderate der practischen Optik zu erfüllen: erstens, Crown- und Flintglas darzustellen,

1) [In den Sonderabdrucken trägt diese Abhandlung den Titel: *Ueber Verbesserungen des Mikroskops mit Hilfe neuer Arten optischen Glases.*]

bei welchem die Dispersion in den verschiedenen Regionen des Spectrums ein annähernd constantes Verhältniss zeigt, welches also bei achromatischen Combinationen das bisher unvermeidliche secundäre Spectrum ganz, oder fast ganz zu beseitigen gestattet; zweitens, die Reihe der optisch verwendbaren Glasarten in der Art zu erweitern, dass bei gleichem mittleren Brechungsindex die Dispersion, oder bei gleicher Dispersion der Brechungsindex, in erheblichem Spielraum verschieden erhalten werden kann, im Besondern aber hohe Werthe des Brechungsindex nicht, wie in dem bisherigen Glas, nur in Verbindung mit hoher Dispersion (in Flintglas) sondern auch mit geringen Graden der Dispersion (in Crown-glas) zu erhalten sind.

[108] Die regelmäßige Darstellung optischen Glases, welches solchen erweiterten Anforderungen entspricht, erscheint für die Zukunft dadurch sicher gestellt, dass mit Unterstützung des Königl. preuss. Unterrichtsministeriums im unmittelbaren Anschluss an die zuvor erwähnten Versuchsarbeiten eine Glasschmelzerei mit fabrikkatorischem Betrieb am hiesigen Orte errichtet worden ist (Glas-technisches Laboratorium in Jena), welche inzwischen die Fabrikation aller Arten optischen Glases für den allgemeinen Bedarf eröffnet hat.

Das kürzlich ausgegebene Productions-Verzeichniss dieses Instituts giebt, vorbehaltlich einer späteren vollständigen Veröffentlichung der erlangten Versuchsergebnisse, den Interessenten einsehen über das Nähere Auskunft.

Die neuen Hilfsmittel, welche hiermit der practischen Optik durch eine von wissenschaftlichen Gesichtspunkten geleitete Weiterbildung der Glasfabrikation zur Verfügung gestellt sind, führen nicht unerhebliche Veränderungen in den Grundlagen für die Behandlung dioptrischer Aufgaben herbei und dürften geeignet sein, auf verschiedenen Gebieten den Bestrebungen zur Vervollkommenung der optischen Werkzeuge Wege zu eröffnen, die bisher verschlossen geblieben sind.

In Bezug auf das Mikroskop ist der Versuch, durch Benutzung jener Hilfsmittel Verbesserungen zu gewinnen, seitens der hiesigen optischen Werkstätte von C. Zeiss nach theoretischen und rechnerischen Vorarbeiten des Verfassers inzwischen unternommen worden. Ueber den Plan, der diesem Versuch zu Grunde liegt und über die Ergebnisse, zu welchen er geführt hat, soll im Folgenden berichtet werden.



Objective.

Eine zweckmässige Benutzung der neuen Glasflüsse, speciell derjenigen, welche mit Hilfe von Phosphorsäure und Borsäure dargestellt worden sind, neben Silicatgläsern verschiedener Zusammensetzung, kann in Betreff der Objective zwei wichtige Defecte beseitigen, welche, weil sie mit den früher verfügbaren Mitteln durchaus nicht zu heben waren, der weitem Vervollkommnung des Mikroskops bisher unübersteigliche Hindernisse in den Weg gelegt haben.

[109] Die starke Disproportionalität der Farbenzerstreuung in verschiedenen Theilen des Spectrums, welche dem gewöhnlichen Crown- und Flintglas eigen ist, hat bisher eine vollständige Achromasie überhaupt unmöglich gemacht. In den besten Objectiven konnten nicht mehr als zwei verschiedene Farben des Spectrums zu wirklicher Vereinigung gebracht werden; die unvermeidliche Abweichung der übrigen — das sog. secundäre Spectrum — liess immer farbige Zerstreuungskreise von merklicher Ausdehnung und merklicher Lichtintensität übrig. Ausserdem aber war es auch mit dem bis jetzt verfügbaren Glase nicht möglich — wenigstens nicht in practisch durchführbaren Constructionstypen — die sphärische Aberration für mehr als eine Farbe aufzuheben. Alle Objective blieben, wenn auch für die Mitte des Spectrums die sphärische Abweichung möglichst aufgehoben war, doch mit einer sphärischen Unter correction für das rothe und einer sphärischen Uebers correction für das blaue und violette Licht behaftet — welcher Defect practisch in die Erscheinung tritt als eine mehr oder minder starke Ungleichheit der chromatischen Correction zwischen der mittleren und der peripherischen Zone des Objectivs.

Beide Defecte wirken vereint dahin, die Strahlenvereinigung in dem vom Objectiv entworfenen Bilde um so unvollkommener zu gestalten, je grösser die Apertur der Objective wird; sie beschränken daher namentlich bei den Objectiven von beträchtlicher Apertur die brauchbaren Vergrösserungen auf die schon mit relativ schwachen Ocularen erreichbaren Ziffern, weil jene Correctionsmängel unter stärkerer Ocular-Vergrösserung störend sichtbar werden; und sie nöthigen zur Anwendung sehr kurzer Objectiv-Brennweiten, wenn hohe Vergrösserungen mit befriedigender Bildschärfe — also durch schwache Oculare — erreicht werden sollen.

Diese beiden Mängel der Strahlenvereinigung in den bisherigen achromatischen Systemen lassen sich nun mit Hilfe der neuen Glasarten so gut wie vollständig beseitigen.

Erstens kann die secundäre Farbenabweichung gehoben und auf einen practisch unschädlichen Farbenrest tertiären Characters reducirt werden — was bisher noch in keiner Art von optischen Constructionen auch nur annähernd erreicht worden ist;

zweitens lässt sich die chromatische Differenz der sphärischen Aberration beseitigen, d. h. die sphärische Abweichung lässt sich [110] gleichzeitig für zwei verschiedene Farben des Spectrums (und damit practisch so gut wie für alle Farben) vollständig corrigiren.

Der letzteren Forderung ist bisher nur bei Fernrobjectiven, für welche GAUSS sie zuerst formulirt hat, einige Male genügt worden, jedoch ohne dass hierdurch — mangels einer gleichzeitigen Beseitigung der secundären Farbenabweichung — ein besonderer Gewinn erzielt worden wäre.

Die Erfüllung der ersteren Bedingung hängt davon ab, dass Glaspaafe verfügbar sind, in welchen die sogen. relative Dispersion — der Quotient $\frac{\Delta n}{n-1}$ — beträchtlich verschieden, das Verhältniss

der partiellen Dispersion zwischen den verschiedenen Abschnitten des Spectrums aber wenigstens annähernd gleich ist, oder umgekehrt jener Quotient gleich und dieses Verhältniss verschieden. Dieses ist durchaus Sache der chemischen Constitution der Glasflüsse. Die Eingangs erwähnten Experimentaluntersuchungen über den Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die optischen Eigenschaften haben festgestellt, dass innerhalb der Reihe der Silicatgläser einer solchen Anforderung überhaupt nicht zu genügen ist, wohl aber, wenn Phosphate und Borate combinirt zur Anwendung gebracht werden, erstere als Ersatz für Crown Glas, letztere für Flintglas. Das angezogene Productionsverzeichnis des hiesigen Glastechnischen Laboratoriums führt von einer Anzahl derartiger Glasflüsse die Resultate der spectrometrischen Messung auf und bietet damit die erforderlichen Unterlagen für die Verwendung dieser Gläser zu dem in Rede stehenden Zweck nach den gebräuchlichen Methoden zur rechnerischen Bestimmung der Farbenzerstreuung in optischen Systemen.

Die andere, auf die sphärische Aberration bezügliche Forderung involvirt bei Systemen von so grosser Apertur, wie beim



Mikroskop in Frage kommt, die Berücksichtigung sehr verwickelter Relationen zwischen den einzelnen Elementen der Systeme, welche die Theorien der Dioptrik bis jetzt keineswegs in allgemeiner Form dargelegt haben. Soweit Verf. zur Zeit die Frage übersehen kann, hängt die Ausgleichung der in Betracht stehenden Aberrationsdifferenzen durchweg ab von einer sehr starken Anhäufung sphärischer Abweichung in einem Theil des Systems und deren Compensation durch gleich starke entgegengesetzte Abweichungen in einem andern Theil. Für die richtige Balancirung solcher absichtlich herbeizuführender Anhäufungen erscheint aber die Möglichkeit [111] einer Abstufung des Brechungsindex unabhängig von der Dispersion, wie solche durch die neuen Glasarten dargeboten wird, als ein unentbehrliches Hilfsmittel.

Wie die theoretische Discussion der Abbildungsbedingungen mit Sicherheit voraussehen liess, und der Erfolg bei den inzwischen ausgeführten Objectiven practisch bestätigt, führt die gleichzeitige Erfüllung beider Anforderungen zu einer wesentlich vollkommeneren Lichtconcentration in den von solchen Objectiven entworfenen Bildern. Diese wird — ganz abgesehen von der ungewohnten Farbenreinheit der Bilder, die selbst bei ganz schiefer Beleuchtung fast ebenso vollkommen wie bei centraler Beleuchtung fortbesteht — besonders darin kenntlich, dass jene Bilder die weitere Vergrösserung durch sehr starke Oculare vertragen, ohne dass Unschärfe und der mit solcher stets verbundene Eindruck des Lichtmangels zur Geltung kommt, wofern nur die technische Vollendung der Construction mit der Verfeinerung der optischen Wirkung genügend Schritt hält.

Da nach dem Gesagten die Bedingung für diese Eigenschaften der in Betracht stehenden Objective, und zugleich unter dem dioptrischen Gesichtspunkt ihr unterscheidendes Merkmal, in der Beseitigung solcher Fehler der Strahlenvereinigung liegt, welche, obwohl sie zum Theil den Charakter sphärischer Aberrationen tragen, sämmtlich in dem ungleichen Verhalten verschiedenen farbiger Strahlen wurzeln, und da die Aufhebung dieser Fehler thatsächlich eine Achromasie von höherer Ordnung, als bisher erreichbar war, begründet, so mögen die Objective dieses Systems zur Unterscheidung von den achromatischen Linsen im Sinne des bisherigen Begriffes, als apochromatische Objective und Apochromate bezeichnet werden.

Die practischen Vortheile, welche eine solche Verbesserung herbeiführt, bestehen in Folgendem:

Erstens kommt jetzt erst die Apertur der Objective mit ihrem vollen Betrag zur Geltung, während bei den bisherigen Objectiven von einigermaassen beträchtlicher Apertur die unvermeidlichen Mängel der Strahlenvereinigung ein genaues Zusammenwirken der äussersten Randzone mit den centralen Theilen der Oeffnung in erheblichem Grade beeinträchtigen und deshalb niemals diejenige Höhe des Abbildungsvermögens wirklich zu Stande kommen lassen, welche der vorhandenen Apertur theoretisch [112] zukommt. Practisch verhalten sich also solche Objective so wie entsprechende Objective gewöhnlicher Art von merklich grösserer Apertur. So entwirft z. B. ein Trockenobjectiv, dessen Apertur nicht nennenswerth grösser ist als diejenige der jetzt gebräuchlichen stärkeren Trockensysteme, von Pleuros. angulatum bei centraler Beleuchtung ein Bild, welches in der Klarheit und Bestimmtheit der Zeichnung von dem Bilde guter Wasser-Immersionslinsen der bisherigen Art kaum zu unterscheiden ist. Die Wasserimmersion aber darf, nach entsprechenden Beobachtungen, hinsichtlich der optischen Leistung als der bisherigen homogenen Immersion mindestens ebenbürtig hingestellt werden, abgesehen von dem practischen Vorzug der letzteren, die Deckglascorrection entbehrlich zu machen. — Der Vorsprung kommt namentlich zur Geltung bei Beleuchtung mit breitem centralen Lichtkegel, wie ihn der Beleuchtungsapparat mit weitem Diaphragma liefert.

Zweitens wird, da bei den neuen Objectiven das Hinderniss beseitigt ist, welches bisher einer beträchtlicheren Steigerung der Vergrösserung durch die Oculare im Wege stand, die stärkste Vergrösserung, welche bei einer gegebenen Apertur jeweilig in Frage kommen kann, schon mit einem Objectiv von relativ langer Brennweite erreicht, und es werden demnach die bis dahin erforderlichen sehr kurzen Brennweiten überhaupt überflüssig.

