

„Flatternde Herzen“.

Von

ADOLF SZILI

in Budapest.

(Vorgelegt und demonstriert in der mathem. und naturwissenschaftlichen Klasse der königl. ungarischen Akademie der Wissenschaften am 14. März 1892.)

Als ich meinen ersten Erklärungsversuch der „flatternden Herzen“ machte,¹ ist mir sofort eine Anzahl von eigentümlichen Erscheinungen aufgefallen, deren Studium ich erst in der Folge gesondert vorzunehmen gedachte. Meine diesbezüglichen Untersuchungen haben mich zu einer Reihe von Beobachtungen geführt, die in solchem Maße das in meiner ersten Mitteilung Enthaltene ergänzen und zum Teil berichtigen, daß ich glaube, mit ihrer Veröffentlichung nicht zögern zu müssen. Ich halte diese Beobachtungen allerdings noch immer nicht für abgeschlossen, denn die Versuchsobjekte sind so zahlreich, und die Versuchsumstände können so vielfach variiert werden, daß die möglichen Kombinationen nahezu unerschöpflich sind. Aber ich sehe, was mich selbst betrifft, daß ich vorläufig mit ihnen nicht weiter gelange, und außerdem glaube ich, dasjenige, was ich hier angeben werde, mit dem bisher Erreichten schon genügend stützen zu können.

Ich habe meine ersten Versuche auf Rot und Orange gemacht, mit welchen Farben das sogenannte Flattern am

¹ A. SZILI, Zur Erklärung der „flatternden Herzen.“ *Du Bois-Reymonds Archiv f. Physiologie*. Jg. 1891. S. 157.

leichtesten zu erzielen ist, weil es aus gewissen Gründen, deren ich auch noch gedenken werde, bei ihnen den weitesten Spielraum hat. Ich bespreche sie hier wiederum an erster Stelle, weil ich hauptsächlich zur Analyse ihres Ergebnisses erst meine übrigen Versuche angestellt habe. Diese haben zum Teil ganz merkwürdige, bisher unbekannte Erscheinungen geliefert. Die wichtigsten unter ihnen sollen hier ausführlich beschrieben werden in einer Reihenfolge, die sich zugleich zur gewünschten Analyse dienlich erweisen wird. Ich habe aufser diesen noch eine Anzahl von Versuchen angestellt, welche, teils die an sie geknüpften negativen Erwartungen bestätigend, teils gewisse positive Erwartungen täuschend, erfolglos geblieben sind. Blofs diejenigen, bei welchen diese Verneinung bezüglich des Gegenstandes nicht völlig belanglos ist, werde ich an geeigneter Stelle erwähnen.

Da die Erscheinungen, von welchen hier die Rede sein wird, in den meisten Fällen erst bei schwacher künstlicher Beleuchtung zu voller Geltung gelangen, werde ich sämtliche Versuche, die ich wohl wiederholt bei verschiedener Beleuchtung angestellt habe, der Einheitlichkeit halber nur nach dem Ergebnis unter dem Lichte einer Kerze beschreiben.¹ Um die Einzelheiten der Erscheinung besser beurteilen zu können, habe ich es für ratsam gehalten, teils kreisrunde, teils viereckige Papierscheiben von wenigstens 1,5 cm Durchmesser als Objekte zu nehmen. Zu beiden Seiten dieser „flatternden Marke“ befindet sich auf dem Grunde, auf welchem sie aufgeklebt ist, in etwa 2—3 cm horizontaler Entfernung, noch je eine kleinere „Gegenmarke“, welche nicht flattern darf, sondern dadurch, dafs sie die Bewegungen des Grundes anzeigt, die scheinbare Labilität der mittleren um so auffallender macht. Diese Gegenmarken sind auf hellem Grunde am besten schwarz, auf dunklem Grunde weifs.

Zur Bezeichnung der bei den folgenden Versuchen verwendeten Farben beziehe ich mich zum Teil auf die Heidelberger Kollektion HELMHOLTZscher Farbpapiere vom Mechaniker JUNG; hier werde ich zur Farbnummer die Quelle kurzweg

¹ Wer mit ähnlichen Untersuchungen vertraut ist, wird auch bei Lampenlicht die nötige Distanz für jeden einzelnen Versuch zu finden wissen.

„Blumenpapier“ nennen. Da ich aber manches wichtige Ergebnis mit Farbennuancen erhielt, die in meiner Heidelberger Kollektion nicht enthalten sind, und mir Herr JUNG auch für die zur Verwendung gelangten verschiedenen Nuancen des Grau keinen Index liefern konnte, werde ich diese übrigen gelegentlich mit der Nummer der Musterkollektionen von Umschlagpapieren, Buntpapieren und Einbandleinwänden bezeichnen, der die gebrauchte Farbe entspricht. Diese Kollektionen sind:

1. „KARL LOUIS POSNERS Musterbuch von farbigen Umschlagpapieren der Leykam-Josephsthaler Papier-Industrie-Actiengesellschaft“. Diese Quelle werde ich kurz Umschlagpapier nennen.

