

Zur Theorie der „Flutternden Herzen“.

Von

Dr. A. SCHAPRINGER
in New York.

(Mit 3 Figuren im Text.)

Bei Betrachtung gewisser buntfarbiger Tapeten- oder Teppichmuster tritt unter Umständen eine eigentümliche Sinnestäuschung auf, derart, daß die roten oder gelben Teile des Musters, etwa Streifen, gleichsam aus der Ebene der betrachteten Fläche hervortreten und in einer gewissen Entfernung vor den anderen, grünen oder blauen Teilen wie ein selbständiges Gitter zu stehen scheinen. Bewegt nun der Beobachter seinen Kopf hin und her, so tritt eine Scheinbewegung des Gitters auf, eben wegen des Ausbleibens derjenigen parallaxtischen Exkursion, welche das Gitter machen würde, wenn es ein wirkliches, vor der betrachteten Fläche sich befindendes wäre.

Eine naheliegende Erklärung dieser zuerst von DONDERS eingehender beschriebenen Erscheinung — Hinweise darauf findet man übrigens schon bei BREWSTER und bei DOVE — bietet sich in der chromatischen Abweichung der brechenden Medien des menschlichen Auges. Wird bei entspannter Accommodation ein in bestimmter Entfernung gelegener blauer Lichtpunkt auf der Netzhaut scharf abgebildet, so werden die von einem in derselben Entfernung sich befindenden roten Lichtpunkt ausgehenden Strahlen nicht auf der Netzhaut vereinigt werden, sondern erst hinter derselben. Will das Auge den roten Punkt scharf sehen, so muß es erst eine Accommodationsanstrengung machen, und der Impuls zu dieser Anstrengung erregt die Vorstellung, daß der rote Punkt sich näher befinde als der blaue.

Nun lehrten aber weitere Beobachtungen, daß es nicht wenige Menschen giebt, denen die Betrachtung der erwähnten

Muster nicht Rot näher als Blau, sondern merkwürdigerweise umgekehrt Blau näher als Rot erscheinen läßt. Bei anderen ist der Effekt der Täuschung schwankend, so daß zeitweilig Rot, zeitweilig aber wieder Blau als die nähere Farbe erscheint, während wieder bei anderen die Täuschung überhaupt gar nicht eintritt. Der stärkere Accommodationsimpuls für die Farbe schwächerer Brechung konnte diese weit auseinandergehenden und sich widersprechenden Resultate nicht erklären. Es gelang aber EINTHOVEN, der den Gegenstand auf DONDER'S Veranlassung einer eingehenden Untersuchung unterwarf, durch Berücksichtigung eines zweiten Momentes neben demjenigen der Farbenzerstreuung eine vollkommen befriedigende, alle Widersprüche lösende Erklärung zu liefern („Stereoskopie durch Farbdifferenz“. *v. Graefes Arch. f. Ophthalm.* XXXI. Bd. 3. Abt. S. 21 [1885]). Dieses zweite Moment ist die mangelhafte Centrierung des Auges, insonderheit der Umstand, daß der Durchschnittspunkt der Pupillenebene und der Gesichtslinie gewöhnlich nicht mit dem Mittelpunkt der Pupille zusammenfällt, sondern entweder nasal- oder temporalwärts von diesem Mittelpunkt sich befindet. Ist das Auge für einen in bestimmter Entfernung befindlichen blauen Lichtpunkt fixierend eingestellt, so daß in der Fovea centralis ein scharfes Bild dieses Punktes entworfen wird, dann entsteht von einem senkrecht, dicht oberhalb oder unterhalb des blauen Punktes befindlichen roten Punkte in der Fovea centralis ein Zerstreuungsbild, dessen Mittelpunkt oder Intensitätsmaximum aber nicht senkrecht unter-, bzw. oberhalb des blauen Bildpunktes zu liegen kommt, sondern entweder temporal- oder nasalwärts von demselben, je nachdem die Gesichtslinie von der Pupillenmitte nasal- oder temporalwärts abweicht.