Nach Versuchen, über welche der Verf. früher berichtet hat¹⁾, wird auch mit den besten Objectiven der älteren Art bei grossen Aperturen die Grenze einer vollkommen befriedigenden und für schwierigere Beobachtungen ausreichenden Bildschärfe erreicht,

¹⁾ On the relation of Aperture and Power etc. Journ. of the R. Microscop. Society, 1883, Ser. II, Vol. III, p. 803 u. f. [Vergl. Abhandlung XVII dieser Sammlung, S. 422 u. f.]



wenn die Uebersvergrößerung eine 4–6fache wird, d. h. wenn durch Tubus und Ocular die Gesamtvergrößerung das 4–6fache von derjenigen Vergrößerung erreicht, welche das Objectiv für sich, ohne Ocular — wie eine Lupe benutzt — liefern würde. Um unter diesen Umständen eine Vergrößerung von 1200 — z. B. bei einem Objectiv für homogene Immersion — unter günstigen Bedingungen zu erhalten, benötigt man also eines Objectivs, dessen eigene Vergrößerung schon 200 sein muss, dessen Brennweite mithin nur $\frac{250}{200} = 1.25$ mm sein darf. Dem gegenüber stellt sich nun nach zahlreichen und sorgfältig ausgeführten Vergleichen bei den in Rede stehenden apochromatischen Objectiven das Maass [113] der zulässigen Uebersvergrößerung auch bei den grössten Aperturen auf mindestens 12–15, bei den mittleren und schwächeren Objectiven aber noch beträchtlich höher. Eine Gesamtvergrößerung von 1200 erfordert also jetzt keine stärkere Objectiv-Vergrößerung als 80–100, womit gesagt ist, dass ein Objectiv von 3.0 bis 2.5 mm Brennweite hinsichtlich der nutzbaren Vergrößerungen nunmehr unter Zuhilfenahme stärkerer Oculare¹⁾ dasselbe leisten kann, was vorher nur durch eine Brennweite von 1.25 mm zu erreichen war.

Wenn selbst wenig Werth darauf zu legen wäre, dass die Unbequemlichkeit beseitigt wird, welche dem Gebrauch der Objective von sehr kurzer Brennweite unvermeidlich anhaftet, so

¹⁾ Angesichts der noch sehr verbreiteten Meinung, dass die Anwendung starker Oculare an sich unvorteilhaft sei — dass diese Lichtmangel herbeiführten und dass man deshalb für höhere Vergrößerungen grundsätzlich Objective von kurzer Brennweite und schwache Oculare fordern müsse — dürfte es nicht überflüssig sein, darauf hinzuweisen, dass eine solche Ansicht weder optisch sich rechtfertigen lässt, noch einer richtig gedeuteten Erfahrung entspricht, sondern aus einer unberechtigten Verallgemeinerung gewisser Beobachtungen entspringen ist. Die starken Oculare geben dann „dunkle“ Bilder, wenn durch ihre Anwendung überhaupt zu hohe (leere) Vergrößerung herbeigeführt wird, d. h. wenn die Gesamtvergrößerung über diejenige Ziffer hinaus sich steigert, bei welcher der Inhalt des Bildes, wie er durch die Apertur des Objectivs sich bestimmt, für das Auge erschöpft ist; und ausserdem dann, wenn die Strahlenvereinigung durch das Objectiv zu unvollkommen ist, um die betreffende Vergrößerung zu vertragen, ohne dass die Fehler sichtbar werden. Wenn weder der eine noch der andere Fall vorliegt, ist es auch für den subjectiven Eindruck der Helligkeit durchaus gleichgültig, ob die betreffende Vergrößerung durch ein starkes Objectiv mit einem schwachen Ocular oder durch ein schwächeres Objectiv von gleicher Apertur mit einem stärkeren Ocular erzielt worden ist. Die objective Lichtstärke des Bildes aber hängt in jedem Falle nur von der Apertur und der Gesamtvergrößerung ab, gleichgültig wie die letztere durch Brennweite des Objectivs, Tubuslänge und Brennweite des Oculars sich bestimmt.

wird doch ein wesentlicher Gewinn jedenfalls erreicht: dass der Spielraum der Anwendung für jedes einzelne Objectiv ganz erheblich sich erweitert, weil eine Reihe sehr verschiedener Vergrößerungen blos durch Wechseln des Oculars durchlaufen werden kann. Es leuchtet ein, dass ein Objectiv von 3 mm Brennweite, wenn es befähigt ist, mittels geeigneten stärkern Oculars eine scharfe Vergrößerung von 1200–1500 zu gewähren, in genannter [114] Beziehung mehr bietet als ein Objectiv mit der bisher erforderlichen viel kürzern Brennweite, weil jenes zugleich die Leistung eines mittleren Objectivs mit in sich begreift, wenn man die schwachen Oculare in Anschlag bringt.

Drittens endlich dürfte die Verwirklichung einer Achromasie von höherer Ordnung bei den Mikroskopobjectiven eine besondere Bedeutung hinsichtlich der Mikrophotographie gewinnen, weil die Correctionsdefecte der gewöhnlichen achromatischen Systeme hier in noch höherem Grade störend eingreifen müssen als bei der Ocularbeobachtung. Nicht nur entspringt aus ihnen eine beträchtliche Focusdifferenz zwischen den optisch und den chemisch wirksamen Strahlen, durch welche schon die Einstellung auf den richtigen photographischen Focus durchaus problematisch wird; es bleibt auch, da die sphärische Correction des Objectivs nur für das hellere sichtbare Licht sicher bewirkt werden kann, für die dem violetten Ende des Spectrums nahe liegenden chemischen Strahlen stets eine starke sphärische Ueberscorrection bestehen, vermöge welcher im photographischen Bild eine gleich vollkommene Strahlenvereinigung wie bei der Ocularbeobachtung überhaupt nicht zu Stande kommt. Beide Fehler sind in den apochromatischen Objectiven beseitigt — der erste durch die Aufhebung der secundären Farbenabweichung, der letztere durch die Herstellung einer übereinstimmenden sphärischen Correction für alle Farben. Die Objective dieser Art bieten also erst eine Gewähr dafür, dass das beste chemische Bild in derselben Ebene auftritt, in welcher das beste optische Bild gefunden wird, und dass zugleich jenes mit der gleichen Bildschärfe wirksam ist, mit welcher die Netzhaut das letztere wahrnimmt.

Nach der Theorie müsste die photographische Fixirung des Mikroskopbildes vor der Ocularbeobachtung einen nicht unerheblichen Vorsprung zeigen, wegen der wesentlich kürzeren Wellenlänge der im ersteren Falle wirksamen Lichtstrahlen; es müssten die Objective beim Photographiren den Effect einer im Verhältniss



von beiläufig 4:3 vergrösserten Apertur im Vergleich mit der Ocularbeobachtung zeigen. Wenn bisher, wie es scheint, von einem solchen Vorsprung in der Praxis nichts bemerkt worden ist, so liegt es nach dem Gesagten nahe, dieses daraus zu erklären, dass die Bilder der chemisch wirksamen Strahlen im Punkt der Lichtconcentration immer wesentlich unvollkommener geblieben sind als die sichtbaren Bilder, und dass dieser Mangel den Vortheil der kürzeren Wellenlänge wieder ausgeglichen hat. Die Erfahrungen, welche inzwischen mit einigen nach dem neuen [115] Correctionsprincip ausgeführten Objectiven gewonnen wurden, geben nun in der That der Erwartung Raum, dass die theoretisch voraussetzende Ueberlegenheit der photographischen Beobachtung in Zukunft noch zur Geltung kommen wird.

Die vorstehend bezeichneten Zielpunkte für die Vervollkommnung der Objective, sowie die Voraussetzungen für ihre praktische Durchführung sind vom Verf. schon vor Jahren dargelegt worden¹⁾. Derselbe hat auch gelegentlich berichtet über Versuchs-Objective, die — unter Benutzung stark brechender Flüssigkeiten in Form von Einschlusslinsen in Systemen — schon im Jahre 1873 in der Zeiss'schen Werkstätte ausgeführt worden sind²⁾, um die Richtigkeit jener Ansichten practisch auf die Probe zu stellen, und — nach den damals gebrauchten Worten — „einen Ausblick auf die Mikroskope der Zukunft zu gewinnen“. — Insoweit also bieten die in Betracht stehenden Constructionen nicht mehr als die endliche Verwirklichung eines Planes zur Verbesserung des Mikroskopes, der in der hiesigen Werkstätte seit Jahren vorbereitet ist, der aber so lange in suspenso gelassen werden musste, als die Glastechnik die erforderliche Mithilfe nicht zu leisten vermochte.

Die Durcharbeitung dieses Planes in neuerer Zeit hat aber noch auf einen weitem Vortheil hingewiesen, der, obwohl nebensächlicher Art, immerhin als eine erwünschte Verbesserung erscheinen wird. Bei allen Objectiven von beträchtlicher Apertur — bei welchen die Frontlinse nicht für sich achromatisch gemacht werden kann — bleibt, auch wenn die Farbenabweichung auf der

1) Bericht über die wissensch. Apparate auf der Londoner internationalen Ausstellung i. J. 1876, herausg. v. A. W. Hofmann. Braunschweig 1878, p. 415—420. [Vergl. Abhandlung VI, S. 157—164.]

2) On new methods for improving spherical correction etc. Journ. of the R. Microscop. Soc. Vol. II, 1879, p. 815—817. [Vergl. Abhandlung X, S. 200—204.]

Achse (also für die Mitte des Sehfeldes) möglichst vollkommen corrigirt ist, eine nicht unerhebliche Verschiedenheit der Vergrösserung für verschiedene Farben (Verschiedenheit der Brennweite des Objectivs für verschiedene Farben bei übereinstimmender Lage des vorderen Brennpunktes) bestehen, welche Anlass giebt zu merklichen Farbenabweichungen ausserhalb der Mitte des Sehfeldes, die nach dem Rande desselben als deutliche Farbensäume auftreten. (Das durch die blauen und violetten Strahlen entworfene Bild ist grösser als das von den rothen [116] und gelben erzeugte, deckt letzteres in der Mitte, greift aber nach dem Rande hin mehr und mehr über dasselbe hinaus.)

Dieser Defect der Vergrösserung lässt sich zwar auch in den apochromatischen Systemen nicht beseitigen, ausser durch ganz unvortheilhafte Constructionen; während er aber bei den gewöhnlichen achromatischen Objectiven noch der weiteren Complication unterliegt, dass der Grad jener farbigen Vergrösserungs-differenz sehr ungleich wird für die centralen und die peripherischen Theile der Objectiv-Oeffnung, behält er bei den apochromatischen annähernd gleiche Grösse für alle Theile der Oeffnung und gestattet in Folge dessen nunmehr eine Correction durch die Oculare.

Es ist zu dem Zwecke nur nöthig, die Oculare so einzurichten, dass sie selbst mit einer entsprechend grossen aber entgegengesetzten Differenz der Vergrösserung (oder der Brennweite) für verschiedene Farben behaftet sind, also Oculare in Anwendung zu bringen, die in bestimmtem Grade unachromatisch sind. Die Durchführung eines solchen Planes erfordert aber natürlich, wenn die nämlichen Oculare für verschiedene Objective geeignet sein sollen — was selbstverständlich verlangt werden muss — dass in sämtlichen Objectiven jene Differenz der farbigen Vergrösserung auf annähernd gleichen Betrag abgeglichen sei. Dieses nöthigt dazu, bei den Objectiven von kleiner Apertur, bei welchen jene Abweichung leicht vermeidlich und deshalb auch jetzt der Regel nach nicht vorhanden ist, einen solchen Defect nun absichtlich einzuführen, gerade in derjenigen Grösse, in welcher er bei den grossen Aperturen unvermeidlich ist.

Der Erfolg dieser Neuerung besteht darin, dass nunmehr auch die Objective von relativ grosser Apertur im ganzen Umfange des Sehfeldes sehr farbenreine Bilder gestatten, ohne dass dieses Zweckes wegen ihre Construction verwickelter zu werden braucht.



