

III

*Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzer-
streuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in
Bezug auf die Vervollkommnung achromati-
scher Fernröhre,*

von

JOSEPH FRAUNHOFER in Benedictbaiern *).

Bei Berechnung achromatischer Fernröhre setzt man die genaue Kenntniss des Brechungs-Vermögens und des Farben-Zerstreungs-Vermögens der Glasarten, die gebraucht werden, voraus. Die Mittel, welche man bisher zur Bestimmung beider angewendet hat, geben Resultate, die unter sich oft sehr bedeutend abweichen, und es bleibt aus diesem Grunde bei aller Genauigkeit in der Berechnung die Vollkommenheit achromatischer Objective im-

*) Frei ausgezogen aus den noch nicht ausgegebenen Denkschriften der Münchner Akad. der Wiss. auf die Jahre 1814 und 1815. Die Abhandlung des Herrn Fraunhofer, Mitbesitzers der großen optischen Werkstätt zu Benedictbaiern, enthält mehr als die Ueberschrift sagt, und besonders manches Neue und Merkwürdige von den prismatischen Farbenbildern von Licht verschiedenen Ursprungs. Die Eintheilung derselben in einzelne Abschnitte, die Ueberschriften dieser Abschnitte, und einige andere kleine Veränderungen, welche ich der Deutlichkeit für zuträglich hielt, rühren von mir her. *Gilb.*

mer zweifelhaft, und selten entsprechen sie ganz den Erwartungen. Mehrjährige Erfahrungen in diesem Fache führten mich auf neue Methoden, das Brechungs- und das Zerstreungs-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 gemacht, und abzuändern für nöthig gefunden habe.

1. *Verfahren und Versuche mit Lampenlicht.*

Ich suchte anfänglich die GröÙe der Farben-Zerstreung einer Glasart aus der GröÙe des prismatischen Farbenbildes, welches ein Prisma von bekannten Winkeln, in einem verfinsterten Zimmer, in bestimmter Entfernung gab. Auch der Exponent des Brechungs-Verhältnisses wurde daraus abgeleitet. Die Unbestimmtheit der Grenzen des Farbenbildes lieÙ aber bei diesem Verfahren eine groÙe Ungewißheit in den Resultaten.

Zur Bestimmung der Verhältnisse der Farbenzerstreung und der Brechung in *Flint-* und *Crown-glas*, schliÙ ich aus diesen beiden Glasarten Prismen von kleinen entgegengesetzt brechenden Winkeln, die so lange geändert wurden, bis für den einen Fall die Farben-Zerstreung, für den andern die Brechung gehoben war; das Verhältniß der Winkel dieser Prismen war alsdann umgekehrt das der Farben-Zerstreung im ersten, und das der Brechung im zweiten Fall. Allein aus mehreren Paaren solcher Prismen von denselben Glasarten er-

hielt ich, besonders für das Verhältniß der Farben-Zerstreung, sehr verschiedene Resultate. Ich wählte deswegen zur Bestimmung der relativen Farben-Zerstreung grössere Prismen, mit größern entgegengesetzt brechenden Winkeln; das Prisma von Crown Glas hatte 60 bis 70°. Der Winkel eines der beiden Prismen wurde durch Schleifen so lange geändert, bis die Farben-Zerstreung ungefähr gehoben schien; genauer wurde sie alsdann durch Veränderung des Winkels des einfallenden Strahles gehoben. Bei Prismen von so großen Winkeln wird das Licht schon bei geringer Veränderung des Einfallswinkels von der zweiten brechenden Fläche des Prisma zurückgeworfen, statt hindurch gelassen zu werden. Um dieses zu vermeiden, bestrich ich die beiden einander zugewendeten und sich berührenden Flächen der beiden Prismen, mit einer stark brechenden Flüssigkeit, z. B. mit Oehle, da dann das Licht fast unter allen Einfallswinkeln durchgelassen wurde.

Um genau messen zu können, unter welchem Einfallswinkel die Farben-Zerstreung gehoben wird, legte ich die beiden Prismen vor das Objectiv eines Theodolith-Fernrohrs auf eine horizontale Scheibe, die mit einer stählernen Achse versehen war und sich daher um ihren Mittelpunkt drehen ließ. (Siehe Taf. III. Fig. 1.) Die Hülse der Achse war, wie die Figur zeigt, mit dem Fernrohr fest verbunden. Ich sah nun durch das Fernrohr und die beiden Prismen nach einen entfernten Gegen-

stand, der scharfe vertikal laufende Gränzen hatte, und veränderte den Einfalls-Winkel der Strahlen auf die Prismen, durch Verdrehen der Scheibe und der Alhidade des Theodoliths, so lange, bis die Farben-Zerstreung am geringsten zu seyn schien; oder vielmehr, bis die scharfen vertikal laufenden Gränzen des Gegenstandes am deutlichsten gesehen wurden. Um den Einfalls-Winkel selbst messen zu können, war auf der Scheibe noch eine Regel mit einem auf ihr fest sitzenden Fernrohre aufgelegt (Fig. 2.), an der zwei stählerne Spitzen genau parallel mit der Achse des Fernrohrs vorstanden. Diese Spitzen wurden mit der ersten Fläche der Prismen genau in Berührung gebracht. Da das Fernrohr nur an beiden Enden an der Regel fest ist, so kann das Licht zwischen dem Fernrohre und der Regel auf die Prismen fallen, und daher der Einfalls-Winkel am Theodolith ohne Schwierigkeit genau gemessen werden. Aus diesem Einfalls-Winkel, aus den Winkeln der Prismen, die mit derselben Regel am Theodolith genau gemessen werden können, und aus den Exponenten der Brechungsverhältnisse, leitete ich dann, nach einer sehr genauen Formel, das Verhältniß der Farben-Zerstreung der beiden Glasarten ab.

Bei einem und demselben Paare Prismen stimmen die Beobachtungen, die auf diese Art angestellt werden, so gut überein, daß man bei einem Objective, welches darnach berechnet würde, keine schädliche Abweichung zu fürchten hätte. Sucht

man aber mit mehreren Paaren Prismen aus denselben Glasarten aber mit verschiedenen brechenden Winkeln die relative Farben-Zerstreung, so bekommt man Unterschiede, die bei größern Objectiven noch eine schädliche Abweichung verursachen könnten. Dieser Umstand gab mir Veranlassung zu den folgenden Versuchen.

Befieht man einen Gegenstand durch zwei Prismen, von denen das eine aus Flintglas, das andere aus Crownglas besteht, und die beide entgegengesetzte brechende Winkel haben, so findet man ihn nie ganz farbenlos, besonders wenn man mit einem Fernrohre durch die Prismen sieht. Die Farben-Zerstreung ist bei einem bestimmten Winkel der einfallenden Strahlen am kleinsten; so daß sie, wenn dieser Winkel größer oder kleiner wird, sich in beiden Fällen vermehrt. Wie bekannt, entsteht die noch übrig bleibende Zerstreung dadurch, daß für die verschiedenen farbigen Strahlen in beiden Glasarten das Verhältniß der Zerstreung nicht einerlei ist. Wenn z. B. die Zerstreung der rothen Strahlen im Crownglas, 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; daher sich nicht alle Farben-Zerstreung vollkommen aufheben läßt.

