

(Aus dem physiologischen Institut zu Freiburg i. B.)

## Bestimmungen über das Mengenverhältnis komplementärer Spektralfarben in Weißmischungen.<sup>1</sup>

Von

Dr. ROSWELL P. ANGIER und Dr. WILHELM TRENDELENBURG,  
aus Cambridge Privatdozent und  
U. S. A. Assistent am Institut.

Qualitative Bestimmungen komplementärer Spektralfarbenpaare, d. h. der Wellenlängen der eine Weißmischung ergebenden Lichter, sind verschiedentlich ausgeführt worden, so von HELMHOLTZ<sup>2</sup>, v. FREY und v. KRIES<sup>3</sup> sowie KÖNIG.<sup>4</sup> Quantitative Feststellungen über das Mengenverhältnis, in welchem die ermittelten komplementären Spektralfarben gemischt werden müssen, um Weiß zu ergeben, sind von den letzterwähnten drei Autoren vorgenommen worden. Leider sind die Resultate KÖNIGS in ihrem Wert dadurch in Frage gestellt, daß die Angabe fehlt, auf welches Spektrum sich die Beobachtungen beziehen; je nachdem ob das Spektrum etwa des Sonnen- oder Gaslichts verwendet wird, müssen die Mengenverhältnisse verschieden ausfallen, da die spektrale Helligkeitsverteilung von der verwendeten Lichtquelle abhängt. Allerdings geht schon aus den Weißwerten (Dämmerungswerten) der KÖNIGSchen Tabelle mit ziemlicher

<sup>1</sup> Die Messungen wurden auf Bitte des Herrn KRARUP, Kopenhagen, ausgeführt, welcher sie zu besonderen Zwecken wünschte.

<sup>2</sup> v. HELMHOLTZ: Physiologische Optik. 2. Aufl. 1896. S. 317.

<sup>3</sup> v. FREY, M. u. v. KRIES, J.: Über die Mischung von Spektralfarben. Arch. f. (An. u.) Physiol. 1881. 336—353.

<sup>4</sup> KÖNIG, A.: Quantitative Bestimmungen komplementärer Spektralfarben. Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. Berlin 1896. 2. 945—949. Ges. Abh. 373—377.

Sicherheit hervor, daß KÖNIG das Spektrum des Gaslichts verwendete. Andererseits ist den älteren Bestimmungen von v. FREY und v. KRIES gegenüber eine Wiederholung nicht unerwünscht, da sich diese mit vervollkommenen instrumentellen Hilfsmitteln ausführen läßt, welche die Mengenverhältnisse mit größerer Genauigkeit zu bestimmen gestatten.

Bei der Ausführung der Untersuchung erfreuten wir uns der mannigfachen Beratung von Herrn Prof. v. KRIES, wofür wir unseren verbindlichsten Dank aussprechen möchten.

Da für die Zusammensetzung von Weißmischungen in erster Linie die Natur des Vergleichsweißs in Betracht kommt, wäre es wünschenswert, ein genau definierbares Weiß zum Vergleich zu nehmen, welches auch von anderen Untersuchern stets in genau derselben Qualität hergestellt werden kann. KÖNIG wählte dafür sein „Normalweiß“, d. h. das von einer Magnesiumoxydfläche reflektierte Sonnenlicht. Doch läßt sich auch dieses Weiß nicht stets in gleicher Qualität herstellen, da das Sonnenlicht in seiner Zusammensetzung mit dem Zustand der Atmosphäre, Dicke der durchsetzten Schicht (also auch Tageszeit) wechseln muß. Da man sich auch nicht bloß auf das Auge verlassen kann, indem man etwa das von einer beliebigen Lichtquelle ausgehende Licht qualitativ so lange ändert, bis der Eindruck völliger Farblosigkeit entsteht, so wird die Wahl des Vergleichsweißs immer einigermaßen konventionell sein.

Weil uns Sonnenlicht schon wegen der Jahreszeit (Tiefstand der Sonne) nicht passend zur Verfügung stand, wählten wir als Vergleichsweißs das von einer Magnesiumoxydfläche reflektierte Licht des gleichmäßig weißbewölkten Mittagshimmels. Wir mußten uns dabei überzeugen, daß auch bei sonst gleichen Bedingungen die Qualität des reflektierten Lichts an verschiedenen Tagen merklich verschieden war. Ist es also nicht möglich, das von uns benutzte Vergleichsweißs physikalisch exakt anzugeben, so ist es doch durch die anzugebenden Wellenlängen der Komplementärfarben und das Mengenverhältnis, in dem diese zu mischen sind, physiologisch genau definiert.