Hinsichtlich der Darstellung einer den verschiedenen praktischen Bedürfnissen genügenden Reihe von Objectiven nach dem zuvor characterisirten Correctionsmodus bleiben durchaus die Gesichtspunkte in Geltung, welche Verf. früher, mit Bezug auf die damals bestehenden Constructionsbedingungen, entwickelt hat¹⁾. Den veränderten Umständen in Betreff des erreichbaren Grades [117] der Strahlenvereinigung ist durch Modification der dort eingeführten Zahlenangaben ohne Weiteres Rechnung zu tragen.

Als Ausgangspunkt ist für jede Konstruktion die numerische Apertur zu wählen, die in dem Verhältniss der freien Oeffnung des Objectivs zu seiner Brennweite ihren anschaulichen Ausdruck findet. Die obere Grenze für dieses Element ist bei jeder Classe von Objectiven — Trockensystem, Wasserimmersion, homogene Immersion — fast unveränderlich bestimmt durch das theoretisch mögliche Maximum; im Uebrigen aber bleibt die Festsetzung eines für bestimmte Zwecke angemessenen Betrages der freien Wahl überlassen. Ist die Apertur einmal festgesetzt, so bestimmt sich dadurch zunächst der Typus der Zusammensetzung des Linsensystems im Allgemeinen und dann weiter auch die Wahl der einzelnen Constructionselemente, durch welche den verschiedenartigen Correctionsbedingungen Genüge zu leisten ist; offen bleibt nur noch die Brennweite, mit welcher die betreffende Apertur dargestellt werden soll, also der Maassstab der Construction, oder die absoluten Dimensionen, in welchen das System auszuführen ist.

Die Entscheidung über die Brennweite oder den Maassstab wird nun für eine rationelle Construction durch folgende Richtschnur geleitet sein.

Mit der Apertur sind nach bekannten und jetzt allgemein angenommenen Sätzen die linearen Maasse des kleinsten Details in den Objecten bestimmt, welches vermöge dieser Apertur noch zur Abbildung gelangen kann; diese Maasse lassen sich für jede Apertur in grosser Annäherung numerisch angeben²⁾.

Erfordert wird nun, dass auch dieses kleinste im Bilde wiedergegebene Detail dem Auge unter einem für die deutliche Wahrnehmung ausreichenden Schwinkel dargestellt werde, für dessen Bestimmung bekannte Erfahrungen die nöthigen Anhaltspunkte bieten. Aus diesen beiden Daten: absolute Grösse des kleinsten

1) Journal of the R. Microscop. Soc. 1882 und 83. Ser. II, Vol. II, p. 460 u. f., Vol. III, p. 790 u. f. [Vergl. Abhandlung XVII, S. 389–435.]

2) Vol. II, l. c. p. 463. [Abhandlung XVII, S. 393 und 394.]

Abbildbaren in den Objecten und erforderlicher Schwinkel im Bild, folgt sofort der Minimalwerth der Vergrösserungen, welche ein Mikroskop mit der betreffenden Apertur gewähren muss, wenn diese Apertur vollständig ausgenutzt werden soll. Andererseits aber giebt die Erwägung, dass eine Vergrösserung der Schwinkel über ein gewisses geringes Vielfaches der zum deutlichen Sehen erforderlichen Werthe auf leere Vergrösserungen führt, die für keinerlei Zwecke mehr Vortheil bringen, auch sofort den [118] Maximalwerth, welchen die Gesamtvergrösserung des Mikroskops bei jeder Apertur nicht zu überschreiten braucht. Man erhält auf diese Weise also den Spielraum der nutzbaren Vergrösserungen, auf welche ein Objectiv von bestimmter Apertur eingerichtet sein muss.

Welche Brennweite nun dem Objectiv gegeben werden muss, damit durch Vermittelung der Oculare die Vergrösserung des Mikroskops innerhalb der so gefundenen Grenzen vortheilhaft variirt werden könne, hängt durchaus ab von der Entscheidung darüber: welcher Theil von der verlangten Gesamtvergrösserung des Mikroskops in die Oculare gelegt werden darf.

Eine Beschränkung hierin aus optischen Gründen würde überhaupt nicht bestehen, wenn die Lichtconcentration in dem vom Objectiv entworfenen Bild absolut vollkommen gemacht werden könnte. Die Vertheilung der Gesamtvergrösserung zwischen Objectiv- und Ocularwirkung würde in diesem Falle hinsichtlich des optischen Effects durchaus gleichgiltig bleiben. Die Beschränkung tritt aber ein in Folge der unvermeidlichen Mängel der Strahlenvereinigung, welche bedingt sind theils durch uncorrigirte Aberrationsreste in den Objectiven, theils durch Defecte ihrer technischen Ausführung, welche natürlich keine Kunst vollkommen auszuschliessen vermag. Beide Ursachen bewirken, dass an Stelle scharfer Bildpunkte in dem vom Objectiv entworfenen Bild Zerstreuungskreise von kleinerem oder grösserem Durchmesser auftreten, welche mit wachsender Ocular-Vergrösserung dem Auge unter immer grösserem Schwinkel sichtbar werden und demgemäss die Schärfe und Bestimmtheit des Bildes mehr und mehr beeinträchtigen. In Rücksicht auf diese Umstände tritt daher die Frage ein: bis zu welchem Grade dürfen die erforderlichen nutzbaren Vergrösserungen durch die Ocularwirkung hervorgebracht werden, ohne dass im Bild die Zerstreuungskreise sichtbar werden.



Die aus den Mängeln der Strahlenvereinigung entspringenden Zerstreuungskreise sind in ihrer absoluten Grösse, auf die Maasse des abgebildeten Objectes reducirt, bei Objectiven von je gleichem Constructionstypus und gleicher Vollkommenheit der technischen Ausführung, direct proportional der Brennweite des Objectivs. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Schwinkel, unter welchen sie mit einer bestimmten Gesamtvergrösserung des Mikroskops dem Auge sichtbar werden, bei sonst gleichartigen Objectiven umgekehrt proportional sein müssen dem [119] Verhältniss zwischen der Brennweite des ganzen Mikroskops bei dieser Vergrösserung zur Brennweite des Objectivs, oder direct proportional dem Verhältniss zwischen jener Gesamtvergrösserung (N) und der Vergrösserung (n), welche das Objectiv für sich, ohne Ocular, gewähren würde. Dieses Verhältniss $\frac{N}{n}$, welches die durch das

Ocular allein herbeigeführte Vergrösserung kennzeichnet, bestimmt demnach bei Objectiven von je gleichem Vollkommenheitsgrad die Sichtbarkeit der Zerstreuungskreise in der Art, dass für jeden Vollkommenheitsgrad ein bestimmter Werth dieses Verhältnisses existirt, von welchem ab die Mängel der Strahlenvereinigung im Bild die Schwelle der deutlichen Wahrnehmung überschreiten.

Wenn dieser kritische Werth der Ueervergrösserung für irgend eine Classe von Objectiven ermittelt ist, so ergibt sich sofort die Brennweite, die einem Objectiv gegeben werden muss, damit die vorher bestimmten, der Apertur entsprechenden nutzbaren Vergrösserungen unter günstigen Verhältnissen — d. h. ohne störendes Hervortreten der Abbildungsdefecte — erzielt werden können. Denn ist der zulässige Werth der Ocularvergrösserung — in dem zuvor erklärten Sinne — durch eine Zahl v ausgedrückt, während die Gesamtvergrösserung, welche zur Ausnutzung der Apertur erfordert wird, bis zur Zahl N reichen soll, so muss die Eigenvergrösserung n des Objectivs den Werth $\frac{N}{v}$, die Brenn-

weite also $250 \cdot \frac{v}{N}$ (mm) betragen, wenn die Vergrösserungsziffern auf den üblichen Bildabstand von 250 mm bezogen sind. — Die Ermittlung der Ocularvergrösserung v , welche Objective von bestimmtem Constructionstypus noch vertragen, ist daher der entscheidende Factor für eine rationelle Anpassung der Brennweiten an die Aperturen.

Die Feststellung dieser Zahl ist wesentlich eine Sache des Experiments und der Erfahrung, da sie nicht allgemeingiltig, sondern nur in Bezug auf je eine bestimmte Art der Correction und einen bestimmten Grad der technischen Vollkommenheit der Objective gegeben werden kann. Jeder Fortschritt in der Richtung auf vollständigere Aufhebung der sphärischen und chromatischen Aberrationen muss naturgemäss eine Verminderung der Zerstreuungskreise im Objectivbild zur Folge haben und demnach durch höhere Werthe der zulässigen Ocularvergrösserung sich kund geben, wofür gleichzeitig die technische Ausführung der Systeme [120] den entsprechend gesteigerten Anforderungen an die Beseitigung von Form- und Centrirungsfehlern der Linsen Genüge zu leisten vermag.

Wie oben schon erwähnt, vertragen Objective, die mit Hilfe der neuen Glasarten nach den früher bezeichneten Correctionsbedingungen berechnet und mit Aufgebot aller technischen Kunst ausgeführt sind, gemäss den Beobachtungen des Verfassers eine Ocularvergrösserung (Ueervergrösserung) von mindestens 12—15 selbst bei der grössten in Betracht kommenden Apertur, ohne dass dabei Defecte der Strahlenvereinigung im Bilde bemerkbar werden. Für die kleineren Aperturen, welche bei den schwächeren Trockensystemen in Anwendung kommen, erreicht die zulässige Ocularvergrösserung aber noch viel höhere Ziffern. Hieraus folgt unter Anwendung der zuvor angegebenen Richtschnur, dass auch die höchsten nutzbaren Vergrösserungen, welche die homogene Immersion gestattet, noch mit einer Eigenvergrösserung des Objectivs von 80—100, also mit einer Brennweite von ca. 3 mm ohne Einbusse in der Vollkommenheit des Bildes erreichbar sein müssen. Beinahe gleiche Brennweite ergibt sich für die grösste Apertur der Wasserimmersion, und eine Brennweite von etwa 4 mm für die grösste Apertur des Trockensystems.

Dass hiernach bei Objectiven dieser Correctionsweise wesentlich kürzere Brennweiten als 3 mm überhaupt überflüssig werden dürften, wird nach dem Eingangs Gesagten jedenfalls als ein practischer Gewinn anzusehen sein; und es liegt also kein Grund vor, dieser Folgerung nicht Rechnung zu tragen. Hinsichtlich der Trockenlinsen von erheblich kleinerer Apertur als 0.9 aber führt diese theoretische Bestimmung der Brennweiten zum Theil auf so grosse Werthe, dass ihre Anwendung in der Praxis Uebelstände mit sich bringen müsste, weil alsdann namentlich an den Mikroskopen continentalen Modells Oculare von ganz unbequem



kurzer Brennweite erforderlich werden würden, um die nutzbaren Vergrößerungen hervorzubringen. Man wird daher in Betreff dieser schwächeren Objective solcher äusseren Rücksichten wegen bei kürzeren Objectiv-Brennweiten stehen bleiben, als an sich für die betreffenden Aperturen erforderlich wären.

Seitens der optischen Werkstätte von C. Zeiss wird ein Satz von Apochromat-Objectiven ausgeführt, deren Verhältnisse nach den hier angegebenen Gesichtspunkten regulirt sind. Die Aperturen gehen in dieser Reihe von 0.3 bis zu 1.4; in jeder der gebräuchlichen Classen — Trockenlinsen, Wasserimmersion, homogene [121] Immersion — ist das theoretische Maximum der Apertur bis auf ein Deficit von nur etwa 7 % und weniger verwirklicht.

Wie gross oder wie klein der Vortheil sein werde, der dem wissenschaftlichen Gebrauch des Mikroskops aus diesen Neuerungen erwächst, darüber wird natürlich erst eine längere Erfahrung entscheiden können. — In demjenigen Factor, der für die Erweiterung der mikroskopischen Wahrnehmung in letzter Instanz entscheidend ist, der Apertur, können die neuen Hilfsmittel der practischen Optik nichts Wesentliches ändern. Wenn auch eine geringe Vergrößerung der Aperturen erreicht wird, im Vergleich mit denjenigen wenigstens, die bisher bei Objectiven zum regelmässigen Arbeiten vorthellhaft anzuwenden waren, so kann doch dieser Gewinn, als relativ zu gering, eine ausschlaggebende Bedeutung nicht beanspruchen. Ein erheblicher practischer Vortheil kann demnach jedenfalls nur als Folge der inneren Vervollkommenung der Constructionen im Punkte der Strahlenvereinigung erwartet werden. Es wird also Alles darauf ankommen, in welchem Maasse die Eingangs characterisirten sichtbaren Wirkungen dieser Vervollkommenung beim Gebrauch des Mikroskops practisch zur Geltung kommen werden — nämlich die bessere Ausnutzung der Aperturen oder die Verminderung des Deficits zwischen der theoretischen und der thatsächlichen Leistung, welches bisher noch bestanden hat; die grössere Präcision und Bestimmtheit der Wahrnehmung, welche durch die vollkommenere Lichtconcentration ohne Zweifel gewonnen wird; endlich die wesentlich günstigeren Verhältnisse, welche hinsichtlich der Leistungen der Mikrophotographie herbeigeführt sind.