Es würde sehr vortheilhaft seyn, wenn man in jeder Glasart das Zerstreungs-Vermögen für jede

Farbe besonders finden könnte; allein da in dem Farben-Spectrum die verschiedenen Farben keine bestimmte Gränzen haben, so läßt sich diese Bestimmung unmittelbar nicht aus dem Farbenbilde ableiten. Genauer würde dieses geschehen können, wenn man *gefärbte Gläser*, oder *gefärbte Flüssigkeiten* fände, die nur einfaches farbiges Licht durchließen, z. B. die Eine nur blaues, die andere nur rothes Licht etc. Allein ich war nicht so glücklich solche zu finden; bei allen wurde weißes Licht, das auf sie fiel, nach dem Durchgange durch sie noch in alle Farben zerlegt, und die Farbe, die das Glas oder die Flüssigkeit hatte, war nur im Spectrum die lebhafteste. Auch die *farbigen Flammen*, die man durch Verbrennen von Alkohol, Schwefel u. s. w. erhält, geben, durch das Prisma gesehen, kein einfaches Licht, das ihrer Farbe entspricht. In den Farbenbildern dieser Flammen, so wie denen von Oehl und Talg und überhaupt vom Lichte des Feuers, fand ich indess zwischen dem Roth und Gelb einen *hellen scharfbegrenzten Streifen*, der bei allen genau an demselben Orte ist, und der mir 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 aber nicht so scharfbegrenzt und ungleich schwächer ist, so daß man ihn in einigen Fällen schwer er-

kennen; 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 1,5 Zoll Höhe hat, steht ein Prisma von Flintglas, dessen Winkel ungefähr 40° mißt (Fig. 3. *A*), und 13 Fuß von demselben, in *BC* stehen sechs Lampen, von welchen durch schmale Oeffnungen Licht auf das Prisma *A* fällt. Die Breite jeder dieser Oeffnungen ist 0,05 Zoll, ihre Höhe ungefähr 1,5 Zoll, und die Entfernung einer von der andern 0,58 Zoll. Das Licht, das von den Lampen auf das Prisma *A* fällt, wird von diesem gebrochen, in Farben zerlegt, und geht in diesem Zustande durch die Oeffnung im Fensterladen; von der Lampe *C* z. B. gehen die rothen Strahlen nach *E*, die violetten nach *D*; von der Lampe *B* die rothen Strahlen nach *F*, die violetten nach *G* u. s. w. An dem Fenster eines andern Hauses steht, 692 Fuß von *A* entfernt, das Theodolith, vor dessen Fernrohre, das in einerlei Ebene mit *BAC* ist, auf der horizontalen Scheibe sich das Prisma *H* befindet, dessen Brechungs- und Farben-Zerstreungs-Vermögen gesucht werden soll. Von der Lampe *C* kann das Prisma *H* nur die rothen Strahlen erhalten, weil die übrigen, z. B. die nach *D* gehenden violetten, das Prisma nicht treffen; von der Lampe *B* dagegen erhält es nur die violetten Strahlen und

so von jeder Lampe andere farbige Lichtstrahlen, die alle von Einem Punkte ausfahren. Ist das Prisma H , oder ist die Oeffnung des Objectives nicht breit genug, so werden einige farbige Strahlen, 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 das Spectrum der durch die schmale Oeffnung bei A hindurchgehenden Lichtstrahlen, durch das Prisma H und das Fernrohr des Theodolith, wie in Fig. 4. gesehen, wo I violett, K blau, L grün u. s. w. sind, das ist, jede Farbe isolirt. Die Entfernungen ON , NM etc. sind um so größer, je größer, bei einerlei Winkel des Prisma H , das Zerstreungs-Vermögen des Glases ist. Nicht nur diese Entfernungen, sondern auch der Winkel, den der einfallende Strahl mit einem der gebrochenen Strahlen macht, können am Theodolith genau gemessen werden, und es läßt sich daher mit dieser Vorrichtung bei jedem brechenden Mittel das Brechungs-Vermögen für jeden farbigen Lichtstrahl bestimmen. — In dem Fensterladen ist noch eine zweite schmale Oeffnung, die mit der bei A genau in einer Vertikale ist, $1\frac{1}{2}$ Fuß oberhalb des Prisma A angebracht. Vor dieser obern Oeffnung steht eine Lampe, von der das Prisma H unmittelbar Licht erhält; das Farbenbild der von dieser Lampe kommenden Lichtstrahlen wird im Fernrohr des Theodoliths, unterhalb

der farbigen Punkte, wie PRQ in Fig. 4. gesehen. R ist der natürliche röthlichgelbe helle Streif, der in jedem Farbenbilde, das vom Lichte des Feuers herrührt, gesehen wird. Dieser Streif dient mir, mich zu versichern, daß ich an verschiedenen Tagen in den farbigen Punkten immer genau dieselbe Farbe habe; welches nicht der Fall ist, wenn der Tisch, worauf die Lampen stehen, in Bezug auf das Prisma A im geringsten seine Stellung verändert. Ich stellte deswegen den Tisch immer so, daß sich der Punkt N in einer Vertikallinie über den Streifen R befand, in welche Lage er sich durch Correctionschrauben bei B und C bringen liefs. Da die Entfernungen der Lampen unter sich, oder vielmehr die Entfernungen der schmalen Oeffnungen, durch welche ihr Licht auf das Prisma A fällt, unveränderlich sind; so ist man dann versichert, daß man an verschiedenen Tagen in den farbigen Punkten immer dieselbe Farbe habe.

Die Entfernungen einiger farbigen Punkte eines von dem andern, deren Licht sehr schwach ist, wie der violetten, blauen und rothen, können ohne Erleuchtung der Mikrometer-Fäden nicht gemessen werden; die gewöhnliche Erleuchtung des Gesichtsfeldes ist aber dazu nicht brauchbar, da sie bei ihr so viel an Licht verlieren, als die Fäden gewinnen. Bei dem Mikrometer, welches ich am Theodolith angebracht habe, sind blos die Fäden

erleuchtet, das ganze Gesichtsfeld ist schwarz; und sie können ohne Mühe in jedem Augenblicke stark und schwach erleuchtet werden. Die Beleuchtung geschieht an einer Seite des Okularrohrs mit einer sehr kleinen Lampe, die sich in einer hohlen Kugel befindet, und von der Licht auf eine Linse fällt, welche es parallel auf die Fäden bringt. Am Rande des besonders dazu eingerichteten Okulars wird das übrige Licht verschluckt, ohne daß 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 Tafel I. folgen lasse. Bei 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 Fuß, 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 Korrektion nicht.

Tafel I.

Brechendes Mittel	Temperatur Reaum.	Specifisches Gewicht	Winkel des Prisma	Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle N macht
Crowglas No. 9.	3°	2,555	59° 20' 35''	22° 38' 20''
Flintglas No. 13.	5½°	3,723	26° 24' 30''	17° 27' 9''
Wasser	8°	1,000	58° 5' 40''	22° 36' 41''
Wasser	9½°	1,000	58° 5' 40''	22° 36' 43''
Schwefelsäure	9½°	1,841	58° 5' 40''	29° 27' 47''
Alkohol	9°	0,809	58° 5' 40''	25° 8' 32''
Schwefel - Aether	9°		58° 5' 40''	24° 58' 39''
Terpenthinöhl	7°	0,885	58° 5' 40''	33° 22' 8''
Kali in Wasser aufgelöst	8½°	1,416	58° 5' 40''	27° 45' 54''
1 Theil essig- saures Blei 3 Theile Waf- ser	8½°		58° 5' 40''	24° 34' 49''
Terpenthinöhl	8½°	0,885	58° 5' 40''	33° 20' 8''

Versuche mit Lampenlicht.

Bogen (Taf. III. Fig. 4.)

