

Zeitschrift für angewandte Chemie

I. Bd., S. 273—280

Aufsatzteil

13. November 1917

Eine Methode zur zahlenmäßigen Bestimmung von Farbtönen.

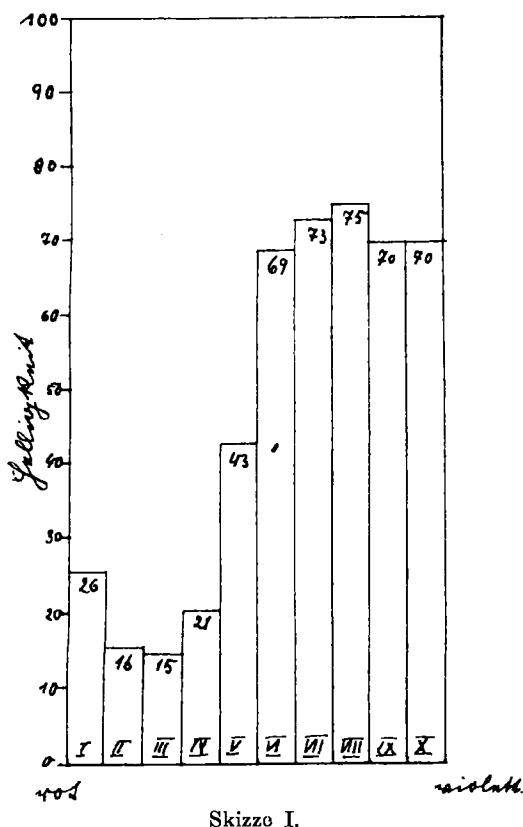
Beschreibung eines neuen Apparates, der diesen Zwecken dient.

Von Dr. M. STANGE.

Kaiserl. Betriebsinspektor bei der Reichsdruckerei.

(Eingeg. 2./10. 1917.)

Die zunehmende Entwicklung des Verkehrs mit Farben hat die seit einer Reihe von Jahren bestehende Forderung nach einer wissenschaftlich-analytischen Bearbeitung des Materials immer mehr in den Vordergrund gedrängt. Die besonderen Eigenschaften der Farben, deren Bedeutung im einzelnen für die Praxis wechselt, sind die Ursache, daß neben den chemischen auch eine ganze Reihe physikalischer Konstanten analytisch erfaßt werden müssen, um der betreffenden Farbe einen bestimmten Platz in einem System zu sichern. Unter den physikalischen Eigenschaften einer Farbe ist der Farbton zweifel-



Skizze I.

los die sinnfälligste, und es nimmt nicht Wunder, wenn sich das Interesse vorwiegend der zahlenmäßigen Bestimmung dieser Grund-eigenschaft zugewandt hat. Auch die vorliegende Abhandlung verfolgt diesen Zweck. Es soll ein neuer Apparat beschrieben werden, dessen Angaben frei sind von gewissen Schwächen, die den nach bisherigen Methoden gewonnenen Ergebnissen anhafteten. Die Prüfungs-mittel des neuen Apparates sind genau definierbar, unterliegen keiner Veränderung und schließen die Möglichkeit einer amtlichen Eichung nicht aus.

Die Farbenfrage hat in neuester Zeit durch W. Ostwald¹⁾ eine sehr eingehende Bearbeitung erfahren. Ostwald legt seinen Prüfungen einen 100 teiligen geschlossenen Farbenkreis zugrunde, der die Farben in spektraler Reihenfolge enthält und vom Blau zum Rot durch die im Spektrum nicht enthaltenen, rotvioletten Töne geschlossen wird. Die spektrale Öffnung der Farbtöne, die in Form

durchgefärberter Papiermuster vorliegen, ist so abgeglichen, daß zwei im Kreise einander gegenüberliegende Töne optisch gemischt neutrales Grau ergeben. Jedes Farbenmuster stellt außerdem hinsichtlich der Tönung die optische Mischung der angrenzenden Glieder dar. Ostwald bestimmt nun drei Konstanten eines Farbenton: das optische Schwarz, das optische Weiß und aus der Differenz zu 100 den Betrag an reiner Farbe, so daß also die Gleichung: $S + W + F = 100$ besteht.