Das von der Magnesiumoxydfläche reflektierte Wolkenlicht konnte schon wegen seiner Inkonstanz nicht direkt als Vergleichsweißs verwendet werden, sondern es wurde zunächst das Licht einer mit Mattglocke versehenen Auerlampe durch Lichtfilter so verändert, daß es dem zu bestimmter Zeit reflektierten Wolken-

licht qualitativ gleich war. Dies wurde mit Hilfe eines LUMMERschen Prismas<sup>1</sup> erreicht, dessen Ring von der das Wolkenlicht reflektierenden Magnesiumoxydfläche, dessen Fleck vom Auerlicht erleuchtet wurde. Die Strahlen des Auerlichts passierten zwei passend ausgesuchte blaue Glasscheiben, sowie eine bestimmte Schicht einer Karminlösung von bestimmter Konzentration, welche zusammen die Qualität des Auerlichts so änderten, daß sie dem durch Episkotister entsprechend verdunkelten Vergleichslicht genau gleich kam.

Die Untersuchungen wurden am großen HELMHOLTZschen Farbenmischapparat des hiesigen Instituts ausgeführt. Als Lichtquelle für das Spektrum diente ein Triplexgasbrenner von SCHMIDT u. HAENSCH; durch die photometrischen Untersuchungen von KÖTTGEN<sup>2</sup> ist die spektrale Helligkeitsverteilung für diese Lichtquelle festgestellt, so daß leicht Umrechnungen für andere Lichtquellen angestellt werden können. Zur Bestimmung der Komplementärfarben wurde der Kollimator sowie seine Doppelspatstellungen sorgfältig geaicht; auf die Einzelheiten einzugehen, erscheint nicht nötig; es sei nur erwähnt, daß es der Einrichtung des Apparates nach unmöglich war, dem langwelligen Anteil in allen Versuchsreihen immer genau gleiche Qualität zu geben, wodurch die Versuche übersichtlicher geworden wären. Bei Verschiebung des Doppelspates, durch welche die Komponenten der Mischung geändert wurden, verschiebt sich nämlich nicht nur der ordinäre Strahl, der den kurzwelligen Mischungsanteil liefert, sondern auch der extraordinäre, wenn auch nur in geringem Betrage. Bei feststehender Kollimatorstellung wurde deshalb bei Aufsuchen der kurzwelligen Komplementärfarbe gleichzeitig der langwellige Anteil geändert. Mehr wie eine Beeinträchtigung der Übersichtlichkeit ist hierin natürlich nicht zu sehen.

Die Versuche wurden so ausgeführt, daß für verschiedene Kollimatorstellungen von jedem Beobachter 3 mal hintereinander die Doppelspatstellung (Änderung der Wellenlängen) und Nicolstellung (Änderung des Mengenverhältnisses) aufgesucht wurden,

---

<sup>1</sup> Bei dem verwendeten Prisma war die Totalreflexion nicht durch Versilberung sondern durch Anätzung erzielt, so daß Qualitätsänderung des Lichtes bei der Reflexion nicht eintrat.

<sup>2</sup> KÖTTGEN, E. Untersuchungen der spektralen Zusammensetzung verschiedener Lichtquellen. WIEDEMANN'S Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. 53. 793—811. 1894.

bei welcher die Mischung dem Vergleichsweiß gleich war, welches mit Hilfe der Königschen Vorrichtung im Gesichtsfeld unmittelbar neben die Mischung verlegt wurde. Aus den genannten drei Werten wurde das Mittel genommen, so daß jede der unten mitzuteilenden Wellenlängen und Mengenverhältnisse das Mittel aus drei Einstellungen darstellt.

Die Feldgröße betrug bei allen Versuchen  $1,5^\circ$ , die Fixation war zentral; beobachtet wurde mit Helladaptation, welche dadurch erzielt wurde, daß man zwischen den Einstellungen an eine Magnesiumoxydfläche blickte, die aus ca. 20 cm Entfernung durch eine Auerlampe beleuchtet war. Beide Beobachter benutzten stets das rechte Auge.