ON	NM	NL	NK	NI
6' 1''	5' 46''	11' 22''	16' 56''	22' 16''
7' 17''	7' 15''	14' 18''	21' 31''	28' 46''
6' 35''	6' 19''	12' 9''	17' 45''	23' 18''
6' 30''	6' 12''	12' 5''	17' 43''	23' 10''
7' 50''	7' 15''	14' 3''	20' 30''	26' 45''
6' 35''	6' 17''	12' 55''	18' 45''	
6' 20''	6' 27''	12' 55''	19' 10''	
11' 00''	11' 35''	22' 45''	34' 20''	
8' 32''	7' 58''	15' 35''	23' 6''	30' 24''
7' 54''	7' 31''	14' 47''	21' 40''	28' 22''
11' 5''	11' 32''	22' 45''	33' 56''	44' 50''

Ich setze hierher die aus diesen Winkeln berechneten Exponenten der Brechungs-Verhältnisse der verschiedenen farbigen Strahlen für Flintglas, Crownglas und Wasser, und bezeichne den Exponenten des Brechungs-Verhältnisses für den Strahl *O* mit O_n , für den Strahl *N* mit N_n u. f. w., und bei zwei verschiedenen Mitteln dieselben Exponenten bei dem stärker zerftreuenden Mittel mit O_n' , N_n' u. f. f.

Brechende Mittel	Exponenten der Brechungs-Verhältnisse.					
	O_n	N_n	M_n	L_n	K_n	I_n
Flintglas No. 13.	1,63074	1,63505	1,63933	1,64349	1,64775	1,65205
Crownglas No. 9.	1,52736	1,52959	1,53175	1,53380	1,53586	1,53783
Wasser	1,33209	1,33359	1,33501	1,33635	1,33765	1,33888

Und daraus ergibt sich folgendes Verhältniß der Zerftreuung der verschieden-farbigen Strahlen in diesen brechenden Mitteln.

Brechendes Mittel	$N_n' - O_n'$	$M_n' - N_n'$	$L_n' - M_n'$	$K_n' - L_n'$	$I_n' - K_n'$
	$N_n - O_n$	$M_n - N_n$	$L_n - M_n$	$K_n - L_n$	$I_n - K_n$
Flintglas No. 13. und Crownglas No. 9.	1,95	2,00	2,01	2,07	2,17
Flintglas No. 13. und Wasser	2,87	3,01	3,10	3,33	3,42
Crownglas No. 9. und Wasser	1,49	1,51	1,55	1,61	1,58

Aus diesen Versuchen fällt es sehr deutlich in die Augen, wie groß die Verschiedenheit ist, welche in dem Verhältnisse der Zerstreung der verschiedenen farbigen Lichtstrahlen in einigen brechenden Mitteln statt findet.

Sehr auffallend war mir bei diesen Versuchen auch der Einfluss, den die Wärme auf das Brechungs-Vermögen der Flüssigkeiten äußert. Schon bei einer geringen Wärme-Änderung zeigt sich das Brechungs-Vermögen jeder Flüssigkeit in dem untern Theile des prismatischen Gefäßes bedeutend stärker, als es in dem obern Theile desselben ist, und wird die ganze Flüssigkeit in dieser Beziehung wellenförmig, und daher das Sehen durch dieselbe undeutlich. Da während der Nacht die Temperatur sich fast beständig ändert, so mußte bei diesen Versuchen die Flüssigkeit alle 5 bis 10 Minuten stark geschüttelt werden, um sie wieder gleichförmig zu machen. Beim Wasser sind diese Verschiedenheiten nicht sehr bedeutend; bei den übrigen Flüssigkeiten aber so groß, daß das ganze Farbenbild zerstreut, und undeutlich wird, es mag das Gefäß wie gewöhnlich verschlossen, oder auch die Luft ganz daraus ausgeschlossen seyn. Dieser außerordentliche Einfluss der Wärme macht die Hoffnung verschwinden, ohne Flintglas, mit Flüssigkeiten von verschiedener Brechbarkeit, brauchbare achromatische Objective zu erhalten. Man

sieht aber auch, wie schwer es schon in dieser Hinsicht sey, Flint- und Crown Glas von vollkommener gleicher Dichtigkeit zu schmelzen, da in jedem Glasofen in dem obern Theile des Halsens die Wärme fast um den dritten Theil größer ist, als in dem untern.

2. *Versuche mit Sonnenlicht, und eine neue Entdeckung im prismatischen Farbenbilde desselben.*

Ich suchte nun einen Apparat zu Stande zu bringen, der für *Sonnenlicht* dasselbe wäre, was der eben beschriebene für *Lampenlicht* ist, theils um die Exponenten der Brechungs-Verhältnisse 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. Hierbei kam ich indess sehr bald auf eine Entdeckung, durch welche ein solcher Apparat überflüssig wird.

Ich stellte nämlich in einem verfinsterten Zimmer ein Prisma aus Flintglas vor dem oben erwähnten Theodolith, und ließ durch eine schmale, ungefähr 15 Sekunden breite und 36 Minuten hohe Oeffnung in dem 24 Fuß vom Prisma entfernten Fensterladen, Sonnenlicht auf dasselbe fallen. Der Winkel des Prismas maßt ungefähr 60° , und das

Prisma stand so vor dem Objective des Theodolith-Fernrohrs, daß der Winkel des einfallenden Strahles dem Winkel des gebrochenen Strahles gleich war. Ich wollte nun zuerst sehen, ob sich in dem aus Sonnenlicht gebildeten Farbenbilde ein ähnlicher heller Streif, wie in dem Farbenbilde von Lampenlicht zeige; anstatt desselben erblickte ich aber mit dem Fernrohre in diesem horizontal stehenden Farbenbilde fast unzählig viele *starke und schwache vertikale Linien*, die aber nicht heller, sondern dunkler sind, als der übrige Theil des Farbenbildes, und von denen einige fast ganz schwarz zu seyn scheinen. Wenn ich das Prisma drehte, so daß der Einfallswinkel größer oder kleiner wurde, so verschwanden diese Linien, wurden jedoch wieder sichtbar, wenn ich bei vergrößertem Einfallswinkel das Fernrohr sehr bedeutend kürzer machte, und bei Verminderung des Einfallswinkels das Okular sehr viel heraus zog. Und wenn das Okular so gestellt war, daß man die Linien im rothen Theile des Farbenbildes deutlich sah, so mußte ich es etwas hineinschieben, um die im violetten Theile deutlich zu sehen. Machte ich die Oeffnung, durch welche das Licht einfiel, breiter, so wurden die feineren Linien undeutlich, und verschwanden ganz wenn diese Oeffnung über 40 Sekunden breit war; und bei einer Oeffnung, die mehr als eine Minute Breite hatte, waren auch die breiten Linien nur undeutlich zu

erkennen. Bei Veränderung der Oeffnung am Fensterladen, wobei indess die Entfernung des Theodoliths von derselben nicht verändert wurde, blieb die Entfernung dieser Linien von einander, und überhaupt ihr Verhältniß unter sich unverändert. Sie waren immer vorhanden, aus was für einem brechenden Mittel das Prisma auch bestand, und welche Gröfse auch der brechende Winkel desselben hatte, nur dafs sie im Verhältniß der Gröfse des Farbenbildes stärker oder schwächer, und daher leichter oder schwerer zu erkennen waren. Selbst das Verhältniß dieser Linien und Streifen unter sich scheint bei allen brechenden Mitteln genau dasselbe zu seyn, so dafs z. B. ein gewisser Streif sich bei allen nur in der blauen Farbe, ein anderer bei allen nur in der rothen Farbe findet; daher es leicht ist, zu erkennen, mit welchen Streifen oder Linien man zu thun hat. Sie sind sowohl in den auf gewöhnliche, als in dem auf ungewöhnliche Art in dem isländischen Krystalle gebrochenen Strahlen vorhanden. Die stärkern Linien machen keineswegs die Gränzen der verschiedenen Farben; es ist fast immer zu beiden Seiten einer Linie dieselbe Farbe, und der Uebergang von einer Farbe in die andere unmerklich.