2. „Musterbuch von Buntpapieren. Fabriksniederlage für Buchbinderartikel“. Budapest V, Elisabethplatz 5. Kurz: Buntpapier.

3. „Leinwandmusterkarte der ersten ungarischen Buchbinderartikel-Fabriksniederlage“, (ebendasselbst). Kurz: Einbandleinwand.

Jedermann, der die Versuche, die ich nun beschreiben werde, nachzumachen gedenkt, wird sich stets daran zu erinnern haben, daß die verschiedenen Kombinationen zum Teil unter ungleicher Beteiligung der dem Flattern im allgemeinen günstigen Bedingungen ihre Wirksamkeit entfalten. Ich wollte bezüglich dessen stellenweise die an mir selbst gemachten Erfahrungen angeben;¹ allein sie würden sich kaum immer als zutreffend bewähren, nicht so sehr wegen der etwa anzunehmenden individuellen Verschiedenheit der Beobachter (wenn ich von Farbenblindheit und ähnlichen Störungen absehe), sondern mehr infolge der wechselnden Disposition des einzelnen. Ich selbst sehe die mit jeder besonderen Kombination zu erzielenden Erscheinungen nicht stets unter völlig gleichen äußeren Bedingungen. Ich will gerade darum, weil ein flüchtiger Beobachter hierdurch leicht zu einem falschen Urteil verleitet werden könnte, schon jetzt zu Beginn ausdrücklich betonen, daß keine der hier als wirksam angeführten Kombinationen jemals versagen darf, wenn auch das Maß der Bedingungen, welche zum Hervorrufen der ihr zugeschriebenen Erscheinung erforderlich sind, ab und zu schwankt.

¹ In der ersten Versuchsreihe habe ich es gethan.

Erste Versuchsreihe.

Flattern auf rotem und orangefarbigem Grund.

1. Roter Grund (Blumenpapier, No. 1 Karmin), kreisrunde grüne Scheibe (Blumenpapier, No. 7 Nachtgrün). I.
Versuch.

Wenn ich diese Tafel etwa in einem Meter Entfernung von der Kerzenflamme vor mir halte, indem ich meinen Blick auf die grüne Scheibe richte, so bemerke ich bald über der letzteren einen hellen glanzähnlichen Schimmer, welcher mit den leichtesten Schwankungen meiner Hand oder meines Blickes erzittert. Bewege ich die Tafel in mäfsigem Tempo¹ und in kurzen Abweichungen in ihrer Ebene hin und her, dann bleibt dieser Schimmer als zusammenhängendes zweites Bild der Scheibe offenbar mit meinem nicht rasch genug folgenden Auge zurück. Am besten kann ich darum die Erscheinung beobachten, wenn ich bei dem Versuche womöglich die gleiche Blickrichtung beibehalte. Beim Hin- und Herbewegen des Blattes schiebt sich bald rechts, bald links von der wirklichen Scheibe ein sichelförmiges Stück dieses zweiten Bildes über den roten Grund, während am entgegengesetzten Rande immer ein ebensogroßes sichelförmiges Stück der Scheibe selbst von dem Schimmer frei wird. Wenn ich bei diesem Versuche meine Aufmerksamkeit auf die Vorgänge an immer demselben Rande der Scheibe gerichtet halte, so erscheint mir das zurückbleibende sichelförmige Stück des zweiten Bildes ganz untrüglich in der Farbe des roten Grundes, jedoch viel heller als dieser; hingegen sehe ich das Stück der Scheibe selbst, welches bei der Bewegung jenem zweiten Bilde vorausseilt, in ihrer ursprünglichen grünen Farbe, aber wesentlich dunkler, als der von dem Schimmer bedeckte Teil der Scheibe. Um mich von dem Gesagten zu überzeugen, muß ich meine Aufmerksamkeit gesondert eine Zeit lang bald blofs dem schwankenden Scheinbilde, bald blofs der Scheibe zuwenden.

2. Wenn auf demselben roten Grunde eine blaue Marke (Blumenpapier, Nr. 11 Ultramarin III) befestigt ist, kann ich dieses Hin- und Herschwanken des subjektiven zweiten Bildes noch besser beobachten, weil die II.
Versuch.

¹ Rasche Bewegung hindert die Beobachtung der Einzelheiten der Erscheinung.

Marke in dieser Farbe sich kräftiger von ihm differenziert, als wenn sie grün ist.

