Fig. 24, 24a. Glimmer vom Vesuv mit monoklinem Habitus.

Fig. 25. Arcanit (Kalisulfat) von Roccamuto.

Fig. 26a und b. Penetrations-Drilling von Arcanit, von Arragonit-ähnlichem Ansehen.

Fig. 27. Juxtapositionsdrilling von Arcanit.

Fig. 28. Epidotzwillung, mit der Fläche $\eta = \frac{1}{2} P \frac{1}{2}$.

II. *Photometrische Untersuchungen;* *von C. Bohn.*

Die Zusammensetzung des Lichts verschiedener Herkunft ist mittelst des Spectralapparats vielfach qualitativ untersucht worden; es ist aber äußerst wenig über das Verhältniß bekannt, in welchem ein und dieselbe Lichtart in verschiedenen Mischlichtern vorkommt und über das Verhältniß der Stärke der Empfindung, welche die einzelnen Bestandtheile eines Mischlichtes hervorbringen. Ich habe mich um eine *quantitative Analyse des Lichtes* und um eine *Vergleichung der Empfindungsstärke ungleichartiger Helligkeiten* bemüht. Leider war es mir nicht möglich, die Arbeit zum Abschließen zu bringen und ich kann sie vor Jahresfrist nicht fortsetzen. Daher entschliefse ich mich in einer vorläufigen Mittheilung den Grundgedanken zu der letztgenannten Untersuchung, dann die Methode und einige Ergebnisse der erstgenannten zu veröffentlichen.

Der Vergleichung der Stärke ungleichartiger Empfindungen lege ich die Annahme zu Grunde: gleichzeitige Reize verursachten Empfindungen, welche einander nicht beeinflussen, die also einzeln genommen, gerade so stark seyen, als wenn die Reize zeitlich getrennt erfolgten. Diese Annahme ist der bekannten Wahrheit nachgebildet, daß die Wirkungen gleichzeitig an demselben Körper thätiger Kräfte unabhängig von einander sind, daß Bewe-

gungen gleichzeitig neben einander bestehen und sich über einander lagern können.

Zwei Lichtarten sollen aus denselben zwei einfachen Bestandtheilen zusammengesetzt seyn, diese aber in verschiedenem Verhältniß enthalten. Dann haben diese Lichter nicht identische Farbe, doch mag der Farbenunterschied klein genug seyn, daß mittelst des Schattenphotometers oder einer ähnlichen lichtmessenden Vorrichtung das Helligkeitsverhältniß ermittelt werden kann. Die Strahlen, deren gleichzeitiges Einwirken die Empfindung der ersten Mischfarbe in der Stärke J hervorrufen, sollen einzeln für sich die Empfindungen A und B erzeugen, während die Componenten der zweiten Mischfarbe, deren Intensität J_1 sey, einzeln die Empfindungen aA und bB , von derselben Art, wie A und B , aber von anderer Stärke, veranlassen. Nach unserer Annahme ist dann

$$J = A + B$$

$$J_1 = aA + bB.$$

Gab die unmittelbare photometrische Vergleichung des Mischlichtes ähnlicher Farbe

$$J_1 = mJ$$

so ergibt sich das Verhältniß

$$\frac{A}{B} = \frac{b-m}{m-a}.$$

Vergleicht man Lichtarten aus drei homogenen Strahlen und hat man deren drei von qualitativ gleicher, quantitativ verschiedener Zusammensetzung, so, daß die entstehenden Mischfarben noch ähnlich genug sind, um ihr Stärkeverhältniß mit den gewöhnlichen Photometern finden zu können, so sey gefunden:

$$J_1 = m_1 J; J_2 = m_2 J.$$

Nach Annahme ist:

$$J = A + B + C$$

$$J_1 = a_1 A + b_1 B + c_1 C$$

$$J_2 = a_2 A + b_2 B + c_2 C.$$

Aus diesen fünf Gleichungen lassen sich die Verhältnisse $\frac{A}{B}$ und $\frac{A}{C}$ berechnen.

Aehnlich wird man aus vier homogenen Strahlen vier verschiedene, aber zur photometrischen Vergleichung noch hinlänglich ähnliche Mischfarben zusammensetzen und durch deren Analyse und Vergleichung unter einander die Stärke von vier verschiedenartigen Farbenempfindungen nach einerlei Maafs ausdrücken können. Und so weiter mit fünf, sechs . . . Lichtarten.

Bunte Gläser oder Flüssigkeiten ähnlicher Färbung, ja schon die Anwendung einer und derselben farbigen Substanz in verschiedener Dicke, werden gestatten ziemlich einfach und qualitativ gleich zusammengesetzte Lichtarten zu erhalten, die ihrer Stärke nach unmittelbar verglichen und einzeln analysirt werden können. So sind mit einer Reihe von blauen, violetten, purpurnen, rothen Gläsern passende Lichtarten herstellbar.

Ist die an die Spitze gestellte Annahme der Unabhängigkeit gleichzeitiger Empfindungen zulässig, so wäre es möglich die Farbenempfindungen verschiedener Art quantitativ zu vergleichen, wie sie den objektiven Intensitätsverhältnissen der erzeugenden Strahlenarten in einem Normallichte entsprechen. Als Vorarbeit ist die Bestimmung der Verhältniszahlen a , b , c . . . erforderlich, welche die relative Stärke *gleichartiger*, durch homogene Strahlen hervorgerufener Empfindungen messen.

Die hiermit gestellte Aufgabe oder Vorarbeit löste ich in folgender Weise:

Das spectral-photometrische Verfahren. Vor die Spalte eines Spectralapparats ist eine Spiegelvorrichtung gestellt, dadurch erhalten, daß ein Reflexionsprisma von gleichschenkelig, rechtwinklig dreiseitiger Grundfläche parallel dieser durchschnitten und die Hälften so gegen einander verdreht wurden, daß eine Kathetenfläche der einen und eine der andern Hälfte in dieselbe Ebene zu liegen kommen, nicht aber die zwei anderen Kathetenflächen, sondern diese stehen parallel, — die Hypotenusenflächen beider Hälften also rechtwinklig gegen einander. Die in dieselbe Ebene fallenden Kathetenflächen sind der Spaltöffnung zugekehrt.

Die Figur gibt einen Durchschnitt des Reflexionskörpers in der halben Höhe, die punktirten Striche deuten den Gang der Lichtstrahlen an, welche von den zu vergleichen-

den Lichtquellen I und II herkommen. Diese stehen auf einer Geraden, welche parallel zur gemeinsamen und rechtwinklig zu der nicht gemeinsamen Kathetenfläche geht. Die Strahlen der Lichtquelle I (links), welche auf die *untere* Hälfte des Reflexionskörpers fallen, treffen rechtwinklig auf eine Kathetenfläche, gehen ungebrochen bis zur Hypotenusenfläche, können, weil der Einfallswinkel von 45° bei Flintglas den Gränzwinkel übersteigt, nicht austreten, sondern werden total reflektirt, gelangen normal zur zweiten Kathetenfläche und gehen durch diese in die *untere* Hälfte des Spalts. Hingegen treffen die von derselben Lichtquelle ausgehenden Strahlen, welche etwa nach der *oberen* Hälfte der Spiegelungsvorrichtung gelangen, dort auf eine Hypotenusenfläche unter einem Winkel von 45° , werden daselbst gebrochen und kommen nach der dem Spalt zugekehrten Kathetenfläche unter einen Einfallswinkel von beiläufig 73° , können also nicht austreten, sondern werden total nach der zweiten Kathetenfläche zurückgeworfen, an welcher sie unter 17° einfallen, demnach größtentheils gebrochen werden und die Spalte *nicht* treffen. Ein Theil des Lichts wird jedoch auch an dieser zweiten Kathetenfläche reflektirt, trifft die Hypotenusenfläche mit einem Einfallswinkel von 28° , wird zum großen Theile gebrochen, verlässt die brechende Hypotenusenfläche unter einem Winkel von 45° und hat somit gegen die ursprüngliche Richtung eine Drehung von 180° erlitten. Ein kleinerer Theil wird an der Hypotenusenfläche