Das prismatische Farbenbild der Sonne zeigt sich in Beziehung auf diese Linien, wie ich es hier abzubilden versucht habe; doch ist es fast un-

möglich, in diesem Maafsstabe alle Linien und ihr Licht auszudrücken.*) Ungefähr bei *A* ist das rothe, bei *I* das violette Ende des Farbenbildes; eine bestimmte Gränze ist aber auf keiner Seite mit Sicherheit anzugeben, leichter noch bei Roth, als bei Violett. Ist alles unmittelbare oder durch einen Spiegel reflektirte Sonnenlicht ausgeschlossen, so scheint auf der einen Seite die Gränze ungefähr zwischen *G* und *H* zu fallen, auf der andern Seite in *B* zu seyn. Mit Sonnenlichte von sehr großer Dichtigkeit wird das Farbenbild fast noch um die Hälfte länger, um aber diese grössere Ausdehnung desselben 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 Gränzen des Farbenbildes auf das Auge macht, sehr schwach ist und von dem übrigen verdrängt wird. In *A* ist eine scharf begränzte Linie gut zu erkennen, doch ist hier nicht die Gränze der rothen Farbe, sondern sie geht noch merklich darüber weg. Bei *a* sind mehrere Linien angehäuft, die gleichsam einen Streifen bilden. *B* ist scharf begränzt und von merklicher Dicke. Im Raume von *B* nach *C* können 9 sehr feine, scharf begränzte Linien gezählt

*) Und noch weniger in dem, in welchem es auf Taf. IV. in halber Gröfse der Zeichnung des Hrn. Fraunhofer dargestellt ist.

Gilb.

werden. Die Linie *C* ist von beträchtlicher Stärke und so wie *B* sehr schwarz. Im Raume zwischen *C* und *D* zählte ich ungefähr 30 sehr feine Linien, welche, zwei ausgenommen, (wie auch die Linien zwischen *B* und *C*), nur mit starken Vergrößerungen oder stark zerstreuenden Prismen deutlich zu sehen, übrigens aber sehr scharf begrenzt sind. *D* besteht aus zwei starken Linien, die nur durch eine helle Linie getrennt werden. Zwischen *D* und *E* zählte ich ungefähr 84 Linien von verschiedener Stärke. *E* selbst besteht aus mehreren Linien, von denen die in der Mitte etwas stärker ist als die übrigen. Zwischen *E* und *b* sind ungefähr 24 Linien. Bei *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* zählte ich ungefähr 52 Linien. *F* ist ziemlich stark. Zwischen *F* und *G* sind ungefähr 185 Linien von verschiedener Stärke. Bei *G* sind viele Linien angehäuft, worunter sich mehrere durch ihre Stärke auszeichnen. Im Raume von *G* nach *H* zählte ich ungefähr 190 Linien von sehr verschiedener Stärke. Die zwei Streifen bei *H* sind am sonderbarsten; sie sind beide fast ganz gleich, bestehen aus vielen Linien, und in ihrer Mitte befindet sich eine starke Linie, die sehr schwarz ist. Von *H* nach *I* sind die Linien gleich zahlreich. Es können demnach blos im Raume zwischen *B* und

H ungefähr 574 Linien gezählt werden; von ihnen habe ich nur die Stärkern in der Zeichnung andeuten können. Die Entfernungen der stärksten Linien von einander habe ich mit dem Theodolith gemessen, und in der Zeichnung ungefähr nach diesem Verhältnisse aufgetragen, die schwachen Linien aber bloß nach der Ansicht des Farbenbildes ohne genaues Maass gezeichnet.

Ich habe mich durch viele Versuche und Abänderungen überzeugt, daß diese Linien und Streifen *in der Natur des Sonnenlichtes* liegen, und daß sie *nicht durch Beugung, Täuschung* u. s. w. entstehen. — Läßt man das Licht einer Lampe durch dieselbe schmale Oeffnung am Fensterladen einfallen, so findet man keine dieser Linien, sondern nur die helle Linie *R* (Taf. III. Fig. 4.), die aber mit der Linie *D* (Taf. IV.) genau an einem Orte ist, so daß der Exponent des Brechungs-Verhältnisses für den Strahl *D* mit dem Exponenten für den Strahl *R* einerlei ist. — Warum die Linien undeutlich werden, oder gar verschwinden, wenn die Oeffnung am Fenster zu breit wird, ist nicht schwer einzusehen. Die stärkeren Linien haben ungefähr 5 bis 10 Secunden Breite; ist die Oeffnung am Fensterladen nicht so schmal, daß das Licht, welches durch sie hindurch geht, 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 undeutlich, oder verschwindet bei zu großer Breite der Oeffnung ganz. Warum beim 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 an der vordern Fläche dem Winkel des gebrochenen Strahles an der hintern Fläche des Prisma gleich ist, fahren sie, in Hinsicht auf Divergenz, so aus, wie sie auffallen; ist der Winkel der einfallenden Strahlen größer als der der gebrochenen, so divergiren die Strahlen 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 Prisma durchgehen, einen kürzern Weg durch dasselbe zu machen haben, als die welche von der Spitze entfernter durchgehen, wodurch zwar die Winkel der gebrochenen Strahlen nicht geändert, die Seiten des Dreiecks für die ausfahrenden Strahlen aber in dem einen Falle größer, in dem andern kleiner werden. 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-Fernrohrs eine kürzere Vereinigungs-Weite haben, als die rothen, so ist klar, warum man das Okular verrücken muß, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen.

Bei der so geringen Breite der Linien und Streifen im Farbenbilde wird, um sie gehörig darzustellen, ein Apparat von großer Vollkommenheit erfordert, mit dem man allen Abweichungen entgeht, welche sie undeutlich machen, oder ganz zerstreuen könnten. Die Seitenflächen der Prismen müssen daher sehr gut plan, und das Glas der Prismen ganz frei von Wellen und Streifen seyn. Mit englischen Flintglase, das nie ganz frei von Streifen ist, bekommt man nur die stärkern Linien zu sehen, und da auch das gemeine Tafelglas und das englische Crownglas sehr viele Streifen enthalten, wenn sie auch für das freie Auge nicht sichtbar sind, so wählt man, (wenn man nicht im Besitze eines Prisma von vollkommenem Flintglase ist,) am besten eine stark zerstreue Flüssigkeit, z.B. Anisöl, um alle Linien zu sehen; doch muß dann das prismatische Gefäß sehr vollkommen plane und parallele Seitenflächen haben. Bei allen Prismen müssen die Seitenflächen mit der Grundfläche ziemlich nahe 90° machen, und die Grundfläche muß horizon-

tal vor dem Fernrohre liegen, wenn die Achse des Fernrohrs 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 man die Linien und Streifen in dem prismatischen Farbenbilde des Sonnenlichtes eines jeden brechenden Mittels von gleicher Dichtigkeit wahrnimmt, so habe ich mich derselben bedient, um für jeden farbigen Strahl des Sonnenlichtes das Brechungs-Vermögen eines Mittels zu bestimmen, und da der größte Theil der Linien sehr scharf begrenzt ist, so konnte dieses mit großer Genauigkeit geschehen. Bei brechenden Mitteln, die nur wenig zerstreuen, oder bei Prismen mit kleinen Winkeln, sind die feinen Linien selbst mit starken Vergrößerungen nur schwer zu erkennen; daher wählte ich für alle brechende Mittel die stärkern Linien zu diesen Versuchen, und zwar die auf Taf. IV. mit *B, C, D, E, F, G* und *H* bezeichneten Linien. Die stärkere Linie bei *b* wählte ich nicht, weil sie zu nahe bei *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.