Fig. 1 und 2 sind Reproduktionen von Zeichnungen, mittelst welcher EINTHOVEN diese Verhältnisse veranschaulicht. Fig. 1 stellt einen Horizontaldurchschnitt des rechten Auges dar, welches auf Blau eingestellt gedacht ist. AA' ist die durch die Pupillenmitte ziehende Augenachse, c ist die Fovea centralis, deren Abstand vom hinteren Augenpol A' der Deutlichkeit halber in der Zeichnung kolossal übertrieben erscheint, k ist der vereinigte Knotenpunkt, pkc die Gesichtslinie und α der übertrieben groß dargestellte, im angenommenen Falle nasalwärts gelegene Winkel zwischen der Gesichtslinie und der

Augenachse. Da das Auge auf blaues Licht accommodiert gedacht ist, so werden die aus derselben Entfernung kommenden roten Strahlen erst hinter der Fovea, in r zur Vereinigung gelangen. Von dem roten Punkt wird daher auf der Netzhaut selbst ein in Form und Ausdehnung von der Form und Aus-

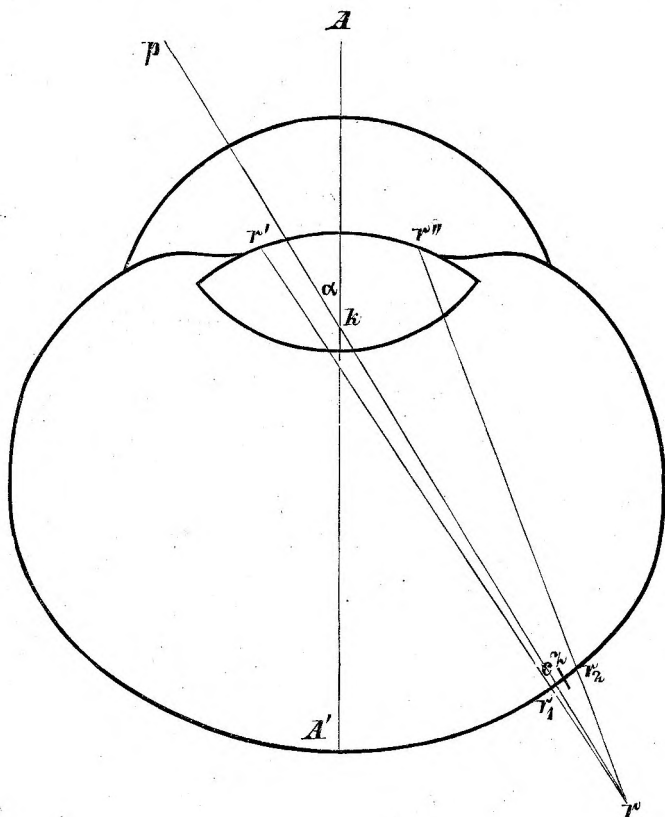


Fig. 1.

dehnung der Pupille abhängiges Zerstreuungsbild r_1 r_2 entworfen werden. Den Mittelpunkt z dieses Zerstreuungsbildes kann man nach EINTHOVEN, da er gleichsam den „Schwerpunkt der Intensität“ darstellt, als nahezu gleichwertig mit 'einem genauen Bildpunkte ansehen. Es liegt also dann der rote Bildpunkt z temporalwärts von dem Vereinigungspunkte c der aus demselben Orte herstammenden blauen Strahlen. Da die Abweichung der Gesichtslinie von der Pupillenmitte in beiden

Augen gewöhnlich eine symmetrische ist, so wird, wenn der rote Bildpunkt im rechten Auge temporalwärts vom blauen Bildpunkte fällt, er auch im linken Auge temporalwärts zu liegen kommen. Es entstehen also gekreuzte Halbbilder vom roten Punkte, welche nach den Gesetzen der binokulären Tiefenwahrnehmung den Eindruck größerer Nähe des roten Punktes

