(Aus dem physiologischen Institut zu Würzburg.)

Ueber intermittirende Netzhautreizung.

Von

Dr. Fr. Schenck.

2. Mittheilung: Ueber die Bestimmung der Helligkeit grauer und farbiger Pigmentpapiere mittels intermittirender Netzhautreizung.

Das Eintreten einer constanten Empfindung, die durch Verschmelzen der Lichtempfindungen bei successiv periodischer Reizung der Netzhaut mit zwei verschiedenen Lichtern entsteht, wird insofern durch Verminderung des Intensitätsunterschiedes beider Lichter begünstigt, als der Wechsel der Reize um so seltener erfolgen muss, um eine constante Empfindung zu geben, je geringer der Unterschied der Intensität beider Reize ist. Z. B. muss eine halb weisse, halb schwarze Scheibe schneller gedreht werden, um gleichmässig grau auszusehen, als eine aus hellerem und dunklerem Grau bestehende; vermindert man den Unterschied der Graus immer mehr, so wird auch die nöthige Umdrehungsgeschwindigkeit immer kleiner, bis sie gleich 0 wird, wenn jener Unterschied auch gleich 0 geworden ist, d. h. wenn die Scheibe auch ohne Drehung schon gleichmässig grau ist.

Es liegt nun nahe, auf diese Thatsache eine photometrische Methode zu gründen. Um die Helligkeit eines Lichtes zu bestimmen, hat man dasjenige Licht von bekannter Helligkeit zu suchen, mit dem jenes bei successiv periodischer Netzhauterregung am leichtesten verschmolzen erscheint.

Der erste, der die intermittirende Netzhauterregung zu photometrischen Zwecken verwendet hat, ist Schafhäutl¹⁾. Auf seine

1) Abhandl. d. Münch. Akademie Bd. VII. 1855. S. 465.

Methode brauche ich hier aber nicht näher einzugehen, weil ihr einige Anschauungen zu Grunde liegen, die heutzutage als irrig gelten dürfen.

In neuerer Zeit hat Rood¹⁾ die intermittirende Netzhautreizung zur Photometrie farbiger Pigmentpapiere benutzt. Er geht dabei aus von der Annahme, dass bei der Verschmelzung eines farbigen Eindrucks mit einem farblosen nur die Intensität des ersteren, nicht seine Qualität von Einfluss ist, eine Annahme, die gestützt erscheint durch Beobachtungen von Rood selbst, wie auch von Nichols²⁾.

Rood bestimmt die Helligkeit der farbigen Papiere dadurch, dass er sie auf die eine Hälfte einer Scheibe bringt, auf die andere Grau von bestimmter Helligkeit und nun untersucht, bei welchem Grau das Flimmern der Scheibe am geringsten ist, wenn man die Scheibe mit gewisser Geschwindigkeit dreht.

Auf den Gedanken, die Rood'sche Methode in der im Folgenden zu beschreibenden Weise zu verändern, brachte mich eine Unterredung mit Herrn Collegen Dr. Marbe über diese Sache. Derselbe beabsichtigte ebenfalls die Rood'sche Methode zu verbessern und zwar in folgender Art. Er wollte die Intermittenzzahl, d. i. die Zahl, die angiebt, wie oft der Wechsel beider Reize in einer Sekunde statthaben muss, damit Verschmelzung eintritt, für Schwarz einerseits und eine Serie von grauen Papieren anderseits bestimmen, ausserdem die Helligkeit der grauen Papiere noch nach einer anderen photometrischen Methode feststellen. So hätte er für jeden Helligkeitswerth eine zugehörige Intermittenzzahl erhalten. Um die Helligkeit eines farbigen Papiers zu bestimmen, würde nun das farbige Papier mit Schwarz auf der Scheibe zusammengebracht worden sein, die Intermittenzzahl wäre bestimmt worden, und aus der Tabelle hätte man den für diese Intermittenzzahl geltenden Helligkeitswerth entnehmen können.

Es muss zugegeben werden, dass gegen die dieser Methode zu Grunde liegenden Ueberlegungen nichts eingewendet werden kann, aber der praktischen Verwerthung der Methode würden sich doch erhebliche Schwierigkeiten entgegenstellen. Erstens hat die Tabelle nur individuellen Werth, weil die Intermittenzzahlen bei verschiedenen Individuen unter sonst gleichen Bedingungen sehr ver-

1) Americ. Journ. of Science Bd. 46. S. 173.

2) Americ. Journ. of science Bd. 28. S. 243.

schieden sein können; es müsste also von jedem Beobachter eine für ihn gültige Tabelle besonders hergestellt werden. Zweitens ist es erforderlich, dass die photometrische Bestimmung der Farben immer bei derselben Beleuchtung vorgenommen wird, wie die Bestimmung der grauen Papiere, die die Tabellenwerthe lieferte. Und drittens müsste vorher noch durch eine langwierige Untersuchung festgestellt werden, dass bei ein und demselben Individuum nicht Schwankungen der Grösse der Intermittenzzahl für ein und dasselbe Grau vorkommen.

Meine Abänderung der Rood'schen Methode beruht auf folgender Ueberlegung. Wenn man die eine Hälfte einer Scheibe bedeckt mit dem zu untersuchenden Papier, auf der anderen dagegen vom Rande nach der Mitte zu einen continuirlichen Uebergang von Schwarz zu Weiss durch die verschiedenen Grau darstellt und die Scheibe dreht, so muss sich bei einer gewissen Umdrehungsgeschwindigkeit eine Zone zeigen, in der die Verschmelzung schon eingetreten ist, während zu beiden Seiten dieser Zone noch Flimmern zu sehen ist. Die Zone, in der die Verschmelzung aufgetreten ist, enthält auf der einen Hälfte der Scheibe das Grau, das dem zu untersuchenden Papier hinsichtlich der Intensität gleich ist.

Die Herstellung eines gleichmässigen Uebergangs von Schwarz durch Grau zu Weiss auf der einen Hälfte der Scheibe würde wohl kaum gelingen, wenn man das Grau selbst aufzeichnen wollte. Diese Schwierigkeit war aber leicht zu umgehen dadurch, dass man das Grau herstellte durch Mischung von schwarzen und weissen Sektoren. Es geschah das so: Die Scheibe, aus weissem Barytpapier hergestellt, hatte 8 cm Radius. Auf ihr war, concentrisch zur Peripherie, mit 2 cm Radius ein Kreis gezogen, der die innere (weisse Grenze) des in Betracht kommenden Raumes darstellen sollte, während die Peripherie der Scheibe zur schwarzen Grenze diente. Es wurde nun die eine Hälfte der Scheibe in 6 gleich grosse Sektoren eingetheilt. In jedem Sector wurde der annähernd viereckige Raum zwischen der Peripherie und dem inneren Kreise durch eine Curve, die von einer Ecke zur diagonal gegenüberliegenden lief, in zwei Feldern getheilt. Das durch die Peripherie aussen begrenzte Feld wurde mit schwarzer Tusche schwarz gemalt; das an den inneren Kreis grenzende blieb weiss. Die Trennungscurve zwischen den Feldern war so construirt, dass vom inneren Kreise aus zur Peripherie gerechnet die Breite des

schwarzen Feldes proportional dem Abstand vom inneren Kreise zunahm, die des weissen abnahm. Denkt man sich eine aus solchen Sektoren hergestellte ganze Scheibe gedreht, so erhält man durch Mischung des Schwarz und Weiss alle Uebergänge von Schwarz durch Grau zu Weiss und zwar ist in jedem Grau der Gehalt an Schwarz proportional dem Abstand des Grau vom inneren Kreis.