Zum Messen diente mir das vorige, repetirende Theodolith, und alle Winkel habe ich durch sechsmalige Wiederholung erhalten. Da in dem verfinsterten Zimmer das Theodolith nur 24 Fuß von dem Fensterladen, durch welchen das Licht einfiel, entfernt seyn konnte, so hätte die an dem Winkel μ (S. 290.) zu machende Korrektion wegen der Entfernung des Prisma von der Achse des Theodoliths, (4,25 Zoll,) sehr grofs werden müssen. Um der Unsicherheit, die mit einer grofsen Korrektion verbunden ist, zu entgehen, bestimmte ich daher den Winkel μ für Lampenlicht, weil, wie oben bemerkt worden, der Strahl D und der Strahl R Fig. 4., genau gleich stark gebrochen werden. Die Lampe war in diesem Falle 692 Fuß entfernt, und die Korrektion von μ wurde dadurch nur klein; für Wasser z. B. betrug sie bei 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 grofs, also sehr zuverlässig; bei dem Wasserprisma z. B. betragen sie nur für BC , 2,5; für CD , 3,5; für DE , 8 Sekunden.

Die folgende Tafel enthält diese gemessene Bögen und Winkel für verschiedene Glasarten und einige andere brechende Mittel. Alle Winkel enthalten die erwähnten Korrektionen.

Tafel II.

Brechendes Mittel	Temperatur Raum.	Specifisches Gewicht	Winkeln des Prisma	Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle D macht. μ
Flintglas No. 13.	15°	3,725	26° 24' 30''	17° 27' 8''
Crownglas No. 9.	14°	2,535	39° 20' 35''	22° 38' 19''
Wasser	15°	1,000	58° 5' 40''	22° 56' 40''
Wasser	15°	1,000	58° 5' 40''	22° 36' 40''
Eine Auflösung von Kali im Wasser	9°	1,416	58° 5' 40''	27° 45' 56''
Terpenthinöl	8½°	0,885	58° 5' 40''	33° 20' 12''
Flintglas No. 3.		3,512	27° 41' 35''	17° 55' 16,116
Flintglas No. 30.		3,695	21° 42' 15''	14° 3' 9''
Crownglas No. 13.		2,535	43° 27' 36''	25° 26' 35,114
Crownglas Litt. M		2,756	42° 56' 40''	26° 39' 13''
Flintglas No. 23.		3,724	60° 15' 42''	49° 55' 13,112
Flintglas No. 23.		3,724	45° 23' 14''	32° 45' 12,112

Bogen (Taf. IV. Fig. 5.)

BC	CD	DE	EF	FG	GH
5' 16''	9' 4,112	11' 50''	10' 55,119	20' 25,119	18' 18''
2' 14,115	7' 25,115	9' 14''	8' 14''	15' 10''	13' 18''
3' 14''	8' 10''	9' 58''	8' 38''	15' 16''	12' 41,119
6' 12,114	8' 10,116	9' 57,115	8' 56,115	15' 15,116	12' 46,112
4' 2''	10' 26''	12' 54''	11' 11''	20' 36''	17' 24''
4' 56''	15' 52''	18' 46,111	16' 14''	31' 8''	27' 28''
3' 8''	8' 22''	10' 46''	9' 50''	19' 10''	17' 10''
2' 55,116	6' 56,118	9' 12,116	8' 19''	16' 15,116	14' 32,112
3' 5''	8' 14,114	10' 28,112	9' 10''	17' 14''	14' 48,114
5' 52,118	9' 37,116	12' 29,113	11' 1,116	20' 55,116	18' 17,114
11' 12,116	31' 14,118	31' 21,114	38' 14,118	1° 14' 45,112	1° 8' 3,116
6' 26''	17' 47,118	25' 31,118	31' 25,118	41' 33,114	37' 28,118

Zur Berechnung der Exponenten der Brechungs-Verhältnisse ist, wenn man den Winkel des einfallenden Strahles mit σ , den Winkel des gebrochenen oder ausfallenden Strahles mit ϱ , den brechenden Winkel des Prisma mit ψ , und den Exponenten des Brechungs-Verhältnisses mit n bezeichnet:

$$n = \frac{\sqrt{(\sin. \varrho + \cos. \psi. \sin. \sigma)^2 + (\sin. \psi. \sin. \sigma)^2}}{\sin. \psi} \text{ *)}$$

Und 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* Winkel der gebrochenen Strahlen, z. B. dem Winkel des Strahls D , gleich seyn kann, für die übrigen aber bei unverrücktem Prisma es nicht ist, so wäre dieser letztere Ausdruck von n bei stark zerstreunenden Mitteln für einen andern Strahl z. B. für H nicht ganz genau. Um diesen kurzen Ausdruck bei Berechnung der Exponenten doch mit größter Genauigkeit anwenden zu können, wurden von mir die Bogen BC , CD , DE u. f. w. in dem Falle gemessen, wenn die Entfernung zweier Linien von

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

einander am kleinsten war. Diese Entfernung haben im Farbenbilde zwei Linien alsdann, wenn 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, daß ein ungefähr in der Mitte zwischen G und H liegender Strahl mit dem Prisma denselben Winkel, als der einfallende Strahl mit dem Prisma machte. Diese Stellung hat das Prisma dann, wenn der Winkel der Brechung dieses mittlern Strahles am kleinsten ist, und dieses läßt sich am Fernrohre sehr genau beobachten, und durch Verdrehen der Scheibe erreichen, worauf das Prisma liegt. Bei wenig zerstreuenden Mitteln, oder bei Prismen mit kleinen Winkeln bedarf es dieser Sorgfalt nicht, um die nöthige Genauigkeit zu erreichen.

Wird der Exponent des Brechungs-Verhältnisses für den Strahl E mit En , für den Strahl F mit $F'n$, und so ferner bezeichnet, so ist für E

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

und für F

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

welches so gut als ganz genau ist.

Die folgende Tafel III. enthält diese aus Tafel II. berechneten Exponenten der Brechungs-Verhältnisse für die verschiedenen farbigen Strahlen jedes brechenden Mittels.

Tafel III.

Brechendes Mittel	Exponenten		
	B _n	C _n	D _u
Flintglas No. 13.	1,627749	1,629681	1,635036
Crownglas No. 9.	1,525832	1,526849	1,529587
Wasser	1,330935	1,331712	1,333577
Wasser	1,330977	1,331709	1,333577
Kali	1,399629	1,400515	1,402805
Terpenthinöhl	1,470496	1,471530	1,474434
Flintglas No. 3.	1,602042	1,603800	1,608494
Flintglas No. 30.	1,623570	1,625477	1,630585
Crownglas No. 15.	1,524512	1,525299	1,527982
Crownglas Lit. M	1,554774	1,555933	1,559075
Flintglas No. 23. Prisma von 60°	1,626596	1,628469	1,633667
Flintglas No. 23. Prisma von 45°	1,626564	1,628451	1,633666

der Brechungs - Verhältnisse

En	Fn	Gn	Hn
1,642024	1,648260	1,660285	1,671062
1,553005	1,556052	1,541657	1,546566
1,335851	1,337818	1,341295	1,344177
1,535849	1,537788	1,541261	1,544162
1,405652	1,408082	1,412579	1,416368
1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
1,614552	1,620042	1,630772	1,640373
1,637356	1,643466	1,655406	1,666072
1,531372	1,534357	1,539908	1,544684
1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
1,640495	1,646756	1,658848	1,669686
1,640544	1,646780	1,658849	1,669680

Tafel IV.