Wie sich hierin das Endresultat aber auch stellen mag, so dürften die hier betrachteten Objectiv-Constructionen unter dem

rein optischen Gesichtspunkt ein gewisses Interesse jedenfalls in Anspruch nehmen, in Hinsicht nämlich auf die wesentlich höhere Ordnung der Strahlenvereinigung, die in ihnen verwirklicht wird.

Nach dem Sprachgebrauch der Dioptrik bestimmt sich diese Ordnung durch die Anzahl der nach Einfallsrichtung oder Brechbarkeit verschiedenen Strahlen, welche gemäss den von einem optischen System erfüllten Bedingungen in vollkommener Strenge an einem Punkt der Achse zur Vereinigung gebracht werden.

Nach dieser Anzahl richtet sich der grössere oder geringere Spielraum für die möglichen Abweichungen der übrigen, nicht streng sondern nur annähernd zu vereinigenden Strahlen; nach [122] ihr bemisst sich daher naturgemäss die geringere oder grössere Vollkommenheit der Strahlenvereinigung überhaupt.

In diesem Sinne repräsentirt eine beliebige einfache Glaslinse auf ihrer Achse eine Strahlenvereinigung erster Ordnung. Die Objective der heutigen grossen Fernrohre zeigen der Mehrzahl nach eine solche von 3. Ordnung, und nur diejenigen Fernrohre, in welchen entweder der FRAUNHOFER'sche oder der GAUSS'sche Constructionstypus streng durchgeführt ist, erreichen die 4. Ordnung.

Unter den hier betrachteten Mikroskopobjectiven verwirklichen aber diejenigen mit maximaler Apertur in den verschiedenen Classen eine Strahlenvereinigung von nicht weniger als 11. Ordnung, weil die Beseitigung der Farbenabweichung einschliesslich der secundären Abweichung zwei verschiedenartige Strahlen, die Aufhebung der sphärischen Aberration und ihrer chromatischen Differenz bei so grossen Aperturen sechs, und endlich die Herbeiführung gleicher Vergrößerung für die verschiedenen Zonen der freien Oeffnung noch weitere zwei Strahlen streng zu erfüllenden Bedingungen unterwirft. Dem entspricht die exorbitante Grösse der freien Oeffnung, die bei Mikroskopobjectiven in Anwendung kommt, im Vergleich mit den Fernrohrobjectiven. Denn während bei letzteren eine Oeffnung, die nur den 10ten Theil der Brennweite beträgt, schon zu den Ausnahmen gehört, wenigstens bei grösseren Instrumenten, erfordert das heutige Mikroskopobjectiv Oeffnungen, die im Durchmesser das 2.8fache der Brennweite erreichen.

Oculare.

Die Verfolgung der oben entwickelten Richtschnur für die Construction von Objectiven hat naturgemäss Veranlassung ge-



boten, auch in Betreff der Oculare Anforderungen zu stellen, welche bisher noch nicht in Betracht gekommen sind und deren Erfüllung ebenfalls auf mehrere neue Einrichtungen geführt hat. Hinsichtlich dieser sind namentlich die folgenden Rücksichten maassgebend gewesen.

Erstens musste, wenn der auf p. 118 [S. 461] angeführte Vortheil der neuen Objective verwirklicht werden sollte, für die mit ihnen zu verbindenden Oculare die Bedingung eingeführt werden, dass sie zwar hinsichtlich der Vereinigungsweiten der verschiedenfarbigen Strahlen genügend achromatisch seien, hinsichtlich der Vergrösserung [123] aber wie stark übercorrigirte Linsen sich verhalten, und zwar mit einem ganz bestimmten, durch die entsprechende Abweichung der Objective von grosser Apertur vorgezeichneten Grade der Uebercorrection. Die Erfüllung dieser, allerdings ungewöhnlichen Anforderung — welche besagt, dass die Brennweite eines solchen Oculars gerade in entgegengesetztem Sinne wie die Brennweite einer gewöhnlichen unachromatischen Linse für verschiedene Farben verschieden sein müsse — bietet der practischen Optik keine besonderen Schwierigkeiten und ist innerhalb verschiedener Constructionstypen mit bekannten Mitteln zu erreichen. Oculare dieser Art compensiren nun die chromatische Vergrösserungsdifferenz des Objectivbildes, und zwar für die verschiedenen Objective gleichmässig, wenn letztere — wie zuvor bemerkt — sämmtlich auf gleichen Betrag jener Differenz abgeglichen sind. — In Hinblick auf diese Function sind die fraglichen Oculare unter der Benennung *Compensations-Oculare* eingeführt worden.

Zweitens forderte der Umstand, dass bei den neuen Objectiven hohe Ocularvergrösserungen für den regelmässigen Gebrauch vorzusehen waren, dazu auf, die Einrichtung der stärkeren Oculare erheblich zu verändern, um ihre Anwendung von den Nachtheilen zu befreien, die ihr jetzt anhaften. Die bisher im Gebrauch befindlichen Oculartypen, sowohl der gewöhnliche *HUYGHENS'sche* wie die verschiedenen Formen der achromatischen Oculare, führen, wenn die Brennweite wesentlich unter 25 mm sinkt, auf Augenlinsen von recht kleinem Durchmesser, und ausserdem rückt bei ihnen der Augenpunkt sehr nahe an die Linse heran. Der Beobachter wird hierdurch zu einer unbequemen Annäherung des Auges genöthigt, vor Allem aber ist der Gebrauch der *Camera lucida* ganz ausgeschlossen. Durch einen von den

gebräuchlichen Formen wesentlich abweichenden Constructionstypus für die höheren Nummern der *Compensationsoculare* ist nun erreicht, dass diese ebenso bequem zu gebrauchen sind, wie die jetzt gangbaren schwachen und mittleren Oculare. Die Augenlinse behält einen reichlich grossen Durchmesser und der Augenpunkt bleibt so weit von der Linse entfernt, dass die Anwendung der *Camera lucida* keinerlei Hinderniss findet.

Drittens hat das Bestreben, den oben auf p. 113 [S. 456] betonten Vorzug der Objective von relativ grosser Brennweite möglichst zur Geltung zu bringen, Veranlassung geboten, die Reihe der Oculare auch nach dem unteren Ende hin über die jetzt gebräuchlichen Grenzen hinaus zu erweitern, um für ein und dasselbe [124] Objectiv einen sehr weiten Spielraum verschiedener Vergrösserungen verfügbar zu machen. Es sind deshalb namentlich zwei besondere Oculare von ungewöhnlich langer Brennweite eingeführt worden, deren schwächstes an Mikroskopen mit dem continentalen Tubus die Ocularvergrösserung = 1 herbeiführt, d. h. mit jedem Objectiv genau diejenige Vergrösserung liefert, welche das Objectiv ohne jedes Ocular, als Lupe benutzt, gewähren würde. Diese Oculare dürften zweckmässig als „*Sucheroculare*“ zu bezeichnen sein, weil sie weniger zum regelmässigen Beobachten als zur vorläufigen Durchmusterung der Präparate und zum Aufsuchen dienen sollen. Mit Einschluss solcher *Sucheroculare* gewährt die Reihe der Oculare eine Abstufung der nutzbaren Vergrösserungen für jedes Objectiv in dem Verhältniss von 1:18 zwischen der kleinsten und der grössten Ziffer, so dass also z. B. ein Objectiv für homog. Immersion von 3.0 mm Brennweite, welches mit dem stärksten Ocular eine Vergrösserung von 1500 liefert, andererseits mit dem schwächsten auch die geringe Vergrösserung von ca. 80 zur Verfügung stellt.

Im Vorangehenden ist mehrfach Gebrauch gemacht worden von einer Characterisirung der Oculare durch das Verhältniss der ganzen Vergrösserung des Mikroskops zur Vergrösserung des Objectivs. Der Verf. hat diese Methode zur Bestimmung der Ocularwirkung im Mikroskop an anderer Stelle begründet¹⁾. Bei dieser Gelegenheit aber mag noch auf den Vortheil hingewiesen werden, welchen dieselbe auch für praktische Zwecke, nämlich

¹⁾ Journ. of the R. Microsc. Soc. 1883, Ser. II, Vol. III, p. 791 u. f. [Vergl. Abhandlung XVII, S. 407 u. f.]



als Grundlage einer rationellen Bezeichnung der Oculare, darbieten kann.

Wenn durch Verbindung von Objectiv und Ocular an einem Mikroskop eine lineare Vergrößerung N , bezogen auf die conventionelle Bildweite l , erreicht wird, so ist damit die Thatsache festgestellt, dass unter diesen Umständen das Mikroskop als Ganzes ein Linsensystem von der Brennweite $f = \frac{l}{N}$ darstellt.

Denn für jedes Linsensystem, welches auch seine Zusammensetzung sein mag, ist immer $N = \frac{l}{f}$, und ein bestimmter Werth von N besteht also kraft eines bestimmten Werthes von f . — Will man [125] nun erfahren, welcher Antheil an der Vergrößerungswirkung des ganzen Mikroskops dem Ocular zukommt, so muss man nothwendiger Weise Dasjenige, was mit dem Ocular vorhanden ist, mit Dem vergleichen, was ohne das Ocular da sein würde. Letzteres aber ist ein Linsensystem (das Objectiv des Mikroskops) mit irgend einer anderen und zwar grösseren Brennweite F . Das Verhältniss zwischen dieser Brennweite und der zuvor betrachteten Brennweite des ganzen Mikroskops kennzeichnet also numerisch die Ocularwirkung im Mikroskop. Dieses Verhältniss ist

$$\frac{F}{f} = \frac{F}{l} \cdot N = \left(\frac{N}{\frac{l}{F}} \right)$$

und da hierin $\frac{l}{F}$ die Vergrößerung n bedeutet, die das Objectiv für sich allein geben würde, so wird man also darauf geführt, die Gesamtvergrößerung des Mikroskops stets zu vergleichen mit der eigenen Vergrößerung des Objectivs, obwohl diese letztere, weil man Mikroskopobjective nicht zugleich als Lupen zu benutzen pflegt, für gewöhnlich nicht zur Anwendung kommt.

Die Vertheilung der Wirkung des ganzen Mikroskops auf Objectiv und Ocular stellt sich also in der Formel dar

$$N = n \cdot \nu$$

wo ν jenen Quotienten $\frac{F}{f}$, das Maass der Ocularwirkung, ausdrückt.

Wie Verfasser gezeigt hat, bestimmt das Verhältniss $\nu = \frac{N}{n}$ zugleich alle Einflüsse, welche hinsichtlich der Beschaffenheit des

mikroskopischen Bildes durch Tubus und Ocular ausgeübt werden. Wenn in irgend einem Mikroskop eine Gesamtvergrößerung N erreicht wird, welche die eigene Vergrößerung n des Objectivs z. B. um das 10fache übertrifft — wie wenn z. B. mit einem Objectiv von 5 mm Brennweite, dessen Eigenvergrößerung, in der üblichen Weise bestimmt, also nur 50 ist, die Gesamtvergrößerung 500 wird — so kennzeichnet diese Zahl $\nu = 10$ endgiltig die sämtlichen optischen Bedingungen, von welchen das Zustandekommen des Bildes unter jenen Umständen abhängt. Im Besonderen ist damit festgestellt, dass alle Abbildungsfehler, die im Objectiv wirksam sind, im schliesslichen Bild genau 10fach vergrössert mitgesehen werden — ganz unabhängig davon, ob diese 10fache Ueervergrößerung durch einen langen Tubus und ein schwaches Ocular, oder umgekehrt, zu Stande gekommen ist.