Im Folgenden soll das Grau immer angegeben werden durch die Breite des schwarzen Sectors, wenn man es sich herstellt denkt durch Mischung von einem schwarzen und einem weissen Sector auf einer Scheibe. Um bei unseren Bestimmungen die Zahl für das Schwarz in Graden zu erhalten, muss nur der in mm gemessene Abstand der bestimmten Zone vom weissen Rande mit 6 multipliziert werden.

Ich stellte mir diese Scheibe zur Untersuchung der Helligkeit von Pigmentpapieren her in der Erwartung, dass bei der in Betracht kommenden Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe zunächst die von den schwarzen und weissen Feldern herrührende intermittirende Netzhauterregung zu einer constanten Empfindung führen würde und dass die so entstandene Grauempfindung nun erst durch eine Verschmelzung höherer Ordnung mit der von dem zu untersuchenden Papier herrührenden Empfindung weiter zur Verschmelzung gebracht würde. Es würde demnach für unsere Zwecke die aus den schwarzen und weissen Feldern bestehende Hälfte der Scheibe als grau angesehen werden dürfen. In wie weit diese Erwartung eingetroffen ist, werden die nachher mitzutheilenden Versuche lehren.

Vorerst wird es nöthig sein, die Vorrichtung zu beschreiben, die zur genauen Bestimmung der nicht flimmernden Zone auf der Scheibe diente. Wenn man die Scheibe frei beobachtet, so ist es schwer, genau die Zone anzugeben, in der das Flimmern nicht mehr zu sehen ist, weil die umgebenden flimmernden Stellen störend auf die Beobachtung wirken. Es wurde deshalb beobachtet durch ein kleines quadratisches Loch in einem Carton, der mittels eines Schlittens vor der Scheibe in horizontaler Richtung und parallel zur Ebene der Scheibe zu verschieben war. Der Carton war 25 cm entfernt von der Scheibe; er darf die Scheibe nicht beschatten. Bei der Verschiebung des Schlittens war es zur genauen Beobachtung nöthig, dass das Auge des Beobachters, das durch das Loch hindurch die Scheibe beobachtete, immer in gleicher Richtung und

um den gleichen Betrag bewegt wurde, wie das Loch. Das geschah mit Hilfe eines Visirs: das beobachtende Auge hatte über eine Stecknadelspitze, die auch am Schlitten befestigt war, die Mitte des unteren Randes des Loches, die dazu mit einer Einkerbung versehen war, zu visiren. Die Stecknadel war 10,5 cm vom Loch entfernt, das beobachtende Auge 30. Die Stellung des Schlittens wurde abgelesen auf einem Maassstab an der Schlittenbahn. Auge, Nadelspitze und Loch befanden sich in gleicher Höhe mit der Achse der Scheibe.

Der Versuch gestaltet sich nun so: Zunächst wurde der Schlittenstand bestimmt, bei dem das Auge bei Visiren in der angegebenen Art den peripheren Rand der Scheibe oder den inneren Kreis gerade in der Mitte des Loches sah. Dann wurde der Schlitten so gestellt, dass man durch das Loch gerade die nicht flimmernde Zone sah. Die Schlittenverschiebung gab nun direct den Abstand der nicht flimmernden Zone von dem schwarzen oder weissen Rande an.

Die Scheibe wurde mit Hilfe eines regulirbaren Electromotors gedreht. Die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe wurde so bemessen, dass die nichtflimmernde Zone möglichst gerade so breit war, wie die Stelle der Scheibe, die man durch das Loch sehen konnte. Ob man richtig eingestellt hatte, liess sich daran erkennen, dass man das Flimmern wieder sah, sowie man den Kopf nur um ein Geringes rechts oder links bewegte.

Die ersten orientirenden Vorversuche hatten ergeben, dass ganz unseren Erwartungen entsprechend thatsächlich eine nicht flimmernde Zone aufgefunden werden konnte. Zugleich wurde aber auch festgestellt, dass die vorhin beschriebene Anordnung zur Verschmelzung höherer Ordnung nöthig ist, um eine deutlich abgrenzbare nicht flimmernde Zone zu erhalten. Die Zone ergab sich nämlich nicht, als die eine Hälfte der Scheibe statt in 6 Sektoren mit je einem schwarzen und weissen Felde nur eingetheilt war in zwei Felder, ein schwarzes und ein weisses, deren Anordnung so war, dass auch hier durch Verschmelzung der Uebergang von Schwarz durch Grau zu Weiss entstehen konnte; hier kommt offenbar bei der in Betracht kommenden Umdrehungsgeschwindigkeit die primäre Verschmelzung des einen weissen mit dem einen schwarzen Felde noch nicht zu stande, die bei Verwendung von vielen Feldern zu stande kommen kann.

Ehe zur Bestimmung der farbigen Pigmente geschritten werden konnte, war es nothwendig zu prüfen, ob die Methode für graues Papier von bekannter Helligkeit richtige Werthe lieferte. Zunächst wurden orientirende Versuche mit einer Serie von 7 grauen Papieren von verschiedener Helligkeit geprüft. Als Beobachter diente ausser mir Herr cand. med. Düsseldorf. Von jedem Papier wurden zwei Versuchsserien zu 6 einzelnen Bestimmungen nach der Intermittenzmethode gemacht, ausserdem 2 Serien zu 6 Einzelbestimmungen, in denen das Grau durch directe Vergleichung mit einem aus zu variirenden Mengen Schwarz und Weiss gemischten Grau bestimmt wurde; in letzterem Falle wurde jedesmal in 3 Versuchen bei der Herstellung des aus Schwarz und Weiss gemischten dem untersuchten Papier gleich zu machenden Grau von einem zu dunklen Grau, in den anderen 3 von einem zu hellen Grau ausgegangen und durch allmählichen Zusatz von mehr Weiss im ersten, von mehr Schwarz im zweiten Falle das richtige Grau gesucht. Von jeder Serie wurde der Mittelwerth berechnet.

Das bei diesen Beobachtungen verwendete Loch war 5 mm² gross in einem schwarzen Carton.

Die Resultate dieser Versuche waren nicht befriedigend, aber wir wurden durch diese orientirenden Vorversuche dazu geführt, die Methode in einigen Punkten abzuändern und dadurch später bessere Resultate zu erhalten. Deshalb will ich über die Resultate der Vorversuche hier einige nähere Angaben machen.

