

such as these are generally considered undesirable because of the resulting limited resolution. Additional specificity is added by the solvent extraction step and by the color reaction. The chloroform extract of blank plasma in the method described gave only one blue coloring spot which moved with the solvent front. The addition of serotonin to the plasma did not interfere with the tryptamine analysis.

The use of thin layer chromatography for quantitative measurement has several advantages, when applicable. It would permit simplification of the preliminary extraction procedures, and although the sensitivity and accuracy of the method is comparable with that of fluorescence assay methods, it requires much less in the way of instrumentation. Although we have worked with only a few compounds, using only Kieselguhr and a number

of solvents, there is no reason to believe that methods cannot be devised for many compounds.

**Résumé.** Les auteurs décrivent une technique microchromatographique d'adsorption sur couches minces de Kieselguhr, avec l'acétone comme éluant, dans laquelle le déplacement de la part de tryptamine est proportionnel à la quantité de ce corps dans le domaine compris entre 0,025 et 2,0  $\mu\text{g}$ . On peut ainsi déterminer 0,10  $\mu\text{g}$  de tryptamine par ml de plasma. Il est fort probable que cette méthode simple et quantitative pourra également être adaptée à de nombreux autres composés.

J. N. EBLE and R. M. BROOKER

Research Laboratories, Pitman-Moore Company, A Division of The Dow Chemical Company, Indianapolis (Indiana, U.S.A.), June 21, 1962.

### An Experimental Method for Compressing the Sciatic Nerve

It has recently been recognized that certain nerve lesions are due to constriction or moderate compression and that symptoms from such lesions can be relieved by simple surgical measures<sup>1-4</sup>. The very simplicity and success of these operations have prevented study of the changes in the affected nerves. However, in animals the effects of continued constriction or moderate compression have been studied by WEISS<sup>5-6</sup>, and DENNY-BROWN<sup>7</sup>. The methods used by these workers were imperfect, and a fresh study of this problem was therefore carried out.

**Method.** Under ether anaesthesia the right sciatic nerve in a rat was exposed in the thigh and an 8 mm length of No. 2 Sterivac (polythene) tubing slit longitudinally was then slipped over the nerve. The bore of this tubing (0.5 mm) was just small enough to constrict the nerve. This tubing was held in place by two 3 mm pieces of No. 3 Sterivac tubing also slit longitudinally to allow them to be applied over the narrower tubing. The internal diameter of the No. 3 tubing (1 mm) was the same as the external diameter of the No. 2 tubing.

**Results.** In a preliminary study 12 rats were used. In some animals immediately following the operation the foot was a little weak; however, all the rats were using the hind limbs normally when they were sacrificed three to six weeks later. Under urethane anaesthesia both sciatic nerves were exposed, a stimulating electrode was applied to the nerve opposite the ischio-coccygeus muscle (i.e. proximal to the constricting device on the right), and a recording electrode inserted into the muscles of the foot.

The oscillograph record from the foot showed a delay in conduction amounting to 2-4 msec on the constricted as compared with the normal side; in four animals repetitive firing occurred following a single shock.

**Discussion.** SIMPSON<sup>8</sup> regarded the delay in conduction and the repetitive firing as the characteristic electrical features of carpal tunnel compression and related syndromes. These electrical changes were produced in rats by the method of constriction described above and presumably the pathological changes in the sciatic nerve of the rat should be similar to those occurring in constricted or moderately compressed nerves of man. These changes are being studied and will be reported later<sup>9</sup>.

**Zusammenfassung.** Ein leichter Druck wurde auf den Nervus ischiadicus der Ratte ausgeübt. Die electromyographischen Veränderungen sind den Veränderungen in pathologisch umklammerten menschlichen Nerven ähnlich. Die pathologische Anatomie dieser Nerven wird jetzt untersucht.

H. WEISL

Prince of Wales Orthopaedic Hospital and Welsh National School of Medicine, Cardiff (Great Britain), July 18, 1962.

<sup>1</sup> W. R. BRAIN, A. D. WRIGHT, and M. WILKINSON, *Lancet* I 1947, 277.

<sup>2</sup> H. J. SEDDON, *J. Bone Jt. Surg.* 34B, 386 (1952).

<sup>3</sup> D. M. BROOKS, *J. Bone Jt. Surg.* 34B, 391 (1952).

<sup>4</sup> G. V. OSBORNE, *J. Bone Jt. Surg.* 39B, 782 (1957).

<sup>5</sup> P. WEISS, *Anat. Rec.* 86, 491 (1943).

<sup>6</sup> P. WEISS and H. DAVIS, *J. Neurophysiol.* 6, 269 (1943).

<sup>7</sup> D. DENNY-BROWN and C. BRENNER, *Arch. Neurol. Psychiat.* Chicago 52, 1 (1944).

<sup>8</sup> J. A. SIMPSON, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 19, 275 (1956).

<sup>9</sup> **Acknowledgments.** My thanks are due to Mr. G. V. OSBORNE for suggesting this topic. I am grateful to Professor F. W. LANDGREBE and the Welsh National School of Medicine, Dr. K. N. LLOYD and the Governors of Cardiff Royal Infirmary for the use of research facilities. For technical assistance I am indebted to Messrs. R. J. HILLARD, D. JONES, and I. MESSENGER. The Welsh Hospital Board provided the funds for the research.

### STUDIORUM PROGRESSUS

#### Zur Ermittlung der Farben grösster Buntkraft

**Einleitung**<sup>1-3</sup>. Die *Buntkraft* erscheint in einer Reihe von Farben gleichen Bunttons<sup>4</sup> als eine unmittelbar auffallende und wichtige Eigenschaft, so dass auch ungeübte und mit Farbmessungen nicht vertraute Personen ohne Schwierigkeit aus solchen Reihen die nach ihrer Ansicht buntkräftigste Farbe auszusuchen vermögen. Da sich

<sup>1</sup> K.-D. HOFMANN, Diplomarbeit, Freiburg i. Br. (1959). Das dort beschriebene Versuchsmaterial ist inzwischen durch den einen von uns (P.W.) erweitert worden.