Es hat nun in der That ein erhebliches practisches Interesse, beim [126] Gebrauch des Mikroskops gerade über diesen wichtigen Factor immer orientirt zu sein; und solches wird erreicht, wenn die Ueervergrößerungen, welche die verschiedenen Oculare herbeiführen, in deren Bezeichnung direct zum Ausdruck gebracht sind. Man hat dabei noch den weiteren Vortheil, dass die jeweilig vorliegende Gesamtvergrößerung durch Multiplication der Ocularnummer mit der Eigenvergrößerung des Objectivs — die mit dessen Brennweite unmittelbar gegeben ist — sofort erhalten wird.

Aus Anlass der jetzt eingeführten Neu-Constructionen ist die Zeiss'sche Werkstätte in Jena mit einer derartigen Bestimmung und Bezeichnung der Oculare vorangegangen. Jedes Ocular wird nummerirt mit der Ziffer der Ueervergrößerung, die es am Mikroskop hervorbringt, unter Voraussetzung der normalen Tubuslänge, für welche es construirt ist. Angesichts der jetzt herrschenden Verwirrung in der Characterisirung der Oculare dürfte es wohl Vortheil bringen, wenn die Optiker dieses System einer rationellen Bezeichnung allgemein annehmen wollten.

Natürlich kommt in diesem System eine bestimmte Vergrößerungsziffer einem Ocular nur insofern zu, als es mit einer bestimmten Tubuslänge benutzt wird, weil überhaupt die Wirkung eines Oculars nicht von dessen Brennweite allein, sondern ebenso sehr von seinem Abstand vom Objectiv abhängt. — Das oben betrachtete Verhältniss $\frac{N}{n} = \nu$ ist stets durch den Werth des Quotienten $\frac{A}{\varphi}$ bestimmt, wo φ die Brennweite des Oculars und A den



Abstand seines unteren Brennpunktes vom oberen Brennpunkt des Objectivs — die „optische“ Tubuslänge — bedeutet. Ein und dasselbe Ocular ergiebt also andere Ocularvergrößerungen — wie es überhaupt andere Vergrößerungen ergiebt — je nachdem es mit kürzerem oder längerem Tubus benutzt wird, und zwar in dem Verhältniss andere, als dabei jener Abstand d verschieden ist. Derartige Veränderungen — wie sie im Gebrauch des Mikroskops durch gelegentliches Einschieben oder Ausziehen des Tubus herbeigeführt werden — lassen sich ebenso leicht in ihrem Einfluss auf die Ocularvergrößerung bestimmen wie in ihrem Einfluss auf die Vergrößerung überhaupt. Wenn man weiss, dass die einem Ocular beigelegte Vergrößerung sich auf eine optische Tubuslänge von z. B. 180 mm bezieht, so weiss man auch sofort, dass ein Ausziehen des Tubus um 20 mm die Ocularvergrößerung im Verhältniss von 180:200 steigern wird. Um allen derartigen Veränderungen Rechnung tragen zu können, [127] braucht also nur Seitens des Optikers angegeben oder vom Beobachter selbst ermittelt zu werden, wieviel bei der als normal angenommenen Tubuslänge der Abstand zwischen dem oberen Brennpunkt des Objectivs und dem unteren des Oculars beträgt. Wäre aber dieses Datum unbekannt, so könnte man auch die Veränderung der Gesamtvergrößerung des Mikroskops in Folge veränderter Tubuslänge ebensowenig bestimmen.

Hilfsmittel zur Projection.

Um die Vortheile, welche die Apochromat-Objective für die Mikrophotographie bieten können, ungeschmälert zur Geltung gebracht zu sehen, ist schliesslich noch den Einrichtungen zur Projection des Bildes besonderes Augenmerk zugewandt worden.

Die bisher für diesen Zweck gebräuchlichen Methoden sind sämmtlich mit erheblichen Mängeln behaftet. — Das an sich einfache und scheinbar sicherste Verfahren, das Bild ohne Weiteres direct auf die photographische Platte zu projeciren, führt bei Objectiven von einigermaassen beträchtlicher Apertur stets eine Verschlechterung des Bildes durch sphärische Aberrationen herbei, sobald der Abstand der Platte erheblich grösser genommen wird als die normale Tubuslänge, für welche das Objectiv corrigirt ist. Für grosse Abstände der Platte sind diese durch den veränderten

Strahlengang im Objectiv bedingten Aberrationen auch mittelst der Correctionsfassung nicht vollständig zu beseitigen. Die Projection der Bilder mit Hilfe eines Oculars hebt allerdings diese Fehlerquelle auf; die gewöhnlichen Oculare, zumal die unachromatischen, führen aber ihrerseits wieder erhebliche Fehler ein, weil sie namentlich die Focusdifferenz der chemisch wirksamen Strahlen bedeutend steigern. Die Anwendung endlich einer achromatischen Zerstreuungslinse (Amplifier) an Stelle eines Oculars — durch welche bisher die relativ besten Resultate erzielt worden sind — bringt, abgesehen von anderen Uebelständen, umständliche und lästige Manipulationen bei der Einstellung mit sich, wenn gute Correction des Objectivs gewährleistet sein soll.

Die vom Verfasser in Ausführung gebrachte Methode, welche diese verschiedenen Nachtheile beseitigt, zielt darauf ab: das Objectivbild ganz unter den gleichen Bedingungen und auch ganz an derselben Stelle des Tubus wie bei der Ocularbeobachtung entwerfen zu lassen und dieses Objectivbild dann mittelst eines sphärisch [128] und chromatisch genau corrigirten Linsensystems, welches gegen jenes Objectivbild im Tubus beliebig eingestellt werden kann, auf die Platte (oder einen Schirm) zu projeciren.

Dieses Verfahren schafft volle Sicherheit dafür, dass der für das Auge — eventuell mittelst der Correctionsfassung — hergestellte und erprobte Correctionszustand des Objectivs auch bei der Projection des Bildes ganz ungeändert fortbesteht und dass durch die nachfolgende zweite Abbildung keine neuen Defecte eingeführt werden können, weil das Projections-System so wie das Objectiv selbst corrigirt, im Besonderen auch frei von secundärer Farbenabweichung und der aus ihr entspringenden Focusdifferenz ist.

Ueberdies ist noch darauf Bedacht genommen, durch das Projections-System die chromatische Differenz der Vergrößerung, die in dem Objectivbild besteht, in gleicher Art wie bei den Compensationsocularen in dem schliesslichen Bild aufzuheben.

Die sämmtlichen Manipulationen behufs der Einstellung, die ebenso gut für kurze wie für beliebig grosse Plattenabstände bewirkt werden kann, gestalten sich bei dieser Methode ausnehmend einfach.

Solche Systeme zur Projection sind, weil sie in der äusseren Form Ocularen ähnlich sehen und auch ganz so wie diese mit



dem Mikroskop verbunden werden, unter der Bezeichnung Projections-Oculare eingeführt worden.

Die Erfahrungen, welche angesehene Kenner der Mikrophotographie über die in Rede stehende Methode inzwischen schon gewonnen haben, lassen voraussehen, dass sie in Zukunft in allgemeinen Gebrauch kommen werde.

[Eine von ABBE durchgeschene englische Übersetzung der vorstehenden Abhandlung ist von H. A. MIERS gegeben worden; sie ist im Journ. Roy. Microsc. Soc. (2), VI, 20—34, 1886 veröffentlicht worden unter dem Titel: *On Improvements of the Microscope with the aid of New Kinds of Optical Glass.*]

XXI.

Über die Wirkung der Beleuchtung durch weitgeöffnete Strahlenkegel.

Journal of the Royal Microscopical Society (2), IX, 721—724, 1889.
Sitzung vom 9. Oktober 1889.

[Der Titel des englischen Originals lautet:
On the Effect of Illumination by means of Wide-angled Cones of Light.
By Professor E. ABBE, Hon. F.R.M.S.]

Übersetzt von Dr. H. AMBRONN.

Die Diffraktionstheorie führt hinsichtlich der Beleuchtung mit weit geöffneten Büscheln zu folgenden Schlüssen:

1. Ein weit geöffneter Beleuchtungskegel muß betrachtet werden als zusammengesetzt aus sehr vielen und sehr engen Büscheln, deren Einfallsrichtungen zur Objektebene sehr verschiedene Neigung haben — vom senkrechten Einfall (axiales Büschel) bis zu einem gewissen Grad von Schiefe allmählich alle Zwischenstufen durchlaufend.

2. Setzt man voraus, daß die zu beobachtende Struktur eine deutliche Beugungswirkung herbeiführt, so wird jedes einzelne Büschel des einfallenden Lichtes bei seinem Durchgange durch die Struktur in ein „Beugungsbüschel“ (oder in einen „Fächer“) „zerklüftet“, wie es für die betreffende Struktur eigentümlich ist; und es entsteht dadurch ein bestimmtes Beugungsspektrum hinter dem Objektiv.

Je nachdem dieser einzelne Beugungsfächer für jede Richtung der einfallenden Strahlen größere oder geringere angulare Aus-

dehnung besitzt, und je nachdem die Richtung, der er zugehört, mehr oder weniger schief ist — beides hängt von der Apertur des Objektivs ab — wird ein kleinerer oder größerer Teil eines solchen einzelnen Beugungsspektrums vom Objektiv aufgenommen und für die Entstehung des Bildes wirksam werden.

3. Im Falle eines genügend weit geöffneten Beleuchtungskegels (jedenfalls, wenn das einfallende Licht die ganze Apertur ausfüllt) wird bei der Mannigfaltigkeit der einzelnen Diffraktionsbüschel, die der Mannigfaltigkeit der einzelnen einfallenden Strahlen entspricht, ein Untereinandermischen der Büschel hinter dem Präparat — und der Beugungsspektren hinter dem Objektiv — in einer solchen Weise eintreten, daß nur noch weisses Licht, die ganze Öffnung ausfüllend, beobachtet werden kann.

Nichtsdestoweniger erzeugt jeder der vielen einzelnen Beugungsbüschel, die im Objektiv durcheinander gemengt werden, ein besonderes Bild des Objekts; jedes einzelne Büschel veranlaßt somit ein ihm zugehöriges [722] Bild; die Strahlen verschiedener Einzelbüschel können nicht zusammenwirken.

Denn die Projektion eines Bildes ist an eine Wiedervereinigung (in einem Punkte) einer Wellenbewegung geknüpft, die von einem leuchtenden Punkte (einem Element der ursprünglichen Lichtquelle) ausgeht. Strahlen,

die von verschiedenen leuchtenden Punkten ausgehen (wie dies der Fall ist bei abgebeugten Strahlen, die zu den Beugungsbüscheln der verschiedenen Einfallskegel gehören), können nicht mit einander interferieren: — die

Wellenbewegungen in diesen Strahlen sind gänzlich unabhängig von einander, sie sind „inkohärent“, ihre Schwingungen können sich gemäß dem Interferenzprinzip nicht addieren; nur

ihre lebendige Kraft d. h. Beleuchtungsintensität kann zusammenwirken.

Zur Erläuterung diene die Fig. 29. Es seien $a, a_1, a_2, a_3, \dots$ und $b, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ die Querschnitte von Beugungsbüscheln, die irgend zwei verschiedenen einfallenden Strahlen angehören; $a, b,$

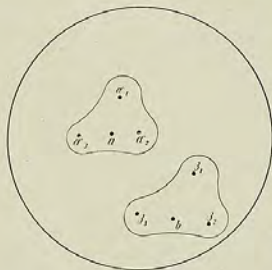


Fig. 29.

$a_1, \beta_1, a_2, \beta_2, \dots$ mögen die entsprechenden abgebeugten Strahlen innerhalb dieser Büschel oder eine Abbildung von irgend zwei einzelnen Beugungsspektren hinter dem Objektiv bezeichnen, die (in Gedanken) aus der ganzen Mannigfaltigkeit isoliert sind. Dann können nur die Strahlen in der Gruppe $a, a_1, a_2, \dots$ durch Interferenz in der Ebene, in der das Bild erzeugt wird, zusammenwirken — und auf diese Weise ein Bild erzeugen —, ebenso auch die Strahlen der Gruppe $b, \beta_1, \beta_2, \dots$ auf dieselbe Weise; aber kein Strahl der ersten Gruppe kann mit einem der zweiten Gruppe interferieren.

Demgemäß ist das mittels des weitgeöffneten Beleuchtungskegels erhaltene Bild nichts anderes als eine Überlagerung sehr zahlreicher Einzelbilder, die ganz gesondert durch die verschiedenen engen Büschel erzeugt werden; und diese Überlagerung stellt nur eine Summierung der Lichtmengen dar, die den verschiedenen Einzelbildern an einem Orte der Bildebene zukommen, nicht aber eine Summierung der Amplituden der Schwingungen gemäß dem Interferenzprinzip (wie dies der Fall ist bei der Erzeugung eines jeden Einzelbildes).