Die Mengenverhältnisse der Komplementärfarben waren aus den Nicolstellungen zu berechnen, die Menge des langwelligen Anteils war proportional dem  $\cos^2$  des Einstellungswinkels, die des kurzwelligen dem  $\sin^2$ . Dann war aber noch das Helligkeitsverhältnis des extraordinären und ordinären Spektrums in Rechnung zu ziehen, welches im betreffenden Kollimator unseres Apparats nicht gleich 1 ist. Vielmehr war das Spektrum des ordinären Strahls im Natriumlicht 1,343mal so hell wie das des extraordinären. Mit diesem Werte waren die  $\sin^2 \alpha$  zu multiplizieren. Für alle Bestimmungen wurde dann ferner die Menge des langwelligen Bestandteils gleich 1 gesetzt.

Die Helligkeit der Gesamtmischung hängt von der „scheinbaren Helligkeit“ der Komponenten ab, wechselt also mit dieser. Die Differenz läßt sich entweder so ausgleichen, daß die Helligkeit des Vergleichsweiß entsprechend abgestuft wird, oder die Weite des Kollimatorspaltes, wodurch beide Komplementärfarben in gleichem Maße in ihrer Helligkeit verändert werden, eine Änderung des Farbentons also nicht erfolgt. Wir benutzten letztere Methode, bei der die reziproken Werte der eingestellten Spaltweiten der Helligkeit der Weißmischung proportional sind.

In folgenden Tabellen I u. II sind die Versuchsergebnisse wiedergegeben. Man findet in Tabelle I für jeden Beobachter je 5 Reihen für zentrale Beobachtung. Die erste Spalte gibt die Stellung des Kollimators, sie soll lediglich zur besseren Orientierung über die in den einzelnen Reihen annähernd zusammengehörigen Werte dienen. In der zweiten Spalte folgt die Wellenlänge des langwelligen, in der dritten die des kurzwelligen Komplementärlichtes, weiter in der vierten das berechnete Mengen-

Tabelle I.