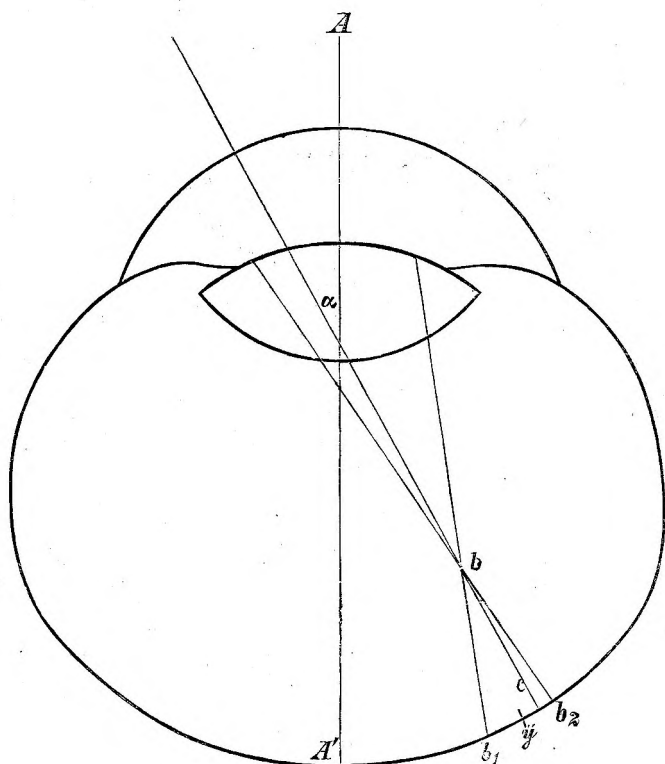


Fig. 2.

erzeugen. Dies ist also der Fall, wenn die Gesichtslinie die Pupillenebene nasalwärts von deren Mitte schneidet. Befindet sich dieser Durchschnittspunkt temporalwärts von dieser Mitte, so wird Blau vor Rot zu liegen scheinen.

Fig. 2 stellt das auf Rot accommodierte rechte Auge dar, wo also von Blau ein Bild b im Glaskörper entsteht und auf der Netzhaut dementsprechend ein blaues Zerstreuungsbild $b_1 b_2$. Das Bild des fixierten roten Punktes befindet sich in c , welches

wieder die Fovea darstellt. Der Mittelpunkt y des blauen Zerstreungskreises befindet sich nasalwärts von c . Man sieht also, daß die relative Lage von Rot und Blau auf der Netzhaut dieselbe bleibt, ob nun das Auge für Blau oder für Rot accommodiert ist, und folglich bleibt auch der binokuläre Effekt des Nähererscheinens der einen, bezw. der anderen Farbe derselbe.

Die hier wiedergegebene Konstruktionsweise EINTHOVENS ist, wie man leicht sieht, nur eine annähernde. Eine strengere Methode würde in Betracht zu ziehen haben, daß u. a. der vereinigte Knotenpunkt k für Strahlen verschiedener Brechbarkeit einen verschiedenen Ort einnimmt, also für Blau etwas weiter nach vorn liegt als für Rot. Diese Ortsveränderung des Knotenpunktes hat nun die Tendenz, entgegengesetzt der Darstellung in Fig. 1 und 2, Blau mehr peripherwärts zu bringen als Rot. Es wird also die Knotenpunktskonstruktion die EINTHOVENSche Zertreuungsbilderkonstruktion jedenfalls zum Teil neutralisieren. Doch braucht hier auf diese Nebenumstände nicht weiter eingegangen zu werden.

Das Wesentliche in der Erscheinung der „Flatternden Herzen“ hat jedenfalls in der EINTHOVENSchen Darstellung des Schicksals von schief zur Pupillenebene einfallenden mehrfarbigen Strahlen ihre lange gesuchte endgültige Erklärung gefunden. Eigentümlicherweise ist freilich diese Erscheinung der „Flatternden Herzen“ in seiner Abhandlung nicht namentlich angeführt.

Im „*Handbuch der physiologischen Optik*“ von H. v. HELMHOLTZ findet sich folgende Beschreibung dieser Erscheinung: „Auf farbigen Blättern aus steifem Papier sind Figuren von einer anderen lebhaften Farbe angebracht; am besten scheinen Rot und Blau zu wirken, die Farben müssen sehr lebhaft und gesättigt sein. Wenn man die Blätter betrachtet und mit einer gewissen Geschwindigkeit hin und her bewegt, scheinen die Figuren selbst gegen das Papier sich zu verschieben und auf diesem hin und her zu schwanken.“

Der Umstand, daß die erwähnte Gesichtstäuschung vielen Individuen bei herabgesetzter Beleuchtung, etwa des Abends bei Benützung einer einzelnen Kerze, kräftiger in die Erscheinung tritt, ferner daß sie wohl bei Allen im indirekten Sehen auffälliger wird, als im direkten, ist bisher nur auf

Grund von mehr oder minder gewagten Hypothesen über angenommene Eigentümlichkeiten der Reizbarkeitsverhältnisse der Netzhaut zu erklären versucht worden. Die EINTHOVENsche Theorie macht all diese gezwungenen Hypothesen überflüssig und erklärt alles mit spielender Leichtigkeit.