gespiegelt und trifft unter einem Einfallswinkel von 17° die dem Spalte zugekehrte Kathetenfläche, kann aus dieser austreten, einen Winkel von 28° mit ihrer Normale machend. Dieses Licht hat also eine Brechung unter normaler Incidenz, eine totale Reflexion und zwei Spiegelungen unter kleinem Einfallswinkel (17° und 28°), schließlich eine Brechung erfahren, ist folglich seiner Helligkeit nach *sehr* geschwächt. Der größte Theil desselben wird *neben* die Spaltöffnung treffen, da sie nicht ganz dicht hinter der Kathetenfläche steht und die austretenden Strahlen diese nicht rechtwinklig verlassen. Was von diesem Lichte allenfalls in die Spalte gelangt, kommt aber, weil nicht in der Axe des Spaltrohrs gehend, schließlich doch nicht zum brechenden Prisma des Spectralapparats. Blenden und der später zu erwähnende Polarisationsapparat zwischen der Lichtquelle und dem Reflexionskörper hindern übrigens fast vollständig, daß Licht anders als rechtwinklig auf die Spiegelvorrichtung falle. Was von dem Lichte der Quelle I links gesagt wurde, wäre von dem der Quelle II rechts unter Vertauschung der Worte „unten“ und „oben“ zu wiederholen. Man kann daher sagen, die untere Spalthälfte werde *ausschließlich* vom Licht der Quelle I, die obere *nur* vom Licht der Quelle II beleuchtet. Das brechende Prisma entwirft zwei Spectren übereinander, so daß eine Fraunhofer'sche Linie des einen, die genaue Verlängerung ist der gleich brechbaren Linie des andern Spectrums. Die obere Spectrumhälfte ist somit die Auseinanderlegung des Lichts der einen, die untere Hälfte die des Lichts der anderen Lichtquelle.

Für die photometrische Vergleichung ist es wichtig, daß die zu vergleichenden hellen Stellen einander genau berühren, weder ein hellerer, durch Uebereinanderfallen der zwei Stellen entstehender, noch ein nicht beleuchteter Streifen sie trennt. Um das genaue Berühren der zwei Spectren zu erzielen, hatte ich gewünscht den Reflexionskörper aus *einem* Stücke Glas zu haben, allein dann wäre

das genaue Schleifen der Flächen nicht ausführbar gewesen. Ich liefs die Grundflächen der zwei Prismen gut poliren, so dafs eine äufserst dünne Kittschicht für die dauerhafte Verbindung genügte. Durch einiges Probiren findet man die richtige Neigung des Reflexionskörpers und die Stellung der Linsen im Spectralapparat, für welche kein Querstreifen zwischen den Spectrumhälften auftritt, sondern diese sich scharf von einander abgränzen.

In dem Beobachtungsfernrohr des Spectralapparats ist an Stelle des Fadenkreuzes eine Blende eingelegt, mit einer feinen Spalte parallel zu den Fraunhofer'schen Linien, durch welche jeweils nur ein sehr schmaler Bezirk des Spectrums zu übersehen ist. Diefs deshalb, weil die Vergleichung der Helligkeit der zwei Hälften eines Spectralstreifens nicht möglich ist, wenn im Gesichtsfelde noch andere, andersfarbige, häufig viel hellere Streifen stehen. Je enger die das Gesichtsfeld abgränzende Spalte ist, desto besser, — nur die nothwendige Vermeidung störender Beugungserscheinungen setzt der Verengung der Blendenspalte Schranken.

Das Licht jeder der zwei zu vergleichenden Lichtquellen durchsetzt erst zwei hinter einander stehende Nicol'sche Prismen, ehe es zum Reflexionskörper gelangt, der es in die Spalte des Spectralapparats leitet. An jedem der vier Nicol ist ein getheilter Kreis befestigt, so dafs die veränderliche Neigung der Polarisationssebene je eines Nicol-paares bis auf 5 Minuten genau abgelesen werden kann. Der eingeschaltete Polarisationsapparat ermöglicht die Helligkeit jeder Spectrumhälfte beliebig zu mindern und damit auch beide Spectrumhälften jeweils für eine bestimmte Lichtart genau *gleich hell* zu machen. Dieses ist ausführbar, wie ungleich stark leuchtend die Lichtquellen auch seyn mögen, da ja bei rechtwinkliger Kreuzung der Polarisationssebenen das intensivste Licht gänzlich verlöschen mufs. Aus dem Winkel der Polarisationssebenen der zusammengehörigen Nicolprismen wird nach dem bekannten Malus-Arago'schen Gesetze erschlossen, welche Bruch-

theile der Strahlung jeder Lichtquelle zur Erzeugung des Spectralbildes verwendet, gleiche Helligkeit lieferten, — damit also das Intensitätsverhältniß der zwei Quellen für je die betreffende homogene Lichtart.

Bezeichnen J_1 und J_2 die Helligkeiten gleichartiger Bestandtheile der beiden Lichtquellen I und II, α_1 und α_2 die Neigungen der Polarisations Ebenen der Nicolprismen, wenn gleich helle Streifen in den durch dasselbe Prisma entworfenen Spectrumhälften entstehen, ferner μ_1 und μ_2 die Bruchtheile des Lichts von I und II, welche nach Abzug der Verluste durch Spiegelung an den verschiedenen Flächen und durch Absorption im Innern der Glas- und Kalkspathmassen des Reflexionskörpers, der Linsen und des Prismas des Spectralapparats übrig bleiben, endlich d_1 und d_2 von der Entfernung der Lichtquellen vom Spalte abhängige Coefficienten, so ist:

$$J_1 d_1 \mu_1 \cos^2 \alpha_1 = J_2 d_2 \mu_2 \cos^2 \alpha_2.$$

Nun werde der Kopf des Apparats um 180° gedreht, so daß das Nicolpaar und die Hälfte des Reflexionskörpers, welche eben nach der Lichtquelle I gewendet war, nach der Lichtquelle II zu stehen kommen und umgekehrt. Dann werden die Nicol wieder bis zur Hervorbringung genau gleicher Helligkeit der Hälften desselben Spectralstreifens gedreht und die Winkel der Polarisations Ebene, β_1 für das Licht I, β_2 für das Licht II abgelesen. Dann ist:

$$J_2 d_2 \mu_1 \cos^2 \beta_2 = J_1 d_1 \mu_2 \cos^2 \beta_1.$$

Durch Division der zwei Gleichungen werden die unbekannten Schwächungscoefficienten μ eliminirt und man erhält:

$$\frac{J_1 d_1}{J_2 d_2} = \frac{\cos \alpha_2 \cdot \cos \beta_2}{\cos \alpha_1 \cdot \cos \beta_1}.$$

Oder man kann auch die Produkte Jd eliminiren und das Verhältniß der Schwächungen ermitteln:

$$\frac{J'_1}{J'_2} = \frac{\cos \alpha_2 \cdot \cos \beta_1}{\cos \alpha_1 \cdot \cos \beta_2}.$$

Läßt man den Kopf des Spectralapparates unberührt, vertauscht aber (wenn dies möglich ist) die Stellungen

der zwei Lichtquellen genau mit einander, so läßt sich auch der Einfluß der Entfernung der Lichtquelle eliminiren. Man erhält dann nämlich:

$$\begin{aligned} J_1 d_1 \mu_1 \cos^2 \alpha_1 &= J_2 d_2 \mu_2 \cos^2 \alpha_2 \\ J_2 d_1 \mu_1 \cos^2 \beta_2 &= J_1 d_2 \mu_2 \cos^2 \beta_1, \end{aligned}$$

woraus folgt:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{\cos \alpha_2 \cdot \cos \beta_2}{\cos \alpha_1 \cdot \cos \beta_1} \text{ und } \frac{\mu_1 d_1}{\mu_2 d_2} = \frac{\cos \alpha_2 \cdot \cos \beta_1}{\cos \alpha_1 \cdot \cos \beta_2}.$$

Ich habe eine größere Zahl von Messungen des Verhältnisses $\mu_1 : \mu_2$ für Lichtstrahlen verschiedener Brechbarkeit ausgeführt und Werthe gefunden, die von der Einheit nicht mehr abweichen, als durch die unvermeidlichen Fehler erklärlich ist. Die äußersten Werthe waren 0,975 und 1,015. Darauf hin nahm ich an, die zwei Apparat-hälften verhielten sich vollkommen gleich. Dann genügt immer die Einstellung in *einer* Lage und es ergibt sich

$$\frac{J_1 d_1}{J_2 d_2} = \frac{\cos^2 \alpha_2}{\cos^2 \alpha_1}.$$

Um die Neigung der Polarisations Ebenen zweier zusammengehöriger Nicolprismen finden zu können, muß zuerst bekannt seyn, bei welcher Ablesung der Nonius an den getheilten Kreisen, diese Ebenen parallel oder rechtwinklig gekreuzt stehen. Die Auffindung der letzteren Lage durch den Versuch ist durchaus nicht schwierig und einer großen Genauigkeit fähig. Ich liefs entweder reflektirtes, oder direktes Sonnenlicht, oder das Licht einer sehr hellen Lampe durch die Nicol gehen und beobachtete den Spalt entweder unmittelbar oder durch das Prisma des Spectralapparats hindurch und drehte die Nicol so lange, bis jede Spur von Helligkeit verschwand. Zahlreiche, sehr gut mit einander stimmende Versuche ergaben, daß die Polarisations Ebenen rechtwinklig stehen,

am Paare I, wenn an dem der Lichtquelle zugekehrten Nicol die Ablesung 0° und am Nonius des zweiten Nicols $22^\circ 30'$ war;

am Paare II, wenn der vordere Nicol auf 180° stand, der hintere auf $235^\circ 15'$.