Brechende Mittel	Zerfireuungs -	
	$Cn' - Bn'$ $Cn - Bn$	$Dn' - Cn'$ $Dn - Cu$
Flintglas No. 13. und Wasser	2,562	2,871
Flintglas No. 13. und Crownglas No. 9.	1,900	1,956
Crownglas No. 9. und Wasser	1,549	1,468
Terpenthinöhl und Wasser	1,371	1,557
Flintglas No. 13. und Terpenthin- öhl	1,868	1,844
Flintglas No. 13. und Kali	2,181	2,558
Kali und Wasser	1,175	1,228
Terpenthinöhl und Kali	1,167	1,268
Flintglas No. 3. und Crownglas No. 9.	1,729	1,714
Crownglas No. 13. und Wasser	1,309	1,456
Crownglas Lit. M und Wasser	1,537	1,682
Crownglas Lit. M und Crownglas No. 13.	1,174	1,171
Flintglas No. 13. und Crownglas Lit. M	1,667	1,704
Flintglas No. 3. und Crownglas Lit. M	1,517	1,494
Flintglas No. 30. und Crownglas No. 13.	1,932	1,904
Flintglas No. 23. und Crownglas No. 13.	1,904	1,940

Verhältnisse der verschiedenfarbigen Strahlen

$\frac{E n' - D n'}{E n - D n}$	$\frac{F n' - E n'}{F n - E n}$	$\frac{G n' - F n'}{G n - F n}$	$\frac{H n' - G n'}{H n - G n}$
3,073	3,193	3,460	3,726
2,044	2,047	2,145	2,195
1,503	1,560	1,613	1,697
1,723	1,732	1,860	1,963
1,713	1,843	1,861	1,899
2,472	2,545	2,674	2,844
1,243	1,254	1,294	1,310
1,386	1,381	1,437	1,493
1,767	1,808	1,914	1,956
1,492	1,518	1,604	1,651
1,794	1,839	1,956	2,052
1,202	1,211	1,220	1,243
1,715	1,737	1,770	1,816
1,482	1,534	1,579	1,613
1,997	2,061	2,143	2,233
2,022	2,107	2,168	2,268

Die zweite dieser beiden Tafeln (Tafel IV.) zeigt die Verhältnisse der Zerstreung der verschiedenen farbigen Strahlen in mehreren Paaren brechender Mittel, wie sie sich aus den Brechungs-Verhältnissen in Tafel III. ergeben. Bei jedem Paare ist die Zerstreung des weniger zerstreuenden Mittels 1 genannt. Man sieht aus dieser Tafel, wie groß bei einigen Paaren brechender Mittel der Unterschied der relativen Zerstreung der verschiedenen farbigen Strahlen ist. So z. B. verhält sich bei Flintglas No. 13. und Wasser, die Zerstreung der Strahlen vom Raume *BC*, wie 1 : 2,56 und die vom Raume *GH*, wie 1 : 3,73. Bei einigen, wie bei Flintglas und Terpenthinöl, sind aber auch diese Unterschiede verhältnissmäßig sehr gering. Man hat daher gegründete Hoffnung, durch Veränderung der Bestandtheile der Glasarten solche erhalten zu können, bei welchen diese Unterschiede geringer sind, als bei Glasarten, die bisher zu Objectiven gebraucht wurden. Crownglas Lit. *M* ist einer der Versuche, die ich in dieser Absicht im Kleinen gemacht habe.

Wird die Abweichung, die wegen der Unterschiede der relativen Zerstreung der verschiedenen Farben bei einem Objective aus Crownglas No. 9. und Flintglas No. 3. entsteht, 1,00 genannt, so ist diese Abweichung bei einem Objective aus Crownglas No. 9. und Flintglas No. 13. von derselben Brennweite ungefähr 0,57; bei einem Objective aus Crownglas Lit. *M* und Flintglas No. 13., 0,52; und bei einem Objective aus Crownglas No. 9. und

Crownglas Lit. *M*, 1,74. Bei Berechnung dieser Abweichungen ist auf die Intensität der verschiedenen Farben Rücksicht genommen, worüber unten mehr vorkommen wird.

Aus den erhaltenen Resultaten mit beiden Prismen von Flintglas No. 23. läßt sich sehr sicher darauf schließen, wie weit alle gemessene Bogen und Winkel zuverlässig sind. Bei dem Prisma von 45° dieses Glases ändert ein Unterschied von 2'' im Bogen den Exponenten des Brechungs-Verhältnisses in der fünften Dezimalstelle um 1. Bey dem Prisma von 60° bringen 3,5 diese Veränderung hervor.

3. Versuche über die Intensität des verschiedenen farbigen Lichtes des prismatischen Sonnenbildes.

Bei achromatischen Objektiven müssen sich, wenn die Farben-Zerstreung gehoben seyn soll, die Brennweiten der Linsen ungefähr verhalten, wie die Farben-Zerstreung der beiden Glasarten. Da nun aber das Verhältniß der Zerstreung für die verschiedenen Farben ungleich ist, so überfieht man klar, daß eine Abweichung übrig bleiben muß. Es entsteht daher die Frage, welches Zerstreungs-Verhältniß unter denen der verschiedenen farbigen Strahlen zu nehmen sey; damit diese Abweichung dem deutlichen Sehen so wenig als möglich schade. Dieses ist der Fall nicht, wenn die Längen-Abweichung so klein als möglich ist; denn die verschiedenen Farben haben nicht einerlei Intensität, und es muß daher z. B. die Abweichung der gelben

Strahlen, die sehr hell sind, ungefähr im Verhältnisse ihrer Intensität mehr schaden, als die der violetten bei gleicher Längen-Abweichung. Aus diesem Grunde ist es nöthig, daß man die Intensität jeder Farbe im prismatischen Sonnenbilde kenne oder wisse, 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, habe ich mich folgender Vorrichtung bedient. In einem eigens zu dem Theodolith-Fernrohre gemachten Okulare ist vor der Okularlinse an dem Orte, wohin das durch das Objektiv hervorgebrachte Bild fällt, ein kleiner unter 45° geneigter Planspiegel a von Metall gestellt, (Taf. III. Fig. 7. und 8.), dessen einer Rand sehr scharf begränzt ist, und das Gesichtsfeld in der Mitte durchschneidet. Dieser Rand läuft vertikal, und das Okular ist so gestellt, daß man ihn ganz deutlich sieht. An der Seite des Okularrohres ist ein der Länge nach durchschnittenes Rohr so angeschraubt, daß es in senkrechter Richtung auf den scharfen Rand des Spiegels und die Achse des Fernrohres steht. In den Einschnitt dieses Rohrs kann ein engeres kurzes Rohr b , welches das weitere quer durchschneidet und vertikal steht, geschoben werden; in diesem engen Rohre befindet sich, in der Achse des weitern, eine kleine Flamme, welcher Oehl durch eine Verbindung mit einem Oehlgefäße von außen zufließen kann, und es hat in der Achse des weitern, gegen den Spiegel zu, eine

kleine runde Oeffnung, durch die von der Flamme Licht auf den Spiegel fällt. 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 prismatischen Sonnenbilde gesehen wird. Der Spiegel ist um so stärker beleuchtet, je näher das Rohr b demselben steht. Man kann ihn demnach gerade so beleuchten, daß der Eindruck, welchen das Licht desselben, 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 prismatischen Sonnenbilde. Die Quadrate der Entfernungen der Flamme vom Spiegel, bei den verschiedenen Farben im Spectrum, sind alsdann umgekehrt die Verhältnisse der Intensität derselben.