Was den Vorteil der herabgesetzten Beleuchtung betrifft, so erklärt er sich aus der excentrischen Erweiterung der Pupille, wodurch die Pupillenmitte noch weiter von der Gesichtslinie abrückt. Ein Unterschied von nur wenigen Hundertsteln eines Millimeters in diesem Abstand wird eine deutliche Verschiedenheit in der Ausgeprägtheit der Gesichtstäuschung bewirken.

Zur Erklärung des Umstandes, daß die Erscheinung der „Flatternden Herzen“ im indirekten Sehen meist deutlicher auftritt, als im direkten, brauchen wir das Faktum der mangelhaften Centrierung des Auges und die Gesetze des binokularen Sehens zunächst gar nicht in Betracht zu ziehen. Das Deutlicherwerden im indirekten Sehen hängt ab von folgenden drei Faktoren: 1. der chromatischen Abweichung der brechenden Medien, 2. dem Abstand des vereinigten Knotenpunktes von Pupillenebene, und 3. von der Zunahme des Winkels zwischen der Richtungslinie des beobachteten Objektes und der Augenachse. Ein Blick auf Fig. 1 lehrt, daß, je weiter peripherwärts wir auf der Netzhaut vorschreiten, um so mehr sich der Abstand zwischen dem blauen und roten Bildpunkt vergrößert. Dies hat, wie erwähnt, mit der mangelhaften Centrierung nichts zu thun und würde auch in einem ideal vollkommen centrierten Auge statthaben. Da dieses Auseinanderweichen von Blau und Rot auf den peripheren Teilen der Netzhaut in den beiden Augen nicht in zur Mittellinie symmetrischem, sondern in identischem Sinne geschieht, so ist der Effekt hier nicht ein stereoskopischer, einen Tiefenabstand vortäuschender, sondern eine Verschiebung in einer und derselben Projektionsfläche, und es tritt dieser Effekt natürlich auch bei monokulärer Betrachtung ein.

Die Ansicht, daß die Erscheinung der „Flatternden Herzen“ nicht von Eigentümlichkeiten des nervösen Apparats, sondern bloß von dem physikalischen Moment der Zerstreuung abhängt, wurde schon einmal vor vierzig Jahren von DOVE aufgestellt, ist jedoch unbeachtet geblieben. Eben dieser Forscher erwähnt auch eine Beobachtung, aus welcher er schloß, daß die Farbenzerstreuung im peripheren Teile des Gesichtsfeldes ausgeprägter ist, als im centralen.

Nach dem oben Gesagten ist also die Erscheinung der „Flatternden Herzen“ nicht schlechtweg mit der „Stereoskopie durch Farbendifferenz“ zu identifizieren, sondern beide Erscheinungen, die „Flatternden Herzen“ und die „Stereoskopie durch Farbendifferenz“, sind gleichsam Einzelfälle einer allgemeineren, freilich unter gewöhnlichen Umständen wegen ihrer Geringfügigkeit sich der Wahrnehmung nicht aufdrängenden Erscheinung, welche ich, um ein in der Augenheilkunde seit lange gebräuchliches, wenn auch manchem nicht-medicinischen Leser vielleicht neues Wort in Anwendung zu ziehen, die *Metamorphopsie durch Farbendifferenz* nennen möchte.