Die nach der Intermittenzmethode erhaltenen Werthe für das Schwarz im Grau waren bei mir immer, bei Herrn Düsseldorf in der Mehrzahl der Fälle kleiner, als die durch die Methode der directen Vergleichung erhaltenen. Die Grösse des Fehlers schwankt bei mir zwischen 2,7 und 31,5° Schwarz zu wenig, bei Herrn Düsseldorf zwischen 5,0° zu viel und 24,0° zu wenig. Der Fehler ist im Allgemeinen grösser bei den helleren Graus, als bei den dunkleren. So liegt er bei mir für die Graus mit weniger als 200° Schwarz zwischen 6,2° und 31,5° zu wenig, für die Graus mit mehr als 200° Schwarz zwischen 2,7° und 13,1° zu wenig, bei Herrn Düsseldorf für die Graus mit weniger als 200° Schwarz zwischen 0,2 und 24,0° zu wenig, für die Graus mit mehr als 200° Schwarz zwischen 5,0° zu viel und 20,1° zu wenig.

Der grösste beobachtete Unterschied zwischen dem in einer Serie von 6 zusammengehörigen Einzelbestimmungen beobachteten

grössten und kleinsten Werthe betrug bei der Intermittenzmethode für mich: $21,0^\circ$ Schwarz, für Herrn D ü s s e l: $30,0^\circ$, bei der Methode der directen Vergleichung: $23,0^\circ$ und $18,0^\circ$. Aus diesen Zahlen ist zu schliessen, dass die mit der Intermittenzmethode in einer Serie erhaltenen zusammengehörigen Zahlen nicht viel weniger gut übereinstimmen, als die durch die directe Vergleichung erhaltenen Werthe. Mithin kann die beobachtete Abweichung der Resultate der Intermittenzmethode von denen der directen Methode nicht etwa bedingt sein dadurch, dass erstere ganz unregelmässige Werthe liefert.

Was die Ursache dieser Abweichung anlangt, so war zunächst in Erwägung zu ziehen, ob die Methode der directen Vergleichung vielleicht deshalb andere Werthe lieferte, weil die untersuchten grauen Papiere alle etwas anders gefärbt erschienen, als das aus Weiss und Schwarz gemischte Grau. Die Verschiedenheit der Färbung erschwert nämlich sehr die genaue Bestimmung der grauen Papiere. Um den Einfluss verschiedener Färbung auszuschliessen, wurde nun nach der Intermittenzmethode ein Grau bestimmt, das erst aus einem bestimmten Quantum Weiss und Schwarz gemischt wurde. Das geschah so: Die eine Hälfte der Intermittenzscheibe, die in den bisherigen Versuchen von dem zu untersuchenden grauen Papier bedeckt war, wurde erfüllt von 12 abwechselnd weissen und schwarzen Sektoren. Das Verhältniss der Breite der weissen zu der der schwarzen Sektoren war in einem Falle 2:1 (entsprechend 120° Schwarz), in anderen 1:2 (entsprechend 240° Schwarz). Es lag dieser Anordnung die Idee zu Grunde, dass erst in jeder der beiden Hälften der Scheibe die Verschmelzung zu Grau einträte und dass danach erst die Graus beider Hälften zu einer Verschmelzung höherer Ordnung gebracht würden.

Die Bestimmung, die ich machte, ergab:

im 1. Falle: statt 120° Schwarz: $104,3^\circ$, also: $15,7^\circ$ zu wenig,

„ 2. „ „ 240° „ 225° , „ $15,0^\circ$ „ „

also eine Abweichung in gleichem Sinne und von derselben Grössenordnung, wie die früheren Graubestimmungen. Es muss demnach die Abweichung durch die Intermittenzmethode selbst bedingt sein.

Die Ursache des Fehlers scheint mir in Folgendem zu liegen: Wenn man bei der Intermittenzmethode ausgehend von einer Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe, bei der in allen Theilen

noch Flimmern zu sehen ist, die Geschwindigkeit allmählich zunehmen lässt, so muss man zu einer gewissen Geschwindigkeit kommen, bei der die Verschmelzung gerade in einer Linie eintritt, in einem Kreis, der durch das Grau gezogen ist, das dem zu untersuchenden Grau in der Helligkeit gleich ist. Es ist aber unmöglich schon in diesem Stadium die Einstellung des Schlittens vorzunehmen, weil der Kreis ja nur die Grenze von zwei noch flimmernden Theilen darstellt. Also muss die Geschwindigkeit so bemessen sein, dass die Verschmelzung schon in einem breiteren Theile eintritt. Nun könnte es der Fall sein, dass die Mitte der nicht flimmernden Zone, auf die man einstellt, nicht zusammenfällt mit jenem Kreis, auf den man einstellen will, sondern gegen den weissen (inneren) Rand hin verschoben ist, und zwar um so mehr, je breiter die Zone ist. Das ist aus folgendem Grunde nicht nur möglich, sondern sogar zweifellos zu erwarten: Nach den Untersuchungen Marbe's¹⁾ wird die Verschmelzung begünstigt durch Vergrösserung der mittleren Intensität beider Reize; das ist eine Thatsache, die nach dem psychophysischen Grundgesetze leicht erklärlich erscheint. Die mittlere Intensität nimmt aber auf unserer Scheibe nach dem weissen (inneren) Rande hin zu, nach dem äusseren (schwarzen) Rande hin ab. Folglich kann bei einer gewissen Umdrehungsgeschwindigkeit an einer Stelle innen von dem gesuchten Kreise schon Verschmelzung zu sehen sein, während an einer Stelle, die gerade so weit entfernt nach aussen liegt, noch Flimmern zu sehen ist. Die Mitte der flimmernden Zone liegt dann etwas nach innen von dem gesuchten Kreise und zwar um so mehr, je breiter die Zone ist.

Auch die Thatsache, dass der Fehler bei hellem Grau grösser ist, als bei dunklem, scheint danach verständlich. Bei den dunklen Graus lässt sich eine schmale Zone viel besser abgegrenzt gegen die umgebenden flimmernden Stellen erkennen, als bei den hellen, weil bei den dunklen Graus noch geringere Erregungsschwankungen wahrgenommen werden, als bei den hellen. Es geht also bei den helleren Graus die nicht flimmernde Zone allmählicher in die flimmernden Theile über, als bei den dunklen, und dieser allmählichere Uebergang dürfte für unsere Bestimmungen den gleichen Effect haben, wie eine Verbreiterung der nicht flimmernden Zone.

1) Wundt's Philosoph. Studien. XII. S. 280.

