

VIII.

Bestimmung
desBrechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens
verschiedener Glasarten,

in

Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer
Fernröhre.

Von

Joseph Fraunhofer,
in Benedictbaiern.

Bey Berechnung achromatischer Fernröhre setzt man die genaue Kenntniß des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens der Glasarten, die gebraucht werden, voraus. Die Mittel, welche man bisher zur Bestimmung desselben angewendet hat, geben Resultate,

die unter sich oft sehr bedeutend abweichen; daher bey aller Genauigkeit, in Berechnung achromatischer Objektive, die Vollkommenheit derselben zweifelhaft ist, und zum Theile auch deswegen selten den Erwartungen ganz entspricht. Mehrjährige Erfahrungen in diesem Fache führten mich auf neue Methoden, das Brechungs- und Zerstreuungs-Vermögen zu finden, die ich hier, weil mehrere Gelehrte es wünschen, bekannt mache. Ich lasse diese Versuche in derselben Ordnung folgen, in welcher ich sie machte, und abzuändern für nöthig fand.

Ich suchte anfänglich die Gröfse der Farbenzerstreuung einer Glasart aus der Gröfse des prismatischen Farbenbildes, welches ein Prisma von bekannten Winkeln in einem verfinsterten Zimmer in bestimmter Entfernung gab. Auch der Exponent des Brechungsverhältnisses wurde daraus abgeleitet. Allein die Unbestimmtheit der Grenzen des Farbenbildes liefs eine grofse Ungewifsheit in der Genauigkeit der Resultate.

Zur Bestimmung des Verhältnisses der Farbenzerstreuung und Brechung in Flint- und Crown Glas schliß ich aus diesen beyden Glasarten Prismen von kleinen entgegengesetzt brechenden Winkeln, die so lange geändert wurden, bis für den einen Fall die Farbenzerstreuung, für den andern die Brechung gehoben war; das Verhältniß der Winkel dieser Prismen war alsdann umgekehrt das der Farbenzerstreuung oder Brechung. Allein aus mehreren Paaren solcher Prismen von denselben Glasarten erhielt ich, besonders für das Verhältniß der Farbenzerstreuung, sehr verschiedene Resultate. Ich wählte deswegen zur Bestimmung der relativen Farbenzerstreuung gröfsere Prismen, mit gröfsern entgegengesetzt brechenden Winkeln. Das Prisma von Crown Glas hatte 60 bis 70°. Der Winkel eines der beyden Prismen wurde durch Schleifen so lange geändert, bis die Farbenzerstreuung ungefähr gehoben schien; genauer wurde sie alsdann durch Veränderung des Winkels des einfallenden Strahles gehoben. Da bey Prismen

von so großen Winkeln, schon bey geringer Veränderung des Winkels des einfallenden Strahles, das Licht von der zweyten brechenden Fläche zurückgeworfen wird, so wurden die beyden Flächen der Prismen, die einander entgegenstanden, und sich berührten, mit einer stark brechenden Flüssigkeit, z. B. mit Oele, bestrichen, wo das Licht fast unter allen Einfallswinkeln durchgelassen wurde. Um genau messen zu können, unter welchem Einfallswinkel die Farbenzerstreuung gehoben wird, wurden die beyden Prismen vor das Objectiv eines Theodolith-Fernrohres gebracht; sie lagen hier auf einer horizontalen Scheibe, die, da sie an einer stählernen Achse ist, um ihren Mittelpunkt gedreht werden kann. Die Hülse der Achse ist mit dem Fernrohre fest verbunden (Fig. 1). Es wurde so am Fernrohre durch die Prismen ein entfernter Gegenstand mit scharfen vertikal laufenden Grenzen besehen, und der Winkel der einfallenden Strahlen durch Verdrehen der Scheibe und Alhidade des Theodoliths so lange geändert, bis die Farbenzerstreuung am geringsten zu seyn schien; oder vielmehr, bis die scharfen vertikal laufenden Grenzen des Gegenstandes am deutlichsten geschen wurden. Um den Einfallswinkel selbst messen zu können, war auf der Scheibe noch eine Regel aufgelegt, an der zwey stählerne Spitzen vorstehen, welche die erste Fläche der Prismen genau berührten. Auf der Regel ist in einiger Entfernung oberhalb ein Fernrohr fest, dessen Achse mit den zwey stählernen Spitzen genau parallel läuft (Fig. 2). Das Fernrohr ist nur an beyden Enden an der Regel fest, so, daß das Licht zwischen dem Fernrohre und der Regel auf die Prismen fallen kann. Es ist folglich leicht, den Einfallswinkel am Theodolith genau zu messen. Aus diesen, den Winkeln der Prismen, die mit derselben Regel am Theodolith genau gemessen werden können, und den Exponenten der Brechungs-Verhältnisse wurde vermittelst einer sehr genauen Formel das Verhältniß der Farbenzerstreuung abgeleitet.

Bey einem und demselben Paare Prismen stimmen die Beobachtungen so gut überein, daß man bey einem Objective, welches

darnach berechnet würde, keine schädliche Abweichung zu fürchten hätte. Sucht man aber mit mehrern Paaren Prismen von denselben Glasarten und verschiedenen Winkeln die relative Farbenzerstreuung, so bekommt man Unterschiede, die bey größern Objectiven noch eine schädliche Abweichung verursachen könnten. Dieses gab Veranlassung zu folgenden Versuchen.

Besieht man durch zwey Prismen von Flint- und Crown Glas, mit entgegengesetzt brechenden Winkeln, einen Gegenstand, so findet man ihn, besonders wenn mit einem Fernrohre durch die Prismen gesehen wird, nie ganz farbenlos. Die Farbenzerstreuung ist bey einem bestimmten Winkel der einfallenden Strahlen am kleinsten; wird dieser Winkel größer oder kleiner, so wird in beyden Fällen die Farbenzerstreuung vermehrt. Wie bekannt, entsteht die noch übrig bleibende Zerstreung dadurch, daß für die verschiedenen farbigen Strahlen in den beyden Glasarten das Verhältniß der Zerstreung nicht einerley ist. Wenn z. B. die Zerstreung der rothen Strahlen im Crown Glas zur Zerstreung der rothen Strahlen im Flintglase sich verhält, wie 10:19, so können in eben diesen Glasarten die violetten Strahlen in dem Verhältnisse von 10:21 zerstreut werden. Desev wegen kann die Farbenzerstreuung nicht vollkommen gehoben werden.

Es würde sehr vortheilhaft seyn, wenn man in jeder Glasart das Zerstreungsvermögen für jede Farbe besonders finden könnte; allein da im Spektrum die verschiedenen Farben keine bestimmte Grenzen haben, so ist dieses unmittelbar aus dem Farbenbilde nicht abzuleiten; die Ungewißheit würde hier so groß seyn, daß die Versuche ohne Vortheile blieben. Genauer würde dieses geschehen, wenn man gefärbte Gläser, oder gefärbte Flüssigkeiten fände, die nur einfaches farbiges Licht durchliefsen, z. B. die eine nur blaues, die andere nur rothes Licht u. s. w.; allein ich war nicht so glücklich solche zu finden. Bey allen wurde das weiße Licht, das durch sie fuhr, noch in alle Farben zerlegt; nur war die

Farbe,

Farbe, die das gefärbte Glas, oder die Flüssigkeit hatte, im Spektrum die lebhafteste. Auch die farbigen Flammen, die man durch Verbrennen von Alkohol, Schwefel u. s. w. erhält, gehen, durch das Prisma gesehen, kein einfaches Licht, das ihrer Farbe entspricht; jedoch fand ich bey diesen, so wie auch mit Oel- und Talglichte und überhaupt mit dem Lichte des Feuers, im Farbenbilde zwischen der rothen und gelben Farbe einen hellen scharf begrenzten Streifen, der bey allen genau an demselben Orte ist, und in der Folge sehr nützlich wurde. Dieser helle Streif scheint durch Lichtstrahlen gebildet zu werden, die durch das Prisma nicht weiter zerlegt werden, und folglich einfach sind. Auch in der grünen Farbe findet sich ein ähnlicher Streif, der jedoch nicht so scharf begrenzt und ungleich schwächer ist, so dafs man ihn in einigen Fällen schwer erkennt; deswegen kann man von diesem keinen Gebrauch machen.

Um einfaches Licht von jeder Farbe zu erhalten, wählte ich folgende Vorrichtung. An einem Fensterladen, der nur eine schmale Oeffnung von 0,07 Zoll Breite, und $1\frac{1}{2}$ Zoll Höhe hat, steht ein Prisma A (Fig. 3) von Flintglas, dessen Winkel ungefähr 40° misst; 13 Fufs von demselben in BC stehen sechs Lampen, von welchen durch schmale Oeffnungen Licht auf das Prisma A fällt. Die Breite jeder Oeffnung ist 0,05 Zoll und ihre Entfernungen von einander 0,58 Zoll, die Höhe jeder Oeffnung ungefähr $1\frac{1}{2}$ Zoll. Das Licht, das von den Lampen auf das Prisma A fällt, wird von diesem gebrochen, in Farben zerlegt, und fährt durch die Oeffnung am Fensterladen. Von der Lampe C z. B. fahren die rothen Strahlen nach E, die violeten nach D. Von der Lampe B fahren die rothen Strahlen nach F, die violeten nach G u. s. w. An dem Fenster eines andern Hauses, 692 Fufs von A entfernt, in einer Ebene mit BAC, steht das schon oben genannte Theodolith, vor dessen Fernrohre auf der horizontalen Scheibe das Prisma H steht, dessen Brechungs- und Farbenzerstreungs-Vermögen gesucht werden soll. Von der Lampe C kann das Prisma H nur die rothen Strahlen erhalten, weil die übrigen,