Nehmen wir das von EINTHOVEN gegebene Beispiel: ein schwarzes Blatt Papier, auf welchem eine Reihe roter, und unterhalb dieser eine Reihe blauer Buchstaben gemalt sind. Bei binokulärer Betrachtung scheinen diese zwei Reihen in verschiedenen Ebenen zu liegen. Schließt man das eine Auge, so hört diese stereoskopische Illusion auf. Die geometrische Unähnlichkeit des Netzhautbildes mit dem Objekte, welche, kombiniert mit der entgegengesetzt orientierten Unähnlichkeit des Netzhautbildes des anderen Auges, den stereoskopischen Effekt hervorgerufen hatte, wird bei einäugiger Betrachtung unmerklich. Diese Unähnlichkeit des Netzhautbildes mit seinem Objekte nenne ich nun *Metamorphopsie*. Sie wird aus einer unmerklichen, zu einer der Wahrnehmung sich aufdrängenden Erscheinung (zur „*Chromatokinopsie*“ von MAYERHAUSEN), wenn man, statt das Papierblatt ruhig zu betrachten, es hin und her bewegt. Der Grund davon ist der, daß die Distanz eines bestimmten roten und eines bestimmten blauen Punktes voneinander, welche im bewegten Objekte immer dieselbe bleibt, im Netzhautbilde sich von Moment zu Moment ändert, indem sie um so größer wird, je schiefer die Incidenz der Strahlen gegen die Ebene der Pupille sich gestaltet, oder mit anderen Worten, je peripherer die Netzhautpartie gelegen ist, auf welcher sich das Objekt abbildet. (Wir bleiben bei unserer Darstellung immer bei der von EINTHOVEN eingeführten Fiktion, den Mittelpunkt eines Zerstreuungskreises als gleichwertig mit einem scharfen Bildpunkte anzusehen.) Während Rot und Blau auf dem bewegten Papierblatt die gleiche Geschwindigkeit besitzen, bewegt sich im Netzhautbild Rot rascher als Blau. (Vergl. Fig. 1 oder 2.) Diese stetige Veränderung der

gegenseitigen Distanz verschiedenfarbiger Punkte konstituiert das Phänomen der „Flatternden Herzen“.

Der Nullpunkt oder Umschlagspunkt des subjektiven (durch mangelhafte Achromasie des Auges bedingten) Auseinanderweichens von Rot und Blau ist natürlich der Netzhautpol der Augenachse. Nach rechts und links, nach oben und unten von diesem Punkte aus entfernt sich Rot von Blau stetig um so weiter, je weiter peripherwärts wir auf der Netzhaut fortschreiten. Bewegen wir uns umgekehrt von der Peripherie gegen diesen Pol hin, so wird die subjektive Distanz von Rot und Blau immer geringer.

Nun fällt aber der Netzhautpol der Augenachse mit der Fovea centralis, dem Orte des deutlichsten Sehens, bekanntlich nicht zusammen, sondern ist um die Bogengröße des Winkels α davon entfernt. Hat dieser Winkel in beiden Augen einen positiven Wert von 5° , so liegt der Achsenpol in beiden Augen um 5° medianwärts von der Fovea. Er liegt also dann im rechten Auge nach links und im linken Auge nach rechts von der letzteren. Gehen wir nun statt von dem Achsenpol, der in den beiden Augen nicht korrespondierende Netzhautstellen trifft und auch physiologisch nicht besonders charakterisiert und deshalb nicht gut zu identifizieren ist, in unserer Untersuchung von der Fovea centralis aus, so ergibt sich in der unmittelbaren Nähe derselben ein eigentümlich gegensätzliches Verhältnis der beiden Augen zu einander. Gehen wir im rechten Auge von der Fovea nach links (d. h. bewegen wir das Objekt vom Fixierpunkt nach rechts), so nähern wir uns vorerst dem 5° nasalwärts von der Fovea gelegenen Achsenpol. Auf dieser 5° betragenden Strecke nimmt die subjektive Distanz von Blau und Rot in der von uns eingeschlagenen Richtung stetig ab. Aber auf der korrespondierenden Strecke des linken Auges nimmt diese Distanz im Gegenteil zu, denn in diesem Auge bewegen wir uns nicht gegen den Achsenpol hin, sondern von ihm weg. Kehren wir nun zur Fovea centralis des rechten Auges zurück und bewegen wir uns von hier aus in der entgegengesetzten Richtung, nämlich temporalwärts (d. h. das Objekt werde nasalwärts verschoben), und schreiten wir bis zu dem Punkte, der 5° temporalwärts von der Fovea liegt. Dieser Punkt ist kein physiologisch besonders charakterisierter, er korrespondiert nur mit dem Netzhautpol der Augenachse des