Dass bei der Untersuchung der hellen Graus der Uebergang der nicht flimmernden Zone in die flimmernden Theile ein sehr allmählicher ist, bereitet der Beobachtung grosse Schwierigkeit. Bei der Bestimmung eines Papiers, das nach der Methode der directen Vergleichung rund $54,0^{\circ}$ Schwarz enthielt, erklärte sich z. B. Herr Düssel ausser Stande, die Beobachtung sicher vornehmen zu können, und auch mir fiel sie ungemein schwer. Wir haben uns hier aber helfen können, dadurch, dass wir statt eines Lochs in schwarzem Carton ein solches in weissem Carton verwendeten. Hier erschien das Flimmern deutlicher aus Gründen, die ich gelegentlich an anderer Stelle erörtert habe¹⁾, und es war die Bestimmung wieder möglich. Es fragt sich nun allerdings, ob es für die Resultate der Bestimmung einerlei ist, ob man einen schwarzen oder weissen Carton verwendet. Ich habe deshalb bei einem Grau von mittlerer Helligkeit 2 Bestimmungen, eine mit schwarzem, eine mit weissem Carton gemacht. Es ergab sich:

beim schwarzen Carton: beim weissen:

168,5^o Schwarz, 169,5^o,

also fast gar kein Unterschied. Da sich übrigens zeigte, dass auch die Bestimmung der dunklen Graus mit weissem Carton ohne Schwierigkeit zu machen war, so wurde von nun ab nur noch der weisse Carton verwendet.

Wenn meine vorhin ausgesprochene Vermuthung über die Ursache des Fehlers der Intermittenzmethode richtig ist, dann musste der Fehler kleiner werden, wenn wir unter Verwendung eines viel kleineren Lochs die nicht flimmernde Zone schmaler machten. Deshalb nahm ich weitere Bestimmungen vor mit einem 1,5 mm² grossen Loch. Das Grau, das zur Bestimmung kam, war in der S. 613 beschriebenen Art durch Mischung von Schwarz und Weiss hergestellt.

Es ergab sich so:

1. statt 60^o Schwarz: 51,9, d. i. 8,1^o zu wenig (Mittel aus 6 Serien zu 6 Einzelversuchen);
2. statt 120^o Schwarz: 114,9, d. i. 5,1^o zu wenig (Mittel aus 8 Serien zu 6 Einzelversuchen);
3. statt 180^o Schwarz: 173,2, d. i. 6,8^o zu wenig (Mittel aus 5 Serien zu 6 Einzelversuchen);

1) Dies Archiv Bd. 64, S. 168 u. 169.

4. statt 240° Schwarz: 239,8, d. i. $0,2^{\circ}$ zu wenig (Mittel aus 8 Serien zu 6 Einzelversuchen);
5. statt 300° Schwarz: 301,8, d. i. $1,8^{\circ}$ zu viel (Mittel aus 5 Serien zu 6 Einzelversuchen).

Ferner wurden erhalten:

1. für 60° Schwarz: grösster Werth: $60,0^{\circ}$, kleinster Werth: $46,2$, also grösste Differenz: $13,8^{\circ}$;
2. für 120° Schwarz: grösster Werth: $123,0^{\circ}$, kleinster Werth: $106,2$, also grösste Differenz: $16,8^{\circ}$;
3. für 180° Schwarz: grösster Werth: $178,2^{\circ}$, kleinster Werth: $166,2$, also grösste Differenz: $12,0^{\circ}$;
4. für 240° Schwarz: grösster Werth: $249,0^{\circ}$, kleinster Werth: $228,0$, also grösste Differenz: $21,0^{\circ}$;
5. für 300° Schwarz: grösster Werth: $309,0^{\circ}$, kleinster Werth: $291,0$, also grösste Differenz: $18,0^{\circ}$.

Es zeigt sich also auch hier noch der früher discutirte Fehler, aber nur noch in sehr geringem Maasse und nur bei solchen Graus, die 180° und weniger Schwarz enthalten. Für die dunkleren Graus erhalten wir die richtigen Werthe. Unter Berücksichtigung der Thatsache, dass ich bei den hellen Papieren einen Fehler bis vielleicht $10,0^{\circ}$ zu wenig schwarz machen kann, kann ich also die Methode recht wohl zur Bestimmung der Helligkeit farbiger Pigmentpapiere verwenden, zumal da die Differenz des grössten und kleinsten für jedes Grau erhaltenen Werthes nicht so gross ist, dass die Methode deshalb als unzulänglich angesehen werden darf.

Ein zweiter Beobachter, Herr Dr. Pabst, der auch bei den Farbenbestimmungen als Beobachter diente, erhielt für die Graubestimmungen nach dieser Anordnung folgende Werthe:

1. statt 60° Schwarz: $55,3^{\circ}$, d. i. $4,7^{\circ}$ zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes: $10,0^{\circ}$;
 2. statt 120° Schwarz: $117,6^{\circ}$, d. i. $2,4^{\circ}$ zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes: $8,4^{\circ}$;
 3. statt 180° Schwarz: $176,5^{\circ}$, d. i. $3,5^{\circ}$ zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes: $12,0^{\circ}$;
 4. statt 240° Schwarz: $239,6^{\circ}$, d. i. $0,4^{\circ}$ zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes: $10,8^{\circ}$;
 5. statt 300° Schwarz: $299,4^{\circ}$, d. i. $0,6^{\circ}$ zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes: $6,0^{\circ}$;
- also Abweichungen in demselben Sinne, wie ich, freilich von klei-

nerem Betrage. Herr D ü s s e l schliesslich erhielt folgende Mittenzahlen aus je 3 Serien zu 6 Versuchen für jedes Grau:

1. statt 60° Schwarz: 50,8, d. i. 9,2 zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes 18,0°;
2. statt 120° Schwarz: 116,5, d. i. 3,5 zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes 15,0°;
3. statt 180° Schwarz: 177,6, d. i. 2,4 zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes 18,0°;
4. statt 240° Schwarz: 234,9, d. i. 5,1 zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes 19,8°;
5. statt 300° Schwarz: 296,9, d. i. 3,1 zu wenig. Unterschied des grössten und kleinsten Werthes 7,2°.

Hier sind für die dunklen Graus, die Herr P a b s t und ich richtig bestimmt haben, wieder zu kleine Werthe erhalten, freilich sind die Abweichungen vom richtigen Werthe gering. Die grösste Abweichung zeigt sich wieder bei dem hellsten Grau.

Nachdem so festgestellt war, dass die Methode — unter Berücksichtigung der bei hellen Papieren möglichen Fehler — brauchbar ist, wurden Helligkeitsbestimmung farbiger Pigmentpapiere vorgenommen und die Ergebnisse derselben mit den Resultaten der directen Vergleichung mit Grau verglichen. Es wurden dazu die von H e r i n g angegebenen, von R o t h e zu beziehenden farbigen Pigmentpapiere benutzt ¹⁾. In den folgenden Tabellen stelle ich die Resultate zusammen. Die Zahlen geben an, wie viel Schwarz in dem Grau enthalten ist, das dem farbigen Papier hinsichtlich der Intensität gleich ist.

Jeder Mittelwerth der Tabellen ist das Mittel aus den Ergebnissen einer Serie von 6 Einzelversuchen.