gen, z. B. die violetten, nach D fahren, und das Prisma nicht treffen. Von der Lampe B fallen nur die violetten Strahlen auf das Prisma H u. s. w. und so erhält dieses Prisma von jeder Lampe andere farbige Lichtstrahlen, die alle von einem Punkte ausfahren. Ist das Prisma H, oder die Oeffnung des Objectives nicht so breit, so werden einige farbige Strahlen, wie z. B. die zwischen den violetten und blauen, zwischen den blauen und grünen u. s. w. von keiner der sechs Lampen das Prisma H treffen, und also ganz fehlen. In diesem Falle wird durch das Prisma H am Fernrohre des Theodolith das Spektrum der durch die schmale Oeffnung bey A fahrenden Lichtstrahlen, wie in Fig. 4, gesehen; wo I violet, K blau, L grün u. s. w. ist, und folglich jede Farbe isolirt ist. Die Entfernungen ON, NM u. s. w. werden um so größer seyn, je größer, bey einerley Winkel des Prisma H, das Zerstreungsvermögen des Glases ist. Da nicht nur diese Entfernungen, sondern auch der Winkel, den der einfallende Strahl mit einem der gebrochenen Strahlen macht, am Theodolith genau gemessen werden können, so kann mit dieser Vorrichtung in jedem brechenden Mittel das Brechungsvermögen für jeden farbigen Lichtstrahl bestimmt werden. $1\frac{1}{2}$ Fufs oberhalb des Prisma A ist im Fensterladen noch eine zweyte schmale Oeffnung, die mit der bey A genau in einer Vertikalen ist. Vor dieser obern Oeffnung steht eine Lampe, von der das Prisma H unmittelbar Licht erhält. Durch das Prisma H im Fernrohre des Theodoliths muß alsdann das Farbenbild, der von dieser Lampe kommenden Lichtstrahlen, unterhalb der farbigen Punkte, wie PRQ, gesehen werden. R ist der natürliche röthlichtgelbe helle Streif, der in jedem Farbenbilde vom Lichte des Feuers geschen wird. Dieser Streif mußte hier dazu dienen, um versichert zu seyn, daß man an verschiedenen Tagen in den farbigen Punkten immer genau dieselbe Farbe habe; was nicht ist, wenn der Tisch, worauf die Lampen stehen, in Bezug auf das Prisma A im geringsten seine Stellung verändert. Es wird deswegen der Tisch so gestellt, daß der Punkt N immer in einer Vertikalen von R ist; ist er es nicht, so kann er mit Korrektionsschrauben bey B und C dahin gebracht

wer-

werden. Da die Entfernungen der Lampen unter sich, oder vielmehr die Entfernungen der schmalen Oeffnungen durch welche ihr Licht auf das Prisma A fährt, unveränderlich sind; so ist man versichert, dafs man an verschiedenen Tagen in den farbigen Punkten immer dieselbe Farbe habe.

Die Entfernungen einiger farbigen Punkte, wie der violetten, blauen und rothen, deren Licht sehr schwach ist, können ohne Erleuchtung des Mikrometer-Fadens nicht gemessen werden. Durch die gewöhnliche Erleuchtung des Gesichtsfeldes aber verlieren die farbigen Punkte so viel an Licht, als die Fäden gewinnen; weßwegen sie nicht angewendet werden kann. Bey dem Mikrometer, wie ich es am Theodolith angebracht habe, sind blofs die Fäden erleuchtet, und das ganze Gesichtsfeld ist schwarz. Sie können ohne Mühe in jedem Augenblicke stark und schwach erleuchtet werden. Die Beleuchtung geschieht an einer Seite des Okularrohres mit einer sehr kleinen Lampe, die in einer hohlen Kugel ist, von der Licht auf eine Linse fällt, die es parallel auf die Fäden bringt. Am Rande des besonders dazu eingerichteten Okulars wird das übrige Licht verschluckt, ohne dafs es auf die Linse fällt.

Ich habe mit diesem Apparate die Winkel der Brechung der verschiedenen farbigen Strahlen für mehrere brechende Mittel gemessen, die ich hier in Tab. I folgen lasse. Bey allen ist der Winkel des einfallenden Strahles dem des gebrochenen Strahles N gleich. Jeder Winkel wurde durch viermalige Wiederholung erhalten. Da das Licht, das von A kömmt, nicht parallel auf das Prisma H fällt, oder vielmehr, da die Scheibe, auf welcher das Prisma H steht, nicht in der Achse des Theodoliths liegt, sondern die Mitte derselben 4,25 Zoll von dieser Achse entfernt ist; so mußte der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle N macht, eine kleine Korrektion erhalten. Die Entfernung von A nach H ist 692 Fufs, und folglich die Korrektion für das Prisma von Flintglas + 31'', für Crownglas + 40'', für Wasser + 40'' u. s. w.; die Bögen LM, NM u. s. w. bedurften dieser Correktion nicht.

Ich

Ich setze hieher die aus diesen Winkeln berechneten Exponenten der Brechungsverhältnisse der verschiedenen farbigen Strahlen für Flintglas, Crownglas und Wasser, und nenne den Exponenten des Brechungsverhältnisses für den Strahl O, O_n ; für den Strahl N, N_n u. s. w.

| Brechende Mittel | Exponenten der Brechungs - Verhältnisse. | | | | | |
|-------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| | O_n | N_n | M_n | L_n | K_n | I_n |
| Flintglas Nro. 13 | 1,63074 | 1,63505 | 1,63933 | 1,64349 | 1,64775 | 1,65203 |
| Crownglas Nr. 9 | 1,52736 | 1,52959 | 1,53173 | 1,53380 | 1,53586 | 1,53783 |
| Wasser | 1,33209 | 1,33359 | 1,33501 | 1,33635 | 1,33763 | 1,33888 |

Daraus folgt das Verhältniß der Zerstreung der verschiedenen farbigen Strahlen in diesen brechenden Mitteln, wie ich es hier folgen lasse. Ich nenne die Exponenten der Brechungsverhältnisse der stärker zerstreuenden Mittel O_n' , N_n' u. s. w.

| Brechendes Mittel | $\frac{N_n' - O_n'}{N_n - O_n}$ | $\frac{M_n' - N_n'}{M_n - N_n}$ | $\frac{L_n' - M_n'}{L_n - M_n}$ | $\frac{K_n' - L_n'}{K_n - L_n}$ | $\frac{I_n' - K_n'}{I_n - K_n}$ |
|---------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Flintglas Nro. 13 u. Crownglas Nro. 9 | 1,93 | 2,00 | 2,01 | 2,07 |
| Flintglas Nro. 13 und Wasser | 2,87 | 3,01 | 3,10 | 3,33 | 3,42 |
| Crownglas Nr. 9 und Wasser | 1,49 | 1,51 | 1,55 | 1,61 | 1,58 |

Aus

Aus diesen Versuchen fällt die große Verschiedenheit in dem Verhältnisse der Zerstreuung der verschiedenen farbigen Lichtstrahlen einiger brechenden Mittel sehr in die Augen.

Sehr auffallend ist bey diesen Versuchen auch der Einfluß der Wärme auf das Brechungsvermögen der Flüssigkeiten. Bey allen wird schon bey geringer Wärme-Änderung in dem untern Theile des prismatischen Gefäßes das Brechungsvermögen der Flüssigkeiten bedeutend stärker, als es in dem obern Theile desselben ist, und die ganze Flüssigkeit wird in dieser Beziehung auch wellenförmig, so, daß das Sehen durch dieselbe undeutlich wird. Da während der Nacht die Temperatur sich fast beständig ändert; so mußte bey diesen Versuchen die Flüssigkeit alle 5 bis 10 Minuten stark geschüttelt werden, um sie wieder gleichförmig zu machen. Beym Wasser sind diese Verschiedenheiten nicht sehr bedeutend; bey den übrigen Flüssigkeiten aber so groß, daß das ganze Farbenbild zerstreut, und undeutlich wird, es mag das Gefäß, wie immer, verschlossen, oder auch die Luft ganz ausgeschlossen seyn. Dieser Einfluß macht die Hoffnung verschwinden, ohne Flintglas, mit Flüssigkeiten von verschiedener Brechbarkeit, achromatische Objektive zu erhalten, die brauchbar sind. Man sieht aber auch, bloß von dieser Seite betrachtet, wie schwer es sey, Flint- und Crown-glas von vollkommen gleicher Dichtigkeit zu schmelzen, da in jedem Glasofen in dem obern Theile des Hafens die Wärme fast um den dritten Theil größer ist, als in dem untern.

Um die Exponenten der Brechungsverhältnisse der verschiedenen farbigen Strahlen noch genauer zu bestimmen, theils auch um zu erfahren, ob die Wirkung der brechenden Mittel auf das Sonnenlicht dieselbe sey, wie auf künstliches Licht, war ich bemüht, einen Apparat zu machen, der für Sonnenlicht dasselbe wäre, was der oben beschriebene für Lampenlicht ist; dieser wurde jedoch bald überflüssig.

In einem verfinsterten Zimmer liefs ich durch eine schmale Oeffnung im Fensterladen, die ungefähr 15 Sekunden breit und 36 Minuten hoch war, auf ein Prisma von Flintglas, das auf dem oben beschriebenen Theodolith stand, Sonnenlicht fallen. Das Theodolith war 24 Fufs vom Fensterladen entfernt, und der Winkel des Prisma mafs ungefähr 60° . Das Prisma stand so vor dem Objektiv des Theodolith-Fernrohres, dafs der Winkel des einfallenden Strahles dem Winkel des gebrochenen Strahles gleich war. Ich wollte suchen, ob im Farbenbilde von Sonnenlichte ein ähnlicher heller Streif zu sehen sey, wie im Farbenbilde vom Lampenlichte, und fand anstatt desselben mit dem Fernrohre fast unzählig viele starke und schwache vertikale Linien, die aber dunkler sind als der übrige Theil des Farbenbildes; einige scheinen fast ganz schwarz zu seyn. Wurde das Prisma so gedreht, dafs der Einfallswinkel gröfser wurde, so verschwanden diese Linien; sie wurden auch unsichtbar, wenn der Einfallswinkel kleiner wurde. Bey einem gröfsern Einfallswinkel wurden diese Linien wieder sichtbar, wenn das Fernrohr sehr bedeutend kürzer gemacht wurde. Bey einem kleinern Einfallswinkel mußte das Okular sehr viel herausgezogen werden, um die Linien wieder zu sehen. Wenn das Okular so gestellt war, dafs man die Linien im rothen Theile des Farbenbildes deutlich sah, so mußte es etwas hineingeschoben werden, um die im violetten Theile deutlich zu sehen. Wurde die Oeffnung, durch welche das Licht einfiel, breiter gemacht, so wurden die feinem Linien undeutlich, und verschwanden ganz, wenn diese Oeffnung ungefähr über 40 Sekunden breit war. Wurde die Oeffnung über eine Minute breit gemacht, so waren auch die breiten Linien nur undeutlich zu erkennen. Die Entfernung der Linien von einander, und überhaupt ihr Verhältnifs unter sich, blieb bey Veränderung der Oeffnung am Fensterladen gleich, so wie auch die Entfernung des Theodoliths von der Oeffnung am Fensterladen sie nicht änderte. Das Prisma mochte aus was immer für einem brechenden Mittel bestehen, und der Winkel desselben groß oder klein seyn, so waren diese Linien immer sichtbar, und nur im

Verhältniß der Gröfse des Farbenbildes stärker oder schwächer, und daher leichter oder schwerer zu erkennen.