<sup>2</sup> K.-D. HOFMANN und K. MIESCHER, *Bestimmung farbkräftigster Optimalfarben in Abhängigkeit vom Umfeld* (Journées internationales de la Couleur, Brüssel 1959).

<sup>3</sup> K. MIESCHER, K.-D. HOFMANN, P. WEISENHORN und M. FRÜH, *Die Farbe* 10, 115 (1961).

<sup>4</sup> Da zwischen bunten und unbunten Farben zu unterscheiden ist und nur die bunten in ihrem Ton differieren, so verwenden wir hier durchwegs den Ausdruck «Buntton» statt «Farbton» und dementsprechend «Buntkraft» statt «Farbkraft».

sowohl bei mehrfacher Wiederholung dieser Auswahl durch dieselbe Person, wie auch bei Auswahl durch mehrere verschiedene Personen, eine Farbe als signifikant im Rahmen eines statistischen Fehlers herausstellt, liegt es nahe, der Buntkraft (bei MUNSELL: Chroma) eine unmittelbare Bedeutung zuzumessen und insbesondere die in verschiedenen Systemen möglichen Funktionen zur Darstellung der Buntkraft daraufhin zu untersuchen, ob sie an den experimentell ermittelten Stellen Maxima aufweisen. Es sei noch erwähnt, dass der Begriff der Buntkraft dem Bereich der Stufenmetrik oder der «höheren Farbenmetrik» im Sinne SCHRÖDINGERS<sup>5</sup> angehört, da eine Entscheidung über grössere oder kleinere Buntkraft nicht aufgrund eines Gleichheitsurteils (gleichaussehend), sondern nur aufgrund eines Stufenurteils (buntkräftiger) gefällt werden kann. Die Buntkraft stellt das in den Bereich der Empfindung übertragene Analogon der mischmetrisch definierten Buntmenge dar, wobei die Buntmenge  $r$  z. B. trichromatisch der Farbwertdifferenz  $A - C$  proportional gesetzt werden kann ( $A$  grösste,  $C$  kleinste der 3 trichromatischen Normfarbwerte  $X, Y, Z$ ).

$$r \sim A - C. \quad (1)$$

Für die Vollfarbe erreicht  $A - C$  ein Maximum. Ersetzt man die lineare Funktion der  $X, Y, Z$  in Gl. (1) durch eine stufenmetrische, entsprechend derjenigen, welche die Helligkeitsskala in empfindungsgemäss gleichabständige Schritte unterteilt, und kennzeichnet man diese Funktion durch ein Dach, so gilt für die Buntkraft (stufenmetrische Buntmenge) analog Gl. (1)

$$\hat{r} \sim \hat{A} - \hat{C}. \quad (2)$$

Je nach den bisher vorgeschlagenen Farbsystemen würde das Dach eine quadratische (MUNSELL-Notations), logarithmische (RICHTER) oder kompliziertere Funktion (MUNSELL-Renotations) bedeuten, deren Diskussion noch nicht abgeschlossen ist. Eine immer bessere Anpassung an die empfindungsgemäss gefundenen Resultate ist zu erwarten.

*Verwendete Apparatur und Versuche.* Zur Ermittlung der Maximalfarben wurde ein spektraler Farbintegrator<sup>6</sup> verwendet, der die Ermischung aller innerhalb des Spektralfarbzuges liegenden Farben der Farbtafel gestattet. Gegenüber den sehr viel begrenzteren Möglichkeiten von Experimenten mit Pigmentplättchen hat der Farbintegrator noch den Vorzug einer kontinuierlichen Veränderbarkeit der Buntkraft, indem hier erstmalig eine sogenannte Rollblende am Ort des Spektrums so angebracht wurde, dass es den Versuchspersonen möglich war, auf einem Schirm («objektive» Beobachtung) eine Optimalfarbreihe von Weiss über die Vollfarbe bis zu Schwarz bei konstanter dominanter Wellenlänge  $\lambda_d$  als Farbfolge zu betrachten.

Ein in Helligkeit und Grösse variierbares Umfeld sorgte dafür, dass die Farben «bezogen»<sup>7,8</sup> waren. Durch eine Pointolitelampe mit glühender Wolframanode wurde angenähert Normlichtart A erzielt: die Farbtemperaturmessung nach CAMPBELL und GARDINER<sup>9</sup> ergab ( $2845 \pm 15$ )°K. Das Infeld hat eine Helligkeit von etwa 75 Lux bei einer Homogenität von  $\pm 2\%$ . Sein Durchmesser beträgt 10 cm, was bei Beobachtung aus 2,5 m Entfernung einem Sehinkel von  $2,2^\circ$  entspricht; das Umfeld misst 45 cm im Durchmesser, entsprechend  $10,4^\circ$ . Als Projektionsfläche dient ein Schirm, dessen aufgespritzter  $\text{BaSO}_4$ -Belag mit Normalweiss gut übereinstimmt<sup>10</sup>. Ein gekrümmter Spalt gleicht die durch die Krümmung der Spektrallinien möglichen Fehler aus. Sein Krümmungsradius berechnet sich aus den Daten der Apparatur zu

$R = 19,64$  cm. Die Breite des Spektrums beträgt 100 mm, seine Höhe 45 mm.