Die Werthe für Nr. 8 Indigo und Nr. 9 Violet nach der Intermittenzmethode sind unbestimmt angegeben, weil diese Papiere so dunkel sind, dass die nicht flimmernde Zone zu nahe dem Rande der Scheibe liegt, um genau bestimmt werden zu können. Wie in diesem Falle die Intermittenzmethode zu verwenden ist, wird nachher auseinandergesetzt werden.

Das Ergebniss dieser Versuche ist, dass die Intermittenzmethode einen ganz bestimmten Werth liefert (die Abweichungen der

1) Manche von den Papieren sind durchscheinend. Den durchscheinenden Papieren wurde in den Versuchen immer Weiss untergelegt.

Tabelle I. Beobachter Schenck.

Nr.	Farbe	Intermittenzmethode		DirecteVergleichung		Die Inter- mittenz- methode giebt
		Mittelwerth	Unterschied des grössten und kleinsten Werthes	Mittel- werth	Unterschied des grössten und kleinsten Werthes	
1.	Roth	314,2 ⁰	6,0 ⁰	285,1 ⁰	33 ⁰	29,1 ⁰ zu viel
2.	Orange	232,7 ⁰	6,0 ⁰	224,5 ⁰	42 ⁰	8,2 ⁰ zu viel
3.	Gelb	43,3 ⁰	8,4 ⁰	139,9 ⁰	23,5 ⁰	96,6 ⁰ zu wenig
4.	Gelbgrün	240,8 ⁰	4,2 ⁰	231,3 ⁰	24,0 ⁰	9,5 ⁰ zu viel
5.	Grün	185,9 ⁰	9,0 ⁰	192,1 ⁰	33,5 ⁰	6,2 ⁰ zu wenig
6.	Blaugrün	243,5 ⁰	6,0 ⁰	234,1 ⁰	20,0 ⁰	9,4 ⁰ zu viel
7.	Hellblau	248,4 ⁰	6,0 ⁰	237,2 ⁰	15,0 ⁰	11,2 ⁰ zu viel
8.	Indigo	mindestens 348 ⁰	—	335,8 ⁰	10,0 ⁰	mindestens 12,2 ⁰ zu viel
9.	Violet	mindestens 348 ⁰	—	339,8 ⁰	10,5 ⁰	mindestens 8,2 ⁰ zu viel
10.	Purpur	337,3 ⁰	9,0 ⁰	323,3 ⁰	25,5 ⁰	14,0 ⁰ zu viel

Tabelle II. Beobachter Pabst.

Nr.	Farbe	Intermittenzmethode		DirecteVergleichung		Die Inter- mittenz- methode giebt
		Mittelwerth	Unterschied des grössten und kleinsten Werthes	Mittel- werth	Unterschied des grössten und kleinsten Werthes	
1.	Roth	317,0 ⁰	4,2 ⁰	280,8 ⁰	23,0 ⁰	36,2 ⁰ zu viel
2.	Orange	241,4 ⁰	9,6 ⁰	218,7 ⁰	29,0 ⁰	22,6 ⁰ zu viel
3.	Gelb	49,7 ⁰	6,0 ⁰	150,3 ⁰	15,5 ⁰	100,6 ⁰ zu wenig
4.	Gelbgrün	239,3 ⁰	3,2 ⁰	227,3 ⁰	18,0 ⁰	12,0 ⁰ zu viel
5.	Grün	177,8 ⁰	10,2 ⁰	197,3 ⁰	23,0 ⁰	19,5 ⁰ zu wenig
6.	Blaugrün	234,7 ⁰	4,2 ⁰	229,4 ⁰	31,0 ⁰	5,3 zu viel
7.	Hellblau	243,9 ⁰	6,0 ⁰	230,2 ⁰	17,5 ⁰	13,7 ⁰ zu viel
8.	Indigo	mindestens 352,8 ⁰	—	345,8 ⁰	5,5 ⁰	mindestens 7 ⁰ zu viel
9.	Violet	mindestens 353,4 ⁰	—	349,5 ⁰	4,5 ⁰	mindestens 3,9 ⁰ zu viel
10.	Purpur	337,2 ⁰	4,8 ⁰	330,1 ⁰	13,5 ⁰	7,1 ⁰ zu viel

Einzelwerthe vom Mittelwerthe sind gering) und es fragt sich nun, was dieser Werth bedeutet. Man sollte nach den bisherigen Auseinandersetzungen und nach den früheren Untersuchungen von Nichols und Rood erwarten, dass der gefundene Werth der Helligkeitswerth der Farbe ist. Indessen ist das doch noch fraglich. Denn die Methode der directen Vergleichung liefert durchweg andere Werthe für die Helligkeit. Die beiden hellsten Farben, Gelb

und Grün, sind nach der Intermittenzmethode heller, als nach der directen Vergleichung; besonders das Gelb zeigt grosse Verschiedenheiten der Resultate beider Methoden. Alle anderen Farben sind nach der Intermittenzmethode dunkler, als nach der directen Vergleichung — es ist das am auffallendsten beim Roth.

Bei der Erörterung der Ursache dieser Unterschiede wird zunächst zu fragen sein, in wie weit die früher bei den Graubestimmungen von Herrn Pabst und mir gemachten Fehler der Intermittenzmethode im Spiele sein können. Die Graubestimmungen ergaben für Grau von 180° Schwarz und weniger einen Fehler, der aber weniger als 10° zu wenig betrug. Berücksichtigt man die Möglichkeit, dass ein solcher Fehler bei der Bestimmung der hellen Farben Grün und Gelb gemacht worden ist, so wird man daraus doch noch nicht die grossen Unterschiede der von beiden Methoden gelieferten Werthe für Gelb erklären können, während allerdings für Grün bei mir die Werthe schon gleich werden würden durch eine entsprechende Correctur des Werthes der Intermittenzmethode; bei Herrn Pabst würde immer noch die directe Vergleichung für Grün einen grösseren Werth liefern, als die Intermittenzmethode.

Doch erschien es nicht überflüssig, auch experimentell festzustellen, in wie weit der in Rede stehende Fehler in unseren Bestimmungen stecken konnte. Deshalb wurden Versuche gemacht, in denen dem Grün und Gelb durch Zumischung einer bestimmten Menge Schwarz ein anderer Helligkeitswerth gegeben, dieser bestimmt und nun zugeesehen wurde, ob der erhaltene Werth mit dem aus der zugesetzten Menge Schwarz berechneten übereinstimmte. Der Zusatz von Schwarz erfolgte in der Art, dass die eine Hälfte der Intermittenzscheibe ausgefüllt wurde von 12 abwechselnd grünen, resp. gelben und schwarzen Sektoren, deren Breite in einem bestimmten Verhältniss stand.