Selbst das Verhältniß dieser Linien und Streifen unter sich schien bey allen brechenden Mitteln genau dasselbe zu seyn, so daß z. B. dieser Streif bey allen nur in der blauen Farbe, der andere bey allen nur in der rothen sich findet; daher man leicht erkennt, mit welchen Streifen oder Linien man zu thun habe. Auch in dem auf gewöhnliche und ungewöhnliche Art gebrochenen Strahle im Isländischen Krystalle sind diese Linien zu erkennen. Die stärkern Linien machen keineswegs die Grenzen der verschiedenen Farben; es ist fast immer zu beyden Seiten einer Linie dieselbe Farbe, und der Uebergang von einer Farbe in die andere unmerklich.

In Bezug auf diese Linien wird das Farbenbild, wie in Fig. 5, gesehen; es ist jedoch fast nicht möglich, in diesem Maafsstabe alle Linien und ihr Licht auszudrücken. Ungefähr bey A ist das rothe, bey I das violete Ende des Farbenbildes; eine bestimmte Grenze ist aber auf keiner Seite mit Sicherheit anzugeben, leichter noch bey Roth, als bey Violet. Ohne unmittelbares oder durch einen Spiegel reflektirtes Sonnenlicht scheint auf der einen Seite die Grenze ungefähr zwischen G und H zu fallen, auf der andern Seite in B zu seyn; doch mit Sonnenlichte von sehr großer Dichtigkeit wird das Farbenbild fast noch um die Hälfte länger. Um aber diese gröfsere Ausdehnung des Farbenbildes sehen zu können, muß das Licht von dem Raume zwischen C und G verhindert werden in das Auge zu kommen, weil der Eindruck, den das Licht von den Grenzen des Farbenbildes auf das Auge macht, sehr schwach ist und von dem übrigen verdrängt wird. In A ist eine scharf begrenzte Linie gut zu erkennen; doch ist hier nicht die Grenze der rothen Farbe, sondern sie geht noch merklich darüber weg. Bey a sind mehrere Linien angehäuft, die gleichsam einen Streifen bilden. B ist scharf begrenzt und von merklicher Dicke. Im Raume von B

nach C können 9 sehr feine, scharf begrenzte Linien gezählt werden. Die Linie C ist von beträchtlicher Stärke und so wie B sehr schwarz. Im Raume zwischen C und D zählt man ungefähr 30 sehr feine Linien; doch können diese, zwey ausgenommen, wie auch die zwischen B und C, nur mit starken Vergrößerungen oder stark zerstreuenden Prismen deutlich gesehen werden; sie sind übrigens sehr scharf begrenzt. D besteht aus zwey starken Linien, die nur durch eine helle Linie getrennt sind. Zwischen D und E zählt man ungefähr 84 Linien von verschiedener Stärke. E selbst besteht aus mehreren Linien, wovon die in der Mitte etwas stärker ist als die übrigen. Zwischen E und b sind ungefähr 24 Linien. Bey b sind 3 sehr starke Linien, wovon 2 nur durch eine schmale helle Linie getrennt sind; sie gehören zu den stärksten im Farbenbilde. Im Raume zwischen b und F zählt man ungefähr 52 Linien. F ist ziemlich stark. Zwischen F und G sind ungefähr 185 Linien von verschiedener Stärke. Bey G sind viele Linien angehäuft, worunter sich mehrere durch ihre Stärke auszeichnen. Im Raume von G nach H zählt man ungefähr 190 Linien von sehr verschiedener Stärke. Die zwey Streifen bey H sind am sonderbarsten; sie sind beyde fast ganz gleich, und bestehen aus vielen Linien; in ihrer Mitte ist eine starke Linie, die sehr schwarz ist. Von H nach I sind die Linien gleich zahlreich. Es können demnach blofs im Raume zwischen B und H ungefähr 574 Linien gezählt werden, wovon jedoch nur die stärkern in der Zeichnung angedeutet sind. Die Entfernungen der stärksten Linien von einander wurden mit dem Theodolith gemessen, und in der Zeichnung ohngefähr nach diesem Verhältnisse aufgetragen; die schwachen Linien aber wurden blofs nach der Ansicht des Farbenbildes ohne genaues Maafs gezeichnet.

Ich habe mich durch viele Versuche und Abänderungen überzeugt, dafs diese Linien und Streifen in der Natur des Sonnenlichtes liegen, und dafs sie nicht durch Beugung, Täuschung u. s. w. entstehen. Läßt man das Licht einer Lampe durch dieselbe schmale

Oeff-

Oeffnung am Fensterladen einfallen, so findet man keine dieser Linien, sondern nur die helle Linie R (Fig. 4), die aber mit der Linie D (Fig. 5) genau an einem Orte ist, so daß der Exponent des Brechungsverhältnisses für den Strahl D mit dem Exponenten für den Strahl R einerley ist. Warum die Linien undeütlich werden, oder gar verschwinden, wenn die Oeffnung am Fenster zu breit wird, ist nicht schwer einzusehen. Die stärkern Linien haben ungefähr 5 bis 10 Sekunden Breite; ist die Oeffnung am Fensterladen nicht so schmal, daß das Licht, welches durch sie fährt, gleichsam nur für einen Strahl anzusehen ist, oder beträgt die Breite der Oeffnung, im Winkel, bedeutend mehr, als die Breite der Linie: so fällt das Bild einer und derselben Linie mehrmal neben einander hin, und wird folglich undeütlich, oder verschwindet bey zu großer Breite der Oeffnung ganz. Warum beym Verdrehen der Prismen die Linien und Streifen nicht gesehen werden, ohne das Fernrohr länger oder kürzer zu machen, wird aus Folgendem klar.

Nur wenn die Strahlen auf ein Prisma so fallen, daß der Winkel des einfallenden Strahles dem Winkel des gebrochenen gleich ist, fahren sie, in Hinsicht auf Divergenz, so aus, wie sie auffallen; ist der Winkel der auffallenden Strahlen größer, so divergiren sie nach der Brechung durch das Prisma von einem weiter entlegenen Punkte her; ist er kleiner, so divergiren sie von einem näher gelegenen Punkte her. Die Ursache ist, daß die Strahlen, die näher an der Spitze des Prismas durchgehen, einen kürzern Weg durch dasselbe zu machen haben, als die von der Spitze entfernter durchgehen. Diefs ändert zwar die Winkel der gebrochenen Strahlen nicht, aber die Seiten des Dreyeckes für die ausfahrenden Strahlen werden in dem einen Falle größer, in dem andern kleiner. Dieser Unterschied muß verschwinden, wenn die Strahlen parallel auf das Prisma fallen, welches auch der Erfahrung gemäß ist. Da die violetten Strahlen durch das Objectiv des Theodolith-Fernrohres eine kürzere Vereinigungs-Weite haben,
als

als die rothen, so ist klar, warum man das Okular verrücken müsse, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen.

Da die Linien und Streifen im Farbenbilde nur eine sehr geringe Breite haben, so ist klar, daß der Apparat große Vollkommenheit haben müsse, um allen Abweichungen zu entgehen, welche die Linien undeutlich machen, oder ganz zerstreuen könnten. Die Seitenflächen der Prismen müssen daher sehr gut plan seyn. Das Glas, welches zu solchen Prismen gebraucht wird, muß ganz frey von Wellen und Streifen seyn; daher mit englischem Flintglase, das nie ganz frey von Streifen ist, nur die stärkern Linien gesehen werden. Auch das gemeine Tafel- und englische Crown Glas enthält sehr viele Streifen, wenn sie auch für das freye Auge nicht sichtbar sind. Wer nicht im Besitze eines Prisma von vollkommenem Flintglase ist, wählt besser eine stark zerstreue Flüssigkeit, z. B. Anisöl, um alle Linien zu sehen; doch muß das prismatische Gefäß sehr vollkommen plan und parallele Seitenflächen haben. Bey allen Prismen müssen die Seitenflächen mit der Grundfläche ziemlich nahe 90° machen; die Grundfläche muß horizontal vor dem Fernrohre liegen, wenn die Achse des Fernrohres horizontal läuft. Die schmale Oeffnung, durch welche das Licht einfällt, muß genau vertikal stehen u. s. w. Die Ursache, warum Undeutlichkeit entsteht, wenn eins oder das andere vernachlässigt wird, ist leicht einzusehen.