Die oben erwähnte Rollblende ist durch zwei Führungsrollen charakterisiert. Diese erlauben einen aufgespulten Papierfilm plan in vertikaler Richtung am Orte des Spektrums vorbeilaufen zu lassen. Die Bewegung erfolgt durch eine an der Spulrolle angebrachte Handkurbel. Je nach den Gebieten, die aus dem undurchsichtigen Papierfilm herausgeschnitten sind, erfüllt die durchgelassene Strahlung das Infeld homogen mit den entsprechenden Farben. So wird z. B. eine kontinuierliche Blende, von Weiss ausgehend über die grüne Vollfarbe bis zu einem dunklen, nahezu spektralen Grün, durch einen etwa 1,5 m langen vertikalen keilförmigen Ausschnitt in der Papierrolle dargestellt, dessen oberes Ende das gesamte Spektrum durchlässt, während die untere Spitze bei dem entsprechenden spektralen Grün ausläuft. Da die zu den Spektralfarben kompensativen Optimalfarben von Gelb über Rot, Violett, Blau bis Türkis nicht ein in der Mitte gelegenes, sondern zwei an den Enden des Spektrums befindliche Durchlassgebiete über mehr oder weniger grosse Strecken aufweisen (siehe z. B. Tabelle I), so ist hier zur Stützung des Mittelteiles die Zwischenschaltung durchsichtiger Brücken (z. B. aus Celluloid) erforderlich. Diese wirken aber störend, auch lässt die Stabilität solcher Papierfilme immer noch zu wünschen übrig. Daher haben wir später durchsichtige Kunststofffilme aus Zellulose-triacetat verwendet, auf welche die eigentlichen schwarzen Blendenrollen (Scotch tape) aufgeklebt sind.

Will man die Blende einer Optimalfarbfolge für einen mischmetrisch konstanten Buntton konstanter dominanter Wellenlänge  $\lambda_d$  herstellen, so müssen zunächst die der Normlichtart A entsprechenden Grenzwellenlängen für genügend viele Optimalfarben von Weiss bis zu der Spektralfarbe berechnet werden. Diese werden dann mit Hilfe der Dispersionskurve unseres Farbintegrators auf den Blendenfilm so übertragen und ausgeschnitten, dass bei seiner gleichmässigen Bewegung eine ungefähr gleichmässige, auf einer Skala ablesbare Änderung der Buntkraft gemäss Gl. (2) stattfindet. In der Nähe des Maximums von  $\hat{r}$  mussten die Blenden, insbesondere bei sehr flachem Übergang, gestreckt werden.

Die Ermittlung der buntkräftigsten Farben («Maximalfarben») geschieht auf folgende Art: Zu Beginn des Versuches werden Infeld und Umfeld bei voller Blendenöffnung auf Weissgleichheit eingestellt. Nun lässt die Versuchsperson eine der (25 bisher vorhandenen) Optimalfarbblenden durchlaufen und bestimmt durch rasches Hin- und Herbewegen der Blende die Maximalfarbe, darauf die eines anderen Bunttons usw.; dies wurde 3mal wiederholt. Übrigens bildet die Maximalfarbe gleichzeitig den Übergang zwischen Verweisslichung und Verschwärzlichung der Vertreter der Optimalfarbreihe und teilt damit diese in zwei Äste. Die Blendenablesungen wurden jeweils von einer andern Person vorgenommen. Die Auswahl der Versuchspersonen erfolgte derart, dass ein eventueller Einfluss von Alter, Geschlecht, Tages- oder Jahreszeit, Ermüdung oder Erregung auf die Auswahl der Farben durch Mittelung möglichst eliminiert wurde. Vorher wurde anhand des ISHIHARA-Testes die Farbtüchtigkeit

<sup>5</sup> E. SCHRÖDINGER, Ann. Physik (IV) 63, 397, 427, 481 (1920).

<sup>6</sup> M. GASSER, H. BILGER, K.-D. HOFMANN und K. MIESCHER, Exper. 15, 52 (1959).

<sup>7</sup> W. OSTWALD, Physikalische Farbenlehre, 2. Auflage (Verlag Unesma, Leipzig 1923), p. 50.

<sup>8</sup> H. HOENL, Naturwiss. 21, 487 (1954).

<sup>9</sup> CAMPBELL und GARDINER, J. scient. Instr. 2, 177 (1925).

<sup>10</sup> R. ROMETSCH und K. MIESCHER, Exper. 6, 302 (1950).

Tab. I

Optimalfarbzug Gelb (Kompensative Wellenlänge)		$\lambda_d = 587,0 \text{ nm}$ $= 489,3 \text{ nm}$		$\varphi = 20,5^\circ$	
Grenzen der Durchlassgebiete in nm		X	Y	Z	$M_r$
380,0–489,3	489,3–740,0	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000
380,0–478,1	500,5–740,0	0,9959	0,9760	0,8428	0,0569
380,0–467,3	510,5–740,0	0,9889	0,9468	0,6641	0,1207
380,0–453,9	520,5–740,0	0,9748	0,9039	0,4277	0,2033
380,0–445,2	525,5–740,0	0,9638	0,8766	0,2895	0,2505
380,0–434,2	530,5–740,0	0,9500	0,8458	0,1446	0,2992
380,0–423,8	533,5–740,0	0,9404	0,8258	0,0549	0,3290
535,0–740,0		0,9352	0,8154	0,0099	0,3438 <sup>a</sup>
546,9–635,5		0,7597	0,6620	0,0047	0,2805
556,5–620,5		0,5947	0,5182	0,0027	0,2199
564,8–610,5		0,4427	0,3858	0,0018	0,1638
573,9–600,5		0,2650	0,2308	0,0010	0,0981
578,7–595,5		0,1690	0,1472	0,0007	0,0625
583,5–590,5		0,0699	0,0609	0,0003	0,0264
585,6–588,5		0,0297	0,0259	0,0001	0,0109
587,0–587,0		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

<sup>a</sup> VollfarbeTab. II. Experimentell ermittelte Maximalfarben  
bei Lichtart A und Umfeld 10