Die vorderen dem Lichte zunächststehenden Nicolprismen liefs ich im Verlaufe der Messungen ungeändert in ihrer Lage, da ich kein ursprünglich polarisirtes Licht in Anwendung brachte, die zufällige Neigung der Polarisationssebene des ersten Nicols also gleichgültig ist, und überzeugte mich nur von Zeit zu Zeit, daß die Nonien noch auf 0° , beziehungsweise 180° standen, also keine unabsichtliche Verückung stattgefunden hatte. War bei den Messungen die gleiche Helligkeit der zwei Hälften eines Spectralstreifens hergestellt, so waren nur die Differenzen der Ablesungen gegen $22^\circ 30'$, beziehungsweise $235^\circ 15'$ zu nehmen, um die Complementary der Winkel α zu erhalten. Es sind also die Sinus dieser Differenzen an Stelle der Cosinus in den oben aufgestellten Formeln einzusetzen.

Es ist leicht anzugeben, bei welcher Neigung der Polarisationssebenen durch eine kleine Drehung des einen Nicols die *objective* Helligkeit am stärksten geändert wird. Da die Helligkeit dem Quadrate des Cosinus jenes Neigungswinkels proportional ist, so handelt es sich darum das Differential dieser Function, d. i. den Sinus des doppelten Winkels zum Maximum zu machen, was durch Wahl des Winkels von 45° zwischen den Polarisationssebenen erreicht wird. Mit dieser Erkenntniß der stärksten Aenderung der objektiven Beleuchtungsstärke ist aber wenig geholfen, denn die praktisch wichtigere Aufgabe ist die *subjective* Empfindlichkeit möglichst zu steigern. Das Erkennungsvermögen des Auges für Beleuchtungsunterschiede ist aber eine nicht genau gekannte Function der absoluten Helligkeit der zu vergleichenden Beleuchtungen und hängt noch von andern Umständen ab, so daß nur die Erfahrung die günstigsten Bedingungen für genaue Beobachtungen angeben kann. Ich theile die hauptsächlichsten meiner in dieser Hinsicht gemachten Erfahrungen mit:

Das Auge vermag unter den günstigsten Verhältnissen sehr kleine Helligkeitsunterschiede nur dann zu erkennen, wenn die zu vergleichenden Stellen *sehr schwach* beleuchtet

sind. Denn bei stärkerer Helligkeit wird das Auge förmlich geblendet und verliert bedeutend an Empfindlichkeit und photometrischer Leistungsfähigkeit. Eine solche abstumpfende Ueberreizung konnte ich wahrnehmen bei Helligkeiten, die ich für sehr mäßig hielt und die beträchtlich geringer waren, als sie uns zum Schreiben und Lesen bequem sind. Bei stärkerer Beleuchtung verliert das Auge nicht nur die Fähigkeit kleine absolute Unterschiede zu erkennen, sondern es ist auch der Bruchtheil, um welchen die Helligkeit einer Nachbarstelle zu- oder abnehmen muß, bis das Auge die Aenderung sicher wahrnimmt, weit größer. Während ich bei günstigster, sehr geringer Helligkeit wiederholte Einstellungen des Nicols in großer Zahl machen konnte, die um weniger als $\frac{1}{4}^{\circ}$ verschieden waren, zeigten sich, wenn ich zwei stärker beleuchtete Stellen gleich hell zu machen suchte, Unterschiede bei wiederholten Einstellungen bis zu 10° ; ebenso ist bei geringer Helligkeit eine Drehung des einen Nicols um einen sehr kleinen Winkel durch die Helligkeitsänderung schon sicher wahrnehmbar, während bei großer Helligkeit eine Drehung um mehrere Grade scheinbar keine Aenderung, keine Störung der Gleichheit in der Beleuchtungsstärke hervorbringt. Andererseits sind bei den *allergeringsten* Helligkeiten die Vergleichenungen auch wieder unsicher.

Die Helligkeit der größten Empfindlichkeit ist nicht für alle Lichtarten dieselbe; am geringsten scheine ich sie für die brechbarsten Strahlen wählen zu müssen, so daß also mein Auge durch Violett und Blau am leichtesten und schnellsten abgestumpft und geblendet wird. Aber ein und dasselbe Auge hat nicht zu allen Zeiten dieselbe Leistungsfähigkeit und die günstigste Helligkeit für eine bestimmte Farbe scheint mit der Zeit zu wechseln. Weiter: die Farbe in welcher heute die Einstellungen entschieden am sichersten gelingen, war gestern nicht die günstigste und morgen wird vielleicht wieder eine andere die bevorzugte seyn. Ich habe versucht die Farben nach der

Größe des geringsten, als Unterschied noch wahrnehmbaren Bruchtheil ihrer Helligkeit zu ordnen, erhielt aber, wegen der Veränderlichkeit des Auges wechselnde Ergebnisse. Doch gelang mir die photometrische Vergleichung immer am leichtesten, sichersten und genauesten für Grün. Als zweitgünstige Farbe fand ich zuweilen Roth, an andern Tagen aber Blau und Violett. Orange käme in dritter Linie zu stehen. Am wenigsten gut glückten mir die Helligkeitsvergleiche für Gelb. Ich schliesse daraus nicht, daß mein Auge für Gelb die geringste, für Grün die höchste Empfindlichkeit zeige, denn in diesen Versuchen gewinnen Nebenumstände einen für die verschiedenen Spectralbezirke verschiedenen Einfluß. Die Nachbarschaft andersfarbiger Streifen war, trotz der Begränzung des Gesichtsfeldes, nicht ganz auszuschließen. Im gelben Bezirke eines durch ein Glasprisma entworfenen Spectrums wechseln die Farben am raschesten und, wie meine Beobachtungen zeigten, ändert sich bei verschiedenen Lichtquellen das Verhältniß der dem Gelb benachbarten Strahlen viel stärker als das der Nachbarstrahlen in andern Bezirken des Spectrums. Lamansky, der die Empfindlichkeit des Auges für verschiedene Spectralfarben untersuchte¹⁾, fand sie am größten für Grün und Gelb (kleinster wahrnehmbarer Unterschied je $\frac{1}{2^{1/6}}$), dann läßt er Blau folgen ($\frac{1}{2^{1/2}}$), Violett ($\frac{1}{10^9}$), Orange ($\frac{1}{7^8}$), Roth ($\frac{1}{7^0}$). Daß diese Ordnung nicht übereinstimmt mit der von mir gefundenen, befremdet mich aus den angegebenen Gründen nicht, wohl aber fällt es mir auf, daß die Empfindlichkeit für Roth so sehr viel geringer angegeben wird, als für die andern Farben. Im Zusammenhange mit der später zu erwähnenden Thatsache, daß ich bei der allerschwächsten Beleuchtung am ehesten die Farbe des rothen Lichtes von dem fahlen Grau und allgemeinen Lichtschimmer unterscheide, neige ich zur Ansicht, daß mein Auge viel rothempfindlicher ist, als das von Hrn. Lamansky.

1) Graefe, Archiv für Ophthalmologie XVII, Naturforscher 1871, S. 276.