a) ANGIER				b) TRENDLENBURG				
(Kollimator)	Wellenlängen d. Komplementär-farben		Mengen-verhältnis $\lambda_1 : \lambda_2$	Helligkeit der Weiss-mischung	Wellenlängen d. Komplementär-farben		Mengen-verhältnis $\lambda_1 : \lambda_2$	Helligkeit der Weiss-mischung
	lang-wellig $= \lambda_1$	kurz-wellig $= \lambda_2$			lang-wellig $= \lambda_1$	kurz-wellig $= \lambda_2$		
Reihe Nr. I:								
(1)	669,1	489,6	1 : 11,377	12 1	669,3	490,9	1 : 10,576	14,0
(2)	—	—	—	—	—	—	—	—
(3)	641,2	490,5	1 : 29,710	15,8	641,2	490,5	1 : 25,823	18,1
(4)	628,1	487,1	1 : 42,290	15,7	628,5	489,7	1 : 38,490	17,0
(5)	616,0	486,7	1 : 45,070	14,5	616,5	489,5	1 : 40,339	18,2
(6)	604,8	487,5	1 : 38,486	16,0	605,1	489,1	1 : 37,062	19,1
(7)	593,8	484,6	1 : 29,035	17,2	594,1	486,6	1 : 24,386	23,6
(8)	583,1	478,9	1 : 23,156	20,2	583,5	482,5	1 : 18,101	27,0
(9)	—	—	—	—	—	—	—	—
Reihe Nr. II:								
(1)	669,2	489,9	1 : 6,883	15,7	669,4	491,3	1 : 6,967	18,6
(2)	—	—	—	—	—	—	—	—
(3)	640,9	488,5	1 : 27,865	15,9	641,1	488,1	1 : 27,865	16,7
(4)	628,0	487,1	1 : 41,675	17,5	628,2	488,2	1 : 40,837	17,2
(5)	616,3	487,6	1 : 39,778	17,5	615,9	486,2	1 : 45,208	15,8
(6)	604,6	485,7	1 : 39,243	17,1	604,7	486,4	1 : 41,414	17,1
(7)	593,6	483,1	1 : 32,970	17,2	593,7	483,8	1 : 31,262	18,7
(8)	583,1	478,1	1 : 20,435	17,4	583,3	480,4	1 : 21,175	21,3
(9)	—	—	—	—	—	—	—	—
Reihe Nr. III:								
(1)	669,5	491,7	1 : 7,950	17,0	669,4	491,5	1 : 8,795	16,7
(2)	—	—	—	—	—	—	—	—
(3)	640,9	489,0	1 : 28,344	15,1	641,2	490,2	1 : 30,214	15,6
(4)	628,2	488,3	1 : 42,290	15,0	628,5	490,2	1 : 37,984	16,8
(5)	616,1	486,9	1 : 48,141	14,1	616,1	487,4	1 : 50,755	14,9
(6)	604,9	488,3	1 : 37,551	16,9	604,8	486,8	1 : 44,307	17,0
(7)	593,8	484,6	1 : 31,589	17,3	593,9	485,6	1 : 34,215	18,0
(8)	583,3	480,7	1 : 23,263	19,5	583,6	483,4	1 : 21,698	22,4
(9)	573,9	481,6	1 : 14,065	21,8	573,0	474,0	1 : 14,246	21,8
Reihe Nr. IV:								
(1)	669,6	492,5	1 : 7,381	17,4	669,6	492,0	1 : 7,926	17,7
(2)	654,7	489,1	1 : 17,854	16,8	655,0	490,9	1 : 17,514	16,4
(3)	641,5	491,9	1 : 24,381	21,5	641,6	493,3	1 : 23,997	21,9
(4)	628,2	488,6	1 : 41,675	16,2	628,5	489,8	1 : 38,782	16,6
(5)	616,0	486,2	1 : 51,447	14,2	616,0	486,6	1 : 46,829	16,6
(6)	604,7	486,2	1 : 41,675	16,8	604,7	486,5	1 : 39,553	16,2
(7)	594,1	486,7	1 : 29,709	22,0	594,2	488,4	1 : 28,344	21,5
(8)	583,6	483,6	1 : 22,235	21,6	583,6	483,6	1 : 19,967	22,8
(9)	572,5	470,0	1 : 14,549	24,5	572,2	467,3	1 : 8,936	35,1
Reihe Nr. V:								
(1)	669,3	490,8	1 : 10,363	15,2	669,3	490,5	1 : 11,946	16,3
(2)	654,5	488,8	1 : 18,707	14,1	654,8	490,0	1 : 20,138	14,6
(3)	641,3	491,2	1 : 25,303	16,2	641,2	490,1	1 : 28,057	15,3
(4)	628,2	488,4	1 : 38,783	17,0	628,2	488,0	1 : 43,785	14,3
(5)	616,4	489,5	1 : 37,766	15,4	616,5	489,7	1 : 39,012	16,5
(6)	604,8	487,4	1 : 37,766	13,6	604,8	487,6	1 : 39,243	14,4
(7)	593,8	484,5	1 : 34,883	13,5	593,8	484,3	1 : 34,673	14,2
(8)	583,4	481,9	1 : 21,817	17,2	583,7	484,1	1 : 18,880	18,5
(9)	572,3	468,2	1 : 13,502	17,5	572,0	465,9	1 : 12,155	17,3

Tabelle II.  
Mittelwerte der Reihen I—V.

(Kollimator)	a) ANGIER				b) TRENDLENBURG			
	Wellenlängen d. Komplementärfarben		Mengenverhältnis $\lambda_1 : \lambda_2$	Helligkeit der Weis- mischung	Wellenlängen d. Komplementärfarben		Mengenverhältnis $\lambda_1 : \lambda_2$	Helligkeit der Weis- mischung
	lang- wellig $= \lambda_1$	kurz- wellig $= \lambda_2$			lang- wellig $= \lambda_1$	kurz- wellig $= \lambda_2$		
(1)	669,3	490,9	1 : 8,791	15,5	669,4	491,2	1 : 9,242	16,7
(2)	654,6	489,0	1 : 18,281	15,5	654,9	490,5	1 : 18,826	15,5
(3)	641,2	490,2	1 : 27,121	16,9	641,3	490,4	1 : 27,191	17,5
(4)	628,1	487,9	1 : 41,343	16,3	628,4	489,2	1 : 39,976	16,4
(5)	616,2	487,4	1 : 44,440	15,1	616,2	487,9	1 : 44,429	16,4
(6)	604,8	487,0	1 : 38,944	16,1	604,8	487,3	1 : 40,316	16,7
(7)	593,8	484,7	1 : 31,637	17,4	593,9	485,7	1 : 30,576	19,2
(8)	583,3	480,6	1 : 22,181	19,2	583,5	482,8	1 : 19,964	22,4
(9)	572,9	473,3	1 : 14,039	21,3	572,4	469,1	1 : 11,779	24,7