Zur Feststellung der Konstanten wird zunächst unter Mitwirkung eines Polarisationsmischers aus dem Farbenkreise diejenige Gegenfarbe aufgesucht, die mit der zu bestimmenden Farbe gemischt ein reines Grau ergibt. Die im Kreise gegenüberliegende Farbe stellt dann den Grundton der Objektfärbung dar, der sich von ihr noch dadurch unterscheidet, daß letztere noch gewisse Mengen Schwarz und Weiß enthalten kann.

Der Schwarzanteil in der Objektfarbe wird nun dadurch ermittelt, daß die Farbe durch ein Filter von der Färbung des Grundtons mit einer Grauskala von bekanntem Schwarzgehalt verglichen wird. Nach Ausgleich im Gesichtsfelde ergibt sich aus dem verwendeten Grau nach der Beziehung 100 — Helligkeit = S der Anteil Schwarz, der in der Objektfarbe enthalten ist.

Der Weißanteil wird in ähnlicher Weise durch Betrachtung der Objektfarbe unter dem Komplementfilter bestimmt, er entspricht dem Helligkeitsgrade des gleichhell erscheinenden Graus.

Gegen den Vorschlag Ostwalds, die Bestimmung der Konstanten W , S , R unter Benutzung von Farbenfiltern auszuführen, müssen einige Bedenken geäußert werden, denn die Resultate sind nicht frei von Fehlern. Die Verhältnisse lassen sich am besten an einem praktischen Beispiel rechnerisch verfolgen. In nebenstehender Skizze I sind die Absorptionsverhältnisse einer Druckprobe grün-stichigen Ultramarins schematisch dargestellt, wie sie sich bei der Photometrierung als Helligkeitsmittelwerte für zehn aneinanderstoßende enge Strahlenbezirke des sichtbaren Spektrums ergeben haben. Die den Stufen beigefügten Zahlen sind die ermittelten Werte ihrer prozentualen Helligkeit.

Aus dem Diagramm läßt sich ohne weiteres ablesen, daß der Weißgehalt des Farbenton 15% beträgt, der Gehalt an Schwarz 100 — 75 = 25%.

Verfolgen wir nun rechnerisch und experimentell die Wirkung einiger Filter, die mit Sorgfalt für den Einzelfall ausgewählt wurden, so ergibt sich folgendes: Als Filter für Ermittlung des Weißgehalts kommt Orange in Frage, für die Bestimmung des Schwarzanteils grünstichiges Blau.

Die Orangefilter a und b hatten folgende Absorptions- und Öff-nungsverhältnisse:

a	b
Bezirk I 63% Helligkeit	Bezirk I 45% Helligkeit
„ II 82%	„ II 72%
“ III 11%	“ III 38%
“ IV bis X 0 % Helligkeit	“ IV bis X 0 % Helligkeit

Das Blaufilter ergab folgende Zahlen:

Bezirk I u. II	Helligkeit	0%
“ III	”	1%
“ IV	”	2%
“ V	”	6%
“ VI	”	12%
“ VII	”	30%
“ VIII	”	20%
“ IX	”	20%
“ X	”	20%

Bei Verwendung von Filter a reduzieren sich die Helligkeiten des Farbenton in den entsprechenden Bezirken auf

$$\begin{aligned}
 0,63 \cdot 26 &= 16,38 \text{ bei I} \\
 0,82 \cdot 16 &= 13,12 \text{ bei II} \\
 0,11 \cdot 15 &= 1,65 \text{ bei III} \\
 \text{Summe } &31,15
 \end{aligned}$$

¹⁾ Angew. Chem. 29, I, 130, 386 [1916].

gegenüber der Helligkeit des Filters vor Weiß $63 + 82 + 11 = 156$. Der Weißgehalt der Farbe berechnet sich daraus zu

$$\frac{31,15 \cdot 100}{156} = 19,45\%$$

Experimentell wurden in befriedigender Übereinstimmung mit diesem Werte 19% festgestellt, während der wirkliche Weißgehalt der Farbe 15% beträgt. Unterschied demnach 4%.