Für ein bestimmtes Auge und eine bestimmte Zeit gibt es für jede Farbe eine Helligkeit, bei welcher die relativ und eine, für welche die absolut kleinsten Unterschiede der Beleuchtungsstärke benachbarter Stellen wahrnehmbar sind. In meinen Versuchen handelt es sich um das Erkennen der kleinsten relativen Intensitätsdifferenz; ich habe immer den Beleuchtungsgrad, welcher zu diesem Erkennen der geeignetste ist (oft mit großem Geduldaufwand) gesucht, mich aber nie begnügt bei *einer* absoluten Helligkeit zu vergleichen, sondern habe die Messung immer bei noch wenigstens *einer andern* wiederholt und mich nur beruhigt, wenn ich bei verschiedenen absoluten Helligkeiten befriedigend übereinstimmende Ergebnisse erzielte. War die Helligkeit der größten Empfindlichkeit einmal aufgefunden, so berührte ich zunächst die Nicolprismen, von deren Stellung die Erleuchtung der einen Hälfte des Streifens abhing, gar nicht mehr, sondern drehte nur den Nicol, welcher die Helligkeit der zweiten Streifenhälfte veränderte, so weit, daß keine Ungleichheit mehr wahrnehmbar blieb. Dann wurde die Stellung abgelesen und nun eine willkürliche Verrückung des Nicols vorgenommen und abermals eingestellt. Dabei ist es nützlich bei Wiederholung der Einstellung auf gleiche Helligkeit nicht zu der Stellung zurückzukehren, aus welcher man willkürlich verschoben hatte, sondern vielmehr auf die entgegengesetzte Seite der Auslöschstellung zu rücken, weil die GröÙe der Verrückung in der Erinnerung geblieben sein kann, und dann die neue Einstellung hiervon und nicht mehr ausschließlich durch das Urtheil des Auges über die gleiche Helligkeit beeinflusst wird ¹⁾. Unter der

- 1) Wie sehr genau in solchen Fällen die Erinnerung leiten kann, sah ich, als ein sehr geübter Mikroskopiker sein auf ein feines Object eingestelltes Mikroskop starker Vergrößerung mit einem Ruck etwa einen Zoll weit vom Object wegzog und nun — nach Verfluß selbst von 1–2 Minuten — rein aus der Erinnerung wieder beischob, ohne in das Ocular zu sehen. Zuweilen war an der so bewirkten Einstellung absolut nichts zu verbessern, stets aber konnte durch einen sehr mäßigen Gebrauch der Mikrometerschraube die Einstellung vollkommen gut gemacht werden.

Voraussetzung, daß sich die Lichtquellen, oder ihr Intensitätsverhältniß nicht ändern, kann man, ohne andere Rechnung als eine Subtraction, schnell erfahren, ob die einzelnen Versuchsergebnisse nahe mit einander übereinstimmen oder nicht und wie lange Wiederholung nützlich scheint.

Sollte eine Vergleichung sicher und genau ausfallen, so war, wie mich die Erfahrung belehrte, nöthig, daß die Helligkeit der Streifenhälfte, welche durch Drehen des Nicols verändert werden sollte, auch wirklich merklich viel heller und merklich dunkler als die Vergleichsstelle gemacht werden konnte; die Gränze der zwei aneinander stoßenden Streifenhälften mußte erst deutlich wahrgenommen werden um dann ihr Verschwinden, durch Drehen des Nicols bewirkt, sicher wahrnehmen zu können. Es durfte also von dem Lichte, welches die der Veränderung unterworfenen Hälfte beleuchtete, weder ein zu geringer noch ein zu großer Theil im Falle der Gleichheit der Helligkeit in Anwendung kommen. War die Helligkeit der zwei zu vergleichenden Lichter *sehr* verschieden und die eine der Lichtquellen absolut genommen schon sehr schwach, so war es nicht möglich zwischen den zwei Streifenhälften einen merklichen Helligkeitsunterschied nach *beiden* Richtungen zu erzeugen, da, um gleiche Helligkeit (in der für das Maximum der Empfindlichkeit erforderlichen absoluten Gröfse) herzustellen, das eine Licht fast ungeschwächt gelassen und das andere auf einen sehr kleinen Bruchtheil herabgemindert werden mußte. Unter diesen ungünstigen Bedingungen waren die Ergebnisse weniger gut. So stellte es sich z. B. bei Vergleichung der violetten Antheile des Lampenlichts und des Sonnenlichts, da ersterer sehr gering und letzterer sehr groß ist. Aehnlich für das sehr wenig brechbare Roth derselben Lichtquellen. Das Spectrum des Lampenlichts enthält von den wenigst brechbaren rothen Strahlen *sehr* viel mehr als das des Tageslichts.

Nachdem ich mir eine große Uebung in den betreffen-

den Beobachtungen erworben hatte, machte es keinen Unterschied, ob ich die Einstellung gleicher Helligkeit aufsuchte von einer Beleuchtung ausgehend, die stärker oder von einer die schwächer ist, als die der Vergleichsstelle. Anfangs aber kam ich allerdings auf etwas andere Einstellungen, je nachdem ich aufklärend oder verdunkelnd die Gleichheit zu erreichen strebte.

Die zwei Spectrumhälften standen genau so übereinander, daß Strahlen von exakt derselben Brechbarkeit einen Streifen bildeten, wie das leicht mit der Natriumlinie zu constatiren war, die als eine ungebrochene Linie die beiden Hälften durchsetzte. Trotzdem erschienen die beiden Hälften eines Streifens nicht von gleicher Färbung, wenn ihre Helligkeit verschieden war. Ja gerade dieser scheinbare Farbenunterschied der von Licht derselben Brechbarkeit beschienenen Stellen gab das bequemste Mittel ab einen noch vorhandenen Helligkeitsunterschied zu erkennen. Lichtschwächeres Gelb sieht neben dem helleren grünlich aus, lichtschwaches Blau nimmt einen Stich ins Violett an, schwaches Roth nähert sich im Aussehen mehr dem der allergeringst brechbaren Strahlen. Hingegen fand ich das schwächere Grün zuweilen gelblich, zuweilen aber auch bläulich im Vergleich zu dem hellen Grün derselben Brechbarkeit. Bei gleicher Helligkeit war in allen Farben meistens kein Unterschied in der Färbung, selbst mit größter Aufmerksamkeit zu entdecken. Die Erscheinung ist keine ganz einfache. Offenbar wirkt die Nachbarschaft andersfarbiger Strahlen von anderem Intensitätsverhältniß mit, namentlich bei nicht ganz vollkommener Accommodation des Auges. Am einflußreichsten ist diese Nachbarschaft wieder bei Gelb. In der That blieb das Spectralgelb des Lampenlichtes im Vergleich zu jenem des Sonnenlichtes stets etwas röthlich, selbst wenn auf möglichste Gleichheit der Helligkeit eingestellt war. Im Lampenlichte haben die Nachbarn der rothen Seite, im Sonnenlicht die der grünen Seite die größere relative Stärke. Trieb ich die Beschränkung des Gesichtsfeldes (durch Verengerung

des Spalts in der Blendung an der Fadenkreuzstelle) auf das Aeußerste, so schwand mit dem Erreichen gleicher Helligkeit auch der scheinbare Farbenunterschied.

Hinsichtlich der Unterscheidung und Erkennung der Farben bemerke ich, daß Licht jeder Brechbarkeit bei der allergeringsten Helligkeit fahlgrau erscheint und nur das rothe von mir, selbst bei ungemein geringer Helligkeit noch seiner Art nach erkannt wurde. Das fahle Grau der andern ganz schwachen Lichtarten erinnert an den Eindruck, welchen der ultraviolette Theil des Spectrum auf mich macht. Das gleichzeitige Erblicken von Licht derselben Art, aber größerer Helligkeit, beeinträchtigt die Fähigkeit des Auges die Farbe des schwächeren Lichts zu unterscheiden. So erscheint z. B. unter einem ziemlich hellen grünen Streifen ein anderer von schwächerem Licht derselben Brechbarkeit beleuchtet, fahl grau, und kein Unbefangener konnte dessen Farbe angeben. Wurde aber das hellere Licht ganz beseitigt oder auch nur seine Intensität stark gemindert, so konnte der vorher nur grau erschienene Streifen deutlich als grün erkannt werden ¹⁾.

Auf ganz gute Messungen kann man nur hoffen, wenn das beobachtete Auge wohl ausgeruht ist, namentlich keine lebhafteren Nachbilder mehr in demselben stehen. Alles fremde Licht muß durch Schirm, Bedecken mit der Hand und mit einem Tuche vollständig ausgeschlossen werden, der ganze Körper soll in bequemer und ruhiger Lage sich befinden, ja selbst das Athmen darf nur ganz regelmässig, nicht zu tief und zu rasch stattfinden. Ich habe insofern nicht unter den günstigsten Verhältnissen gearbeitet, als ich keinen Gehülfen benutzen konnte, die Drehung des Nicols mit unbequem weit ausgestrecktem Arm selbst zu vollführen hatte und jedesmal dasselbe Auge, das die Helligkeitsvergleichung anstellte, auch zur Ablesung des

- 1) Ich habe einige Versuche gemacht zu ermitteln bei welcher geringsten Helligkeit die Farbe der einzelnen Lichtarten noch erkennbar sey, erhielt aber widersprechende Angaben. Da zu jener Zeit mein Auge schon stark angegriffen war, mag es mir bei Wiederaufnahme der Versuche vielleicht doch gelingen, brauchbare Ergebnisse zu erzielen.