verhältnis des langwelligen Mischungsanteils zum kurzwelligen und schliesslich sind in der fünften Reihe die (mit 1000 multiplizierten) reziproken Werte der Weiten des Kollimatorspaltes enthalten. In den 3 ersten Versuchsreihen wurden noch einige Kollimatorstellungen ausgelassen, wie durch Striche angedeutet ist.

Von den Beobachtungen sind Mittelwerte berechnet worden (Tabelle II), obwohl aus dem angeführten Grunde das langwellige Licht nicht für alle Reihen fest fixiert werden konnte. Jedoch sind die Abweichungen so gering, daß es berechtigt erscheint, Mittelwerte zu ziehen. Vergleicht man die Mittelwerte der Komplementärfarben beider Beobachter, so findet man bei A. im allgemeinen den kurzwelligen Bestandteil von etwas kleinerer Wellenlänge als bei T., was mit kleinen Differenzen der Stärke der Maculafärbung zusammenhängen wird. Weit grössere Unterschiede haben früher v. FREY und v. KRIES gefunden.

Anschliessend an die Reihen mit zentraler Beobachtung haben wir ferner eine Anzahl von Reihen mit parazentraler Beobachtung ausgeführt, um den Einfluß der Maculapigmentierung auszuschliessen. Dem stellten sich aber unter den vorliegenden Versuchsbedingungen Schwierigkeiten entgegen, die besonders von der geringen Lichtstärke der Mischungen herrührten. Durch Vergrößerung der Spaltweiten hätte sich die Lichtstärke erhöhen lassen, doch hätte man dann mit zu unreinem Spektrum arbeiten müssen. Andererseits wurde dem Spektrum des Gaslichts vor



dem anderer künstlicher Lichtquellen von gröfserer Helligkeit der Vorzug gegeben, weil es physikalisch gut bekannt ist. So waren die parazentralen Einstellungen schon bei  $2^\circ$  Abstand und  $1,5^\circ$  Feldgröfse bedeutend erschwert, besonders wurde ein zeitweises Verschwinden und Wiederauftauchen der Farbenempfindung bei nicht völlig richtiger Einstellung als sehr störend empfunden. Zudem scheint zwischen den parazentralen Reihen sich das Vergleichsweiß etwas verändert zu haben, aus nicht näher angebarem Grunde. Wir unterlassen deshalb eine Wiedergabe dieser Reihen; sollte für bestimmte Zwecke ein genauer Vergleich zentraler und parazentraler Komplementärmischungen nötig sein, so würde sich das Spektrum einer helleren Lichtquelle mehr empfehlen.

Wir haben die älteren Beobachtungen von v. FREY und v. KRIES nach erforderlicher Umrechnung auf das Gaslichtspektrum mit unseren Werten verglichen und etwas höhere Mengenwerte für die kurzwelligen Lichter bei diesen Untersuchern gefunden. Doch kann eine derartige Umrechnung niemals ganz zutreffen, da die Qualität des Vergleichslichts und des das Spektrum liefernden Wolkenlichts, welches die genannten Autoren verwendeten, nicht genügend in Rechnung gezogen werden können.

Von gröfserem Wert ist es, die von KÖNIG bestimmten Werte mit den unseren zu vergleichen. KÖNIG<sup>1</sup> verwendete ein  $1\frac{1}{2}^\circ$  großes Feld, das etwa  $3^\circ$  unter dem Fixationspunkt lag. Als Vergleichsweiß diente das Licht einer Auerlampe, das durch Farbenfilter dem Sonnenlicht gleich gemacht war. Die in der folgenden Tabelle III gegebene Berechnung der Mengenverhältnisse zeigt den unseren sehr ähnliche Werte. Der Vergleich bestätigt die Annahme, dafs jedenfalls auch KÖNIG die Mengenverhältnisse für das Spektrum des Triplexgaslichts feststellte.