Es ergab sich:

I) Für Grün:

Beobachter Schenck:

- a) ohne Schwarzzusatz 181,9 $^{\circ}$,
- b) bei Mischung von Grün und

Schwarz im Verhältniss 1 : 1 gefunden: 274,0 $^{\circ}$, berechnet 271,0 $^{\circ}$.
Berechnet man aus dem für die Mischung von Schwarz und Grün erhaltenen Werth die Helligkeit des Grün dadurch, dass man das

zugesetzte Schwarz in Abzug bringt, so erhält man 188,0°, also etwas mehr, als durch die Bestimmung des Grün ohne Schwarzzusatz erhalten wurde. Die Differenz 7,1° ist von solcher Grössenordnung, dass sie durch den bei den Graubestimmungen gefundenen Fehler der Methode bedingt sein kann.

Beobachter Pabst:

a) Grün ohne Schwarzzusatz 174,7°,

b) bei Mischung von Grün und

Schwarz im Verhältniss 1:1 gefunden: 271,0°, berechnet 267,4°.

Berechnet man aus dem für die Mischung von Schwarz und Grün erhaltenen Werth die Helligkeit des Grün dadurch, dass man das Schwarz in Abzug bringt, so erhält man: 182,0°, also 7,1° mehr als bei Bestimmung des Grün ohne Schwarzzusatz erhalten wurde. Auch hier ist die Differenz von solcher Grössenordnung, dass sie durch den bekannten Fehler der Methode bedingt sein kann.

II) Für Gelb:

Hier wurden erhalten als Mittelzahlen aus je 3 Serien zu 6 Einzelversuchen:

Beobachter	Ganz Gelb	2 Th. Gelb + 1 Th.	1 Th. Gelb + 2 Th.
		Schwarz	Schwarz
Schenck	46,8°	159,6°	267,7°
Pabst	52,3°	169,0°	269,9°

Berechnet man aus den für die Mischungen mit Schwarz erhaltenen Werthen die Helligkeit des Gelb, so ergibt sich:

	Aus der Mischung von	Aus der Mischung von
	2 Gelb + 1 Schwarz	1 Gelb + 2 Schwarz
Schenck	79,2°	83,1°
Pabst	98,0°	89,7°

Wenn man zunächst nur die durch die Mischungen mit Schwarz erhaltenen Werthe betrachtet, so zeigen dieselben bei mir einen Unterschied von 3,9°, um welchen Betrag der aus der helleren Mischung erhaltene Werth geringer ist, als der aus der dunkleren erhaltene. Diese Abweichungen sind wieder in demselben Sinne ausgefallen, wie der Fehler bei den Graubestimmungen. Bei Herrn Pabst ist das Umgekehrte der Fall: 8,3° mehr aus der helleren Mischung als aus der dunkleren. Diese Abweichung ist zwar schon beträchtlicher, könnte vielleicht aber auch noch durch Beobachtungsfehler bedingt sein. Zu beachten ist, dass Herr Pabst bei

den Graubestimmungen durchweg einen kleineren Fehler für die helleren Grau gemacht hat, als ich.

Was nun bei den Gelbbestimmungen sehr auffällt, ist die grosse Abweichung, die der Werth, den wir aus Gelb ohne Zusatz von Schwarz erhielten, zeigt von den Werthen, die aus den Mischungen erhalten werden. Wir haben hier rund 40° weniger, als aus der Bestimmung der Mischung von 1 Theil Gelb mit 2 Theilen Schwarz berechnet wurde. Diese Abweichung geht zwar in demselben Sinne vor sich, wie der bekannte Fehler der Graubestimmungen, ist aber von so grossem Betrage, dass es einer besonderen Erörterung bedarf, ob sie auf die bei den Graubestimmungen festgestellten Fehler zurückgeführt werden kann oder nicht. Die Möglichkeit, dass nur die Methode Schuld an den Abweichungen ist, scheint uns nicht ausgeschlossen, weil wir auch hier wieder die Schwierigkeiten beobachtet haben, die sehr helle Papiere der genauen Bestimmung darbieten und die schon früher erwähnt wurden. Andererseits könnte es aber auch der Fall sein, dass die Zumischung des Schwarz zu dem Gelb eine Veränderung des Helligkeitswerthes des Gelb bedingt, den wir mit unserer Methode bestimmen. Es muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, diese Frage zu entscheiden.

Sollte es sich herausstellen, dass nur die Mängel der Methode bei den sehr hellen Papieren Ursache der Abweichungen sind, so würde es sich empfehlen, die hellen Papiere durch Zusatz von einem bestimmten Quantum Schwarz in der angegebenen Weise für die genauere Bestimmung passend zu machen. Das Quantum Schwarz müsste so bemessen sein, dass das ganze Schwarz in dem Grau, das der Mischung an Intensität gleich ist, etwa $240,0^{\circ}$ beträgt.

Wenn wir nun die aus den Bestimmungen der Mischungen von Gelb resp. Grün und Schwarz berechneten Werthe für Gelb und Grün vergleichen mit denen der directen Vergleichung, so erhalten wir für Grün allerdings so geringe Unterschiede, dass sie durch Beobachtungsfehler bedingt sein könnten, für Gelb aber immer noch beträchtliche Unterschiede, nämlich von rund 60° mehr nach der Methode der directen Vergleichung.

Wenn wir die ganz hellen Papiere durch Zusatz von Schwarz für die Intermittenzmethode passend machen können, so werden wir umgekehrt den ganz dunklen Papieren, die nicht mehr bestimmt

werden können, weil die nicht flimmernde Zone dem Rande der Scheibe zu nahe liegt, durch Zusatz von Weiss der Bestimmung zugänglich machen. Es war daher zu prüfen, ob bei Zusatz von einem bestimmten Quantum Weiss zu den dunklen Farben die berechneten Werthe gefunden werden. Folgende Versuchsreihen geben Aufschluss über die Frage:

Tabelle III.

Papier	Beobachter	Ohne Weiss-zusatz	Mischung von 1 Th. der Farbe mit 1 Th. Weiss	
			gefunden	berechnet aus dem Werthe „ohne Weisszusatz“
Blaugrün	Pabst	234,7°	108,5°	117,4°
Orange	Schenck	233,5°	111,7°	116,8°
Gelbgrün	"	240,8°	113,1°	120,4°
Grün	"	185,9°	85,3°	93,0°
Blaugrün	"	243,5°	111,5°	121,8°
Hellblau	"	248,4°	112,5°	124,2°

Hier giebt die Mischung aus Weiss und der Farbe immer etwas kleinere Werthe, als aus dem Werthe, der ohne Weisszusatz gefunden war, berechnet wurde. Das dürfte zu erklären sein durch den Fehler, der nach den Graubestimmungen bei den helleren Papieren gemacht wird. Die Abweichungen vom berechneten Werthe sind auch von solcher Grösse, dass sie ohne Schwierigkeit auf jenen Fehler zurückgeführt werden können.

Tabelle IV.