Bei Benutzung von Filter b ergeben sich in gleicher Weise:

Objektfarbe	Weiß
Bezirk I $0,45 \cdot 26 = 11,70$	Bezirk I 45
" II $0,72 \cdot 16 = 11,52$	" II 72
" III $0,38 \cdot 15 = 5,70$	" III 38
	155
$28,92 \cdot 100$	
155	$= 18,6\% ; \text{ gemessen } 18\%.$

Differenz gegen den tatsächlichen Wert 3%.

Bei der Verwendung eines noch weiter geöffneten Orangefilters machten sich schon Tonänderungen bei einem Grauvergleich bemerkbar, so daß die Sicherheit der Bestimmung darunter litt. Die Bestimmung des Schwarzgehaltes bei Verwendung des Blaufilters gab rechnerisch und experimentell die Werte 68,8 bzw. 69% Helligkeit des Graus, also Schwarzgehalt $100 - 69 = 31\%$. Der wahre Wert ist 25%, Unterschied mithin 6%.

Die Absorptionsspektren der Farbtöne besitzen häufig einen ähnlichen Charakter wie der beschriebene und unterscheiden sich nur durch die geänderte Lage der Absorption im Spektrum und Amplitude. Stets wird man eine Stelle größter und eine geringster Lichtstärke aufsuchen können, und die jeweiligen Spektralfarben dieser Stellen müssen zur Beleuchtung des Objekts und der Grauskala dienen, wie dies auch Ostwald als korrekten Weg angedeutet hat, wenn man die nicht ganz unerheblichen Fehler vermeiden will.

Mit der Bestimmung des Farbtöns und der Konstanten ist nun noch nicht die Frage seiner Nachbildung für die subjektive Betrachtung gelöst. Hierbei verursacht die Beschaffenheit der Prüfungsmittel Schwierigkeiten. Als Unterlage für die subjektive Nachbildung des untersuchten Farbtöns müssen die Grundfärbungen des Farbkreises dienen, die jede für sich bestimmte, im übrigen wechselnde Anteile an Schwarz und Weiß enthalten, wie Ostwald in seiner Farbenfibel angibt. Man muß daher diese Bestandteile in jedem Fall genau kennen, um das Grau nach Art und Menge zu errechnen, das der Grundfarbe optisch beigemischt werden muß, damit der am Objekt festgestellte, zahlenmäßige Zustand auch für die Nachbildung zutrifft.

Ostwald arbeitet also mit zahlreichen Faktoren, von deren Konstanthaltung die Sicherheit der Ergebnisse abhängt. Wer sich mit Papierfarben beschäftigt hat, wird die Schwierigkeiten würdigen, die bei dem Versuche, genau gefärbte Muster herzustellen, auftreten.

Das Aussehen hängt außer von der gleichmäßigen Durchfärbung des Stoffes auch von der Erzielung einer gleichmäßig beschaffenen Papieroberfläche ab.

Zur idealen Nachbildung eines Farbtöns müßte man ein Strahlengemisch schaffen, das nach qualitativer Strahlenzusammensetzung und nach dem quantitativen Schwächungszustand des Lichts jeder einzelnen Wellenlänge genau dem vom Objekt zurückgestrahlten Luftgemisch entspricht.

Apparativ ist eine ideale Lösung kaum denkbar, sie würde auch keinen gangbaren Weg zur bequemen zahlenmäßigen Darstellung der Ergebnisse bieten. Man kann nun aber, ohne das gesunde Prinzip aufzugeben, doch dadurch zu einer befriedigenden Lösung der Aufgabe kommen, daß man unter Ausnutzung gewisser physiologischer Schwächen des Auges sich mit einer vergrößerten Nachbildung der Absorptionsspektren begnügt.

Einen Anhalt dafür, bis zu welcher Grenze man dabei gehen muß, bieten folgende Erwägungen.