3. Wenn ich auf demselben roten Grunde III.
eine neutral graue Marke (Einbandleinwand Versuch.
Nr. 69)¹ benütze, so erhalte ich diese Erscheinung des
Flatterns ebenfalls ganz deutlich. Auf die Wichtigkeit dieses
Resultates habe ich schon in meiner ersten Mitteilung auf-
merksam gemacht und werde ich noch im Verlaufe dieser
Abhandlung zurückkehren.

Völlig gleiche Beobachtungen, wie die hier mitgeteilten,
mache ich mutatis mutandis mit allen Helligkeitsgraden des
Rot und mit jedem Orange als Farbe des Grundes, so daß
es unnötig erscheint, die einzelnen Versuche besonders anzu-
führen.

Anstatt vieler nenne ich bloß ein Beispiel: Orange- IV.—VI.
farbiger Grund (Blumenpapier No. 18. V) 1. Grüne Versuch.
Marke (Buntpapier G'. 2. Blaue Marke (Umschlagpapier 510. No. 10).
3. Graue Marke (Umschlagpapier 55, No. 19). (Entfernung von der
Kerze ca. 1,5 Meter. 2 und 3 erfordert eine etwas grössere Entfernung
als 1.)

Reines Gelb habe ich weder als Grund noch später als
Marke verwenden können. Es verhält sich wie Weiss, welches
ebenfalls kein Flattern aufkommen läßt. Bei herabgesetzter
Beleuchtung wird bei jeder Kombination des Gelb mit einer
anderen Farbe der Helligkeitsunterschied zwischen Grund und
Marke dermaßen zu groß, daß schon allein damit für die Er-
scheinung ein unüberwindliches Hindernis gegeben ist.

Wer die oben angegebenen Versuche mit der Farbe des
Grundes vom gesättigten Rot bis zum hellsten Orange durch-
macht, macht bald die Wahrnehmung, daß zur Erzielung
eines völlig gleichen Effektes mit der Helligkeit
des Grundes auch diejenige der Objekte in stets
gleichem Maße zu- und abnehmen muß. Damit steht
es nicht im Widerspruch, daß die Lichtstärke der Marke dennoch
auch für einen und denselben Grund innerhalb bestimmter
Grenzen verschieden sein kann, ohne daß die Kombination

¹ Zu allen Versuchen mit grauen Marken kann man diese noch
besser dadurch herstellen, daß man die gewünschten Formen aus rauhem
weißen Papier schneidet und, nachdem sie aufgeklebt sind, mit Bleistift
und Wischer sorgfältig gleichmäßig schattiert, bis die wirksame Nuance
erreicht ist.

ihre Wirksamkeit verliert. Jedoch gestaltet sich dann die entsprechende Netzhautreaktion auf folgende Weise verschieden.

Es ergibt sich, daß dann, wenn die Marke dem Grunde an Helligkeit möglichst nahesteht, der objektive Eindruck von der subjektiven Reaktionsempfindung dermaßen übertönt wird, daß fast ausschließlich das schwankende Scheinbild zur Perzeption gelangt, und ich nur bei angestrenzter Aufmerksamkeit das jeweilig in der Bewegungsrichtung des Blattes freiwerdende Segment der Marke entdecken kann. Darum läßt sich auch mit solchen Objekten, deren Helligkeit dem des Grundes gleichkommt, die Erscheinung der tanzenden Figuren am täuschendsten erzielen: man erhält eine überraschend reine Scheinbewegung. Nimmt man die Marken merklich heller, als den Grund, dann ergibt sich keine nennenswerte Reaktion, mithin auch keine Scheinbewegung. Sehr interessant gestaltet sich aber das Phänomen, wenn man die Marken gradweise dunkler nimmt. Erst dann entsteht die früher beschriebene Erscheinung des Vorbeischwankens eines zweiten Bildes über dem sichtbar bleibenden wirklichen Objekt; erst jetzt läßt sich mit genügender Deutlichkeit bemerken, wie bei den mäßig raschen Bewegungen in der Ebene das in der Bewegungsrichtung von dem Scheinbilde freiwerdende Segment der Marke die eigene Farbe, das Segment des Scheinbildes, welches durch sein Zurückbleiben an dem der Bewegungsrichtung entgegengesetzten Rande der Marke erscheint, die Farbe des Grundes hat. Die sichere Beurteilung dieser Einzelheiten der Erscheinung erfordert einige Umsicht: ungeübte Personen sehen zuweilen anfangs alles umgekehrt; sie lokalisieren nicht bloß das jeweilig auftauchende helle und dunkle Segment falsch, sondern sie glauben auch, daß die Scheinbewegung in einem Vorseilen der Marke besteht.