4. Die Einzelbilder, die durch die verschiedenen engen [723] Büschel erzeugt werden, aus denen ein weit geöffneter einfallender Kegel zusammengesetzt ist, sind im allgemeinen einander *unähnlich*, und zwar aus zwei Gründen: —

I. Setzt man voraus, daß die Diffraktionswirkung der Struktur nicht auf ganz schmale Winkel beschränkt ist, so gestaltet sich der Eintritt in das Objektiv für Büschel von *verschiedener Schiefe* (d. h. Büschel, die von verschieden schief einfallenden Strahlen herrühren) verschieden, oder ein verschiedener Anteil eines jeden einzelnen Diffraktionsfächers geht verloren. Von einem axialen Büschel wird der zentrale Teil in das Objektiv eintreten, und nur ein peripherischer Teil geht verloren; von einem schiefen Büschel wird eine volle Hälfte abgeblendet, einmal von links, das andere Mal von rechts. Da die Zulassung verschiedener Teile des ganzen Diffraktionsbüschels einer Struktur stets auch die Bilder verschieden gestaltet (wenigstens in der feineren Zeichnung der Struktur), so würde die verschiedene Schiefe der Einfallrichtung allein genügend sein, das Gesamtbild zu einer Mischung von verschiedenen (und im allgemeinen verschieden unähnlichen) Bildern zu machen; und das ist auch in den Fällen so, in denen die Beugungswirkung selbst (ohne Rücksicht auf die verschiedene Art des unvollständigen



Eintretens in die Öffnung) für einen axial und einen schief eintretenden Strahl ganz gleich ist.

II. Aber diese Beugungswirkung selbst ist für Strahlen von verschiedener Schiefe nicht gleich, mit Ausnahme von solchen Strukturen, die nur durch Absorption des Lichtes (vollständige oder unvollständige) wirken, d. h. deren einzelne Strukturelemente nur eine einfache Verschiedenheit in der Durchlässigkeit besitzen. Bei allen Strukturen aber, in denen die Elemente zugleich Verschiedenheiten im Brechungsvermögen (oder in der Dichtigkeit) besitzen, sind die Strahlen von verschiedener Schiefe auch einem verschiedenen Betrage der Verzögerung beim Durchgange unterworfen; und dementsprechend haben die von einfallenden Strahlen verschiedener Schiefe herrührenden Diffraktionsbüschel ungleiche Beschaffenheit. Theorie und Experiment zeigen, daß die Bilder einer derartigen Struktur, die durch zwei Büschel von verschiedener Schiefe entworfen werden, einander sehr unähnlich sein können, und zwar in solchem Grade, daß in dem einen Teil-(Einzel-)Bilde ein Helligkeitsmaximum an demselben Orte der Bildebene liegt, an dem das andere ein Minimum, oder Dunkelheit zeigt. Die Überlagerung von so verschiedenen Teilbildern dieser Art muß demnach eine größere oder geringere Verwirrung, oder sogar eine vollständige Unterdrückung der Struktureinzelheiten im Bilde hervorrufen.

Dieser Umstand wird bei der von R. KOCH in Berlin angegebenen Methode¹⁾ für die Beobachtung von gefärbten Präparaten praktisch mit großem Erfolge benutzt. KOCH hat vor 12 Jahren die Anwendung weit geöffneter Beleuchtungskegel zu dem Zwecke empfohlen, alle nicht gefärbten Teile in dem Bilde des Präparats zum Verschwinden zu bringen und das Bild der gefärbten Elemente deutlicher hervortreten zu lassen. Die gefärbten Teile wirken nur durch Absorption, und deshalb sind die von ihnen erzeugten Beugungsspektren für verschiedene Schiefe der Beleuchtung unter einander gleich; die ungefärbten Elemente (ungefärbte Gewebeteile) wirken nur durch verschiedene Brechung und verschiedene Verzögerung des durchgelassenen Lichtes und verursachen somit unähnliche Diffraktionsbüschel und unähnliche Einzelbilder, deren Vermischung zugleich Vernichtung des Gesamtbildes bedeutet.

1) [Vergl. Abhandlung IX dieser Sammlung, S. 185.]

5. Das Ergebnis dieser Betrachtung ist folgendes: Das Gesamtbild, wie es durch weitgeöffnete Beleuchtungsbüschel erzeugt wird, ist stets eine Mischung einer Mannigfaltigkeit von Teilbildern, die mehr oder weniger von einander verschieden [724] (und dem Objekt selbst unähnlich) sind. Es ist nicht im Geringsten ein vernünftiger Grund — noch irgend ein experimenteller Beweis — für die Vermutung vorhanden, daß dieses Mischbild einer streng richtigen Projektion des Objekts näher komme (diesem weniger unähnlich sei) als das Bild, das durch ein enges axiales Beleuchtungsbüschel erzeugt wird. Dieses Bild entsteht sogar unter Bedingungen, die der Ähnlichkeit zwischen Objekt und Bild am günstigsten sind, da bei seiner Erzeugung nichts von dem Beugungsbüschel verloren geht außer den peripherischen Teilen (die zudem in vielen Fällen eine verhältnismäßig geringe Intensität besitzen). Alle anderen Bilder, mit denen es bei Verwendung eines weit geöffneten Beleuchtungskegels vermischt wird, zeigen eine größere Unähnlichkeit im Vergleich zu dem wirklich treuen Bilde des Objekts, da sie unter einer weniger vollständigen Mitwirkung des abgelenkten Lichtes zustande kommen. Es ist deshalb gegen alle logischen Regeln, anzunehmen, daß eine Mischung oder Überlagerung von zahlreichen Einzelbildern, die alle dem wahren Bilde mehr oder weniger unähnlich sind, diesem weniger unähnlich sein sollte, als das Einzelbild, das dem wahren Bilde am ähnlichsten ist (wie dieses Einzelbild auch beschaffen sein mag).

Dieser Schluß widerspricht keineswegs der Tatsache, daß man in vielen Fällen bei Verwendung eines weit geöffneten Beleuchtungskegels Andeutungen einer Struktur zu erkennen vermag, die bei Beleuchtung mit engem axialem Büschel verborgen bleiben, weil schiefe Büschel in dieser Hinsicht wirksamer sind, als das axiale. Die im vorstehenden gegebene Auseinandersetzung bezieht sich nur auf die Annäherung an die vollständige Ähnlichkeit von Bild und Objekt.



XXII. Ueber die Verwendung des Fluorits für optische Zwecke.

Zeitschrift für Instrumentenkunde, Jahrgang 1890, 1–6.

Von natürlich vorkommenden Mineralien haben bisher nur zwei, Quarz und Kalkspath, in der praktischen Optik regelmässige Verwendung gefunden. Bei diesen beruht aber — abgesehen von der gelegentlichen Benutzung der genannten Mineralien zu Linsen für spektrographische Zwecke (auf welche ihre hohe Durchlässigkeit für violettes und ultra-violettes Licht hinführt) — die Anwendung wesentlich auf der spezifischen Eigenschaft der nicht-tesseralen Krystalle, der Doppelbrechung, und bezweckt also Wirkungen, welche mit einem amorphen Stoffe wie Glas überhaupt nicht zu erzielen sind. Tesseral krystallisirende Mineralien, welche hinsichtlich ihrer optischen Wirkungen dem Glase gleichartig sind, hat man zwar ebenfalls schon den Zwecken der praktischen Optik dienstbar zu machen gesucht, indem BREWSTER und PRITCHARD in den 40er Jahren den Diamant und andere Edelsteine wegen ihres ungewöhnlich hohen Brechungsvermögens für Mikroskoplinsen empfohlen und angewandt haben. Die Bemühungen in dieser Richtung haben jedoch der Optik einen bleibenden Gewinn nicht gebracht und dürfen gegenwärtig wohl als abgethan betrachtet werden, nachdem das aus unkorrigirten Linsen gebildete „einfache“ Mikroskop endgiltig auf untergeordnete Dienste zurückgedrängt ist, für die fortschreitende Vervollkommnung des zusammengesetzten

Verwendung des Fluorits für optische Zwecke.

479

Mikroskops aber gänzlich andere Gesichtspunkte für die Beurtheilung der optischen Hilfsmittel in den Vordergrund getreten sind. Denn angesichts der verfeinerten Aufgaben, welche die praktische Optik auf diesem Gebiet in neuerer Zeit vor sich hat, richtet sich die Werthschätzung der zu den Linsenkombinationen verwandten Materialien, von ganz speziellen Punkten abgesehen, keineswegs mehr nach der grösseren oder geringeren Ausgiebigkeit ihrer fundamentalen Wirkung, welche natürlich von der Höhe des Brechungsvermögens abhängt, sondern wesentlich nach dem Grade, in welchem die Eigenschaften dieser Materialien die Beseitigung der unvermeidlichen Nebenwirkungen — sphärische und chromatische Aberrationen — erleichtern und begünstigen.

Unter diesem Gesichtspunkt gewinnt ein Material, welches vom Standpunkt der Bestrebungen BREWSTERS und PRITCHARDS als sehr unvortheilhaft erscheinen würde, nämlich der Flussspath, gegenwärtig für die praktische Optik ein besonderes Interesse, weil er in Hinsicht auf die Ueberwindung jener Nebenwirkungen ungewöhnlich günstige Bedingungen darbietet. Der Fluorit zeigt ein abnorm niedriges Brechungsvermögen; der Index für Natronlicht ist nur 1,4338, also beträchtlich geringer, als derjenige des Kronglases, und seine Wirksamkeit als Bestandtheil eines Linsensystems ist demnach hinsichtlich des fundamentalen Effektes relativ ungünstig. Bei vielen zusammengesetzten Linsenkombinationen, namentlich den [2] für das Mikroskop dienenden, erfordert aber die Aufhebung der sphärischen Aberration, dass zwischen aneinandergrenzenden Medien mit gleichem Krümmungsmaass der sich berührenden Grenzflächen eine Differenz der Brechungsindices eingeführt werde, von deren Grösse, unter sonst gleichen Umständen, die kompensatorische Wirkung hinsichtlich der sphärischen Aberration abhängt. Ein je niedrigerer Index nun für das eine Medium zur Verfügung steht, desto grösser wird der Betrag dieser Differenz, und desto ausgiebiger die Kompensationswirkung, welche durch Hinzunahme eines zweiten Mediums von gegebenem Brechungsvermögen zu erzielen ist, oder desto niedriger kann der Index des zweiten Mediums bleiben, wenn umgekehrt eine gewisse gegebene Grösse jener Differenz herbeizuführen ist. Wenn z. B. in einer zu verkittenden zweifachen Linse — etwa als Bestandtheil eines Mikroskopes — für das eine Glied ein gewöhnliches Kronglas vom Index $n_D = 1,52$ dienen muss, die Verhältnisse der Konstruktion aber einen Unterschied des Brechungsvermögens von 0,20 auf



beiden Seiten der verkitteten Flächen in dieser Linse behufs Aufhebung der sphärischen Aberration erforderlich machen, so muss mit jenem Kronglas obiger Rücksicht wegen ein anderes Glied vom Index 1,72, also ein sehr schweres, stark zerstreues Flintglas, als zweites Glas verbunden werden. Wäre dagegen das erste Glied eine Linse aus Fluorit, so würde der im Beispiel verlangte Ueberschuss des Brechungsvermögens des zweiten Gliedes mit einem gewöhnlichen Flintglas von 1,63, das aus vielen Gründen viel günstiger ist, schon gegeben sein. Das genannte Mineral gewährt also einen freien Spielraum für die Auswahl solcher Glasarten, die behufs Erzielung ausgiebiger Kompensationswirkungen zur Aufhebung der sphärischen Aberration in Linsensystemen gebraucht werden müssen.