Da durch jedes brechende Mittel von gleicher Dichtigkeit die Linien und Streifen im Farbenbilde gesehen werden, so habe ich mich derselben bedient, um für jeden farbigen Strahl das Brechungsvermögen eines Mittels zu bestimmen, und weil der größte Theil der Linien sehr scharf begrenzt ist, so konnte dieses mit großer Genauigkeit geschehen. Da bey brechenden Mitteln, die nur wenig zerstreuen, oder bey Prismen mit kleinen Winkeln, die feinen Linien selbst mit starken Vergrößerungen nur schwer zu erkennen sind, so wählte ich für alle brechende Mittel die stärkern Linien zu diesen Versuchen; ich nahm

näm-

nämlich die Linien B, C, D, E, F, G und H, die bey b wählte ich nicht, weil sie zu nahe bey F ist, und ich mehr in die Mitte zwischen D und F zu kommen suchte. Da das Okular verrückt werden muß, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen, so können keine große Bögen, wie BH, gemessen werden, sondern nur kleine, wie BC, CD u. s. w. Die folgende Tabelle (Tab. II) enthält diese gemessene Bögen und Winkel für verschiedene Glasarten und einige andere brechende Mittel.

Zum Messen der Winkel wurde das schon mehrmal genannte repetirende Theodolith gebraucht, und alle Winkel durch sechsma- lige Wiederholung erhalten. Da in dem verfinsterten Zimmer das Theodolith nur 24 Fufs von dem Fensterladen entfernt seyn konnte, durch welchen das Licht einfiel, so hätte die Korrektion die, wegen der Entfernung des Prisma von der Achse des Theodoliths, nämlich 4,25 Zoll, an dem Winkel μ gemacht werden muß, sehr groß werden müssen. Um der Unsicherheit, die mit einer großen Korrektion verbunden ist, zu entgehen, bestimmte ich den Winkel μ für Lampenlicht, weil, wie schon oben gesagt worden, der Strahl D und der Strahl R, Fig. 4, genau gleich stark gebrochen werden. Die Lampe war in diesem Falle 692 Fufs entfernt, und die Korrektion von μ wurde dadurch nur klein; für Wasser z. B. betrug sie bey dem gebrauchten Prisma nur 40,5 Sekunden. Im verfinsterten Zimmer wurden daher nur die Bögen BC, CD, DE u. s. w. gemessen, und für diese sind die Korrektionen nicht groß, also sehr zuverlässig; bey dem Wasserprisma z. B. betragen sie nur für BC, 2,5; für CD, 6,5; für DE, 8 Sekunden. Alle Winkel der Tabelle II enthalten diese Korrektionen.

Zur Berechnung der Exponenten der Brechungsverhältnisse ist, wenn σ der Winkel des einfallenden Strahles, ρ der Winkel des

des gebrochenen oder ausfallenden, ψ der Winkel des Prisma und n der Exponent des Brechungsverhältnisses genannt wird:

$$n = \frac{\sqrt{[(\sin. \rho + \cos. \psi. \sin. \sigma)^2 + (\sin. \psi. \sin. \sigma)^2]}}{\sin. \psi} *).$$

Ist der Winkel des einfallenden Strahles dem des gebrochenen gleich, und wird der Winkel, den in diesem Falle der einfallende Strahl mit dem gebrochenen macht, μ genannt, so ist:

$$n = \frac{\sin. \frac{1}{2} (\mu + \psi)}{\sin. \frac{1}{2} \psi}.$$

Da der Winkel des einfallenden Strahles nur einem der gebrochenen Strahlen, z. B. D, gleich seyn kann, für die übrigen aber bey unverrücktem Prisma es nicht ist, so wäre dieser letztere Ausdruck von n bey stark zerstreuen Mitteln für einen andern Strahl z. B. H nicht ganz genau. Um diesen kurzen Ausdruck bey Berechnung der Exponenten doch mit größter Genauigkeit anwenden zu können, so wurden die Bögen BC, CD, DE u. s. w. in dem Falle gemessen, wenn die Entfernung der zwey Linien von einander am kleinsten war. Diese Entfernung haben im Farbenbilde zwey Linien alsdann, wann ein in der Mitte zwischen ihnen liegender Strahl mit dem einfallenden Strahle den kleinsten Winkel macht. Wurde z. B. der Bogen GH gemessen, so war das Prisma so gestellt, dafs ein ungefähr in der Mitte zwischen GH liegender Strahl mit dem Prisma denselben Winkel machte, den der einfallende Strahl mit dem Prisma machte. Diese Stellung hat das Prisma dann, wann der Winkel der Brechung dieses mittleren Strahles am kleinsten ist, was am Fernrohre sehr genau beobachtet werden kann, und durch Verdrehen der Scheibe, worauf das Prisma liegt, schnell dahin

*) Die Entstehung dieser Formel wird klar, wenn man den Weg des Lichtes durch ein Prisma zeichnet; — sie ist ganz genau.

dahin zu bringen ist. Bey wenig zerstreunden Mitteln, oder Prismen mit kleinen Winkeln bedarf es dieser Sorgfalt nicht, um die nöthige Genauigkeit zu erreichen.

Wird der Exponent des Brechungsverhältnisses für den Strahl E, E_n genannt, so ist

$$E_n = \frac{\sin. \frac{1}{2} (u + \psi + DE)}{\sin. \frac{1}{2} \psi}$$

und für F

$$F_n = \frac{\sin. \frac{1}{2} (u + \psi + DE + EF)}{\sin. \frac{1}{2} \psi},$$

was so gut als ganz genau ist.

Tab. III enthält die aus Tab. II berechneten Exponenten der Brechungsverhältnisse für die verschiedenen farbigen Strahlen jedes brechenden Mittels.

Tab. IV enthält die aus Tab. III folgenden Verhältnisse der Zerstreuung der verschiedenen farbigen Strahlen in mehreren Paaren brechender Mittel. Bey jedem Paare ist die Zerstreuung des weiniger zerstreunden Mittels I genannt. Man sieht aus dieser Tabelle, wie groß bey einigen Paaren brechender Mittel der Unterschied der relativen Zerstreuung der verschiedenen farbigen Strahlen ist; so verhält sich, z. B. bey Flintglas Nro. 13 und Wasser, die Zerstreuung der Strahlen vom Raume BC, wie 1:2,56 und die vom Raume GH, wie 1:3,73. Bey einigen, wie bey Flintglas und Terpenthinöl, sind aber auch diese Unterschiede verhältnismäßig sehr gering. Man hat daher gegründete Hoffnung, durch Veränderung der Bestandtheile der Glasarten solche erhalten zu können, bey welchen diese Unterschiede geringer sind, als bey Glasarten, die bisher zu Objektiven gebraucht wurden. Crown Glas Lit. M ist einer der Versuche, die ich in dieser Absicht im Kleinen gemacht habe.

Wird die Abweichung, die wegen der Unterschiede der relativen Zerstreuung der verschiedenen Farben bey einem Objektiv aus Crownglas Nro. 9 und Flintglas Nro. 3 entsteht, 1,00 genannt, so ist diese Abweichung bey einem Objektiv aus Crownglas Nro. 9 und Flintglas Nro. 13 von derselben Brennweite ungefähr 0,57; bey einem Objektiv aus Crownglas Lit. M und Flintglas Nro. 13, 0,52; und bey einem Objektiv aus Crownglas Nro. 9 und Crownglas Lit. M, 1,74. Bey Berechnung dieser Abweichungen ist auf die Intensität der verschiedenen Farben Rücksicht genommen, worüber unten mehr vorkommen wird.

Aus den erhaltenen Resultaten mit beyden Prismen von Flintglas Nro. 23 läßt sich sehr sicher darauf schließen, wie weit alle gemessene Bögen und Winkel zuverlässig sind. Bey dem Prisma von 45° dieses Glases ändert ein Unterschied von 2" im Bogen den Exponenten des Brechungsverhältnisses in der fünften Dezimalstelle um 1. Bey dem Prisma von 60° bringen 3,5" diese Veränderung hervor.

Da bey achromatischen Objektiven, wenn die Farbenzerstreuung gehoben seyn soll, sich die Brennweiten der Linsen ungefähr verhalten müssen, wie die Farbenzerstreuung der beyden Glasarten, das Verhältniß der Zerstreung für die verschiedenen Farben aber ungleich ist, so ist klar, daß eine Abweichung übrig bleiben müsse, und es entsteht daher die Frage, welches Verhältniß zu nehmen sey, damit diese Abweichung dem deutlichen Sehen so wenig als möglich schade. Daß dieses nicht in dem Falle geschehe, wenn die Längenabweichung so klein als möglich ist, wird bald klar, wenn man erwägt, daß die verschiedenen Farben nicht einerley Intensität haben, und daß z. B. die Abweichung der gelben Strahlen, die sehr hell sind, ungefähr im Verhältnisse ihrer Intensität mehr schaden werden, als die violetten bey gleicher Längenabweichung. Es folgt daraus, daß es nöthig sey, die Intensität jeder Far-

Farbe im Spektrum zu kennen, oder zu wissen, in welchem Verhältnisse der Eindruck, den irgend eine Farbe im Spektrum auf das Auge macht, stärker oder schwächer sey, als der einer andern Farbe. Um dieses zu finden, wählte ich folgende Vorrichtung.