Nonius an den getheilten Kreisen der Nicol'schen Prismen bei ziemlich heller Beleuchtung benutzen mußte, da mein rechtes Auge wegen starken Astigmatismus und daraus folgender Ungeübtheit zu genauen, scharfen Beobachtungen jeglicher Art kaum anwendbar ist. Das Beobachtungsauge hielt ich so oft und so lange geschlossen, als nur immer möglich, um ihm Ruhe zu lassen und seine Empfindlichkeit thunlichst lange zu wahren.

Eine schon früher von mir gemachte Bemerkung¹⁾ habe ich bestätigt gefunden. Daß nämlich bei Vergleichen der erste Eindruck der richtigste zu seyn pflegt und durch längeres Probiren nur Unsicherheit in Folge von Ermüdung hervorgerufen wird. Ich suchte daher die einzelnen Einstellungen so rasch als möglich zu vollenden und wiederholte sie häufig. Von großer Wichtigkeit ist die Stellung des Auges. Das Ocular des benutzten Spectralapparats hat eine sehr große Oeffnung. Brachte ich das Auge nicht genau vor die Mitte der Oeffnung, so gelangten ungleich viel Strahlen aus beiden Spalthälften zur empfindenden Netzhaut. Erschienen die zwei Streifenhälften bei einer excentrischen Stellung des Auges gleich hell, so war dieß nicht mehr der Fall, wenn das Auge dann genau in die Achse des Instruments oder auch an eine andere excentrische Stelle gerückt wurde. Die nächste Abhülfe dieses für sichere Vergleichen sehr störenden Mißstandes war durch eine Verengerung der Ocularröhre durch vorgesetzte Blende zu erreichen, wodurch, da es in meinen Versuchen nicht auf großes Gesichtsfeld ankam, sondern im Gegentheile dieses sehr beschränkt wurde, kein Nachtheil und keine Unbequemlichkeit hervorgerufen wurden. Dann suchte ich auf verschiedene Weisen den Ort des Auges noch bestimmter festzusetzen, als bereits durch die Verengerung des Sehelochs geschehen war. Schließlich fand ich es am zweckmäßigsten die Hand an das Ocularrohr zu stützen und an sie den Kopf immer in gleicher Weise zu lehnen. Man hat ein gutes Ge-

1) Diese Ann. Bd. 117, S. 131.

dächtniß für die gegenseitige Stellung der zwei Körpertheile und findet sie leicht und sicher wieder. Der Blick ist dann fest auf die Mitte des Gesichtsfeldes, nämlich auf die Gränze der zwei Streifenhälften zu richten. Diente zur Erzeugung des Spectrums das unmittelbar von einer Flamme kommende Licht, so erschien der Spectralstreifen nicht seiner ganzen Höhe nach von gleicher Helligkeit, da der ungleiche Glanz der einzelnen Flammentheile, trotzdem daß die Linse im Spaltrohr den Spalt auf unendliche Entfernung rückte, auch im Spectralbilde noch seinen Einfluß äufserte. In diesem Falle war ein besonders scharfes Anblicken der Gränzen der Streifenhälfte in Mitte des Gesichtsfeldes nöthig.

Zur Berechnung des Intensitätsverhältnisses wurde immer eine grössere Anzahl von Vergleichen benutzt. Die ersten, je für eine Farbe gemachten Beobachtungen waren gewöhnlich nicht bei der Helligkeit der größten Empfindlichkeit angestellt, da diese jeweils erst durch den Versuch gefunden werden mußte, und wurden daher als wenig sicher meist nicht zur Berechnung beigezogen. Nach dem unmittelbaren Eindruck, den ich von der Sicherheit und Genauigkeit einer Vergleichung empfing, schrieb ich, noch ehe die Ablesung an den getheilten Kreisen vorgenommen wurde, eine Bemerkung zu jedem Versuche, ob ich ihn für gut, weniger gut, mäßig, sehr gut und dergl. ansehe. Nur die für „gut“ erklärten Messungen fanden schliesslich Berücksichtigung. Es finden sich aber unter diesen welche, die offenbar unrichtig sind. Nun kommen ja wohl bei jeder grösseren Beobachtungsreihe Versehen vor, Ablesungsfehler und dergleichen, allein die Zahl der anomal vom mittleren Ergebniss abweichenden Messungen ist doch grösser als der Wahrscheinlichkeit nach die jener grössern Versehen. Daher glaube ich, daß das Auge vorübergehend eine bedeutend geringere Leistungsfähigkeit im Erkennen von Helligkeitsunterschieden hatte, gewissermaassen geblendet war, ähnlich wie ja zuweilen Accommodationskrämpfe vorübergehend auftreten.

Dafs die vereinzelt schlechten Versuche häufiger am Ende der Beobachtungszeit auftreten, wenn das Auge schon durch viele Anstrengungen ermüdet ist, bestärkt mich in der ausgesprochenen Vermuthung. Die erwähnten stark vom Mittelwerth abweichenden Messungsergebnisse wurden verworfen. Bei dieser Ausscheidung konnte natürlich eine gewisse Willkür nicht vermieden werden.

Nach der Darstellung der Schwierigkeiten der Messungen, die grösstentheils in der Mangelhaftigkeit des Sinnesorgans begründet sind, kann es nicht überraschen, dafs die erreichbare Genauigkeit der Messungen hinter der rein theoretischen Erwartung zurückblieb. Durchschnittlich dürfte die Unsicherheit etwa $\frac{1}{55}$ betragen, doch bin ich in günstigen Fällen zu beträchtlich gröfserer Genauigkeit gekommen, hingegen sind bei Untersuchung schwacher Lichtquellen die Messungen in den Gränzbezirken des Spectrums auch noch viel weniger genau.

Bisher fand ich es noch nicht nothwendig die Spectralbezirke genauer als durch die Bezeichnungen Grün, Gelblich oder Bläulich-Grün, — Aeufserstes, mittleres Roth usw. zu unterscheiden. Das benutzte Spectrum war weniger als 2^o ausgedehnt, die genauere Bestimmung des Bezirks hätte nur durch Messung der Ablenkung des gebrochenen Lichts und deren Vergleichung mit der vorher ermittelten Ablenkung für die einzelnen Fraunhofer'schen Linien erfolgen können, was genöthigt hätte ausser der Ablesung am Nonius des Nicols auch noch die am Nonius des Spectralapparats vorzunehmen, die nur bei stärkerer Beleuchtung und mit gröfserem Zeitaufwand ausführbar ist, die Empfindlichkeit des Auges für die Helligkeitsvergleichung also noch mehr beeinträchtigt haben würde.

Messungen. Bei der *Vergleichung des direkten Lichtes zweier Petroleumlampen* wurden möglichst identische Lampen angewendet. Die Stellung der Dochte und der Cylinder wurde dann entweder so gewählt, dafs die Helligkeit

beider Lampen möglichst gleich war, oder auch so, daß eine größere oder geringere Ungleichheit bestand. Einen nennenswerthen Unterschied in der Farbe des Lichts konnte das Auge nicht erkennen, selbst wenn die Totalhelligkeit — die durch gewöhnliche Photometer bequem meßbar — ziemlich verschieden war. Nur wenn die eine Lampe verhältnißmäßig sehr schwach leuchtete, erschien ihr Licht relativ roth oder besser gesprochen orange gefärbt. Ich habe zuweilen auch eine schärfere Prüfung der Färbung der zwei Lichter vorgenommen. Erschienen die zwei dicht neben einander stehenden Schatten eines von den zwei Lampen erleuchteten Stabes (Rumford's Photometer) nicht merklich ungleich gefärbt, der Stearinleck und das reine Papier an dem von mir abgeänderten Bunsen'schen Photometer ¹⁾ ganz genau gleichfarbig, so daß ein *vollständiges* Verschwinden möglich war, so zeigte die Analyse doch ein beträchtlich verschiedenes Intensitätsverhältniß für die einzelnen zusammensetzenden Lichtarten. Es waren demnach auch die Mischfarben sicher ungleich, nur reichte die Empfindlichkeit des Auges für Farbenunterschiede nicht aus dieses zu erkennen. Daß das Helligkeitsverhältniß in den verschiedenen Spectralbezirken scheinbar ganz gleich gefärbter (ja sogar nahezu gleich heller) Lampenflammen verschieden war, konnte in folgender Art sehr deutlich und rasch erkannt werden. Ich entwarf die zwei Spectren übereinander und brachte es durch Drehen der Nicolprismen dahin, daß im Grün (als der empfindlichsten Farbe) die zwei Streifenhälften ganz gleich hell erschienen. Wurde dann das Beobachtungsrohr gedreht, so daß andere Bezirke des Spectrums in das Gesichtsfeld kamen, die Stellung der Polarisationsapparate und der Lampen aber sorgfältig vor jeglicher Aenderung bewahrt, so war leicht und sicher zu sehen, daß in den andern Spectralbezirken die zwei Streifenhälften *ungleich* hell waren.