Dieser eine Vortheil, der namentlich für die Konstruktion von Mikroskopobjektiven grosser Apertur an sich schon eine erhebliche Bedeutung besitzt, wird aber wesentlich unterstützt durch die andern optischen Merkmale des Fluorits: eine abnorm niedrige Farbenzerstreuung und ein der Aufhebung des sekundären Spektrums sehr günstiges Verhältniss der partiellen Dispersionsbeträge für die verschiedenen Spektralregionen. Für die drei Wasserstofflinien H_α , H_β , H_γ sind die Differenzen des Brechungsindex:

Material	$N_\beta - N_\alpha$	$N_\gamma - N_\beta$	N_D	$\frac{\Delta n}{n-1}$	$\frac{N_\gamma - N_\beta}{N_\beta - N_\alpha}$
Fluorit	0,00455	0,00255	1,4338	$\frac{1}{95,4}$	0,561
Gewöhnliches Kalk-Silikat-Kron	0,00860	0,00487	1,5179	$\frac{1}{60,2}$	0,566
Aluminium-Phosphat-Kron . .	0,00737	0,00407	1,5159	$\frac{1}{70,0}$	0,552
Borat-Flint	0,01026	0,00582	1,5521	$\frac{1}{53,8}$	0,567

Nimmt man das Intervall von H_α bis H_β (C bis F) als Maass für die mittlere Dispersion (Δn), so zeigt vorstehende Zusammenstellung, dass der Fluorit nicht nur absolut genommen, sondern auch im Verhältniss zum Werthe des $(n-1)$ eine erheblich niedrigere Farbenzerstreuung besitzt als die günstigsten bisher dargestellten Glasflüsse; denn während bei den letzteren die sogenannte relative Dispersion nicht unter $\frac{1}{70}$ herabgeht, ist sie beim

Flussspath auf $\frac{1}{95}$ vermindert. Von dem Betrag relativer [3] Dispersion eines Mediums hängt aber das Krümmungsmaass wesentlich ab, welches eine Sammellinse aus diesem Medium erhalten muss, um in Verbindung mit einer Zerstreulinse von gegebener, grösserer relativen Dispersion ein achromatisches System von bestimmter Brennweite zu ergeben. Je kleiner das $\Delta n/(n-1)$ ist, desto flachere Krümmungen reichen, unter sonst gleichen Umständen, zur Achromatisirung für eine gegebene Brennweite aus.

Während also eine einfache, unachromatische Linse aus Flusspath wegen des niedrigen Brechungsvermögens erheblich stärkeres Krümmungsmaass für eine bestimmte Brennweite erfordern würde als eine aus Kronglas, verlangt umgekehrt eine achromatische Linse mit diesem Material stets geringeres Krümmungsmaass als bei Anwendung von Kronglas, vorausgesetzt, dass dasselbe Flintglas zur Kompensation der Farbenzerstreuung angewandt werde.

Endlich zeigen die in der letzten Spalte der obigen Zusammenstellung angeführten Zahlen, dass das Verhältniss der partiellen Dispersionsbeträge in den beiden Spektralbezirken H_α bis H_β und H_β bis H_γ beim Fluorit, trotz seiner sehr niedrigen Dispersion, noch fast denselben Werth besitzt wie bei einem gewöhnlichen Silikat-Kronglas mit der relativen Dispersion $\frac{1}{60}$, während bei dem hinsichtlich der relativen Dispersion günstigsten Glasfluss, dem Aluminium-Phosphat-Kron, das blaue Ende des Spektrums schon relativ verkürzt sich zeigt, obwohl der Wert des $\Delta n/(n-1)$ bei diesem Glase doch nur auf $\frac{1}{70}$ vermindert ist. Hiermit ist gesagt, dass der Fluorit besonders günstige Bedingungen darbietet für die gleichzeitige Vereinigung von drei Strahlen des Spektrums, d. h. für die Aufhebung der sekundären Farbenabweichung.

Das oben erwähnte Phosphat-Kron z. B. gestattet allerdings, in Verbindung mit dem zuvor angeführten oder einem ähnlichen Borat-Flint, ebenfalls eine direkte Achromatisirung für drei verschiedene Farben (zwar nicht der drei Strahlen H_α , H_β , H_γ , so doch dreier Strahlen innerhalb des weniger brechbaren Theiles des Spektrums) und ermöglicht also die Herstellung einer zweifachen Linse mit nur tertiärem Farbenrest; die Krümmungsmaasse einer derartigen Kombination fallen aber schon ziemlich ungünstig aus, weil die Ziffern der relativen Dispersion $\Delta n/(n-1)$ in diesen beiden Medien — $\frac{1}{70}$ und $\frac{1}{54}$ — nur geringen Unterschied zeigen. Wird aber an Stelle des obigen Kronglases Fluorit eingeführt, so erhält man eine Kombination, welche der Bedingung der Vereinigung



von drei verschiedenen Farben genügt und gleichzeitig noch eine sehr beträchtliche Differenz der relativen Dispersionen beider Bestandtheile ($\frac{1}{93}$ und $\frac{1}{54}$) verfügbar lässt.

Diese Differenz bliebe sogar noch reichlich gross, wenn an Stelle des Boratflint das oben angeführte Kalk-Silikat-Kron gesetzt würde, dessen Dispersion durch das ganze sichtbare System der Dispersion der Fluorits fast streng proportional geht. Mit diesen beiden Medien wäre mithin eine zweifache achromatische Linse von fast absolut vollkommener Farbenvereinigung darzustellen, weil nicht einmal ein tertiäres Spektrum von merklichem Betrag übrig bleiben würde. In Bezug auf alle Bedingungen, welche für eine verfeinerte Konstruktion von Linsenkombinationen in Betracht kommen, — sowohl die sphärische Abweichung in Systemen von grosser Oeffnung, als auch die chromatischen Abweichungen erster und zweiter Ordnung — bietet hiernach der Flusspath günstigere Verhältnisse dar, als irgend ein gegenwärtig der Optik zur Verfügung stehendes Material.

Die Unterlagen für die vorstehenden Schlussfolgerungen sind seit langer Zeit bekannt durch spektrometrische Messungen an Flusspath, welche STEFAN im Jahre 1871 [4] veröffentlicht hat¹⁾. Die oben angeführten Zahlen rühren her von Messungen, welche Dr. RIEDEL in Jena auf Veranlassung des Verfassers, im Jahre 1880 und später, unter Benutzung der Wasserstoff-Linien an verschiedenen Varietäten des Minerals ausgeführt hat; sie stimmen mit den von STEFAN gefundenen Werthen innerhalb der Grenzen der Messungsfehler überein, soweit sie die nämlichen Stellen des Spektrums betreffen.

Zum Voraus konnte nicht zweifelhaft sein, dass die charakteristischen optischen Merkmale des Flusspathes, welche die spektrometrischen Bestimmungen darstellen, begründet sein würden in einer spezifischen Wirkung des Fluors, welcher 56% des Fluor-Calciums ausmacht. Es lag also der Gedanke nahe, dass, wenn es gelänge, dieses Element in erheblicher Menge in künstliche Schmelzflüsse einzuführen, auch Glasarten zu gewinnen sein würden, welche die vortheilhaften Eigenschaften des Flusspathes, wenigstens zum Theil, in Geltung bringen.

Versuche in dieser Richtung, welche Dr. SCHOTT schon im ersten Stadium seiner auf die Verbesserung des optischen Glases

gerichteten Arbeiten, 1881 und in den nächstfolgenden Jahren ausfuhrte, haben jene Annahme insofern bestätigt, als es durch Anwendung von Fluoriden in der That gelang, in kleinem Maassstab Gläser darzustellen, welche neben einem niedrigen Werth des Brechungsindex auch eine sehr verminderte Dispersion zeigten. Diese Versuche liessen aber zugleich (wie Dr. SCHOTT schon berichtet hat¹⁾), die ganz ungewöhnlichen technischen Schwierigkeiten erkennen, welche sich der Darstellung genügend homogener Glasflüsse von solcher Zusammensetzung entgegenstellen und welche zunächst wenigstens als aussichtslos erscheinen lassen mussten, praktisch brauchbare Glasarten von ähnlichen Eigenschaften wie der Flusspath herzustellen.

Durch dieses Ergebniss ist Verfasser damals veranlasst worden, die Anwendung des natürlichen Minerals für Zwecke der praktischen Optik, und zwar zunächst für Mikroskop-Systeme, unter den oben dargelegten Gesichtspunkten ernstlich ins Auge zu fassen, nachdem Vorversuche im Jahre 1881 schon dargethan hatten, dass der Fluorit, trotz seiner wesentlich geringeren Härte, einer ebenso präzisen Formgebung wie das Glas, wenn auch unter einigen Erschwernissen, zugänglich sei.

Unter Benutzung von klaren Krystallen und Spaltstücken, wie sie von Mineralienhändlern damals leicht zu erhalten waren, hat die optische Werkstätte von Carl Zeiss in Jena zuerst im Jahre 1884 Mikroskopobjektive verschiedener Art nach den Rechnungen des Verfassers ausgeführt, bei welchen behufs Erreichung einer vervollkommenen Korrektur der sphärischen und achromatischen Abweichungen einzelne Linsen — eine bis drei in jedem System — an Stelle eines Kronglases aus Fluorit hergestellt sind. Mit der Einführung der unter dem Namen „Apochromate“ bekannt gewordenen neueren Mikroskop-Systeme der Zeiss'schen Werkstätte ist alsdann das Material, neben den gleichzeitig in Gebrauch genommenen neuen Glasarten hier in Jena zu ganz regelmässiger Verwendung gelangt, welcher sich auch andere Optiker durch die Nachahmung der Zeiss'schen Konstruktion sofort angeschlossen haben. — Für die rechnerische und technische Ausarbeitung dieser Konstruktion hat die Einführung des Flusspaths zu theilweisem Ersatz des Kronglases in der That eine sehr wesentliche Er-

¹⁾ Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses vom 4. Juni 1888. S. 160.

¹⁾ Wiener Sitzungs-Berichte 63, II. S. 243. 1871.



leichterung [5] geboten. Ohne dieses Auskunftsmittel würden bei gleichen Anforderungen an die Verfeinerung der Konstruktion jene Linsensysteme noch komplizierter in der Zusammensetzung und schwieriger in der Ausführung haben werden müssen, als sie ohnehin schon sind.

Angesichts dieser nunmehr schon eingebürgerten Verwendung des Fluorits für das Mikroskop und der Vortheile, welche sein Gebrauch, gemäss den obigen Darlegungen, noch für manche andere Zwecke der praktischen Optik darbieten könnte, wird es von Interesse sein, auch die äusseren Bedingungen seiner Anwendung, nämlich die Möglichkeit der Beschaffung dieses Materials in genügender Menge und genügender Qualität, hier zu erörtern.

Die Nachforschungen, welche Verfasser seit mehreren Jahren angestellt oder veranlasst hat, haben allerdings in Bezug auf diesen Punkt bis jetzt kein befriedigendes Resultat ergeben. Flussspath gehört zwar zu den weitest verbreiteten Mineralien und wird an sehr vielen Orten in durchsichtigen Krystallen gefunden. Die meisten Varietäten sind aber, abgesehen von der Seltenheit genügend grosser klarer Stücke, für optische Verwendung schon deshalb unbrauchbar, weil sie Doppelbrechung — wohl bedingt durch Störungen des regelmässigen Krystallwachstums — in erheblichem Grad zeigen. Indess konnte man bis vor etlichen Jahren im Mineralienhandel noch häufig ziemlich grosse, wasserhelle und zum Theil ganz reine Spaltungsstücke erhalten, die nach verschiedenen, meist Schweizer Fundstellen bezeichnet waren, und es schien deshalb die Annahme gerechtfertigt, dass auch diese von Doppelbrechung freie und in allen Beziehungen sehr günstige Varietät wohl häufig vorkommen und unschwer zu beschaffen sein würde. Genauere Erkundigungen stellten aber bald fest, dass alle Specimina von derartigem Fluorit, die bei Händlern und in Mineraliensammlungen anzutreffen waren, auf ein und dieselbe Lokalität im Schwarzhornstock im Berner Oberland, und zwar auf einen einzigen vor fast 60 Jahren dort zufällig gemachten Fund zurückzuführen seien.