In einem eigens zu dem Theodolithfernrohre gemachten Okulare ist an dem Orte, wohin das durch das Objektiv gemachte Bild fällt, vor der Okularlinse, unter 45° , ein kleiner Planspiegel a (Fig. 7 und 8) von Metall gestellt, dessen einer Rand sehr scharf begrenzt ist, und das Gesichtsfeld in der Mitte durchschneidet. Dieser Rand läuft vertikal, und das Okular ist auf ihn so gestellt, daß man ihn ganz deutlich sieht. An der Seite des Okularrohres, vertikal auf dem scharfen Rande des Spiegels und der Achse des Fernrohres, ist ein der Länge nach durchschnittenen Rohr angeschraubt, in dessen Einschnitt ein engeres kurzes Rohr, welches das weitere quer durchschneidet und vertikal steht, geschoben werden kann. In diesem engen Rohre b ist in der Achse des weitern eine kleine Flamme, der, durch eine Verbindung mit einem Oelgefäße von Aufsen, Oel zufließen kann. Das vertikal stehende enge Rohr b hat in der Achse des weitern gegen den Spiegel eine kleine runde Oeffnung, durch die von der Flamme Licht auf den Spiegel fallen kann. Man sieht demnach durch das Okular im halben Gesichtsfelde den durch die Flamme beleuchteten Spiegel, während durch die andere Hälfte des Gesichtsfeldes eine der Farben im Spektrum gesehen wird. Der Spiegel wird um so stärker beleuchtet seyn, je näher das Rohr b bey demselben ist. Man kann ihn demnach gerade so beleuchten, daß der Eindruck, welchen dessen Licht, durch das Okular gesehen, auf das Auge macht, eben so stark ist, als der Eindruck einer durch die andere Hälfte des Gesichtsfeldes gesehenen Farbe im Spektrum. Die Quadrate der Entfernungen der Flamme vom Spiegel, bey den verschiedenen Farben im Spektrum, sind alsdann umgekehrt die Verhältnisse der Intensität derselben. Es scheint anfänglich etwas schwer, Licht von zwey ver-

schiedenen Farben unter sich zu vergleichen; doch einige Uebung erleichtert es ungemein. Das Licht des Spiegels kömmt, in Hinsicht seiner Intensität, dem einer Farbe im Spektrum alsdann am nächsten, wann der scharfe Rand desselben, bey unverrücktem Okulare, am wenigsten deutlich erkannt wird. Kömmt man mit dem Spiegel im Farbenbilde an einen mehr oder weniger hellen Ort, so wird in beyden Fällen der Rand des Spiegels deutlicher erkannt, weil dadurch in dem einen Falle der Spiegel, in dem andern die Farbe des Spektrums gleichsam im Schatten zu liegen scheint. Wenn die Linien und Streifen im Farbenbilde deutlich gesehen werden, so ist die Vergleichung mit dem Spiegel etwas schwer und unsicher, weil die hellern und dunklern Streifen fast in jeder Farbe neben einander liegen; es wurde deswegen die Oeffnung am Fensterladen so breit gemacht, daß nur die stärkern Linien undeutlich erkannt wurden, und man folglich die feinern nicht sah. Statt des Spiegels außerhalb des Fensterladens, durch welchen das Licht einfiel, war nur eine weiße, ebene Fläche angebracht, die von der Sonne beleuchtet wurde; weil eine Unvollkommenheit des Spiegels das Licht unregelmäßig zerstreut, was die Bestimmung erschwert.

Um die Versuche abzuändern, habe ich die runde Oeffnung vor der Flamme ein Mal größer, das andere Mal kleiner gemacht. Ich stellte auch an das Ende des weitem Rohres in c ein auf einer Seite rauh geschliffenes Glas, durch welches erst der Spiegel beleuchtet wurde. In diesem Falle wurden die Entfernungen der Flamme von dem rauhen Glase an gemessen. Um allen Täuschungen zu entgehen, muß die Einsicht am Okulare nur klein seyn, und muß an dem Orte stehen, wo die Hauptstrahlen die Achse schneiden. Mit dem Prisma vom Flintglase Nro. 13, dessen Winkel $26^{\circ} 24,5$ mißt, erhielt ich die Resultate, die ich hier folgen lasse. Ob schon die Versuche nur bey sehr hellem Himmel und am Mittage gemacht wurden, so war doch einigemal eine Veränderung in der Dichtigkeit des auf das Prisma fallenden Lichtes während der ganzen Zeit der

Beobachtung wahrzunehmen. Ein Theil der Unterschiede in den vier Versuchen kann von diesen Veränderungen herrühren; auch die Flamme kann innerhalb der Zeit des ganzen Versuchs ihre Helligkeit verändert haben. Die Nachteile dieser Veränderungen werden sich durch öftere Wiederholung der Versuche vermindern. Ich nenne die Intensität des Lichtes am hellsten Orte 1, alsdann ist sie:

1^{ter} Versuch.

Bey B = 0,010

- C = 0,048

- D = 0,61

Zwischen D und E = 1,00

- E = 0,44

- F = 0,084

- G = 0,010

- H = 0,0011.

2^{ter} Versuch.

Bey B = 0,044

- C = 0,096

- D = 0,59

Zwischen D und E = 1,00

- E = 0,38

- F = 0,14

- G = 0,029

- H = 0,0072.

3^{ter} Versuch.

Bey B = 0,053

- C = 0,15

- D = 0,72

Zwi-

-
- Zwischen D und E = 1,00
 - E = 0,61
 - F = 0,25
 - G = 0,053
 - H = 0,0090.

4^{ter} Versuch.

- Bey B = 0,020
 - C = 0,084
 - D = 0,62

- Zwischen D und E = 1,00
 - E = 0,49
 - F = 0,19
 - G = 0,032
 - H = 0,0050.

Mittel aus den vier Versuchen.

- Bey B = 0,032
 - C = 0,094
 - D = 0,64

- Zwischen D und E = 1,00
 - E = 0,48
 - F = 0,17
 - G = 0,031
 - H = 0,0056.

Der hellste Ort liegt ungefähr $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ DE von D nach E.
 Genau ist die Lage dieses Ortes nicht anzugeben, was aber auch zu dieser Absicht eben nicht nothwendig ist.

Durch die Curve Fig. 6 wird die Intensität des Lichts der verschiedenen Farben dargestellt; die eben gefundenen Werthe sind die

Or-

Ordinaten und die gemessenen Bögen BC, CD u. s. w., für Flintglas Nro. 13 aus Tabelle II, die Abscissen. Das Verhältniß der Abscissen zu den Ordinaten ist willkürlich. Man kann annehmen, daß durch die Flächenräume BC, CD u. s. w., der Curve, die Menge des Lichtes in den verschiedenen Räumen dargestellt werde. Nennt man die Menge des Lichtes in dem Raume DE = 1, so ist sie:

| | | |
|-------------|---|-------|
| im Raume BC | = | 0,021 |
| - - CD | = | 0,299 |
| - - DE | = | 1,000 |
| - - EF | = | 0,328 |
| - - FG | = | 0,185 |
| - - GH | = | 0,035 |

Nimmt man an, daß bey einem achromatischen Objektiv die Abweichung der dichtern Strahlen dem deutlichen Sehen im Verhältnisse ihrer Dichtigkeit mehr schade, als weniger dichte, so wird die Deutlichkeit alsdann am größten seyn, wann das Verhältniß der Zerstreuung, das 1 : x heißen mag, so genommen wird, daß

$$x = \frac{b\beta + c\nu + d\delta + e\varepsilon + f\xi + g\eta}{\beta + \nu + \delta + \varepsilon + \xi + \eta} \text{ *)},$$

wo β, ν, δ u. s. w die Menge des Lichtes in den Räumen BC, CD, DE u. s. w. bedeutet, und durch b, c, d u. s. w. die Quotienten $\frac{Cn' - Bn'}{Cn - Bn}, \frac{Dn' - Bn'}{Dn - Bn}$ u. s. w. ausgedrückt werden. Für Flintglas Nro. 30, und Crownglas Nro. 13 ist demnach dieses Verhältniß, wie 1 : 2,012. Ich habe aber gefunden, daß bey Objektiven von diesen beyden Glasarten das Sehen alsdann am deutlichsten ist, wann dieses Verhältniß, wie 1 : 1,98 genommen wird; was beweist, daß die weniger dichten

*) Es ist nämlich in diesem Falle:

$$(x - b)\beta + (x - c)\nu + (x - d)\delta + (x - e)\varepsilon + (x - f)\xi + (x - g)\eta = 0.$$

ten Strahlen etwas mehr, als im umgekehrten Verhältnisse ihrer Dichtigkeit abweichen müssen, wenn die Deutlichkeit am größten seyn soll.

Bey welchen, aus mehrern, Objektiven von denselben Glasarten, bey gleicher Brennweite und Oeffnung, die Farbenzerstreuung am besten gehoben ist, erkennt man, wenn man jedes Objektiv halb, die Mitte durchschneidend, zudeckt; bey denjenigen, wo die Linien eines entfernten Gegenstandes, die mit der Durchschnittslinie des Objektivs parallel laufen, am deutlichsten gesehen werden, ist die Farbenzerstreuung am vollkommensten gehoben. Man darf sich aber dabey von den Farben, die gesehen werden, nicht irre führen lassen, und muß nur auf Präcision sehen; weil man bey einem Objektiv weniger Farben sehen kann, als bey einem andern, während die Präcision doch geringer ist. Diese umständliche Ableitung des besten Zerstreungsverhältnisses mußte nur dazu dienen, zu erfahren, wie sehr Strahlen von geringer Dichtigkeit stärker abweichen dürfen, als dichtere. Das erhaltene Resultat wird noch einer großen Vervollkommnung fähig seyn, wenn es aus größern Objektiven abgeleitet wird, bey welchen auch die Oeffnung, im Verhältnisse zur Brennweite, so groß als möglich ist. Ich behalte mir diese Verbesserung bevor. Dafs bey allen zu dieser Absicht gebrauchten Objektiven die Abweichung wegen der sphärischen Form gleich vollkommen gehoben war, ist zu erinnern überflüssig. Bey genauer Ableitung des besten Zerstreungsverhältnisses aus Objektiven muß noch auf eine Abweichung Rücksicht genommen werden, die im Auge selbst vorgeht, von der ich jetzt spreche.