$\lambda_d$	X	Y	Z	V <sub>Y</sub>	V <sub>A-VC</sub>	V <sub>M<sub>r</sub></sub>
450,0	0,0656	0,0216	0,8318	1,57	7,63	3,37
470,0	0,0607	0,0390	0,9234	2,28	7,32	2,99
478,2	0,0479	0,0588	0,9385	2,84	7,11	2,74
483,1	0,0476	0,0920	0,9274	3,54	7,07	2,63
489,3	0,0461	0,1460	0,8176	4,37	6,64	2,67
494,0	0,0497	0,1980	0,7095	5,00	6,03	2,81
499,5	0,0596	0,2614	0,5657	5,65	5,00	2,93
507,4	0,0218	0,1848	0,2101	4,85	3,55	3,27
515,9	0,0454	0,2642	0,1420	5,68	3,19	3,24
523,0	0,0865	0,3564	0,1260	6,46	3,02	3,16
531,2	0,0612	0,2709	0,0453	5,74	3,26	3,13
543,7	0,1298	0,3774	0,0314	6,62	4,62	3,08
560,3	0,2488	0,4464	0,0114	7,11	6,16	2,93
574,0	0,6346	0,7714	0,0272	8,93	7,12	2,92
577,8	0,6645	0,7331	0,0145	8,75	7,59	3,06
581,8	0,8823	0,8788	0,0254	9,41	7,67	3,06
587,0	0,9353	0,8157	0,0108	9,14	8,74	3,33
598,5	0,7973	0,5358	0,0019	7,68	8,89	3,31
606,9	0,7060	0,4076	0,0015	6,84	8,48	3,22
621,0	0,4704	0,2279	0,0004	5,32	7,23	2,88
640,7	0,4274	0,1994	0,0290	5,02	5,08	2,32
–505,0	0,3815	0,1722	0,0751	4,71	3,44	2,03
–515,9	0,4251	0,1888	0,3204	4,90	2,06	2,12
–560,3	0,4204	0,1801	0,7091	4,80	3,83	2,62
–576,2	0,1444	0,0500	0,7548	2,61	6,24	3,04

keit (normales trichromatisches Farbsehen) festgestellt. Von rund 50 Versuchspersonen wurden 1380 ausgewertete Messungen durchgeführt. Die Anzahl der Versuchspersonen pro Blende schwankte zwischen 6 und 21 und betrug im Mittel 16.

**Darstellung der Ergebnisse.** In Tabelle I ist für Gelb ( $\lambda_d = 587 \text{ nm}$ ) ein Teil der berechneten Grenzwellenlängen der Durchlassgebiete von Weiss bis zu der Spektralfarbe eingetragen. Die X, Y, Z berechnen sich durch Aufsummation und Interpolation der von HARDY<sup>11</sup> angegebenen, zuvor «zentrierten» Spektralwerte. Jede Farbe lässt sich

unmittelbar als Punkt eindeutig in einem mischmetrischen Farbkörper darstellen, dessen Oberfläche durch affine Transformation aus der durch alle möglichen Optimalfarben im Normvalenzsystem gebildeten Fläche bei einer bestimmten Beleuchtung hervorgeht. Hier sei der von LUTHER<sup>12</sup> und NYBERG<sup>13</sup> angegebene verwendet. Dazu wird ein *kartesisches Koordinatensystem*  $M_1, M_2, Y$  eingeführt, das durch folgende affine Transformation aus dem Primärvalenzsystem hervorgeht:

$$M_1 = X - Y, \quad M_2 = 0,4(Y - Z), \quad Y = Y. \quad (3)$$

Jeder Farbpunkt in diesem Raum lässt sich anschaulich darstellen durch seine *Zylinderkoordinaten* ( $M_r, \varphi, Y$ ), wobei

$$M_r = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}. \quad (4)$$

$M_r$  bedeutet das Buntmoment der entsprechenden Farbe (nach LUTHER), das durch die Teilmomente  $M_1$  und  $M_2$  bestimmt wird.  $M_r$  dient als Mass für die Buntmenge, während der Buntton durch  $\varphi = \arctg(M_1/M_2)$  gekennzeichnet ist. Y gibt die Helligkeit (Hellbezugswert) des Farbpunktes an.

Da in der Mischmetrik C, die kleinste trichromatische Koordinate, als ein in den beiden grösseren A und B enthaltener Summand proportional der Unbuntmenge ist, und ganz allgemein Proportionalität zwischen Buntmoment und beliebiger Koordinatendifferenz besteht, so gilt auch

$$M_r = (A - C) M_R, \quad (5)$$

wobei  $M_R$  das bei gleichem Buntton konstante Moment der trichromatischen Reinfarbe darstellt. Damit erweist

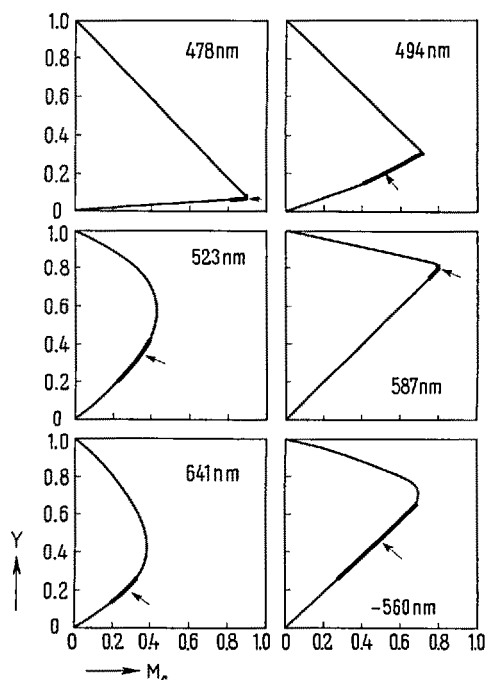


Fig. 1. Buntmoment  $M_r$  als Funktion der Helligkeit Y längs verschiedener Optimalfarbzüge. Experimentell ermittelte Maximalfarben  $K_{max}$  sind innerhalb der dick ausgezogenen Fehlerintervalle durch kleine Pfeile markiert. Die Vollfarbe befindet sich jeweils am Kurvenmaximum.