Es scheint anfangs etwas schwer, Licht von zwei verschiedenen Farben unter sich zu vergleichen; doch einige Uebung erleichtert dieses ungemein. Das Licht des Spiegels kömmt, in Hinsicht seiner Intensität, dem einer Farbe im Spectrum alsdann am nächsten, wann der scharfe Rand desselben, bei unverrücktem Okulare, am wenigsten deutlich erkannt wird. Kömmt man mit dem Spiegel im Farbenbilde an einen mehr oder weniger hellen Ort, so wird in beiden Fällen der Rand des Spiegels deutlicher erkannt, weil dadurch in dem einen Falle der Spiegel, in dem andern die Farbe des Spectrums 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, welches 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 Rohrs 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. Will man allen Täuschungen entgehen, so muß die Einsicht am Okulare nur klein seyn und an dem Orte stehen, wo die Hauptstrahlen die Achse schneiden. Mit dem Prisma vom Flintglase No. 13., dessen bröcher Winkel $26^{\circ} 24,5$ beträgt, erhielt ich die Resultate, die ich hier folgen lasse. Obschon die Versuche nur bei sehr hellem Himmel und am Mittage gemacht wurden, so war doch einige Mal 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 herühren; 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 r , alsdann ist sie;

	1. Verf.	2. Verf.	3. Verf.	4. Verf.	Mittel aus den 4 Versuchen.
Bei B =	0,010	0,044	0,055	0,020	0,032
Bei C =	0,048	0,096	0,15	0,084	0,094
Bei D =	0,61	0,59	0,72	0,62	0,64
Zwischen D u. E =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Bei E =	0,44	0,38	0,61	0,49	0,48
Bei F =	0,084	0,14	0,25	0,19	0,17
Bei G =	0,010	0,029	0,053	0,052	0,031
Bei H =	0,0011	0,0072	0,0090	0,0050	0,0056

Der hellste Ort liegt um ungefähr $\frac{1}{3}$ oder $\frac{2}{3}$ der Länge DE von D nach E zu. Genau ist die Lage dieses Ortes nicht anzugeben, welches aber auch zu dieser Absicht eben nicht nothwendig ist.

Durch die Curve 'Taf. IV. Fig. 6. wird die Intensität des Lichts der verschiedenen Farben dargestellt; die eben gefundenen Werthe sind die Ordinaten und die gemessenen Bogen BC , CD u. s. w.,

für Flintglas No. 13. aus Tafel 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	$= 0,528$
- -	FG	$= 0,135$
- -	GH	$= 0,055$

4. *Einige Beobachtungen über achromatische Objective, und optische Folgerungen aus denselben.*

Nimmt man an, daß bei einem achromatischen Objective 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, wenn das Verhältniß der Zerstreuung, das $1 : x$ heißen mag, so genommen wird, daß

$$x = \frac{b\beta + c\nu + d\delta + e\epsilon + f\zeta + g\eta}{\beta + \nu + \delta + \epsilon + \zeta + \eta} \text{ ist } ^*) ,$$

wo β , ν , δ u. s. w. die Menge des Lichtes in den Räumen BC , CD , DE u. s. w. bedeuten, und durch

*) Es ist nämlich in diesem Falle:

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

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 No. 30, und Crowglas No. 13. iſt demnach dieſes Verhältniß, wie 1 : 2,012. Ich habe aber gefunden, daß bei Objectiven von dieſen beiden Glasarten das Sehen alſdann am deutlichſten iſt, wenn dieſes Verhältniß, wie 1 : 1,98 genommen wird. Dieſes beweist, daß die weniger dichten Strahlen etwas mehr, als im umgekehrten Verhältniſſe ihrer Dichtigkeit abweichen müſſen, wenn die Deutlichkeit am größten ſeyn ſoll.

Bei welchen, aus mehrern Objectiven von denſelben Glasarten, bei gleicher Brennweite und Oeffnung, die Farben-Zerſtreuung am beſten gehoben iſt, erkennt man, wenn man jedes Objectiv halb, die Mitte durchſchneidend, zudeckt. Bei denjenigen, wo die Linien eines entfernten Gegenſtandes, die mit der Durchſchnittslinie des Objectivs parallel laufen, am deutlichſten geſehen werden, iſt die Farben-Zerſtreuung am vollkommenſten gehoben. Man darf ſich aber dabei von den Farben, die geſehen werden, nicht irre führen laſſen, und muß nur auf Präciſion achten; weil man bei einem Objective weniger Farben ſehen kann, als bei einem andern, während die Präciſion doch geringer iſt.

Dieſe umſtändliche Ableitung des beſten Zerſtreuungs-Verhältniſſes mußte nur dazu dienen, mich zu belehren, wie ſehr Strahlen von geringer Dichtigkeit ſtärker abweichen dürfen, als dichtere. Daſerhal-

tene Resultat wird noch einer großen Vervollkommnung fähig seyn, wenn es aus größern Objectiven abgeleitet wird, bei welchen auch die Oeffnung, im Verhältnisse zur Brennweite, so groß als möglich ist. Ich behalte mir diese Verbesserung vor. Dafs bei allen zu dieser Absicht gebrauchten Objectiven die Abweichung wegen der sphärischen Form gleich vollkommen gehoben war, ist zu erinnern überflüssig.

Bei genauer Ableitung des besten Zerstreungsverhältnisses aus Objectiven muß noch auf eine Abweichung Rücksicht genommen werden, die *im Auge selbst* vorgeht, von der ich jetzt sprechen will. Hat man im Gesichtsfelde des Fernrohrs am Theodolith die rothe Farbe des Spectrums, und ist das Okular so gestellt, dafs man den Mikrometerfaden vollkommen deutlich sieht, und man bringt nun die blaue Farbe des Spectrums in das Gesichtsfeld, so sieht man bei unverrücktem Okulare den Mikrometerfaden nicht mehr. Um ihn wieder deutlich zu sehen, muß das Okular bedeutend viel dem Faden näher gerückt werden, und zwar um mehr als das Doppelte der Längen-Abweichung wegen der Farben-Zerstreung der Okularlinse. Dieses beweist, dafs die verschiedenen farbigen Strahlen im Auge nicht einerlei Vereinigungsweite haben, und dafs das Auge nicht achromatisch ist. Das Maafs, um wie viel bei den verschiedenen Farben das Okular verrückt werden muß, um den Faden deutlich zu sehen, dient, wenn man noch auf die Farben-

Zerstreung der Okularlinse Rücksicht nimmt, zur Berechnung dieser Abweichung, die nicht unbedeutend ist. Dafs bei dieser Bestimmung kein anderes Licht, als das des Spectrums in das Gesichtsfeld kommen dürfe, auch der Faden ganz unbeleuchtet von anderm Lichte seyn müsse, ist zu erinnern überflüssig.

Ich habe mit Hülfe einer Okularlinse aus Crown Glas No. 13. von 0,88 Brennweite *) gefunden, dafs, wenn man mit dem Faden von dem Strahle C auf den Strahl G geht, das Okular um 0,054 verrückt werden muß, wenn man den Faden mit beiden Strahlen gleich deutlich sehen soll. Eine Linse aus Crown Glas No. 13. von 1,33 Brennweite muß bei denselben beiden Strahlen um 0,111 verrückt werden, wenn sie den Faden gleich deutlich zeigen soll. Eine Linse aus Flintglas No. 30. von 0,867 Brennweite muß in demselben Falle um 0,074 verrückt werden, und eine Linse aus Flintglas No. 30., von 1,338 Brennweite, um 0,148. Während ich bei 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 Gegenstand, um mich zu versichern, dafs das Auge bei den verschiedenen farbigen Strahlen immer gleich geeignet bleibe, weisse Strahlen von bestimmter Divergenz auf der Netzhaut zu vereinigen, und

*) Wie hier immer nach Pariser Maafs verstanden. P.

es sich folglich in dieser Bezeichnung bei den verschiedenen Farben nicht ändere. Wenn ich indess auch diese Vorlicht nicht brauchte, wichen die Resultate von den vorigen doch nicht merklich ab.