Wenn man im Gesichtsfelde des Fernrohrs am Theodolith die rothe Farbe des Spektrums hat, und das Okular so gestellt ist, dafs man den Mikrometerfaden vollkommen deutlich sieht, und man bringt alsdann die blaue Farbe des Spektrums in das Gesichtsfeld, so sieht man bey unverrücktem Okulare den Mikrometerfaden nicht mehr. Um ihn wieder deutlich zu sehen, muß das Okular bedeu-

tend

tend viel dem Faden näher gerückt werden, und zwar um mehr als das Doppelte der Längenabweichung wegen der Farbenzerstreuung der Okularlinse. Dieses beweist, daß die verschiedenen farbigen Strahlen im Auge nicht einerley Vereinigungsweite haben, und daß das Auge nicht achromatisch ist. Das Maafs, um wie viel bey den verschiedenen Farben das Okular verrückt werden müsse, um den Faden deutlich zu sehen, dient, wenn man noch auf die Farbenzerstreuung der Okularlinse Rücksicht nimmt, zur Berechnung dieser Abweichung, die nicht unbedeutend ist. Daß bey dieser Bestimmung kein anders Licht, als das des Spektrums in das Gesichtsfeld kommen dürfe, auch der Faden ganz unbeleuchtet von anderm Lichte seyn müsse, ist zu erinnern überflüssig. Mit einer Okularlinse aus Crownglas Nro. 13 von 0,88 Brennweite fand ich, daß, wenn man mit dem Faden von dem Strahle C auf den Strahl G geht, das Okular um 0,054 Pariser Maafs verrückt werden müsse, um den Faden mit beyden Strahlen gleich deutlich zu sehen. Eine Linse aus Crownglas Nro. 13 von 1,33 Brennweite muß bey denselben beyden Strahlen um 0,111 verrückt werden, um den Faden gleich deutlich zu sehen. Eine Linse aus Flintglas Nro. 30 von 0,867 Brennweite muß in demselben Falle um 0,074 verrückt werden, und eine Linse aus Flintglas Nro. 30, von 1,338 Brennweite, um 0,148. Während ich bey diesen Versuchen mit dem einen Auge durch die Okularlinse nach dem Faden sah, sah ich mit dem andern Auge nach einem in der Achse desselben gelegenen unveränderlichen Gegenstande, damit ich versichert seyn möge, daß das Auge bey den verschiedenen farbigen Strahlen immer gleich geeignet bleibe, weiße Strahlen von bestimmter Divergenz auf der Netzhaut zu vereinigen, und es sich folglich in dieser Beziehung bey den verschiedenen Farben nicht ändere. Auch wenn ich diese Vorsicht nicht brauchte, wichen die Resultate von den vorigen nicht merklich ab. Aus der ersten Linse erhält man, daß, wenn die rothen Strahlen C parallel auf das Auge fallen, die blauen G von einem 23,7 entlegenen Punkte her divergiren müssen, um im Auge

einerley Vereinigungsweite zu haben. Aus der zweyten Linse erhält man dieses Maafs 21,“3; aus der dritten 19,“5; aus der vierten 17,“9. Auf den Antheil, den die Zerstreuung der Linsen am obigen Verrücken hat, ist bey dieser Berechnung Rücksicht genommen. Durch Wiederholung und Abänderung der Versuche wird diese Abweichung erst genauer bestimmt werden müssen. Es wäre zu wünschen, daß die Versuche durch Augen verschiedener Personen wiederholt würden, um, wenn sich Unterschiede finden, ein Mittel daraus nehmen zu können. Es ist klar, daß es allerdings der Mühe werth sey, bey Berechnung achromatischer Objektive, auch auf die Farbenzerstreuung des Auges Rücksicht zu nehmen und diese Abweichung durch die Objektive zu vernichten.

Wenn bey achromatischen Objektiven die Abweichung wegen der sphärischen Form der Flächen vollkommen gehoben seyn soll, so müssen, bey Berechnung derselben, die angenommenen Exponenten der Brechungsverhältnisse der mittlern Strahlen in beyden Glasarten für einen und denselben farbigen Strahl gehören; gehören sie für zwey verschiedene Strahlen, so ist, der genauesten Rechnung ungeachtet, diese Abweichung nur unvollkommen gehoben. Da man sich durch die Entdeckung der Linien im Farbenbilde hiervon vollkommen versichern kann, so ist der Nutzen der Linien, auch zur Vernichtung dieser Abweichung, von Bedeutung.

Vor Entdeckung der Linien im Farbenbilde überzeugte ich mich von dem gleichen Brechungsvermögen zweyer Stücke Glases dadurch, daß ich von beyden Stücken, zusammengeküttet, ein Prisma schliß; erschienen die beyden Spektra, die durch dieses Prisma gesehen wurden, an einem Orte und gegen einander nicht verrückt, so schloß ich, daß das Brechungsvermögen beyder Stücke gleich sey. Nach Entdeckung der Linien im Farbenbilde aber fand ich, daß zwey solche Stücke noch sehr verschiedenes Brechungsvermögen haben können, ohne daß es auf obige Art bemerkbar wird. Nicht nur Stücke

aus verschiedenen Orten eines Schmelzhafens waren in ihrem Brechungsvermögen merklich verschieden, sondern auch in zwey Stücken von einer Scheibe fand ich vielmal noch sehr kenntliche Unterschiede. Ich habe es jetzt durch viele Versuche dahin gebracht, daß aus einem Hafen mit 400 Pfund Flintglas selbst zwey Stücke, wovon eines vom Boden, das andere von der Oberfläche des Hafens genommen ist, gleiches Brechungsvermögen haben.

Beym Anblicke der vielen Linien und Streifen im Farbenbilde vom Sonnenlichte enthält man sich vielleicht schwer der Vermuthung, daß die Beugung des Lichtes an den schmalen Oeffnungen des Fensterladens mit diesen Linien in Verbindung seyn könnte; ob schon die angegebenen Versuche nicht im geringsten darauf hinweisen, sondern es vielmehr gänzlich verneinen. Theils um in dieser Hinsicht ganz gewiß zu seyn, theils auch um noch einige andere Erfahrungen zu machen, änderte ich die Versuche noch auf folgende Art ab.

Läßt man durch eine kleine runde Oeffnung am Fensterladen, deren Durchmesser ungefähr nur 15 Sekunden beträgt, Sonnenlicht auf ein Prisma fallen, das vor dem Theodolithfernrohre liegt, so ist klar, daß das Farbenbild, welches durch das Fernrohr gesehen wird, nur unmerkliche Breite haben könne, also nur eine Linie bilde; in einer farbigen Linie aber können keine feine Querslinien gesehen werden. Um in diesem Farbenbilde die vielen Linien sehen zu können, käme es nur darauf an, durch das Objectiv das Farbenbild breiter zu machen, ohne es in seiner Länge im geringsten zu verändern. Dieses brachte ich dadurch zu Stande, daß ich an das Objectiv noch ein Glas legte, das auf einer Seite sehr gut plan, auf der andern nach einem Zylinder von sehr großem Durchmesser gekrümmt war. Die Achse des Zylinders lief mit der Grundfläche des Prismas genau parallel; folglich konnte das Farbenbild in seiner Länge nicht geändert werden, und wurde nur breiter gemacht.

macht. In diesem Falle erkannte ich im Farbenbilde wieder alle Linien unverändert, so wie sie gesehen werden, wenn das Licht durch eine lange schmale Oeffnung einfällt.

Dieselbe Vorrichtung habe ich dazu angewendet, zur Nachtzeit unmittelbar nach der Venus zu sehen, ohne das Licht durch eine kleine Oeffnung einfallen zu lassen, und ich fand auch im Farbenbilde von diesem Lichte die Linien, wie sie im Sonnenlichte gesehen werden. Da aber das Licht der Venus, im Vergleiche mit dem von einem Spiegel reflektirten Sonnenlichte, nur sehr geringe Dichtigkeit hat, so ist die Intensität der violetten und äufsern rothen Strahlen sehr schwach, und deswegen werden in diesen beyden Farben selbst die stärkern Linien schwer erkannt; in den übrigen Farben aber sind sie sehr gut zu sehen. Ich habe die Linien D, E, b F (Fig. 5) ganz begrenzt gesehen, und erkannte selbst, dafs die bey b aus zwey, nämlich einer schwächern und einer stärkern, bestehe; dafs aber die stärkere selbst wieder aus zweyen bestehe, konnte ich aus Mangel des Lichtes nicht erkennen. Aus demselben Grunde wurden die übrigen feinem Linien nicht bestimmt gesehen. Ich habe mich durch ungefähres Messen der Bögen DE und EF überzeugt, dafs das Licht der Venus in dieser Beziehung von einerley Natur mit dem Sonnenlichte sey.

Ich habe auch mit derselben Vorrichtung Versuche mit dem Lichte einiger Fixsterne erster Gröfse gemacht. Da aber das Licht dieser Sterne noch vielmal schwächer ist, als das der Venus, so ist natürlich auch die Helligkeit des Farbenbildes vielmal geringer. Demohngeachtet habe ich, ohne Täuschung, im Farbenbilde vom Lichte des Sirius drey breite Streifen gesehen, die mit jenen vom Sonnenlichte keine Aehnlichkeit zu haben scheinen; einer dieser Streifen ist im Grünen, und zwey im Blauen. Auch im Farbenbilde vom Lichte anderer Fixsterne erster Gröfse erkennt man Streifen; doch scheinen diese Sterne, in Beziehung auf die Streifen, unter sich

sich verschieden zu seyn. Da das Objectiv, das an dem Theodolithfernrohre ist, nur 13 Linien Oeffnung hat, so ist klar, daß diese Versuche noch mit vielmal größerer Vollkommenheit gemacht werden können. Ich werde sie mit zweckmäßigen Veränderungen und mit einem größern Objective noch einigemal wiederholen, um vielleicht einem geübten Naturforscher zur Fortsetzung dieser Versuche Veranlassung zu geben; was um so mehr zu wünschen wäre, da sie zugleich zur genauesten Vergleichung der Brechbarkeit des Lichtes der Fixsterne mit der des Lichtes der Sonne dienen.

Das Licht der Elektrizität, ist in Hinsicht der Streifen und Linien des Farbenbildes, sowohl vom Sonnenlichte, als auch vom Lichte des Feuers, sehr auffallend verschieden. Man findet im Farbenbilde von diesem Lichte mehrere, zum Theil sehr helle Linien, worunter eine im Grünen gegen den übrigen Theil des Spektrums fast glänzend hell ist. Eine andere nicht ganz so helle Linie ist im Orange; sie scheint dieselbe Farbe zu haben, wie die helle Linie im Farbenbilde vom Lampenlichte, mißt man aber den Winkel der Brechung, so findet man, daß ihr Licht bedeutend stärker gebrochen ist, ungefähr so wie die gelben Strahlen beym Lampenlichte. Gegen das Ende des Farbenbildes im Rothen bemerkt man eine Linie, die nicht sehr hell ist; ihr Licht wird, so weit ich mich bis jetzt davon versichern konnte, eben so stark gebrochen, wie das der hellen Linie vom Lampenlichte. In dem übrigen Theile des Farbenbildes kann man noch 4 helle Linien sehr leicht erkennen *).