<sup>11</sup> A. C. HARDY, *Handbook of Colorimetry* (Cambridge, Mass. 1936).

<sup>12</sup> R. LUTHER, *Z. techn. Physik* 8, 540 (1927).

<sup>13</sup> N. D. NYBERG, *Z. Physik* 52, 406 (1928).

sich (A – C) ebenfalls als ein brauchbares Mass für die Buntmenge.

Betrachten wir ebene, die Y-Achse enthaltende Schnitte des Farbkörpers, so ist jede Ebene dieses Büschels durch den Parameter  $\varphi$  (Buntton) eindeutig bestimmt. Die Schnittkurve dieser Ebene mit der Oberfläche des LUTHER-NYBERG-Körpers stellt den Optimalfarbzug des Bunttons  $\varphi$  dar. In Tabelle I sind die Werte von  $M_r$  für Gelb ( $\lambda_d = 587 \text{ nm}$ ) berechnet. Die Buntmomente von 6 Optimalfarbreihen sind in Figur 1 gegenüber Y abgetragen. Die Vollfarbe liegt jeweils auf dem Kurvenmaximum, während die als Resultat unserer Versuche ermittelten buntkräftigsten Farben  $K_{max}$  innerhalb des dick ausgezogenen Fehlerintervalls durch Pfeile gekennzeichnet sind.  $\lambda_d$  und die Koordinaten X, Y, Z der Maximalfarben der untersuchten 25 Optimalfarbzüge sind Tabelle II zu entnehmen.

Es ist verständlich, dass die Maximalfarben im allgemeinen nicht mit den Vollfarben zusammenfallen, da letztere mischmetrisch als Farben grössten Buntmoments definiert sind, während ersteren im LUTHER-NYBERG-Körper zunächst keine auszeichnende Eigenschaft zukommen kann, da ja der valenzmetrische Farbkörper durch keine affine Transformation in einen empfindungsgemässen überführbar ist. Bemerkenswerterweise befinden sich die Maximalfarben stets zwischen Vollfarbe und Spektralfarbe. Da in der Figur 1 Farben konstanter Sättigung (trichromatischer, Vollfarb-, Spektral- oder wie auch immer bezogener Sättigung, wobei das Verhältnis von Weiss- und Buntmenge konstant bleibt) auf Geraden durch den Schwarzpunkt ( $Y = M_r = 0$ ) liegen, so lässt sich dieser Sachverhalt auch so formulieren: *Die Sättigung der Maximalfarben ist grösser oder mindestens gleich derjenigen der Vollfarbe desselben mischmetrischen Bunttons.* Aus der Darstellung der Maximalfarben in der Farbtafel (Figur 2) lässt sich dies besonders gut erkennen<sup>14</sup>.

Man sollte nun erwarten, dass der Maximalfarbe in der Stufenmetrik eine besondere Bedeutung zukommt, da – wie eingangs erwähnt – die Buntkraft ein Begriff der höheren Farbmeterik ist. Um darüber Aufschluss zu erhalten, verwenden wir gemäss Gl. (2) für ABC bzw. XYZ die experimentell ermittelte MUNSSELL-Rotation-Funktion V («Value»)<sup>15–17</sup>, welche die Empfindungsstufen in Abhängigkeit von der Helligkeit (Y) wiedergibt. Sie lautet:

$$Y = 100 R/R_{MGO} \\ = 1,2219 V_Y - 0,2311 V_Y^2 + 0,23951 V_Y^3 - 0,021009 V_Y^4 \\ + 0,0008404 V_Y^5 \quad (6)$$

Gl. (2) geht über in

$$V_r \sim V_A - V_C \quad (7)$$

und das stufenmetrische Buntmoment  $V_{M_r}$  in

$$V_{M_r} = \sqrt{(V_X - V_Y)^2 + 0,16(V_Y - V_Z)^2}, \quad (8)$$

wenn wir  $\hat{A} = V_A$ ,  $\hat{X} = V_X$  usw. setzen. Der Faktor 0,16 bewirkt, dass chromagleiche Farben konstanter Helligkeit annähernd auf Kreisen liegen.

In Tabelle III sind  $V_A - V_C$  und  $V_{M_r}$  gemäss den Gl. (7) und (8) aus den XYZ-Spalten der Tabelle I für dieselbe gelbe Optimalfarbreihe ( $\lambda_d = 587 \text{ nm}$ ) berechnet. Für die gleichen 6 Optimalfarbzüge wie in Figur 1 sind in Figur 3  $V_{M_r}$  und  $V_A - V_C$  als Funktion von  $V_Y$  aufgetragen, wobei wieder die experimentell ermittelten buntkräftigsten Farben als  $K_{max}$  in die Kurven eingetragen und die Fehlerintervalle (mittlerer Fehler einer Einzelmessung) dick ausgezogen sind. Falls die betrachteten Funktionen ein Empfindungsmass der Buntkraft darstellen, so müssten ihre Maxima innerhalb des Fehler-

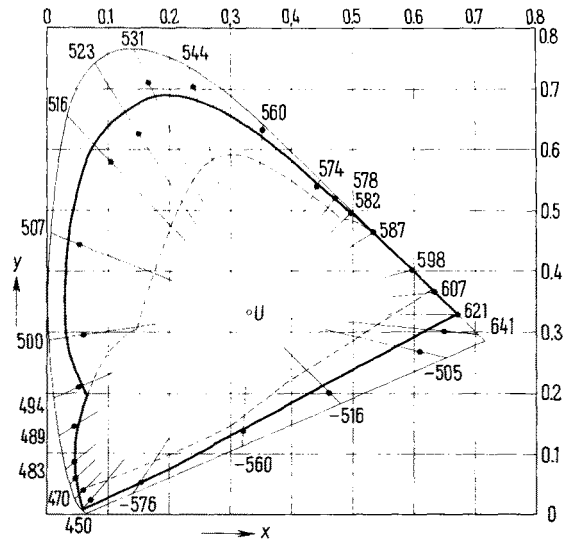


Fig. 2. Farbtabelle auf Lichtart A zentriert, mit den Maximalfarben als Punkte • zwischen Spektralfarbzügen --- und Vollfarbzügen ----. Dick ausgezogene Kurve — entspricht dem berechneten  $(V_{M_r})_{max}$ -Zug.