Aus den Beobachtungen mit der ersten Linse folgt, daß, wenn die rothen Strahlen *C* parallel auf das Auge fallen, die blauen *G* von einem 23,“7 entlegenen Punkte her divergiren müßten, um im Auge einerlei Vereinigungsweite mit jenen zu haben. Die Beobachtungen mit der zweiten Linse ergeben dieses Maas 21,“3; die mit der dritten Linse 19,“5; und die mit der vierten Linse 17,“9. Auf den Antheil, den die Zerstreuung der Linsen an dem obigen Verrücken hat, ist bei dieser Berechnung Rücksicht genommen worden. Durch Wiederholung und Abänderung der Versuche wird diese Abweichung indess noch 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, bei Berechnung achromatischer Objektive, auch auf die Farben-Zerstreuung des Auges Rücksicht zu nehmen und diese Abweichung durch die Objektive zu vernichten.

Wenn bei achromatischen Objektiven die Abweichung wegen der sphärischen Form der Flächen vollkommen gehoben seyn soll, so müssen, bei Berechnung derselben, die angenommenen Exponen-

ten der Brechungs-Verhältnisse der mittlern Strahlen in beiden Glasarten zu einem und demselben farbigen Strahl gehören; gehören sie für zwei 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 zweier Stücke Glases dadurch, daß ich beide Stücken zusammenküttete und aus ihnen ein Prisma schliß; erschienen die beiden Spectra, die durch dieses Prisma gehen wurden, an einem Orte und gegen einander nicht verrückt, so schloß ich, daß das Brechungs-Vermögen beider Stücke gleich sey. Nach Entdeckung der Linien im Farbenbilde aber fand ich, daß zwei solche Stücke noch sehr verschiedenes Brechungs-Vermögen haben können, ohne daß es auf obige Art bemerkbar wird. Nicht nur Stücke aus verschiedenen Orten eines Schmelzhafens waren in ihrem Brechungs-Vermögen merklich verschieden, sondern auch in zwei 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 zwei Stücke, wovon eines vom Boden, das andere von der Oberfläche

des Hafens genommen ist, gleiches Brechungs-Vermögen haben.

. *Noch einige Versuche mit Sonnenlicht, Sternenlicht, electricischem Licht und Flammenlicht.*

Beim 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 Theodolith-Fernrohre liegt, so ist klar, daß das Farbenbild, welches durch das Fernrohr gesehen wird, nur unmerkliche Breite haben, und also nur eine Linie bilden kann; in einer farbigen Linie aber können keine feine Querlinien gesehen werden. Um in diesem Farbenbilde die vielen Linien, welche in den einzelnen Farben senkrecht auf die Länge des prismatischen Spectrums dasselbe durchziehen, wahrnehmen 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 habe ich dadurch zu Stande gebracht, daß ich an das Objectiv noch ein Glas legte, welches auf einer Seite sehr gut plan, auf der andern nach einem Cylinder von sehr großem Durchmesser gekrümmt war. Die Achse des Cylinders lief mit der Grundfläche des Prisma genau parallel; folglich konnte das Farbenbild in seiner Länge nicht geändert werden, und wurde nur breiter gemacht. 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 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 äußern rothen Strahlen sehr schwach, und deswegen werden in diesen beiden 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 begränzt gesehen, und erkannte selbst, daß die bei *b* aus zwei, nämlich einer schwächern und einer stärkern besteht; daß aber die stärkere selbst wieder aus zweien bestehe, konnte ich aus Mangel des Lichtes nicht erkennen. Aus demsel-

ben Grunde wurden die übrigen feinem Linien nicht bestimmt gesehen. Ich habe mich durch ungefähres Messen der Bogen DE und EF überzeugt, daß das Licht der Venus in dieser Beziehung von einerlei Natur mit dem Sonnenlichte ist.

Mit derselben Vorrichtung habe ich Versuche mit dem Lichte einiger *Fixsterne* erster Gröfse gemacht, welches noch vielmal schwächer als das der Venus ist; daher auch dieses Farbenbild jenem an Helligkeit vielmal nachsteht. Demohngeachtet habe ich, ohne Täuschung, im Farbenbilde vom Lichte des Sirius drei breite Streifen wahrgenommen, die mit denen vom Sonnenlichte keine Aehnlichkeit zu haben scheinen. Einer dieser Streifen ist im Grünen, und zwei sind 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 verschieden zu seyn. Da das Objectiv, das an dem Theodolith-Fernrohre ist, nur 13 Linien Oeffnung hat, so können diese Versuche noch mit vielmal größerer Vollkommenheit gemacht werden. Ich hoffe sie mit zweckmäßigen Veränderungen und mit einem größern Objectiv noch einige Mal zu 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 Electricität*, 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 Spectrums fast glänzend hell ist. Eine andere nicht ganz so helle Linie ist im Orange. Diese letztere 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 beim 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

*) Um das electriche Licht zu diesem Behufe zu fixiren, habe ich zwei Conductoren, wovon der eine mit einer Elektrifirmaschine 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.

ein stark zerstreues Prisma fallen, das vor einem Fernrohre liegt, so erkennt man, daß die röthlich gelbe helle Linie dieses Spektrums aus zwei sehr feinen hellen Linien besteht, die in Stärke und Entfernung den beiden dunkeln 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 frei läßt, die röthlich gelbe Linie des Farbenbildes nicht sehr hell gesehen, und daher schwerer erkannt. Es scheint demnach diese Linie hauptsächlich von dem Lichte der beiden 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 röthlichgelbe Linie im Verhältnisse zu dem übrigen Theile des Farbenbildes sehr hell. Beim Verbrennen von *Schwefel* wird sie nur sehr schwer erkannt *),

Ich werde diejenigen Versuche, die auf Vollkommenung achromatischer Fernrohre Bezug haben, mit einem neuen Instrumente, mit dem ich wenigstens noch doppelt so große Genauigkeit zu erhalten hoffe, wiederholen. Auch werden sich mit diesem Instrumente neue Versuche anstellen lassen,

zu denen das bisher gebrauchte nicht geeignet ist, und die vielleicht für praktische Optik Interesse haben könnten.

Bei allen meinen Versuchen durfte ich, aus Mangel der Zeit, hauptsächlich nur auf das Rücklicht 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 **).

*) Als eine historische Notiz füge ich hier noch hinzu, daß zwei ähnliche schwarze Linien, dergleichen Herr Fraunhofer mittelst seines Apparates im prismatischen *Sonnenbilde* gegen 300 sieht, schon vor 15 Jahren von Herrn Wollaston bei einem Versuche anderer Art, in einem prismatischen *Farbenbilde* von *Tageslicht* (zu jeder Seite der Gränze zwischen Grün und Blau Eine) bemerkt worden sind, — als er nämlich in einem verdunkelten Zimmer, 10 bis 12 Fuß von dem Fensterladen stehend, durch ein streifenfreies Prisma von Flintglas, das er dicht vor die Augen hielt, nach einer Ritze von $\frac{1}{8}$ Zoll Breite in dem Fensterladen sah. (Siehe diese *Annal.* Jahrg. 1809 B. 51. S. 415.) Er beachtete diese Erscheinung indess weiter nicht, und so ist die nicht minder wichtige als sonderbare und paradoxe Entdeckung Herrn Fraunhofer ganz geblieben. *Gilb.*

***) Um hierzu an meinem Theile mitzuwirken, habe ich geeilt den Physikern in diesen Annalen die merkwürdigen Beobachtungen des Hrn. Fraunhofer vorzulegen, welche die sorgfältigste Prüfung verdienen, da sie mit gründlicher Kenntniß und mit der von einem so vorzüglichen Künstler zu erwartenden Genauigkeit angestellt zu seyn scheinen. *Gilb.*