Papier	Beobachter	Ohne Weiss-zusatz	Mischung von 2 Th. Farbe + 1 Th. Weiss		Mischung von 1 Th. Farbe + 2 Th. Weiss	
			gefunden	berechnet	gefunden	berechnet
Roth	Schenck	312,9°	211,7°	208,6°	106,8°	104,3°
"	Pabst	314,7°	211,1°	209,8°	105,4°	104,9°
Purpur	Schenck	337,3°	224,2°	224,8°	109,3°	112,4°
"	Pabst	334,4°	219,2°	223,0°	110,9°	111,5°

Auch hier zeigt sich eine befriedigende Uebereinstimmung der gefundenen Werthe mit den berechneten.

Nachdem so festgestellt war, dass der Weisszusatz zulässig ist, wurden diejenige Farben mittels Weisszusatz bestimmt, die ohne Weisszusatz nicht nach der Intermittenzmethode bestimmt werden konnten, nämlich Indigo und Violet. Es ergab sich:

Für Indigo:

bei Mischung von 1 Theil Weiss auf 2 Theile Indigo

Schenck: $238,0^{\circ}$; Pabst: $234,2^{\circ}$;

bei Mischung von 2 Theilen Weiss mit 1 Theil Indigo

Schenck: $109,2^{\circ}$; Pabst: $112,4^{\circ}$.

Aus den für die Mischung von 1 Theil Weiss und 2 Theilen Indigo erhaltenen Werthen wurde berechnet:

für Indigo ohne Weisszusatz:

Schenck: 357° ; Pabst: $351,3^{\circ}$;

für 2 Theile Weiss und 1 Theil Indigo:

Schenck: $119,0^{\circ}$; Pabst: $117,3^{\circ}$.

Für Violet:

bei Mischung von 1 Theil Weiss und 2 Theilen Violet:

Schenck: $240,5^{\circ}$; Pabst: $238,2^{\circ}$;

bei Mischung von 2 Theilen Weiss und 1 Theil Violet

Schenck: $115,4^{\circ}$; Pabst: $119,3^{\circ}$.

Aus den für die Mischung von 1 Theil Weiss und 2 Theilen Violet erhaltenen Werthen wurde berechnet:

für Violet ohne Weisszusatz:

Schenck: $360,8^{\circ}$; Pabst: $357,3^{\circ}$;

für 2 Theile Weiss und 1 Theil Violet:

Schenck: $120,3^{\circ}$; Pabst: $119,1^{\circ}$.

Aus dem bisher Gesagten dürfte zur Genüge hervorgehen, dass für die Unterschiede der Ergebnisse der beiden Methoden nicht Fehler der Intermittenzmethode verantwortlich gemacht werden können. Es fragt sich nun, ob die Bestimmung nach der Methode der directen Vergleichung ungenau ist. Da muss nun allerdings zugegeben werden, dass diese Bestimmungen mit grossen Fehlern behaftet sein können, weil die Vergleichung der Helligkeit sehr durch die verschiedene Färbung beeinträchtigt wird. Die geringen Unterschiede, die wir meist bei den Farben von mittlerer Helligkeit gefunden haben, lassen sich recht wohl aus den Mängeln der Methode der directen Vergleichung erklären. Auch beim Gelb halten wir einen Fehler bei der directen Vergleichung für möglich, der den Unterschied bedingt haben könnte, obwohl hier der Unterschied der von beiden Methoden gelieferten

Werthe sehr gross ist. Wir haben uns nämlich, nachdem die Bestimmungen gemacht waren, aus Schwarz und Weiss ein Grau gemischt, das dieselbe Helligkeit hatte, wie das Gelb nach Aussage der Intermittenzmethode und zwar nach der Bestimmung des Gelb aus seiner Mischung mit Schwarz; wir fanden, dass das so erhaltene Grau sich doch nicht wesentlich in der Helligkeit vom Gelb unterschied. Ueberdies hat Herr Professor Fick, der die Güte hatte eine Bestimmung der Helligkeit des Gelb nach der Methode der directen Vergleichung zu machen, einen Werth bekommen, der sogar etwas kleiner ist, wie unser durch die Intermittenzmethode aus der Mischung von Gelb und Schwarz erhaltener Werth, nämlich 75° Schwarz. Ob es nun freilich angängig ist, auf Fehler der Bestimmungen nach der directen Methode allein alle die in Rede stehenden Unterschiede zurückzuführen, scheint uns aber noch fraglich. Wir haben auch bei den dunklen Farben das Grau, das nach dem Resultate der Intermittenzmethode einer Farbe an Helligkeit gleichkam, hergestellt und damit die Farbe direct verglichen. Da ergab sich, dass es doch Fälle gab, wo der Intensitätsunterschied uns unverkennbar erschien; besonders das Roth erschien entschieden heller, als das Grau, dem es hinsichtlich der Intensität nach Aussage der Intermittenzmethode gleich sein sollte. Es muss also die Möglichkeit noch offen gelassen werden, dass die Farbe an sich einen positiven oder negativen Antheil an der Helligkeit der farbigen Papiere hat, der bei der Intermittenzmethode nicht mit bestimmt wird.

Wir hofften Aufschlüsse in dieser Frage zu erhalten durch Bestimmung der Helligkeit von Farbenmischungen, besonders von complementären Farben. Es war zu untersuchen, ob die Farbenmischungen die Werthe lieferten, die aus den für die einfachen Farben erhaltenen berechnet waren oder nicht. Die Farbenmischungen wurden so hergestellt, dass die eine Hälfte der Intermittenzscheibe erfüllt wurde durch 12 Sectoren, die abwechselnd aus den beiden zu mischenden Farben hergestellt waren. Unter den Farbenmischungen gab eine (Orange + Hellblau) ein Grau, das nur einen schwach gelblichen Ton hatte, in 2 anderen (Roth + Blaugrün und Indigo + Gelb) war allerdings schon vielmehr Gelb vorhanden. Die Mischungen Violet + Gelbgrün und Purpur + Grün erschienen stark gefärbt, erstere schieferblau, letztere grün.

Es ergab sich nun:

A. Beobachter S c h e n c k.

1. 1 Violet + 1 Gelbgrün:

gefunden	299,7°
berechnet	300,8°
Diff.	—1,1°
2. 1 Roth + 1 Blaugrün:

gefunden	281,1°
berechnet	278,9°
Diff.	+2,2°
3. 1 Orange + 2 Hellblau:

gefunden	240,0°
berechnet	243,2°
Diff.	—3,2°
4. 1 Purpur + 1 Grün:

gefunden	255,0°
berechnet	262,7°
Diff.	—7,7°
5. 1 Indigo + 1 Gelb:

gefunden	218,1°
berechnet	219,9°
Diff.	—1,8°

B. Beobachter P a b s t.

1. 1 Violett + 1 Gelbgrün:

gefunden	301,5°
berechnet	298,3°
Diff.	+3,2°
2. 1 Roth + 1 Blaugrün:

gefunden	282,0°
berechnet	275,9°
Diff.	+6,1°
3. 1 Orange + 2 Hellblau:

gefunden	240,6°
berechnet	243,1°
Diff.	—2,5°
4. 1 Purpur + 1 Grün:

gefunden	257,4°
berechnet	259,6°
Diff.	—2,2°

5. 1 Indigo + 1 Gelb:

gefunden	221,4 ⁰
berechnet	217,7 ⁰
Diff.	+3,7 ⁰

Was die berechneten Werthe anlangt, so ist zu bemerken, dass ihnen beim Violett und Indigo die aus der Mischung von 1 Th. Farbe + 1 Th. Weiss erhaltenen Werthe (S. 623) zu Grunde liegen, beim Grün und Gelb die aus der Mischung von 1 Th. Farbe + 1 Th. Schwarz enthaltenen Werthe; für Grün ist der Werth auf S. 619 u. 620 angegeben, für Gelb wurde er besonders bestimmt und zwar erhalten: Schenck 82,8⁰ Schwarz, Pabst: 84⁰. Die übrigen Werthe sind aus Tabelle I und II entnommen.