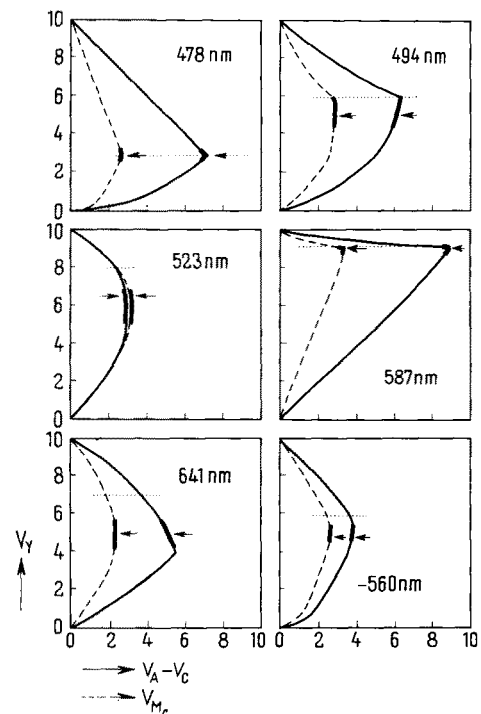


Fig. 3.  $V_{M_r}$  und  $V_A - V_C$  als Funktion von  $V_Y$  längs verschiedener Optimalfarbzüge. Innerhalb der dick ausgezogenen Fehlerintervalle sind die Maximalfarben  $K_{max}$  durch kleine Pfeile markiert. Kurvenschnittpunkte mit ... bezeichnen die Lage der Vollfarbe.

<sup>14</sup> Auf eine Anwendung dieses Ergebnisses zur Bestimmung einer rein «mischmetrischen» Funktion, die ihr Maximum bei den Maximalfarben hat, soll in einer andern Arbeit eingegangen werden.

<sup>15</sup> S. M. NEWHALL, J. opt. Soc. Amer. 30, 617 (1940).

<sup>16</sup> S. M. NEWHALL, D. NICKERSON und D. B. JUDD, J. opt. Soc. Amer. 33, 385 (1943).

<sup>17</sup> D. NICKERSON, Amer. Dyestuff Repr. 39, 541 (1950).

Tab. III

Optimalfarbzug Gelb $\lambda_d = 587,0$ nm Lichtart A					
Y	$V_X = V_A$	$V_Y = V_B$	$V_Z = V_C$	$V_A - V_C$	$V_{M_r}$
1,0000	10,00	10,00	10,00	0,00	0,00
0,9760	9,89	9,81	9,25	0,64	0,24
0,9468	9,86	9,69	8,40	1,46	0,54
0,9039	9,80	9,52	6,98	2,82	1,05
0,8766	9,76	9,40	5,90	3,86	1,44
0,8458	9,70	9,27	4,35	5,35	2,01
0,8258	9,67	9,18	2,74	6,93	2,62
0,8154	9,64	9,13	0,84	8,80	3,36 <sup>a</sup>
0,6620	8,87	8,39	0,41	8,46	3,22
0,5182	8,02	7,57	0,23	7,79	2,97
0,3858	7,08	6,68	0,16	6,92	2,64
0,2308	5,68	5,35	0,09	5,59	2,13
0,1472	4,67	4,39	0,06	4,61	1,75
0,0609	3,10	2,89	0,03	3,07	1,16
0,0259	1,94	1,78	0,01	1,93	0,73
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<sup>a</sup> Vollfarbe, hier zugleich  $(V_{M_r})_{max}$  und  $(V_A - V_C)_{max}$ .

intervalls von  $K_{max}$  zu liegen kommen. Wirklich trifft dies für die 25 experimentell ermittelten Maximalfarben in je 23, entsprechend je 92%, der Fälle zu.

Beim Optimalfarbzug  $\lambda_d = 450$  nm liegen die Kurvenmaxima von beiden Funktionen ( $V_{M_r}$  und  $V_A - V_C$ ) unterhalb des Fehlerintervalls; dies scheint seine Ursache in einer gewissen, nicht berücksichtigten Blauabsorption<sup>18</sup> des spektralen Farbintegrators zu haben.

In den zwei andern Fällen (Optimalfarbzüge  $\lambda_d = 499,5$  und  $641$  nm) verlaufen die Funktionen in der Nähe der Maxima ziemlich flach und zudem haben die Kurvenmaxima von  $V_{M_r}$  und von  $V_A - V_C$  verschiedene  $V_Y$ -Werte. Hier kommt jeweils nur das eine Kurvenmaximum in das Fehlerintervall zu liegen.

In Figur 4 sind in einem rechtwinkligen  $V_{M_r}$ -Diagramm mit  $V_X - V_Y$  und  $0,4(V_Y - V_Z)$  als Koordinaten die gefundenen 25 Messwerte eingetragen, zusammen mit den berechneten  $(V_{M_r})_{max}$ - und Vollfarbzügen, sowie den 6 Optimalfarbzügen der Figur 3. Der Vergleich der  $(V_{M_r})_{max}$ -Kurve mit den experimentell ermittelten Punkten zeigt die gute Wiedergabe der Empfindung bezüglich maximaler Buntkraft durch diese Funktion.