1) Liebig's Ann. d. Chemie u. Ph. 111, 335. Dingler's polyt. Journal 154, 15.

Bei den Lampen darf man nicht außer Acht lassen, daß ihre Totalhelligkeit, so wie die relative der einzelnen Lichtbestandtheile, kurz nach dem Anzünden nicht unbedeutlichen Aenderungen und Schwankungen unterworfen sind. Nachdem die Lampen jedoch 10—15 Minuten brennen, bleibt ihr Helligkeitsverhältniß im Ganzen, wie für die einzelnen Farben längere Zeit, — bei meinen Lampen etwa 2 Stunden — ungeändert, um dann anfangs langsam, später aber rascher zu wechseln. Obgleich ich diesen Umstand wohl beachtete und es auch an weiterer Vorsicht nicht fehlen liefs, fand ich auffallend verschiedene Zusammensetzung des Lichts. Wird die Gesamthelligkeit größer, so wird das Licht verhältnißmäfsig reicher an stärker brechbaren Strahlen. Das ist aber auch das einzige allgemeine Ergebnifs meiner Vergleichen, denn es gelang mir nicht in Zahlen eine für alle Fälle passende Beziehung zwischen dem Helligkeitsverhältniß der Einzel Farben und des Gesamtlichtes aufzufinden. Einige der besten Messungen, bei denen namentlich durch Wiederholung am Ende der Versuchszeit nachgewiesen wurde, daß die Lampen ihren Zustand nicht merklich oder in gleichem Verhältniß geändert hatten, theile ich nachstehend mit und bemerke, daß die Entfernungen der Lampen von der Spalte (oder von dem vorderen Nicol) in der Versuchsreihe I gleich groß, in den übrigen aber ungleich groß waren. Die Zahlen geben das Helligkeitsverhältniß des von rechts gekommenen zu dem von links eingetretenen Licht an.

Direktes Licht zweier Petroleumlampen.

	1.	2.	3.	4.
Aeusseres Roth	0,78	1,10	0,26	0,84
Mittleres Roth	0,71	1,43	0,14	0,86
Orange	0,69	1,68	0,13	0,80
Gelb	0,71	1,87	0,19	0,81
Grün	0,62	1,88	0,15	0,78
Cyan	0,59	1,55	0,22	0,72
Indigo	0,41	2,03	0,27	0,73
Violett	0,34	3,14	0,17	0,95

Die Ergebnisse werden übersichtlicher, wenn die Helligkeit einer Farbe, als welche ich die mittlere, *Grün*, wähle, in allen Fällen durch dieselbe Zahl ausgedrückt wird. Es berechnet sich demgemäfs:

	1.	2.	3.	4.	2a.
Aeusseres Roth	126	59	173	108	178
Mittleres Roth	115	76	93	110	132
Orange	111	89	87	103	112
Gelb	115	99	103	104	101
Grün	100	100	100	100	100
Cyan	95	104	147	92	96
Indigo	66	108	180	94	92
Violett	55	157	113	122	60

In der Reihe 2 der ersten Uebersicht steht das Verhältniß der Partialintensitäten eines helleren zu einem schwächeren Lichte, in 2a der letzten Uebersicht habe ich die umgekehrten Werthe, das Verhältniß der Partialintensitäten des schwächern zum helleren Licht, wie in den übrigen Reihen berechnet.

Die relative Zusammensetzung der einzelnen Lichtquellen ist sehr verschieden, das Verhältniß der Partialintensitäten in demselben Paar Lichtquellen auch sehr ungleich, am wenigsten noch in dem Falle 4, doch ist dort das bedeutende Abweichen in der relativen Helligkeit des Violett und der große Reichthum der schwächern Flamme in den Fällen 3 und 4 an den brechbarsten Strahlen sehr auffallend.

Es liegt nahe zu denken, daß in den verschiedenen Versuchsreihen verschiedene Theile der Flammen, die ja verschieden gefärbt sind, zur Vergleichung gekommen seyen. Allein die Wahrscheinlichkeit hierfür ist sehr gering. Die Lampen selbst sind in ihren Dimensionen ganz gleich und standen auf Stühlchen, deren Höhenunterschied genau gleich dem Höhenunterschiede der Achsen der Nicol'schen Prismen vor der obern und der untern Hälfte des Spalts waren. Bei der Petroleumlampe mit Kreisdocht, wie ich sie verwendete, haben aber die einzelnen Theile

der Flamme eine kaum merklich veränderliche Stellung gegen den Körper der Lampe. Bei Erwähnung dieses bemerke ich zugleich, daß wenn ich die Lichtquellen vertauschte, jedesmal Bedacht darauf genommen wurde, die Flamme, welche zuvor die obere und nun die untere Spaltenhälfte beleuchten sollte, entsprechend tiefer zu stellen und umgekehrt, endlich, daß wenn ich den Kopf des Apparats um 180° drehte, ich durch Anschlagestifte usw. mich vor Fehlerquellen zu schützen bestrebte.

Die schon oben erwähnte Schwierigkeit, daß die ungleiche Helligkeit verschiedener Stellen der Lichtflamme sich noch im Spectralbilde so bemerklich macht, daß eine Spectralstreifenhälfte nicht ihrer ganzen Höhe nach gleich hell ist, ein sehr scharfes Anspannen der Aufmerksamkeit auf die Gränze der zwei Streifenhälften also nothwendig ist, wird vermieden, wenn man das Licht der Lampen nicht *unmittelbar* zur Vergleichung bringt, sondern durchscheinende Schirme, die sich in genügender Ausdehnung gleichförmig erhellen, dazwischen stellt. Ich benutzte Schirme aus mit Stearin getränktem Papier, die recht nahe an die Lampen gerückt wurden. Bei annähernd gleicher Helligkeit schienen sie genau dieselbe Farbe zu haben, bei ungleich starker Beleuchtung war ein Farbenunterschied merklich, wenn auch nicht sehr auffallend; der weniger helle Schirm sah vergleichsweise röthlich aus. Nachstehend gebe ich in ein und derselben Tafel sowohl die beobachteten Intensitätsverhältnisse der Bestandtheile des *durch Papierschirme gegangenen Petroleumlichts*, als auch die Umrechnung, wonach in allen drei Versuchen das Intensitätsverhältniß aller Farben durch das Helligkeitsverhältniß des Grün gemessen wird. Die Ergebnisse im Violett sind ziemlich unsicher, Violett war gar zu schwach für genaue Einstellungen.

Durch Stearinpapier gelassenes Licht zweier Petroleumlampen.

	1.	2.	3.	I.	II.	III.
Aeufseres Roth	—	1,12	0,68	—	122	119
Mittleres Roth	0,969	1,04	0,68	79	113	119
Orange	—	1,15	0,71	—	125	124
Gelb	0,831	0,98	0,59	68	107	104
Grün	1,220	0,92	0,57	100	100	100
Cyan	—	0,87	0,50	—	95	88
Indigo	—	0,94	0,55	—	102	96
Violett	—	0,75 (?)	0,43 (?)	—	81 (?)	80 (?)

Ich habe das *unmittelbar* von der Petroleumlampe kommende Licht verglichen mit dem durch *Stearinpapier durchgelassenen*. Ich versäumte aber nicht für genau dieselben Spectralbezirke auch die Vergleichung des direkten Lichts beider Lampen vorzunehmen. Dadurch war es möglich Zahlen zu berechnen, welche den Absorptionscoefficienten der einzelnen homogenen Lichtarten für Stearinpapier proportional sind.

Licht zweier Petroleumlampen.