Es ist bekannt, daß regelmäßige Unterbrechungen im Spektrum, wie sie z. B. in Form Müllerscher Streifen erzeugt werden können, im gesammelten Licht keine Störung der Weißempfindung mehr hervorrufen, sobald ihre Zahl etwa $n \approx 2^{\frac{1}{2}}$ oder mehr beträgt. Auch nach Phasenwechsel ändert sich der Eindruck nicht. Die Strahlengemische, aus denen die beiden Weißsorten höherer Ordnung bestehen, wirken also physiologisch gleich, obwohl sie qualitativ ver-

schieden beschaffen sind. Der Unterschied besteht darin, daß von jedem Strahlenabschnitt, der zwischen zwei Absorptionen liegt, einmal vorwiegend die mittleren Strahlen, nach Umkehrung der Phase, vorwiegend die Randstrahlen zur Wirkung kommen. Da sich beim Phasenwechsel an der Grundeinteilung nichts ändert, so darf man die Annahme machen, daß auch die Strahlengemische innerhalb zweier Absorptionen bei Phase und Gegenphase physiologisch gleich wirken. Praktisch bedeutet das, daß man für den einzelnen Abschnitt Homogenität der Farbe annehmen darf.

Die von jeder Wellenlängenfarbe im Spektrum ausgelöste Farbenempfindung kommt durch Zusammenwirken von zwei bis drei Nervenreizen der Netzhaut, die uns die Rot-, Grün- und Blauwahrnehmung vermitteln, zustande. Die Anteilnahme der Einzelreize kennzeichnet sich in graphischer Projektion als drei über das Spektrum verlaufende Kurven, die sich teilweise überdecken. Ihre Form und Lage schwankt bei normalen Augen in engen Grenzen, bei ganz oder teilweise Farbenblindheit treten erhebliche Abweichungen auf.

Für jeden der oben erwähnten Spektralabschnitte besteht also ein bestimmtes, durchschnittliches Erregungsverhältnis der drei Faktoren, dessen jeweiliger zahlenmäßiger Bestand sich zwangsläufig nach der persönlichen Empfindung der Individuen einstellt. Benutzt man nun die Spektralabschnitte zur stufenweisen Nachbildung der Absorptionsspektra von Farbtönen, indem man sie mit dem nötigen Schwächungsgrad zur optischen Mischung bringt, so erfaßt man mit jeder Teileinstellung die Erregungskurven mit ihren richtigen, von der persönlichen Empfindung diktierten Durchschnittswerten und schaltet somit den Einfluß der persönlichen Note praktisch ziemlich vollkommen aus. Darin liegt noch ein besonderer Vorteil des Verfahrens gegenüber den nach der Dreifarbensynthese arbeitenden.

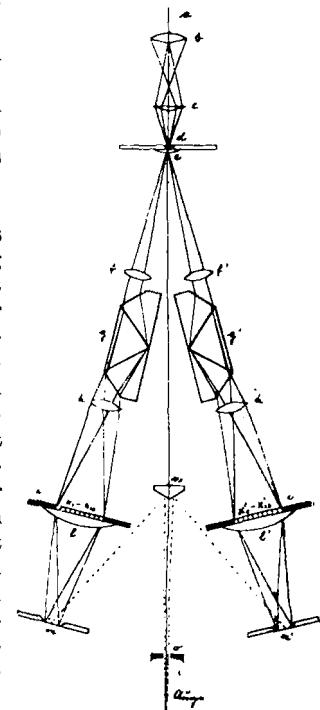
Das geschilderte Prinzip, das Absorptionsspektrum der Objektfarbe nachzubilden, um daraus einen zahlenmäßigen Ausdruck für ihre Festlegung herzuleiten, ist einem Prüfungsapparat³⁾ zugrundegelegt worden.

Der Apparat, dessen Herstellung die Firma Franz Schmidt & Haensch, Berlin, Prinzessinnenstraße Nr. 3, übernommen hat, konnte bisher wegen des Krieges nicht zur Ausführung gebracht werden. An einem mit primitiven Mitteln zusammengestellten Arbeitsmodell konnte aber die Brauchbarkeit der Prüfungsmethode und ihre Überlegenheit vor den anderen Verfahren sicher erkannt werden, darum sei die allgemeine schematische Anordnung der Apparatur mitgeteilt.