Während der Punkt des Optimalfarbzuges mit dem grössten Abstand vom Ursprung  $(V_{M_r})_{max}$  entspricht, wird der Ort von  $(V_A - V_C)_{max}$  durch den Berührungspunkt der Tangente parallel zur Achse  $X = Z$  in den Sektoren I und IV, parallel zur Achse  $X = Y$  in den Sektoren II und V, parallel zur Achse  $Y = Z$  in den Sektoren III und VI an den Optimalfarbzug bestimmt. Dadurch können bei flachem Verlauf der Optimalfarbzüge in der Nähe des Maximums, wie ihn die beiden Optimalfarbzüge  $\lambda_d = 499,5$  und  $641$  nm auch im  $V_{M_r}$ -Diagramm zeigen<sup>19</sup>, kleinere Differenzen zwischen den Maxima von  $V_{M_r}$  und  $V_A - V_C$  auftreten.

Vergleicht man die Abweichungen der Maximalfarbpunkte vom  $(V_{M_r})_{max}$ -Zug im stufenmetrischen Momentendiagramm mit denen in der Farbtabelle, so erscheinen sie in letzterer besonders im grünen Gebiet grösser, aber gerade hier sind die Unterschiedsempfindlichkeitsellipsen nach MACADAM<sup>20</sup> stark gestreckt.

Da Optimalfarbreihen gleicher dominanter Wellenlänge empfindungsmässig meist Abweichungen im Buntton aufweisen, wäre die Verwendung von Farbreihen mit emp-

findungsmässig gleichem Buntton vorzuziehen. Leider versagt auch das stufenmetrische Buntmomentendiagramm, da sie hier nur ausnahmsweise auf Geraden liegen. Zwar versuchen die MUNSSELL-Renotations eine der Empfindung gemässe Bunttongleichheit zu erreichen, aber gerade bei reineren Farben beruhen sie auf teilweise gewagten Extrapolationen. So sind wir auf die weitere experimentelle

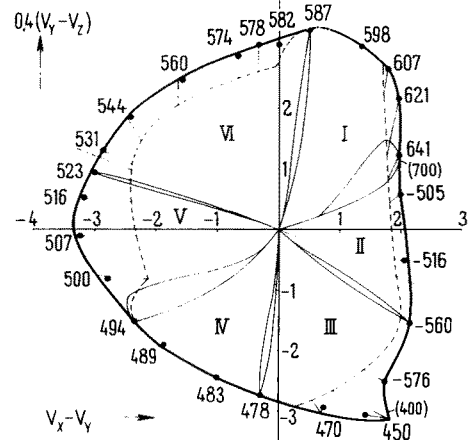


Fig. 4. Rechtwinkliges stufenmetrisches Buntmomentendiagramm mit  $V_X - V_Y$  als Abszisse und  $0,4(V_Y - V_Z)$  als Ordinate. In der Zeichnung bedeuten: ---- den Vollfarbzug, — den berechneten  $(V_{M_r})_{max}$ -Zug, — die gleichen 6 Optimalfarbzüge wie in den Figuren 1 und 3, ····· die Nebenachse  $X = Z$ , · die ermittelten 25 Maximalfarben  $K_{max}$ , I bis VI die Farbsektoren. Kurze Striche von den Maximalfarben zum Vollfarbzug bezeichnen die zugehörige Vollfarbe.

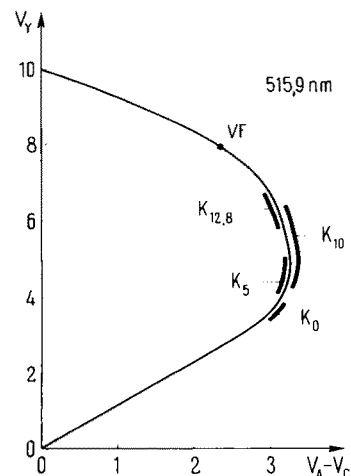


Fig. 5. Experimentell ermittelte Maximalfarben der grünen Optimalfarbreihe ( $\lambda_d = 515,9$  nm) in Abhängigkeit von der Umfeldhelligkeit, im  $V_Y, (V_A - V_C)$ -System dargestellt.  $K_0, K_5, K_{10}, K_{12,8}$  bedeuten Maximalfarben bei den Umfeldhelligkeiten 0%, 20%, 100%, 200% entsprechend den Munsellstufen 0, 5, 10, 12,8. Die zugehörigen Fehlerintervalle sind dick ausgezogen. VF gibt die Lage der Vollfarbe wieder.

<sup>18</sup> Auch reiner Schwefelkohlenstoff des Hohlprismas beginnt am kurzwelligen Ende des Spektrums etwas zu absorbieren.

<sup>19</sup> Es betrifft dies besonders die Sektoren I und IV.

<sup>20</sup> D. L. MACADAM, J. opt. Soc. Amer. 32, 247 (1942).

Ermittlung des Verlaufs der Bunttongleichheit auch im buntkräftigeren Bereich angewiesen, wobei ein spektraler Farbintegrator mit doppeltem Infeldstrahl die gesuchte Lösung bringen könnte.

**Einfluss des Umfeldes.** Für die bisher erwähnten Messungen war das Umfeld gleichhell mit dem Infeld, wenn am Orte des Spektrums keine Blende angebracht war (weisses Infeld). Es wurden dann weitere Messungen bei verschiedenen Umfeldhelligkeiten durchgeführt. Es ist zu erwarten, dass eine Farbe niedrigerer Helligkeit bei dunklerem Umfeld als buntkräftigst ausgewählt wird, z.B. wurden für die grüne Optimalfarbreihe ( $\lambda_d = 515,9$  nm) von 4 Personen die Maximalfarben für die Umfeldhelligkeiten  $U = 0\%$ ,  $20\%$ ,  $100\%$ ,  $200\%$  (entsprechend den MUNSELL-Stufen 0, 5, 10, 12,8) ermittelt und unter Berücksichtigung der Fehlerbreite in Figur 5 im  $V_Y$ , ( $V_A - V_C$ )-System wiedergegeben. Dieser Versuch bekräftigt damit unsere Erwartung. Weitere orientierende Messungen an den übrigen 24 Blenden verliefen im allgemeinen ähnlich, doch liegen nicht unerhebliche Unterschiede im Ausmass des Verschiebungseffektes vor. Rein qualitativ besteht nicht nur ein Einfluss des Umfeldes auf die Helligkeit des Infeldes, sondern auch auf das Farbmerkmal «buntkräftigst».