anderen (linken) Auges. Innerhalb dieser Strecke ist die Bewegungstendenz des Rot und Blau im rechten Auge eine auseinanderweichende, weil wir uns vom Achsenpol entfernen, während sie auf der korrespondierenden Strecke im linken Auge eine sich nähernde ist, weil wir hier zum Achsenpol hinschreiten. Es giebt also im binokularen Gesichtsfelde eine horizontale Strecke entsprechend einer Winkelöffnung $= 2\alpha$, welche vom Fixierpunkt halbiert wird, innerhalb welcher bei Ausführung des Versuchs der „Flatternden Herzen“ die subjektive Bewegungstendenz in den beiden Augen eine entgegengesetzte ist, was der Wahrnehmung dieser Erscheinung innerhalb dieses Bereiches offenbar nicht förderlich ist. Außerhalb dieser kleinen Zone ist aber die subjektive Bewegungstendenz im ganzen Umfang des binokulären Gesichtsfeldes eine synergistische.

Ob das Vorhandensein jener centralen Zone, innerhalb welcher die subjektive Fortbewegungstendenz eine antagonistische ist, nicht etwa einen gewissen Nutzen mit sich bringt, in welchem Falle dann die mangelhafte Centrierung des Auges, solange die Abweichung in den beiden Augen symmetrisch ist, eine zweckmäßige, die störenden Folgen der Farbenabweichungen mildernde Einrichtung darstellen würde, scheint mir eine Frage, welche eine besondere Untersuchung verdiente. Hätte man die Aufgabe, ein zur Beobachtung der Eigenbewegung der Farben möglichst tüchtiges Augenpaar zu konstruieren, so würde man entweder jedes einzelne Auge ganz genau centriert herstellen, oder aber den Winkel α (womit hier im allgemeinen die Abweichung von genauer Centrierung ausgedrückt sein soll) in den beiden Augen nicht symmetrisch zur Medianebene des Kopfes, sondern in identischem Sinne anlegen und demselben in beiden Augen absolut gleiche GröÙe geben. Nun sind aber die Sehwerkzeuge nicht zum Zweck der Beobachtung von „Flatternden Herzen“ da, und die Fähigkeit, diese Erscheinung besonders leicht wahrzunehmen, stellt eine Eigenschaft dar, welche im praktischen Leben nur hinderlich wirken kann.

Bequemer als die EINTHOVENschen Buchstaben sind quadratische Gitterzeichnungen, ähnlich den von SZILI angegebenen, um die hier besprochenen Verhältnisse zur Anschauung zu

bringen. Auf beistehender Fig. 3 stellen die ausgezogenen Linien schwarze, und die gestrichelten farbige, rote bez. blaue Linien dar. Von schlagender Beweiskraft für die hier verfochtene Theorie scheinen mir folgende zwei Anordnungen zu sein:

1. Auf blaues Papier zeichne man ein schwarzes quadratisches Gitter und in dieses hinein ein rotes. Statt Striche zu ziehen, kann man schmale farbige Papierstreifen aufkleben. Beim Hin- und Herbewegen des Papierblattes scheinen die roten Striche sich rascher zu bewegen, als die schwarzen.

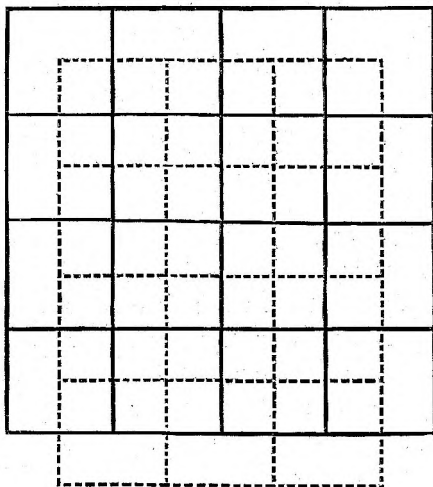


Fig. 3.

2. Auf rotem Papier bringe man ein blaues quadratisches Gitter an und in dieses hinein zeichne man ein schwarzes. Beim Hin- und Herbewegen des Papiers werden die schwarzen Gitterstreifen sich rascher zu bewegen scheinen, als die blauen, die letzteren scheinen sogar sich im entgegengesetzten Sinne zu bewegen.

Die angegebenen beiden Versuche gelingen im allgemeinen sowohl binokular, wie auch monokular.