In der obenstehenden Skizze II ist a eine fadenförmige Lichtquelle (Nernstfaden). Der Faden wird durch den mit Zwillingsprisma gedeckten Kondensor b und das Zwillingsprisma c über zwei getrennte Lichtwege auf der Spaltöffnung d abgebildet. Nach Durchgang durch den Spalt und die Spaltlinse e gehen die abbildenden Strahlenbündel divergent weiter und werden durch die Kollimatorlinsen f und f' in paralleles Licht verwandelt. Nach farbiger Zerstreuung durch die geradsichtigen dreiteiligen Prismen gg' bilden die Strahlenbündel durch die Linsen hh' den Spalt in ii' als Spektrum ab. Im Innern der Prismen entstehen an passend gewählter Stelle Abbildungen der Kondensorhälften durch parallele Strahlenbündel.

In der Abbildungsebene der Spektren befinden sich vor dem sichtbaren Teil senkrecht zur Seitenausdehnung der Spektren angebrachte je zehn Schieber, k₁ — k₁₀ bzw. k'₁ — k'₁₀.

Durch ihre Bewegung können die einzelnen Wellenlängenbezirke, deren Begrenzung entweder nach Fraunhofer'schen Linien oder



Skizze II.

³⁾ J. Stephan, Sitzungsbericht der Wiener Akademie 50, 484.

3) D. R. P. Nr. 285 410. Kl. 42h, Gruppe 18, von Franz Schmidt & Häensch und Dr. Martin Stange vom 20./1. 1914.

normierten Müller'schen Streifen festgelegt ist, in beliebigem messbaren Verhältnis bis zur völligen Ausschaltung abgedeckt werden. Die Zahl von zehn Schiebern ist aus Zweckmäßigkeitsgründen gewählt worden, weil sie die bequeme Beziehung zur Darstellung der Ergebnisse nach Prozenten schafft.

Nach dem Durchgang durch die Abbildungsebene der Spektren werden die Strahlenbündel von den Linsen l' aufgenommen, die sie zu den Abbildungen mm' der Kondensorhälften vereinigen. Die Stellen mm' werden schließlich von einem Photometerkopf n erfaßt und gelangen durch die Pupillenblende o auf der Netzhaut des Auges zur Abbildung.

Sind sämtliche Schieber auf beiden Seiten geöffnet, und legt man an die Stelle mm' zwei einheitlich gefärbte, weiße Vorlagen, so erhält man bei o ein vollkommen einheitlich gefärbtes Gesichtsfeld mit idealer, nicht sichtbarer Trennungslinie. Jede Ausschaltung in einem Spektrum bewirkt nun eine Farbenänderung der korrespondierenden Hälfte des Gesichtsfeldes, und die Trennung der Flächen wird sichtbar; sie verschwindet wieder, sobald die Ausschaltungen auf beiden Seiten gleich sind.

Legt man bei voller Öffnung der Schieber ein gefärbtes Muster vor m , so erscheint die dazugehörige Hälfte des Gesichtsfeldes natürlich in der Farbe des Musters, weil die natürliche Absorption der Farbe in diesem Falle die Rolle der teilweisen Ausschaltung übernimmt.

Man führt die Farbenbestimmung mit der Apparatur nun in folgender Weise aus. Bei beiderseits geschlossenen Schiebern liegt vor m das zu prüfende farbige Objekt, vor m' eine weiße Platte (Aufstrich von Bariumsulfat oder mit MgO angerauhte Platte). Es wird nun vor der Objektseite ein Schieber, beispielsweise im äußeren Rot, völlig geöffnet. Je nach den Absorptionsverhältnissen der Farbe leuchtet die korrespondierende Hälfte des Gesichtsfeldes in einem mehr oder weniger stark gedämpften Rot auf. Um Gleichheit herzustellen, wird man den gleichartigen Schieber auf der anderen Seite nur um einen gewissen Teilbetrag öffnen können. Auf 100 bezogen, gibt er den Anteil in Prozenten, den das Objekt von dieser Lichtsorte zurückstrahlt. Man öffnet nunmehr den benachbarten Schieber an der Objektseite wieder bis zur vollen Öffnung und stellt den Farbausgleich her. Fährt man in dieser Weise fort, bis alle Schieber vor der Objektseite voll geöffnet sind, so ist die Einstellung der Farbe beendet. Man kann bei den Einstellungen so verfahren, daß man bei jedem Übergang zu einem neuen Schieber die vorangegangenen Einstellungen in ihrer Wirkung bestehen läßt; besser deckt man sie durch horizontal vor dem Spektrum angebrachte Hilfsblenden jedesmal vorher ab, weil die Einstellungen dadurch genauer werden. Von dem jeweiligen Stand der Analyse kann man sich durch Zurückziehen der Hilfsblenden jederzeit leicht überzeugen.