Prinzipiell lässt sich sagen, dass beide Funktionen  $V_{M_r}$  und  $V_A - V_C$  zur Bestimmung der Eigenschaft «buntkräftigst» brauchbar sind.  $V_{M_r}$  besitzt den Vorteil, ein vom Buntton weitgehend unabhängiges Mass für die Buntkraft zu liefern<sup>21</sup>, während  $V_A - V_C$  durch seine Einfachheit beeindruckt. Die Berechtigung für unsere Verwendung von  $V_A - V_C$  bei der Rollblendenabstufung folgt aus der annähernden Proportionalität zwischen  $V_A - V_C$  und  $V_{M_r}$  bei gleichem mischmetrischem Buntton.

### The Increase of Solute Velocity in the Capillary and Porous Flow of Solutions

It has recently been shown<sup>1-4</sup> that when particles are suspended in a fluid in laminar cylindrical flow, they are displaced laterally, because of the uneven shear to which they are subjected, in the direction of a decreasing velocity gradient, that is, toward the center of the tube. Since the fluid velocity on the axis is twice the mean velocity, this lateral displacement must result in an increase of the mean longitudinal velocity of the solute in relation to the mean velocity of the solvent. The experiments reported here were made in an attempt to investigate this point.

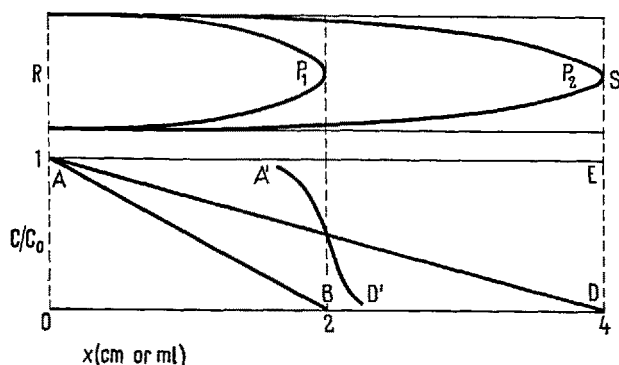


Fig. 1. Laminar flow in a tube.

Die obigen Messungen tragen einen mehr vorläufigen Charakter, da die Unvollkommenheit der Apparatur Anlass zu mehr oder weniger grossen Fehlern gab. Der Ausbau der Versuche unter Verwendung einer Xenonhochdrucklampe mit tageslichtähnlicher Spektralverteilung und einem verbesserten Aufbau des spektralen Farbintegrators ist im Gange<sup>22</sup>.

**Summary.** In experiments with a sufficiently great number of observers, using our spectral colour integrator, it has been shown that one colour containing a maximum of chromatic power (chroma) can be chosen out of a series of optimal colours continuously changeable from white over the fullcolour to black. The determination of such maximal colours, differing in hue, shows their position between fullcolour and spectral colour in the mixing metric colour solid. Their relation to maximal properties of scalemetrically defined chromatic power functions is discussed.

K.-D. HOFMANN<sup>23</sup> und P. WEISENHORN

Laboratorium für Farbenmetrik, Physikalisches Institut der Universität Basel (Schweiz), 22. Juni 1962.

<sup>21</sup> K. MIESCHER, K.-D. HOFMANN, P. WEISENHORN und M. FRÜH, Die Farbe 10, 115 (1961).

<sup>22</sup> Für die Ausführung der Zeichnungen und Berechnungen danken wir Frau M. FRÜH. – Für die Unterstützung dieser Arbeit dankt der eine von uns (K.-D. HOFMANN) der CIBA Aktiengesellschaft, der andere (P. W.) dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Bern.

<sup>23</sup> Gegenwärtige Adresse: Institut für theoretische Physik, Universität Freiburg i.Br. (Deutschland).

**Capillary Flow.** Since a continuous flow of solution in a tube would not lend itself conveniently to such a study, we have alternated solvent and solution and observed the phenomena taking place at the boundaries. The experimental procedure may be described under two headings: (1) Solution follows solvent. The situation may be called a single boundary system. (2) A small sample of solution is introduced between two sections of solvent. This is a two boundary system.

The conditions under which the present work was done may be visualized with the help of Figure 1. R-S is a cylindrical pipe, 4 cm in length and 4 ml in capacity, connected to a reservoir at R and open at S. We assume that convection in the tube is due to laminar flow alone and first disregard the effect of diffusion.

**Case I:** At the start, the reservoir is filled with solution of concentration  $C_0$  and the pipe with water. If 1 ml of solution flows into the pipe, 1 ml of water flows out at S; the solution penetrates into the water in the form of a paraboloid  $P_1$ , and the distribution of the solute along the pipe is given by the straight line AB, its amount by the area AOB. Introduction of a second ml of solution causes the solution to occupy volume  $P_2$ , its amount is now area AOD.

<sup>1</sup> H. TOLLERT, Chem. Ing. Technik 26, 141 (1954); Z. Elektrochem. 59, 917 (1955); 60, 1024 (1956); 61, 1224 (1957).

<sup>2</sup> T. V. STARKEY, Brit. J. appl. Phys. 6, 34 (1955); 7, 52 (1956). – T. V. STARKEY et al., Brit. J. appl. Phys. 12, 545 (1961).

<sup>3</sup> G. SEGRÉ and A. SILBERBERG, Nature 189, 209 (1961).

<sup>4</sup> H. L. GOLDSMITH and S. G. MASON, Nature 190, 1095 (1961).