Nach Mittheilungen des Herrn Bergingenieur E. v. FELLEBERG in Bern und Nachrichten, welche Verfasser später an Ort und Stelle selbst einziehen konnte, wurde im Jahre 1832 von Aelplern aus Brienzwylern bei Brienz oberhalb der Alp Oltcheren eine Höhle mit Flussspath entdeckt, aus welcher die Finder damals weit über 100 Zentner grosse, meist wasserhelle Krystalle und

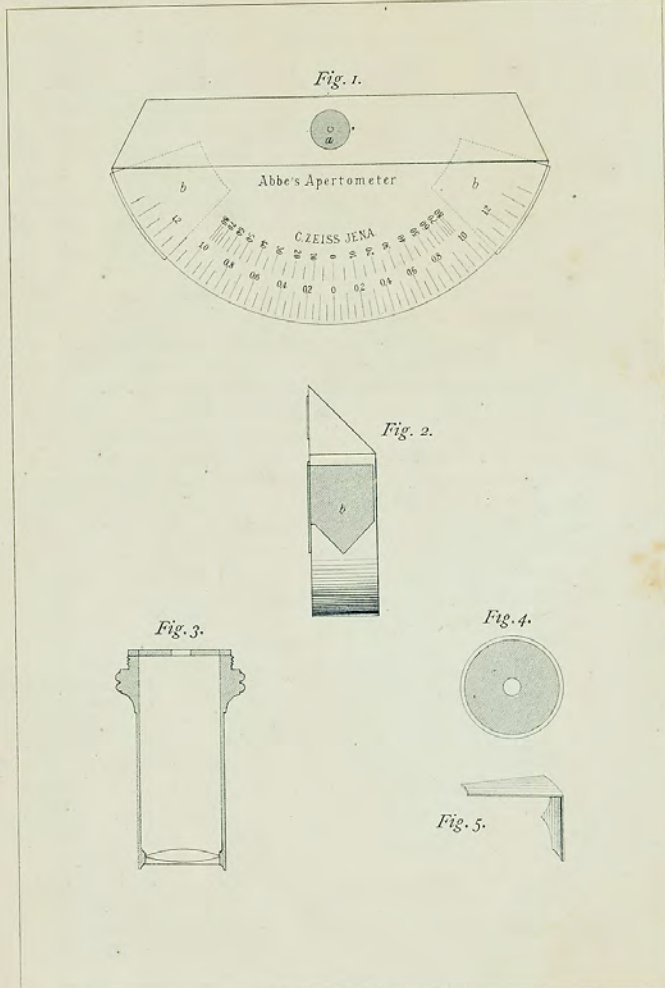
Spaltungsstücke ausgebeutet haben sollen. Dieses Material ist im Mineralienhandel nach allen Weltgegenden hin verbreitet und nachdem Händler, Sammlungen und Museen genügend versorgt waren, von den Besitzern schliesslich an Chemiker zur Bereitung von Flusssäure verkauft oder als werthloses Gestein fortgeworfen worden. Ein Theil davon soll in den 50er Jahren nach Paris gekommen und angeblich von Optikern zu Linsen und Prismen für Versuche über Wärmestrahlung verarbeitet worden sein. Die muthmaasslich letzten Ueberbleibsel des merkwürdigen Fundes, darunter einige theilweise kopfgrosse, wasserklare Krystalle (Würfel) aus Kellern und Ställen hervorgesucht, hat Verfasser im vorigen Jahr noch von Enkeln der ursprünglicher Finder erstanden und für die Optik gerettet.

Auf Grund von Notizen, die im Berner Museum sich fanden, konnte Herr v. FELLEBERG, der den Verfasser in diesen Nachforschungen auf das Freundlichste unterstützt hat, die schon in Vergessenheit gerathene Stelle jenes alten Fundes als den süd-westlichen Abhang des Oltschihorns, des Ausläufers des Schwarzhornstockes nach dem Brienzer See hin, mit ziemlicher Sicherheit bestimmen. Nachsuchungen seitens einiger Oberländer Krystallsucher („Strahler“), aufs Gerathewohl [6] unternommen, wiesen denn auch alsbald in dieser Lokalität mehrfach Flussspath-Vorkommnisse nach, ohne dass jedoch die alte Fundstelle selbst wieder entdeckt oder anderweitig Material von der Beschaffenheit des früheren Fundes erhalten worden wäre. Die Firma Carl Zeiss hat deshalb schliesslich Muthung für das betreffende Terrain genommen und während der Sommerzeit des vorigen und diesen Jahres regelrechte Schürfarbeiten durch eine grössere Anzahl geeigneter Arbeiter unter Leitung eines Beauftragten ausführen lassen. Hierbei wurde nun im Juli 1888 an einer steilen, fast unzugänglichen Felswand in etwa 1900 m Seehöhe die Höhle, aus welcher der Fund von 1832 entstammt, zwar sicher nachgewiesen und mit beträchtlicher Mühe wieder zugänglich gemacht, jedoch als vollständig ausgebeutet befunden. Beim weiteren Absuchen des Bergstockes, der — dem oberen Jura angehörig — durch grossartige Schichtenverwerfung mit zahlreichen Abstürzen, Spalten und Höhlen ausgezeichnet ist, fand sich noch an mehreren Stellen in der Nachbarschaft des alten Fundortes neben halbklaarem Kalkspath auch Flussspath, zum Theil in grossen Würfeln krystallisiert, hinsichtlich der Reinheit aber nicht entfernt vergleichbar mit der Ausbeute aus der alten

Höhle. Von mehreren Zentnern, die gesammelt wurden, waren nur einige Pfund vollkommen klare, für optische Verwendung geeignete Stücke zu erhalten. Im August dieses Jahres ist deshalb die Arbeit eingestellt worden, nachdem alle aufgefundenen Spuren unter ausgiebiger Anwendung von Sprengarbeit soweit verfolgt waren, als sie noch Aussicht auf bessere Ergebnisse bieten konnten. Es scheint nunmehr ausser allem Zweifel, dass die einzige Fundstelle, welche früher Flusspath in grösseren klaren Massen geliefert hat, jetzt vollkommen erschöpft ist.

Die Verwendung des Minerals zu Mikroskoplinsen wird hierdurch nicht in Frage gestellt; denn die relativ kleinen Mengen, welche dieser Zweck erfordert, sind, wenn auch unter der Erschwerniss einer mühsamen Auslese, durch das häufige Vorkommen weniger vollkommenen Materials genügend gesichert. Eine weitere Ausdehnung seiner Anwendung in der Optik aber wird allerdings abhängen von der Entdeckung neuer Fundstellen, welche grössere Krystalle oder spathartige Massen von ähnlicher Reinheit liefern, wie sie seiner Zeit bei dem vereinzelt Vorkommnis am Oltshorn gefunden worden sind.

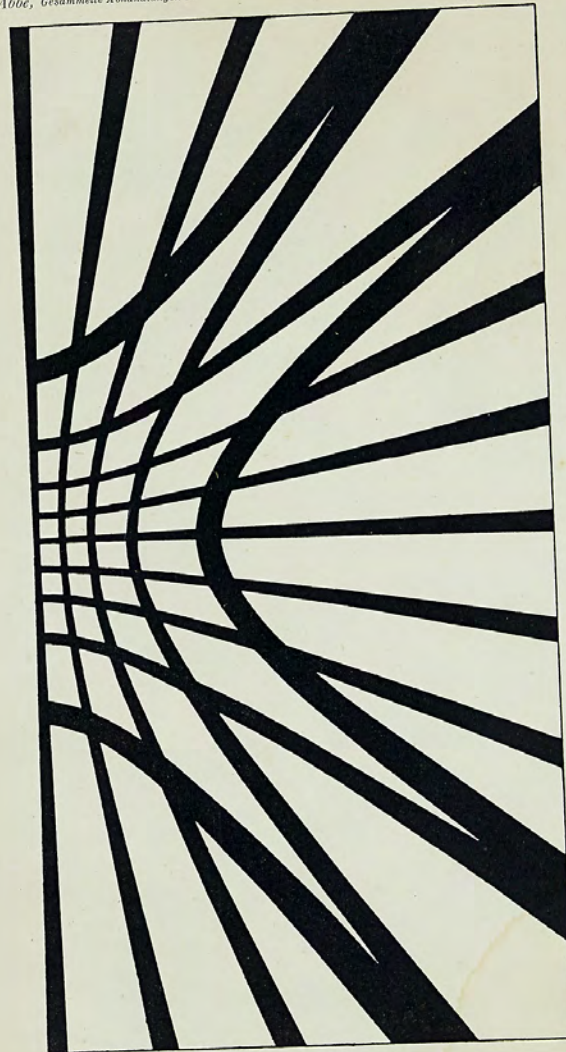
Vielleicht trägt diese Mittheilung dazu bei, das für die Optik werthvolle Mineral zum Gegenstand grösserer Aufmerksamkeit zu machen und möglicher Weise Fundorte desselben ans Licht zu bringen, die bisher unbeachtet geblieben sind.





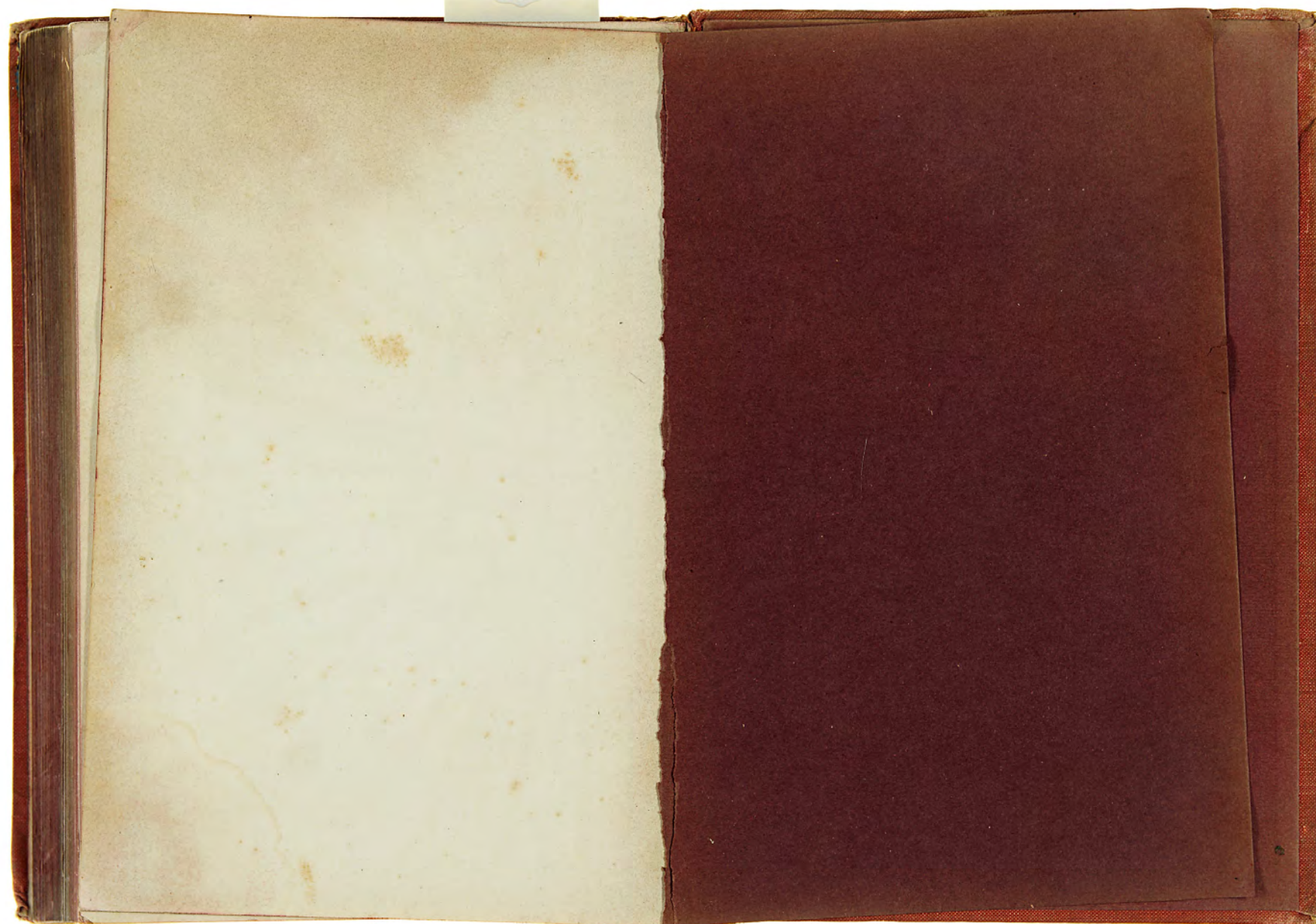
Abbe, Gesammelte Abhandlungen I.

Tafel II.



Zu Abhandlung XI.

Verlag von Gustav Fischer, Jena.





502