Der zahlenmäßige Ausdruck des Farbtons ist durch die zehn Werte der prozentualen Schieberöffnungen vor der Weißseite gegeben.

Aus den Zahlen lassen sich ohne Schwierigkeiten die Konstanten der untersuchten Färbung entnehmen, sofern sie ein besonderes Interesse bieten sollten. Der höchste Wert der Reihe von 100 abgezogen, ergibt den Gehalt an optischem Schwarz, der niedrigste unmittelbar den Gehalt an Weiß, die Summe aller zehn Zahlen geteilt durch 10 den Wert des mittleren optischen Strahlengehalts bezogen auf Weiß = 100.

Die zehn im allgemeinen zweistelligen Zahlen, die zur Kennzeichnung des Farbentonens erforderlich sind, mögen auf den ersten Blick etwas unbequem erscheinen, für die Praxis wird sich aber eine Vereinfachung erzielen lassen. Wie schon Ostwald darlegte, nimmt die Empfindlichkeit des Auges bei der Unterscheidung von Helligkeitsstufen mit zunehmender Belastung des Sehnerven durch Farbreize ab. Nach bisherigen, noch nicht ganz abgeschlossenen Versuchen erscheint es angängig zu sein, mit etwa 25 Stufen für jeden Spektralabschnitt auszukommen; sie wären mit einer den Forderungen der Praxis entsprechenden Progression zwischen den Grenzwerten 0 und 100 einzurunden.

Man kann dann für jede Stufe einen Buchstaben einsetzen und gelangt bei der Darstellung der Ergebnisse zu eindeutigen, verhältnismäßig einfachen Buchstabenausdrücken, wenn man die stillschweigende Voraussetzung macht, die Einzelbuchstaben stets von der bestimmten Reihenfolge der zugehörigen Spektralabschnitte z. B. vom Rot zum Violett aneinander zu fügen. An der Hand eines feststehenden Schlüssels können die Buchstaben jederzeit leicht in Zahlen umgewertet werden. Nur um die Form der Darstellung zu erläutern, sei ein solcher Ausdruck, wie er sich z. B. für eine blaue Farbe ergeben kann, angeführt

„gedfilelk“

Vor reinen Zahlenreihen haben derartige Buchstabenserien wahrscheinlich auch den Vorzug größerer Sicherheit gegen Übertragungsfehler im telephonischen und telegraphischen Verkehr.

Nach diesen Reihen läßt sich nun mit Hilfe des Apparates der festgelegte Farbton jederzeit leicht für die subjektive Betrachtung in vergleichbarer Form reproduzieren.

Die Einstellungsmöglichkeiten sind infolge der weitgesteckten Berücksichtigung aller einschlägigen Verhältnisse außerordentlich groß, sie berechnen sich bei Annahme von 25 Stufen für den Spektralbezirk auf $95\frac{1}{3}$ Billionen.