	Durch Papier gegangenes mit direktem.	Direktes Licht mit di- rektem.	Proportionalia der Absorp- tionscoeffic.
	1.		
Aeufseres Roth	—	0,255	—
Mittleres Roth	0,066	0,135	0,489
Orange	0,0456	0,133	0,343
Gelb	0,0547	0,195	0,280
Grün	0,0500	0,145	0,344
Cyan	0,0505	0,218	0,233
Indigo	0,0698	0,271	0,258
Violett	—	0,165	—

Zwei andere Versuchsreihen ergaben:

Durch Stearinpapier gegangen, verglichen mit direktem Licht einer Petroleumlampe.

	2.	3.
Aeufserstes Roth	0,0712	0,113
Aeufseres Roth	0,0694	0,121
Mittleres Roth	0,0698	0,120
Orange	0,0472	0,087
Gelb	0,0583	0,098
Grün	0,0526	0,100
Cyan	0,0600	0,114
Indigo	0,0721	0,138
Violett	0,1000 (?)	0,182

In einer Versuchsreihe verglich ich das direkte Licht einer Petroleumlampe und das von derselben Lampe ausgestrahlte aber erst durch einen Stearinpapierschirm gegangene mit derselben dritten Lichtquelle (Tageslicht). Der Quotient der zwei Verhältnisse gibt dann das Verhältniß der Helligkeit der einzelnen Bestandtheile des durchgelassenen und des direkten Lichts.

Durch Stearinpapier gegangenes Licht einer Petroleumlampe verglichen mit dem direkten Licht derselben Lampe.

(Mittelbar erschlossen.)

	4.
Aeufserstes Roth	0,176
Aeufseres Roth	0,086
Mittleres Roth	0,081
Röthlich Orange	0,076
Orange	0,096
Gelb	0,081
Grünlich Gelb ¹⁾	0,115
Grün	0,092
Blaugrün	0,091
Cyan ¹⁾	0,120
Brechbareres Blau	0,072
Indigo	0,102
Violett	(?)

Setzt man in den vier Versuchsreihen je das Lichtstärkenverhältniß für Grün gleich 100, so erhält man:

Durch Stearinpapier gegangenes mit direktem Licht einer Petroleumlampe.

	1.	2.	3.	4.
Aeufserstes Roth	—	135	113	190
Aeufseres Roth	—	132	121	93
Mittleres Roth	132	133	120	88
Röthlich Orange	—	—	—	83
Orange	91	90	87	104
Gelb	109	111	98	88
Grünlich Gelb	—	—	—	125 ¹⁾
Grün	100	100	100	100
Blau Grün	—	—	—	99
Cyan	110	114	114	130 ¹⁾
Brechbareres Blau	—	—	—	78
Indigo	140	137	138	111
Violett	—	190 (?)	182	—

¹⁾ Diese auffallenden Ergebnisse wurden durch wiederholte, gute Versuche erzielt.

Diese Zusammenstellung läßt ersehen, daß die drei ersten Versuchsreihen kein sehr verschiedenes Ergebnis lieferten, daß aber die mittelbar erschlossenen Zahlen der vierten Reihe sehr abweichen. Und doch muß ich die vier Versuchsreihen für ungefähr gleich genau halten. Den Mangel an Uebereinstimmung schreibe ich daher der ungleichen Mischung des Petroleumlampenlichts zu, wie ich ja unzweifelhaft auch bei der direkten Vergleichung Verschiedenheit der Färbung des Lichts der Petroleumlampen erkannt habe.

Das *direkte Licht einer Petroleumlampe* wurde verglichen mit dem von einer gelblich angestrichenen Mauer *reflektirten Sonnenlicht*. Der Apparat war unverrückbar so aufgestellt, daß die Achse des einen Nicolpaares nach einer bestimmten Stelle der Mauer gerichtet war und das Licht von dort durch eine Oeffnung im Laden des verdunkelten Zimmers eindringen konnte. Durch Schirme war Sorge getragen, daß in das zweite Nicolpaar ausschließlich das Licht der Petroleumlampe drang, nicht auch noch von den Zimmerwänden reflektirtes Tageslicht. Während der Zeit, welche eine Versuchsreihe in Anspruch nahm, änderte sich der Sonnenstand und damit die Beleuchtung der Mauer. Meist konnte ich es so einrichten, daß diese Aenderung den geringsten Einfluß hatte, indem ich die Hälfte der Versuchsdauer vor Mittag und die andere Hälfte nach Mittag legte, die Heiterkeit des Himmels änderte sich scheinbar nicht. Ich arbeitete an prachtvollen Herbsttagen in München, das seines heiteren Himmels wegen berühmt ist. War das Spectrum durchmustert, so wiederholte ich die Vergleichung. Das Ergebnis einer solchen Wiederholung ist in den mit A und B überschriebenen Columnen der Versuchsreihe 1 mitgetheilt. Die Messungen A wurden zuerst und zwar in der Reihenfolge, in der sie aufgeschrieben sind, angestellt, dann sofort die Messungen B begonnen, dabei aber abwechselnd in einer stark brechbaren und einer wenig brechbaren Farbe beobachtet. Die

nicht unbedeutende Verschiedenheit der Ergebnisse A und B ist durch einen eingetretenen Wechsel in den verglichenen Lichtquellen zu erklären. Die Wiederholung der Messungen der andern nachstehend mitgetheilten Versuchsreihen ergab nahezu dieselben Verhältniszahlen, womit nachgewiesen war, daß in der Beleuchtung kein merklicher Wechsel eingetreten. Das war jedoch der seltenere Fall, — ich habe noch eine Anzahl Messungen ausgeführt, bei welchen aber, als ich nach Beendigung der Versuche im brechbarsten Theile des Spectrums die Wiederholung am rothen Spectrumende vornahm, Werthe gefunden wurden, die von dem $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden früher erhaltenen sehr abweichen, woraus zu schließen, daß die der Zeit nach späteren Vergleichen der stärker brechbaren Farben unter anderen Beleuchtungsverhältnissen stattfanden, als die vorher angestellten Messungen im weniger brechbaren Spectrumbezirk. Diese Versuchsreihe theile ich nicht mit. Es sey noch erinnert, daß ich die Spectralstreifen nicht nach ihrer genauen Brechbarkeit bestimmte oder ihre Lage auf Fraunhofer'sche Linien bezog, sondern nur dem Farbeneindrucke nach bezeichnete, daß also bei der Wiederholung der Messungen wohl nicht ganz genau dieselben Lichtarten in Anwendung gekommen seyn können.

Reflektirtes Sonnenlicht verglichen mit direktem Petroleumlicht.

	1.		2.	3.	4.
	A	B			
Aeußerstes Roth	0,665	1,02	0,375	0,494	0,72
Mittleres Roth	1,52	1,72	0,436	0,492	1,73
Roth-Orange	—	2,00	—	0,738	1,73
Orange	2,84	2,50	0,618	0,826	3,15
Gelb	4,42	2,86 (?)	0,686	0,837	5,10
Gelbgrün	4,11	4,21	0,780	1,377	—
Grün	5,02	4,64	1,151	3,511	7,28
Blaugrün	6,23	5,48	—	3,974	8,24
Grünblau	—	—	1,875	5,120	—
Cyan	5,10	—	2,507	6,816	7,37
Cyan-Indigo	—	5,93	—	7,234	8,01
Indigo	7,03	—	4,025	10,360	9,25
Indigo-Violett	—	8,52	—	10,184	13,28
Violett	13,54	—	6,128	18,87	18,71
Aeußeres Violett	15,87	16,50	—	24,00 (?)	25,62

Setze ich, besserer Uebersichtlichkeit wegen, in jeder Versuchsreihe das Helligkeitsverhältniß der grünen Strahlen gleich 100, so berechnen sich die übrigen Verhältnisse wie folgt:

Reflektirtes Sonnenlicht verglichen mit direktem Petroleumlicht.