Läßt man Lampenlicht durch eine sehr schmale Oeffnung, von 15 bis 30 Sekunden Breite, auf ein stark zerstreues Prisma fallen.

*) Um das elektrische Licht zu diesem Behufe zu fixiren, habe ich zwey Conductoren, wovon der eine mit einer Elektrirmaschine und der andere mit einer Ableitung verbunden war, bis auf einen halben Zoll einander genähert und mit einem sehr feinen Glasfaden verbunden. Das Licht schien dann continuirlich an dem Faden überzugehen und der Faden bildete eine feine leuchtende Linie.

fallen, das vor einem Fernrohre liegt, so erkennt man, daß die röthlicht gelbe helle Linie dieses Spektrums aus zwey sehr feinen hellen Linien besteht, die in Stärke und Entfernung den beyden dunklen Linien D (Fig. 5) ähnlich sind. Sowohl wenn die Oeffnung, durch welche das Lampenlicht fährt, schmal, als wenn sie breit ist, wird, wenn man die Spitze der Flamme und das untere blaue Ende derselben zudeckt, also nur den hellsten Theil der Flamme frey läßt, die röthlicht gelbe Linie des Farbenbildes nicht sehr hell gesehen, und daher schwerer erkannt. Es scheint demnach diese Linie hauptsächlich von dem Lichte der beyden Enden der Flamme, besonders von dem untern, gebildet zu werden.

Im Farbenbilde von dem Lichte, welches durch Verbrennen von Wasserstoffgas, auch in dem, welches durch Verbrennen von Alkohol entsteht, ist die röthlichtgelbe Linie im Verhältnisse zu dem übrigen Theile des Farbenbildes sehr hell. Beym Verbrennen von Schwefel wird sie nur sehr schwer erkannt.

Ich werde diejenigen Versuche, die auf Vervollkommnung achromatischer Fernröhre Bezug haben, mit einem neuen Instrumente, mit dem ich wenigstens noch doppelt so grose Genauigkeit zu erhalten hoffe, wiederholen. Ich werde mit diesem Instrumente auch neue Versuche machen können, wozu das bisher gebrauchte nicht geeignet ist, die vielleicht für praktische Optik von Interesse werden könnten.

Bey allen meinen Versuchen durfte ich, aus Mangel der Zeit, hauptsächlich nur auf das Rücksicht nehmen, was auf praktische Optik Bezug zu haben schien, und das Uebrige entweder gar nicht berühren, oder nicht weit verfolgen. Da der hier mit physisch-optischen Versuchen eingeschlagene Weg zu interessanten Resultaten führen zu können scheint, so wäre sehr zu wünschen, daß ihm geübte Naturforscher Aufmerksamkeit schenken möchten.

Tabelle I.

| Brechendes Mittel | Temperatur Reaum. | Spezifisches Gewicht. | Winkel des Prisma. | Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle N macht. | ON | NM | NL | NR | NI |
|---|-------------------|-----------------------|--------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Crownglas Nro. 9 | 3° | 2,535 | 39° 20' 35" | 22° 38' 20" | 6' 11" | 5' 46" | 11' 22" | 16' 56" | 22' 16" |
| Flintglas Nro. 13 | 5½° | 3,723 | 26° 24' 30" | 17° 27' 9" | 7' 17" | 7' 15" | 14' 18" | 21' 31" | 28' 46" |
| Wasser | 8° | 1,000 | 58° 5' 40" | 22° 36' 41" | 6' 35" | 6' 19" | 12' 9" | 17' 45" | 23' 18" |
| Wasser | 9½° | 1,000 | 58° 5' 40" | 22° 36' 43" | 6' 30" | 6' 12" | 12' 5" | 17' 43" | 23' 10" |
| Schwefel-Säure | 9½° | 1,841 | 58° 5' 40" | 29° 27' 47" | 7' 50" | 7' 15" | 14' 3" | 20' 30" | 26' 45" |
| Alkohol | 9° | 0,809 | 58° 5' 40" | 25° 8' 32" | 6' 35" | 6' 17" | 12' 55" | 18' 45" | |
| Schwefel-Aether | 9° | | 58° 5' 40" | 24° 38' 39" | 6' 20" | 6' 27" | 12' 55" | 19' 10" | |
| Terpenthinöl | 7° | 0,885 | 58° 5' 40" | 33° 22' 8" | 11' 00" | 11' 35" | 22' 45" | 34' 20" | |
| Kali in Wasser aufgelöst | 8½° | 1,416 | 58° 5' 40" | 27° 45' 54" | 8' 32" | 7' 58" | 15' 35" | 23' 6" | 30' 24" |
| 1 Theil essigsaures Bley 3 Theile Wasser | 8½° | | 58° 5' 40" | 24° 34' 49" | 7' 54" | 7' 31" | 14' 47" | 21' 40" | 28' 22" |
| Terpenthinöl | 8½° | 0,885 | 58° 5' 40" | 33° 20' 8" | 11' 5" | 11' 32" | 22' 45" | 33' 56" | 44' 50" |

Tabelle II.

| Brechendes Mittel. | Temperatur Reaum. | Spezifisches Gewicht. | Winkeln des Prisma. | Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle D macht. | BC | CD | DE | EF | FG, | GH |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-------------|
| Flintglas Nro. 13 | 15° | 3,723 | 26° 24' 30'' | 17° 27' 8'' | 3' 16'' | 9' 4,12 | 11' 50'' | 10' 33,19 | 20' 23,19 | 18' 18'' |
| Crownglas Nro. 9 | 14° | 2,535 | 39° 20' 35'' | 22° 38' 19'' | 2' 44,15 | 7' 23,15 | 9' 14'' | 8' 14'' | 15' 10'' | 13' 18'' |
| Wasser | 15° | 1,000 | 58° 5' 40'' | 22° 36' 40'' | 3' 24'' | 8' 10'' | 9' 53'' | 8' 38'' | 15' 16'' | 12' 41,14 |
| Wasser | 15° | 1,000 | 58° 5' 40'' | 22° 36' 40'' | 3' 12,14 | 8' 10,16 | 9' 57,15 | 8' 30,15 | 15' 15,16 | 12' 46,14 |
| Eine Auflösung von Kali im Wasser | 9° | 1,416 | 58° 5' 40'' | 27° 45' 56'' | 4' 2'' | 10' 26'' | 12' 54'' | 11' 12'' | 20' 36'' | 17' 24'' |
| Terpen- thinöl | 8½° | 0,885 | 58° 5' 40'' | 33° 20' 12'' | 4' 56'' | 13' 52'' | 18' 46,11 | 16' 14'' | 31' 8'' | 27' 28'' |
| Flintglas Nro. 3 | | 3,512 | 27° 41' 35'' | 17° 35' 16,16 | 3' 8'' | 8' 22'' | 10' 46'' | 9' 50'' | 19' 10'' | 17' 10'' |
| Flintglas Nro. 30 | | 3,695 | 21° 42' 15'' | 14° 3' 9'' | 2' 35,16 | 6' 56,18 | 9' 12,16 | 8' 19'' | 16' 15,16 | 14' 32,11 |
| Crownglas Nro. 13 | | 2,535 | 43° 27' 36'' | 25° 26' 35,14 | 3' 5'' | 8' 14,14 | 10' 28,12 | 9' 10'' | 17' 14,18 | 14' 48,11 |
| Crownglas Litt. M | | 2,756 | 42° 56' 40'' | 26° 39' 13'' | 3' 32,18 | 9' 37,16 | 12' 29,18 | 11' 1,16 | 20' 53,16 | 18' 17,11 |
| Flintglas Nro. 23 | | 3,724 | 60° 15' 42'' | 49° 55' 13,12 | 11' 12,16 | 31' 14,18 | 41' 21,14 | 38' 14,18 | 10' 14' 45,12 | 10' 8' 3,11 |
| Flintglas Nro. 23 | | 3,724 | 45° 23' 14'' | 32° 45' 12,12 | 6' 26'' | 17' 47,18 | 23' 31,18 | 21' 23,18 | 41' 33,14 | 37' 28,11 |

Tabelle III.

| Brechendes Mittel | B _n | C _n | D _n | E _n | F _n | G _n | H _n |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Flintglas Nro. 13 | 1,627749 | 1,629681 | 1,635036 | 1,642024 | 1,648260 | 1,660285 | 1,671062 |
| Crownglas Nro. 9 | 1,525832 | 1,526849 | 1,529587 | 1,533005 | 1,536052 | 1,541657 | 1,546566 |
| Wasser | 1,330935 | 1,331712 | 1,333577 | 1,335851 | 1,337818 | 1,341293 | 1,344177 |
| Wasser | 1,330977 | 1,331709 | 1,333577 | 1,335849 | 1,337788 | 1,341261 | 1,344162 |
| Itali | 1,399629 | 1,400515 | 1,402805 | 1,405632 | 1,408082 | 1,412579 | 1,416368 |
| Terpentbinöl | 1,470496 | 1,471530 | 1,474434 | 1,478353 | 1,481736 | 1,488198 | 1,493874 |
| Flintglas Nro. 3 | 1,602042 | 1,603800 | 1,608494 | 1,614532 | 1,620042 | 1,630772 | 1,640373 |
| Flintglas Nro. 3o | 1,623570 | 1,625477 | 1,630585 | 1,637356 | 1,643466 | 1,655406 | 1,666072 |
| Crownglas Nro. 13 | 1,524312 | 1,525299 | 1,527982 | 1,531372 | 1,534337 | 1,539908 | 1,544684 |
| Crownglas Lit. M | 1,554774 | 1,555933 | 1,559075 | 1,563150 | 1,566741 | 1,573535 | 1,579470 |
| Flintglas Nro. 23 Prisma von 60° | 1,626596 | 1,628469 | 1,633667 | 1,640495 | 1,646756 | 1,658848 | 1,669686 |
| Flintglas Nro. 23 Prisma von 45° | 1,626564 | 1,628451 | 1,633666 | 1,640544 | 1,646780 | 1,658849 | 1,669680 |