Trotz alledem wird es noch Fälle von Absorptionsspektren geben, bei deren Nachbildung, vom Gesichtspunkte qualitativer Wiedergabe aus betrachtet, gewisse in mäßigen Grenzen bleibende Zugeständnisse hinsichtlich der Verwendung artfremder Strahlen gemacht werden müssen. Zu dieser Gruppe gehören die Spektren gewisser Mischungen von Farbstofflösungen, die sich aus einer Reihe mehr oder weniger geschwächter, enger Lichtbänder zusammensetzen. Sie bilden gleichsam den Übergang zu den diskontinuierlichen Linienspektren. Bei der Nachbildung solcher Spektren kann es bisweilen vorkommen, daß eine Lichtbande mit dem schroffen Helligkeitsabfall gerade so in einen zur Einstellung benutzten Spektralbezirk hineinfällt, daß dadurch eine merkliche Farbdifferenzierung entsteht. Man muß dann den entsprechenden, benachbarten Spektralbezirk zur Kompensation heranziehen und erreicht auch in solchen Fällen eine das Auge vollkommen befriedigende Nachbildung. In der skizzierten Ausführung ist der Apparat für die Farbenbestimmung an undurchsichtigen und mit gewissen Einschränkungen auch durchsichtigen Objekten (planparallele Platten, Flüssigkeitsschichten geringer Dicken) verwendbar, auch die Prüfungsmöglichkeit für transparente Gegenstände könnte vorgesehen werden.

Für die Farbenbestimmung an ausgedehnteren, durchsichtigen Objekten (Flüssigkeitssäulen) hat die Firma Schmidt & Haensch eine besondere Anordnung der Apparatur vorgesehen. Es wird dabei unter Wahrung des Grundprinzips mit durchgehendem, polarisiertem Licht und Weiß hoher Ordnung gearbeitet. Die Ausschaltungen im Spektrum können hier nur durch Unterdrückung oder gleichmäßige Schwächung ganzer Strahlenbezirke zwischen zwei Absorptionsstreifen vorgenommen werden. Genauere Einzelheiten können aus der Patentschrift entnommen werden.

Es ist nun noch einiges über die Beleuchtung des Prüfungsobjekts zu sagen. Die zu prüfende Farbenfläche erhält im allgemeinen eine feststehende Lage zu den Strahlenwegen im Apparat, die so gewählt ist, daß Reflexe der Oberfläche die Farbenempfindung nicht stören können.

Um die Tönung mit ihren richtigen Farbenwerten zu sehen, ist es erforderlich, daß die Betrachtung im weißen Licht erfolgt. Der verwendete Nernstfaden liefert nun ein Licht, bei dem rote, gelbe und grüne Strahlen stark vorherrschen, es muß also nach Weiß korrigiert werden. Hierzu bieten sich zwei Möglichkeiten, von denen in angemessener, gegenseitiger Abgrenzung Gebrauch gemacht wird. Die eine besteht darin, daß man von vornherein mit entsprechend gedrosselten Öffnungen vor dem Rot- und Grünbezirk des Spektrums arbeitet, vor dem Blau und Violett hingegen die volle Spalthöhe ausnutzt. Der andere Weg läuft darauf hinaus, die blauen Strahlen im Spektrum durch einen kleinen Kunstgriff anzureichern. Man geht dabei von einem weiter geöffneten Spalt aus und erhält demnach ein stark überlagertes Spektrum, dessen Reinheit nach dem Violett hin im Verhältnis der zunehmenden Dispersion zunimmt. Bringt man nun in der Abbildungsebene des Spektrums eine Blende an, die an geeigneten Stellen spaltförmige Öffnungen hat, deren Breite nach dem Violett zu im Verhältnis der zunehmenden Dispersion wächst, so entspricht das freigegebene Licht bei geschickter Anordnung der Spalte in seiner Zusammensetzung einem kontinuierlichen Spektrum mit einem im Vergleich zum ursprünglichen Zustand angereicherten Gehalt an blauen und violetten Strahlen.

Das auf diese Weise gewonnene weiße Licht genügt den Zwecken.

Nach dem geschilderten Verfahren lassen sich somit zahlenmäßige Werte für Farbtönungen finden, die dadurch, daß sie gleichzeitig den Ausdruck einer abgestuften optischen Analyse darstellen, den wirklichen Verhältnissen in weit höherem Maße gerecht werden, als die aus der Dreifarbensynthese hergeleiteten. Mit der Verwendung rein optischer Mittel bei der Einstellung und Reproduktion des Farbeneindrucks werden gleichzeitig alle Nachteile vermieden, die mit der Benutzung substantieller Farbenskalen bei anderen Verfahren verknüpft sind.

[A. 106.]