Die Metamorphopsie durch Farbendifferenz ist um so ausgeprägter, je peripherer im Gesichtsfeld der bewegte Gegenstand sich befindet. Dieser Umstand könnte wohl in Beziehungen stehen mit der von EXNER nachgewiesenen größeren Empfindlichkeit excentrischer Netzhautteile für die Wahrnehmung kleiner Bewegungen. Nach EXNER ist die Netzhautperipherie, bei ihrer bekannten Unvollkommenheit in der Wahrnehmung räumlicher Formen, im Vergleich zum Netzhautcentrum, doch in hohem Grade befähigt, Bewegungen (und wohl Veränderungen überhaupt) zu erkennen. Die Eigenbewegung der die Farbe eines in Bewegung befindlichen Objektes zusammensetzenden Spektralkomponenten ist nun dem Erkennen der Form desselben zwar nur hinderlich, zum Erkennen der Bewegung als solcher aber offenbar nur förderlich, da sie gleichsam als Multiplikator wirkt.

Die Abweichung der Gesichtslinie von der Pupillenmitte bewirkt, daß auch bei vollständig unverdeckter Pupille die Farbenzerstreuung im Auge unter geeigneten Umständen merklich werden kann. Die symmetrische Anordnung dieser Abweichung der Gesichtslinie in beiden Augen übt aber hierbei eine kompensatorische Wirkung aus, wie folgender Versuch von EINTHOVEN beweist (l. c., S. 231): Er hielt ein mattschwarzes Stäbchen eine Armlänge senkrecht vor dem Auge gegen eine weiße Wolke gewendet und sah bei scharfer Accommodation mit einem Auge den einen Rand bläulich, den anderen rötlich. Bei abwechselndem Fixieren mit dem rechten und dem linken Auge wechselten die Ränder ihre Farbe. Beim binokularen Sehen verschwanden die farbigen Ränder, weil dann Blau und Rot auf kongruierende Punkte fielen und ihre Wirkung sich größtenteils neutralisierte.

Manche Schützen behaupten bekanntlich, beim Schießen auf die Scheibe durch gelbe Gläser besser zielen zu können. Dieser bisher so rätselhafte und von vielen Seiten angezweifelte Vorteil erklärt sich auf ungezwungene Weise aus dem eben angeführten Versuche EINTHOVENS, da es sich beim Zielen um monokulares Sehen handelt, die kompensatorische Wirkung des anderen Auges also wegfällt und auf der Scheibe bekanntlich schwarze und weiße Ringe miteinander abwechseln, was eine Analogie mit der EINTHOVENSchen Versuchsanordnung darstellt. Schützen, deren Gesichtslinie genau durch die Mitte der Pupille geht, werden aus farbigen Brillen keinen Vorteil ziehen können.

Bei den augenärztlichen Prüfungen der Sehschärfe pflegt diese bei binokularer Prüfung größer zu sein, als bei monokularer. Da es sich hierbei um schwarze Buchstaben auf weißem Grunde handelt, so liegt die Erklärung nahe, daß diese Erscheinung, wenn auch nur zum Teile, von der gegenseitigen Farbenabweichungskompensation der beiden Augen abhängen möge.

New York, im Mai 1893.

Litteratur.

Es seien hier bloß solche Arbeiten angeführt, welche in der ersten Auflage des v. Helmholtz'schen *Handbuchs der Physiologischen Optik*, Seite 387, sich nicht verzeichnet finden.

H. W. DOVE. *Darstellung der Farbenlehre und Optische Studien*. Berlin, 1853.

ADOLF SZILI. Zur Erklärung der „Flatternden Herzen“. *Du Bois-Reymonds Arch. f. Physiologie*. 1891. Seite 157.

W. EINTHOVEN. Stereoskopie durch Farbendifferenz. v. Graefes *Arch.* XXXI. Bd. 3. Abt. Seite 211. (1885.)

— *Stereoscopie door kleurverschil*. Utrecht, 1885.

G. MAYERHAUSEN. Studien über die Chromatokinopsien. *Arch. f. Augenheilk.* XIV. Bd. Seite 31. (1885.)

ADOLF SZILI. „Flatternde Herzen“. *Zeitschr. f. Psychologie u. Physiol. d. Sinnesorgane*. Bd. III. S. 359.

H. v. HELMHOLTZ. *Handb. d. Physiolog. Optik*. 2. Aufl. Seite 533.

S. EXNER. Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen. *Pflügers Archiv* 38. Bd. S. 217.