Schließlich haben wir unsere Werte noch mit den Rot- und Blauwerten verglichen, welche v. KRIES<sup>2</sup> für Dichromaten feststellte. Da die Farbengleichungen, also auch Komplementärmische, des normalen Trichromaten für den Dichromaten beider Typen ebenfalls gültig sind, mufs sich auch rechnerisch diese Beziehung zwischen unseren Weißgleichungen und den „Rot-

<sup>1</sup> Ges. Abh. S. 375.

<sup>2</sup> v. KRIES, J.: Über Farbensysteme. *Diese Zeitschr.* 13, S. 241–324. Darin S. 252. Abh. z. Physiol. d. Gesichtsempf. I, S. 116.

Tabelle III.

Mengenverhältnisse komplementärer Lichter nach Kömig.

Langwelliges Licht	kurzwelliges Licht	Menge des langwelligen Lichts	Menge des kurzwelligen Lichts	Mengenverhältnis des langwelligen zum kurzwelligen Lichte
$\lambda_1$	$\lambda_2$	a	b	a : b
681,8	490,1	0,365	1,871	1 : 5,13
663,7	490,0	0,137	1,985	1 : 14,49
645,9	489,7	0,0750	1,955	1 : 26,01
629,7	489,2	0,0608	2,081	1 : 34,23
614,7	488,3	0,0415	1,753	1 : 42,24
601,2	486,9	0,0692	1,890	1 : 27,31
588,9	484,6	0,0828	2,192	1 : 26,47
578,4	478,2	0,106	1,711	1 : 16,14
570,8	462,5	0,153	2,350	1 : 15,36
568,2	436,8	0,164	4,817	1 : 29,37
567,9	422,2	0,171	18,83	1 : 110,12

(Die Zahlen der vier ersten Vertikalspalten sind der KÖNIGSchen Tabelle entnommen. Es sei bemerkt, daß in der Tabelle der „Gesammelten Abhandlungen“ S. 375 in der 6. Vertikalreihe unten statt 1,883 die Zahl 18,83 stehen muß; s. d. Originalabhandlung.)

werten“ der Protanopen und Deutanopen und ihren „Blauwerten“ feststellen lassen. Im folgenden mögen die Rotwerte der Protanopen als „Grünwerte“ bezeichnet werden, weil sie als eine Funktion der Grünkomponente des protanopischen Farbensystems anzusehen sind und die Darstellung dadurch vereinfacht wird. Die Rotwerte der Deutanopen seien, als Ausdruck der Rotkomponente, einfach als „Rotwerte“ bezeichnet. Berechnet man nun für jede unserer einzelnen Weißgleichungen die Summe der Rotwerte des langwelligen und des kurzwelligen Mischungsanteils unter Berücksichtigung des gefundenen Mengenverhältnisses, so muß diese Summe für jede der Weißmischungen konstant sein; das gleiche muß für die Summe der Grün- und Blauwerte der Fall sein, so daß im ganzen für alle Weißgleichungen die Summen der Rot-, Grün- und Blauwerte des lang- und kurzwelligen Mischungsanteils konstant sein müssen. Denn nur dann kann die Mischung jedesmal von gleichem Farbenton sein. Die Berechnungen wurden durchgeführt an den Mittelwerten des Beobachters T. (s. Tabelle II); die Mengenverhältnisse waren zunächst in  $\sin^2$  und  $\cos^2$  umzurechnen, d. h. so, daß ihre



Summe 1 beträgt, während sie im vorigen lediglich als Verhältniszahlen aufgeführt wurden. Die Rot-, Grün- und Blauwerte wurden aus der v. KRIESSchen Tabelle für die Wellenlängen unserer Weifsmischungen interpoliert. Es bleibt einigermassen willkürlich, welche der dort mitgeteilten Werte, die wegen verschiedener Maculatingierung bei den einzelnen Beobachtern etwas differieren, zugrunde zu legen waren; wir nahmen die Mittelwerte aus allen Reihen. Dann waren die Rot-, Grün- und Blauwerte des langwelligen Anteils unserer Weifsmischungen mit dem  $\cos^2$ , die des kurzwelligen mit dem  $\sin^2$  zu multiplizieren; jede der Summen der Rot-, Grün- oder Blauwerte war ferner mit der bei der Weifsgleichung vorhandenen Spaltweite zu multiplizieren.