	1.		2.	3.	4.
	A	B			
Aeußeres Roth	13	22	33	14	10
Mittleres Roth	30	37	38	14	24
Roth-Orange	—	43	—	21	24
Orange	57	54	54	23	43
Gelb	88	62(?)	60	24	70
Gelbgrün	82	91	68	39	—
Grün	100	100	100	100	100
Blaugrün	122	118	—	113	113
Grünblau	—	—	163	146	—
Cyan	102	—	218	194	101
Cyan-Indigo	—	128	—	206	110
Indigo	140	—	351	295	127
Indigo-Violett	—	184	—	290	182
Violett	271	—	532	537	257
Aeußeres Violett	316	356	—	700(?)	352

Die mit (?) versehenen Zahlen sind verdächtig. Bei der in dem äußersten Spectralbezirke ist aus früher angegebenen Gründen wahrscheinlich die Unsicherheit der Messung die Ursache. Die auffallend geringe Helligkeit des Gelb in Versuchsreihe B war von mir schon im Beobachtungsheft angezeichnet worden; — ich vermuthe eine vorübergehende Trübung, deren Dasein mir entging, einmal weil ich vom Beobachtungszimmer aus überhaupt nur durch eine kleine Oeffnung nach der von der Sonne beschienenen Wand sehen konnte, dann aber, weil ich dieß zur Schonung des Auges auch sorgfältig vermied. Bis auf die Zahl für Gelb stimmen die am selben Tage im Verlauf von etwa 3 Stunden gemachten Beobachtungen A und B so gut überein, als man erwarten kann. Die Wiederholung der andern mitgetheilten Versuchsreihen, war nicht so ausführlich, beanspruchte kürzere Zeit und lieferte Zahlen, die so gut stimmten, daß ich ihre Mittheilung für unnöthig erachte. Die Zahlen lehren wie ver-

schieden an den einzelnen Beobachtungstagen die relative Zusammensetzung der verglichenen Lichter war. Am 2. September (Versuchsreihe 3) war das Uebergewicht der brechbareren und brechbarsten Strahlen im Sonnenlicht, verglichen mit deren Stärke im Lampenlicht, am größten; ganz verschieden ist die Vergleichung der Lichter am 6. September (Versuchsreihe 4), an einem gleich hellen und schönen Tage, bei scheinbar gleich gut und hell brennender Lampe, ausgefallen. Alle Versuchsreihen stimmen darin überein, dem reflektirten Sonnenlichte einen gegen das Lampenlicht vergleichsweise sehr geringen Antheil der wenig brechbaren und einen sehr großen Antheil der brechbareren und brechbarsten Strahlen zuzuschreiben.

Das an derselben Wand *reflektirte Sonnenlicht* verglich ich an anderen Tagen mit dem durch einen *Stearinpapier-schirm* *gegangenen Petroleumlicht*. Lieferte die Wiederholung der Vergleichung für eine Farbe zu verschiedenen Zeiten beträchtlich verschiedene Werthe, so wurde diese Versuchsreihe verworfen, weil angenommen werden mußte, daß während der zu ihrer Vollendung erforderlichen Zeit das Helligkeitsverhältniß der verglichenen Lichter sich geändert habe. Die Abweichungen, wie sie in A und B sich zeigen, sind die größten noch als zulässig erachteten; in den übrigen hier mitgetheilten Versuchsreihen waren sie geringer. Zwischen der Messung für eine Farbe unter A und unter B liegt ein Zeitraum von mindestens 2 Stunden.

Reflektirtes Sonnenlicht verglichen mit durch Stearinpapier gegangennem Petroleumlicht.

	1.		2.	3.	4.	5.
	A	B				
Aeufseres Roth	4,51	—	—	—	2,73	—
Mittleres Roth	—	1,38	1,45	1,56	2,60	5,40
Roth-Orange	2,03	1,67	—	—	3,81	—
Orange	2,91	2,55	0,69	3,30	4,29	6,46
Gelb	5,10	5,21	1,36	3,12	10,74	8,47
Gelbgrün	—	—	—	—	—	8,45
Grün	8,48	8,17	3,63	4,65	18,00	12,76
Blaugrün	—	—	—	—	17,01	15,63
Grünblau	—	—	—	—	17,34	24,18
Cyan	21,99	20,74	8,60	18,24	18,62	35,09
Cyan-Indigo	—	—	—	—	27,83	39,46
Indigo	45,30	—	24,33	—	41,08	58,74
Violett	—	—	75,74(?)	—	100 (?)	160 (?)

Umgerechnet, so dafs das Verhältnifs für Grün jederzeit 100 ist, lautet die Tafel:

Reflektirtes Sonnenlicht verglichen mit durch Stearinpapier gegangennem Petroleumlicht.

	1.		2.	3.	4.	5.
	A	B				
Aeufseres Roth	53	—	—	—	15	—
Mittleres Roth	—	17	40	34	14	42
Roth-Orange	24	20	—	—	21	—
Orange	34	31	19	71	24	51
Gelb	60	64	38	67	60	66
Gelbgrün	—	—	—	—	—	66
Grün	100	100	100	100	100	100
Blaugrün	—	—	—	—	95	122
Grünblau	—	—	—	—	96	190
Cyan	259	254	237	392	103	275
Cyan-Indigo	—	—	—	—	155	309
Indigo	535	—	670	—	228	460
Violett	—	—	2090(?)	—	555 (?)	250 (?)

Die Messungen im Violett sind sehr unsicher, da das Lampenlicht schon sehr arm an stark brechbaren Strahlen ist und diese noch durch das Stearinpapier beträchtlich absorbiert werden.

Die einzelnen Versuchsreihen gaben sehr verschiedenes Zusammensetzungsverhältnifs; es läßt sich nur deutlich

der groſſe relative Reichthum des Sonnenlichtes an ſtärker brechbaren Strahlen erkennen.

Auch das vom *blauen Himmel* nahe am Zenith ausgehende, an einem Quecksilberspiegel reflektirte Licht habe ich mit dem *direkten* Licht der *Petroleumlampe* verglichen, aber nur zwei Versuchsreihen waren brauchbar, und wenn ich eben so kritisch wie bei den andern Vergleichen verfahren wollte, so müſſte ich selbst die zweite der mitgetheilten verwerfen. Die Helligkeit des blauen Himmels ist schnellen Aenderungen unterworfen, es wird selten vorkommen, daſs Messungen die zwei Stunden ſpäter wiederholt werden, noch annähernd gleiches Helligkeits- und Farbenverhältniſſ liefern. Ich ſtelle in der Tafel ſogleich die auf Grün = 100 umgerechneten Zahlen hinzu. Bei der zweiten Versuchsreihe (am 10. September) war, als gerade die Messung im Grün beendet war, und ich die in Blau begann, die Helligkeit sehr rasch geſtiegen. Ich machte eine Pause von einer halben Stunde, und fand dann nahezu wieder dieselben Zahlen für das Helligkeitsverhältniſſ in Gelb und Grün, weſſhalb ich die Arbeit fortſetzte unter der Annahme, das urſprüngliche Helligkeits- und Farbenverhältniſſ habe ſich wieder eingeſtellt.

Blaues Himmelslicht verglichen mit direktem Licht der Petroleumlampe.

	1.	2.	1.	2.
Aeuſſeres Roth	0,118	0,391	24	11
Mittleres Roth	0,129	—	27	—
Roth-Orange	—	0,612	—	17
Orange	0,124	0,728	26	20
Gelb	0,088	2,075	18	58
Grün	0,482	3,582	100	100
Cyan	0,670	5,528	139	154
Indigo	0,618	10,820	128	302
Violett	2,468	14,100	512	393

Relativ gegen Lampenlicht ſind die rothen bis gelben Beſtandtheile des blauen Himmelslichts bedeutender als die des an der Mauer reflektirten Sonnenlichts, hin-

gegen die brechbarsten Bestandtheile weniger bedeutend, immer auf gleiche Helligkeit des Grün in beiden bezogen.

Eine Anzahl Versuchsreihen widmete ich der Messung der Absorptionscoefficienten für die einzelnen Lichtarten in Bezug auf den Durchgang durch farbige Gelatineoblaten. Die absorbirende Platte wurde einmal in den Weg der von der links stehenden Lampe kommenden Strahlen eingeschaltet, und das Helligkeitsverhältniß in einem Spectralbezirke gemessen. Alsdann wurde die Oblate vor die rechts stehende Lampe gehalten und abermals im selben Spectralbezirk gemessen. Ist μ der Absorptionscoefficient und sind l und r die gefundenen Verhältnisse, so folgt aus

$$\frac{\mu J_1}{J_2} = l; \frac{J_1}{\mu J_2} = r \text{ leicht:}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{l}{r}} \text{ und } \frac{J_1}{J_2} = \sqrt{l r}.$$

Die Bestimmung von $\frac{J_1}{J_2}$, also die Vergleiche zweier Petroleumlampen, fügte nichts neues zu dem schon Mitgetheilten. Die Absorptionscoefficienten μ sind sehr verschieden, einstweilen aber scheint mir die Mittheilung der gefundenen Zahlen von nicht genügendem Interesse. Dieses wird erst rege werden, wenn ich an die Ausführung der Versuche über die Vergleichung der Empfangungsstärke *ungleichartiger* Helligkeiten komme, zu welcher Untersuchung das Vorstehende wesentlich Vorbereitung war.

Aschaffenburg, Herbst 1872.