Für die Farbenmischungen sind also fast genau die berechneten Werthe erhalten und wir können daraus den Schluss ziehen: Mit der Intermittenzmethode bestimmen wir diejenige Helligkeit, die bei der Mischung der Farbe mit ihrer Complementärfarbe zu Grau an der Helligkeit des Grau betheilig ist.

Dieses thatsächliche Ergebniss unserer bisherigen Untersuchungen hat besonders physiologisches Interesse, das erhellt, wenn man es vom Standpunkt der beiden verbreitetsten Farbentheorien beurtheilt. Nach der Young'schen Theorie beruht die durch Farbenmischung erzeugte Grauempfindung auf einer Erregung, die durch Summation der von den einzelnen Farben der Mischung herstammenden Einzelerregungen entsteht. Es ist dann das nächstliegende, anzunehmen, dass wir mittels der Intermittenzmethode die wirkliche Gesammthelligkeit der Farbe bestimmen, die bei der Summation in der Mischung ganz enthalten ist. Wenn wir nun nach der Methode der directen Vergleichung einen anderen Werth für die Helligkeit der Farbe erhalten, als nach der Intermittenzmethode, so muss das darauf beruhen, dass es durch directe Vergleichung der Farbe mit dem Grau vielfach nicht möglich ist, die wirkliche Helligkeit der Farbe zu bestimmen und zwar in Folge eines psychischen Einflusses, den G. E. Müller in seiner kürzlich erschienenen Psychophysik des Gesichtssinnes treffend als „Eindringlichkeit“ der Farbe bezeichnet.

Anders ist unser Resultat aufzufassen vom Standpunkt der Hering'schen Theorie aus. Nach dieser Theorie ist der optische

Reizwerth jeder homogenen Strahlung zusammengesetzt zu denken aus zwei Theilen, einer schwarz-weissen Valenz und einer farbig wirkenden. Bei der Mischung zweier complementärer Farben heben sich die Wirkungen der farbigen Valenzen gegenseitig auf, und es bleiben die weissen Valenzen allein übrig, die sich in ihrer Wirkung summiren. Nach Hering's Theorie würde also noch die Möglichkeit vorliegen, dass durch die Intermittenzmethode die Weissvalenz der Farbe allein bestimmt wird. Da die farbige Valenz einen besonderen Einfluss auf die Helligkeit der Farbe hat, nämlich die sogenannte spezifische Helligkeit der Farbe bedingt, so ist nach Hering die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die directe Vergleichung und die Intermittenzmethode verschiedene Werthe für die Helligkeit der Farben liefern. Die Differenz der nach beiden Methoden erhaltenen Werthe würde dann durch die spezifische Helligkeit der Farben bedingt sein. Freilich stehen unsere Versuchsergebnisse nicht im Einklang mit der Auffassung, dass wir mit der Intermittenzmethode die Weissvalenz allein bestimmen, denn es wäre zu erwarten, dass blau und grün nach der Intermittenzmethode zu hell, roth und gelb zu dunkel bestimmt werden, was in unseren Versuchen aber nicht geschah. Aber abgesehen davon geht aus einer anderen Thatsache unzweifelhaft hervor, dass die Intermittenzmethode nicht die Weissvalenz im Sinne Hering's bestimmt, sondern mindestens noch einen Theil der farbigen Valenz. Die Weissvalenz wirkt allein, wenn ein für Dunkel adaptirtes Auge die farbige Strahlung bei passend niedriger Intensität farblos sieht. Wenn die Weissvalenz durch die Intermittenzmethode bestimmt würde, so müsste dem für Dunkel adaptirten Auge bei niedriger Intensität das rothe Papier immer noch heller erscheinen, als das indigoblaue, denn das rothe ist nach der Intermittenzmethode viel heller als das indigoblaue. Thatsächlich sieht aber im Dunklen unser rothes Papier viel dunkler aus, wie das indigoblaue. Ich habe mich davon durch besondere Versuche überzeugt.

Uebrigens sei hier noch darauf aufmerksam gemacht, dass durch die Intermittenzmethode nicht nur die weisse und farbige Valenz der Farbe bestimmt wird, sondern damit zusammen auch noch das objective Weiss, das sich in den Pigmentfarben findet. Die Pigmentfarben sind ja bekanntlich nicht homogene Farben, wie die Spectralfarben.

Mir scheint nach alledem die Intermittenzmethode die Werthe der wirklichen Gesammthelligkeit der Farbe zu liefern, und die Abweichungen dieser Werthe von den Werthen, die man nach der Methode der directen Vergleichung erhält, auf Urtheilstäuschungen bei der letzteren Methode zu beruhen. Indess will ich diesen Satz zunächst nur mit Vorbehalt aufstellen; es dürfte sich empfehlen, noch weitere Untersuchungen zur Entscheidung der Frage aufzustellen: Die bisher mitgetheilten Versuche hatten vor allem den Zweck, festzustellen, ob die Bestimmungen mittels des neuen Verfahrens hinreichend genau gemacht werden können, um bei weiteren Untersuchungen verwerthet zu werden. Die Abweichungen der einzelnen beobachteten Werthe von dem Mittelwerthe einer Serie sind so gering ausgefallen, dass die Zulässigkeit des Verfahrens nicht zu bezweifeln sein dürfte. Möglicherweise erzielt man noch bessere Resultate, wenn man die Vorrichtungen, die zur Bestimmung nach dem neuen Verfahren benutzt werden, vervollkommenet. Unsere Vorrichtung, die wir uns aus Theilen anderer Apparate selbst zusammengebaut hatten, liess noch zu wünschen übrig.

(Aus dem physiologischen Institute zu Würzburg).

Ueber die Gipfelzeit bei summirten isotonischen und isometrischen Zuckungen.

Von

Dr. **Fr. Schenck.**

Fick¹⁾ hat beobachtet, dass die Gipfelzeit der isometrischen Zuckung gegen die der isotonischen verfrüht ist, von Kries²⁾

1) Dies Archiv Bd. IV. S. 301.

2) Du Bois-Reymond's Archiv 1888.