Die folgende Tabelle IV enthält im 1. Stab die Nummer der Weifsgleichung; im 2. und 3. die Wellenlängen der Komplementärfarben; im 4. mit A bezeichneten die Spaltweiten; im folgenden Stab B die  $\cos^2$ , in C die  $\sin^2$ ; es folgen in D, E und F die Rot-, Grün- und Blauwerte des langwelligen Anteils  $\lambda_1$  der Weifsmischungen. Im unteren Teil der Tabelle, welcher an das rechte Ende des oberen anschliesst, sind zunächst wieder die Nummern der Weifsmischungen, sodann in G, H und I die Rot-, Grün- und Blauwerte des kurzwelligen Mischungsanteils  $\lambda_2$ , weiter in K, L und M die Summen der Rotwerte, Grünwerte und Blauwerte für  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  unter Berücksichtigung der Mengenverhältnisse und Spaltweiten angegeben; eine Orientierung über die Rechnung gibt die über jedem Stab stehende Gleichung, deren Buchstaben sich auf die Benennungen der vorigen Vertikalreihen beziehen. Man erkennt aus den drei letzten Spalten die geforderte Konstanz der Werte; dass diese keine absolute sein kann, folgt schon aus der Unmöglichkeit, die Verschiedenheit der Maculatingierung genügend zu berücksichtigen.

Wir möchten in dem Nachweis dieser Übereinstimmung nicht nur eine Probe unserer Weifsgleichungen erblicken, sondern auch eine weitere Bestätigung der Ansicht, dass die dichromatischen Systeme als Reduktionsformen des normalen trichromatischen Systems aufgefasst werden müssen. Hierin schliesst sich unsere Berechnung an den Nachweis von v. KRIES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> v. KRIES, J.: Über Farbensysteme, *diese Zeitschrift* 13, S. 281. Abh. etc. I., S. 145.

an, daß die aus normal-trichromatischen Farbgleichungen (zwischen  $\lambda$  670,8 und  $\lambda$  552) berechneten Rotwerte der Protanopen und Deutanopen sich mit denen decken, welche an diesen letzteren Farbensystemen direkt bestimmt wurden.

Tabelle IV.

Vergleich der Mittelwerte des Beobachters T. (s. Tabelle II) mit den Einstellungen von Dichromaten (v. KRIES, Abh. S. 116).

	Komplementär- farben		Spalt- weite	Menge von $\lambda_1$ (= cos <sup>2</sup> )	Menge von $\lambda_2$ (= sin <sup>2</sup> )	Rot- wert für $\lambda_1$	Grün- wert für $\lambda_1$	Blau- wert für $\lambda_1$
	$\lambda_1$	$\lambda_2$						
(1)	669,4	491,2	59,9	0,09764	0,90236	35,0	5,45	—
(2)	654,9	490,5	64,5	0,05044	0,94956	54,93	9,52	—
(3)	641,3	490,4	57,1	0,03547	0,96453	88,48	19,49	—
(4)	628,4	489,2	61,0	0,02440	0,97560	115,66	37,69	—
(5)	616,2	487,9	61,0	0,02201	0,97799	140,1	60,72	—
(6)	604,8	487,3	60,0	0,02420	0,97580	151,57	83,4	—
(7)	593,9	485,7	52,1	0,03167	0,96833	143,52	102,17	—
(8)	583,5	482,8	44,6	0,04770	0,95230	130,0	110,75	—
(9)	572,4	469,1	40,5	0,07825	0,92175	108,44	121,46	—
			A	B	C	D	E	F

	Rot- Grün- Blau- wert für $\lambda_2$			$\Sigma$ Rotwerte = (D·B + G·C)A	$\Sigma$ Grün- werte = (E·B + H·C)A	$\Sigma$ Blau- werte = (J·C)A
	Rot-	Grün-	Blau-			
(1)	2,61	4,89	51,33	303,7	296,2	2774,5
(2)	2,422	4,64	52,46	327,3	315,2	3213,0
(3)	2,395	4,605	52,62	333,2	293,1	2898,0
(4)	2,073	4,178	54,56	295,5	304,7	3246,3
(5)	1,739	3,727	56,630	291,9	303,9	3378,4
(6)	1,676	3,588	57,419	318,2	331,2	3361,7
(7)	1,505	3,218	59,519	312,7	330,9	3002,7
(8)	1,198	2,548	63,325	327,5	343,8	2689,6
(9)	0,305	0,66	67,892	355,1	409,6	2534,5
	G	H	I	K	L	M