Tabelle IV.

| Berechende Mittel | Cn' — Bn' | Dn' — Cn' | En' — Dn' | Fn' — En' | Gn' — Fn' | Hn' — Gn' |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Cn — Bn | Dn — Cn | En — Dn | Fn — En | Gn — Fn | Hn — Gn |
| Flintglas Nro. 13 und Wasser | 2,562 | 2,871 | 3,073 | 3,193 | 3,460 | 3,726 |
| Flintglas Nro. 13 und Crownglas Nro. 9 | 1,900 | 1,956 | 2,044 | 2,047 | 2,145 | 2,195 |
| Crownglas Nro. 9 und Wasser | 1,349 | 1,468 | 1,503 | 1,560 | 1,613 | 1,697 |
| Terpenthinöl und Wasser | 1,371 | 1,557 | 1,723 | 1,732 | 1,860 | 1,963 |
| Flintglas Nro. 13 und Terpenthinöl | 1,868 | 1,844 | 1,783 | 1,843 | 1,861 | 1,899 |
| Flintglas Nro. 13 und Kali | 2,181 | 2,338 | 2,472 | 2,545 | 2,674 | 2,844 |
| Kali und Wasser | 1,175 | 1,228 | 1,243 | 1,254 | 1,294 | 1,310 |
| Terpenthinöl und Kali | 1,167 | 1,268 | 1,386 | 1,381 | 1,437 | 1,498 |
| Flintglas Nro. 3 und Crownglas Nro. 9 | 1,729 | 1,714 | 1,767 | 1,808 | 1,914 | 1,956 |
| Crownglas Nro. 13 und Wasser | 1,309 | 1,436 | 1,492 | 1,518 | 1,604 | 1,651 |
| Crownglas Lit. M und Wasser | 1,537 | 1,682 | 1,794 | 1,839 | 1,956 | 2,052 |
| Crownglas Lit. M und Crownglas Nro. 13 | 1,174 | 1,171 | 1,202 | 1,211 | 1,220 | 1,243 |
| Flintglas Nro. 13 und Crownglas Lit. M | 1,667 | 1,704 | 1,715 | 1,737 | 1,770 | 1,816 |
| Flintglas Nro. 3 und Crownglas Lit. M | 1,517 | 1,494 | 1,482 | 1,534 | 1,579 | 1,618 |
| Flintglas Nro. 30 und Crownglas Nro. 13 | 1,932 | 1,904 | 1,997 | 2,061 | 2,143 | 2,233 |
| Flintglas Nro. 23 und Crownglas Nro. 13 | 1,904 | 1,940 | 2,022 | 2,107 | 2,168 | 2,268 |



Fig. 3.

2



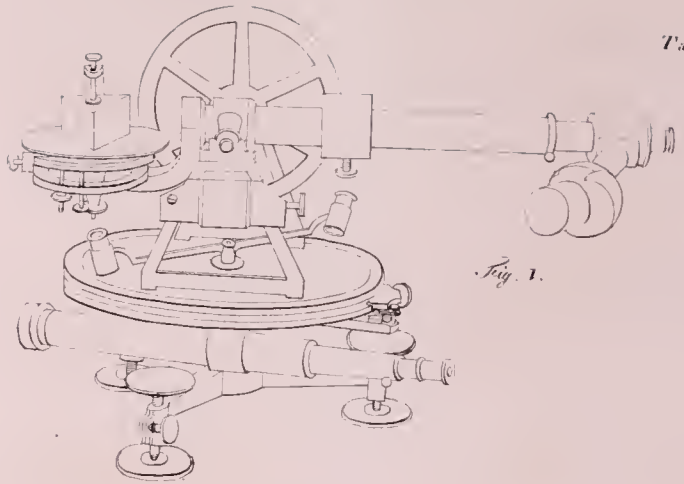


Fig. 1.



Fig. 2.

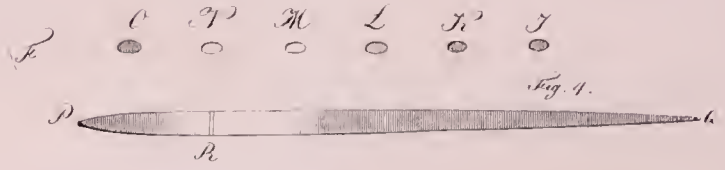
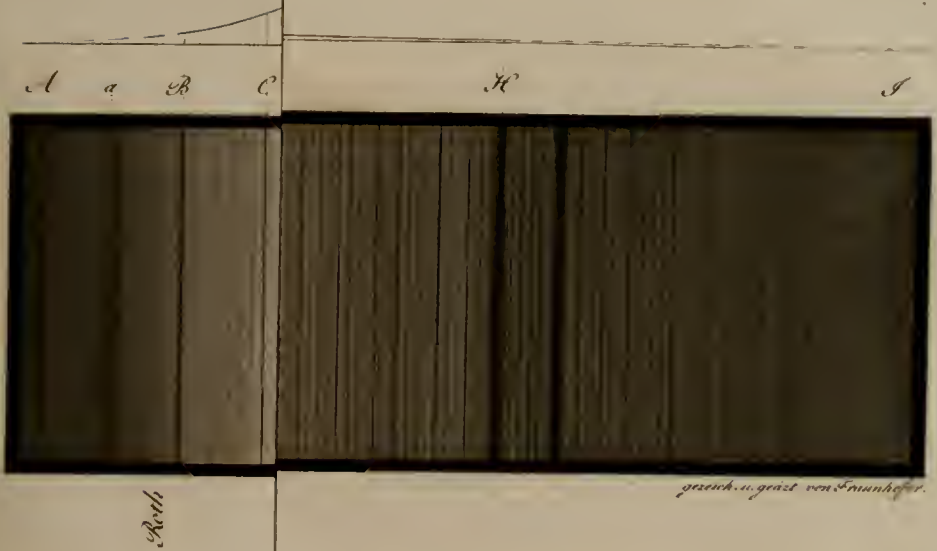


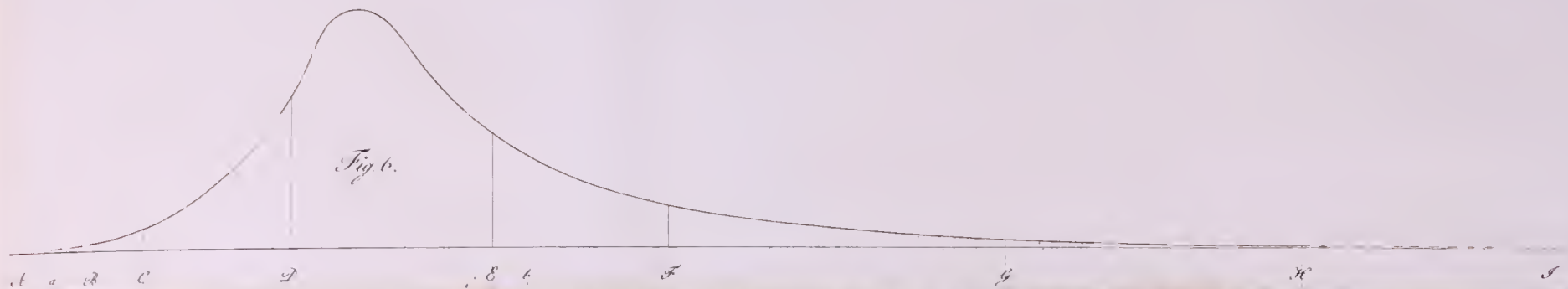
Fig. 4.



Fig. 3.







Rot

Orange

Gelb

Grün

Fig. 5.

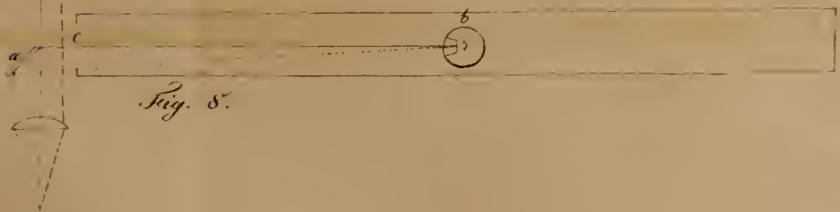
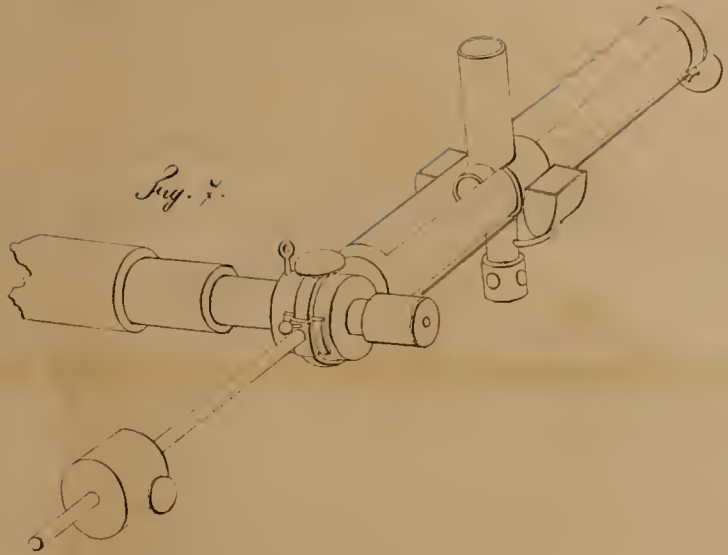
Blaue

Indigo

Violet

gezeichnet von Fraunhofer.

Zu Fraunhofers Abh. - Denkschr. 1814-15.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Denkschriften der Akademie der Wissenschaften München](#)

Jahr/Year: 1814-1815

Band/Volume: [05](#)

Autor(en)/Author(s): Fraunhofer Josef

Artikel/Article: [Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre 193-226](#)