Zu den bei diesen Versuchen beobachteten Erscheinungen gehören noch folgende:

Wenn die Marke in allmäliger Abstufung dunkler verwendet wird, dann rückt die Erscheinung des Flatterns in kreisförmigen Zonen immer mehr vom centralen Sehen ab, bis sie endlich auch für das exzentrische Sehen völlig aufhört. Die Grenze der Helligkeitsverminderung, bei welcher noch Flattern in der Peripherie erzielt werden kann,

scheint nicht für alle Farben gleich weit zu sein. Zugleich bemerke ich, daß bei solchen Marken, die ob ihrer relativen Dunkelheit in der Nähe der Kerze nur im exzentrischen Sehen flattern, die Zone des Flatterns mit der zunehmenden Entfernung von der Kerze (also mit der abnehmenden Beleuchtung) sich dem centralen Sehen wieder nähert, bis die dunklere Marke bei einer gewissen Herabsetzung der Beleuchtung das gleiche Phänomen bietet, wie die relativ hellere Marke in stärkerem Lichte.¹ Das hier Beobachtete steht wohl in Beziehung zu der bekannten Gleichartigkeit des Verhaltens der Farbenperzeption im exzentrischen Sehen mit demjenigen des centralen Sehens bei verminderter Beleuchtung.

Abgesehen von der Alteration, welche sich an jeder der hier verwendeten Marken auf rotem und orangefarbigem Grunde bezüglich ihres Aussehens schon im centralen Sehen bemerkbar macht, ergibt sich noch eine weitere Abänderung im exzentrischen Sehen. Jede der 3 Marken (Grün, Blau und Grau) wird nämlich außerhalb einer um den Fixationspunkt konzentrischen Zone sehr rasch auffallend hell. Die Aufhellungszone ist vielleicht nicht für jede Farbe der Marken gleich weit: ich konnte es aber nicht sicher entscheiden, weil ich kein sicheres Maß dafür habe, die verschiedenfarbigen Marken völlig gleich lichtstark auszuwählen oder herzustellen, und für relativ verschieden helle Marken von einer und derselben Farbe sind die Zonen der gleichwertigen Aufhellung wirklich verschieden weit; sie erfolgt um so weiter vom Centrum, je dunkler die Marke im Verhältnis zum roten oder orangefarbigem Grunde ist; hingegen tritt sie um so näher zum Centrum schon ein, je schwächer die Beleuchtung ist. Die Weite der Aufhellungszone steht also im umgekehrten Verhältnis zur relativen Helligkeit der Marke und im geraden Verhältnis zur Beleuchtung.

Das absolute Maximum der Aufhellung ist der objektiven Lichtstärke der verschiedenen Marken proportional, so daß die dunklere unter mehreren Marken auch nach erfolgter maximaler Aufhellung, in derselben Entfernung vom Fixationspunkte, als die dunklere erscheint. Gleichwohl läßt sich mit verschiedenen

¹ Das gleiche Ziel erreicht man durch Vorhalten rauchgrauer Gläser.

hellen Marken von gleicher Farbe auf rotem und orange-farbigem Grund durch eine passende räumliche Verteilung, bei welcher die hellste Marke dem Fixationspunkt am nächsten, die dunkelste sich am weitesten von ihm befindet, der Eindruck erzielen, daß sämtliche Marken völlig gleich erscheinen, und zwar nicht bloß bezüglich der Helligkeit und Färbung, sondern auch bezüglich des Grades jener Netzhaut-erregung, auf welcher die Erscheinung des Flatterns beruht: flattert eine Marke, so flattern alle, die nun im gleichen Helligkeitsgrade erscheinen, mit gleicher Intensität. All das ändert sich aber sofort, wenn die Blickrichtung derart verändert wird, daß die relative Entfernung der einzelnen Marken vom Fixationspunkte nicht die gleiche bleibt.

Um ein wirksames Beispiel zu geben, empfehle ich VII.
auf dem orangefarbigem Grund (Blumenpapier No. 18) Versuch.
die folgenden drei grünen kreisförmigen Marken von ca. 2 cm Durchmesser: 1. Blumenpapier No. 23 Giftfreies Grün VI, 2. Bunt-(Gelatin)papier G. und 3. Blumenpapier No. 7 Nachtgrün senkrecht übereinander mit Intervallen von etwa 2 cm anzubringen. Im direkten Sehen flattert mit den charakteristischen Erscheinungen die unterste Marke in 0,5 m von der Kerzenflamme, die mittlere in 1,0 m, die oberste in 2 m Entfernung. Wenn ich in 1,5 m von der Kerze den Blick auf den oberen Rand der unteren (hellsten) Marke gerichtet halte, erscheinen mir alle drei Marken an Farbe und Helligkeit völlig gleich, und wenn ich das Blatt in seiner Ebene hin- und herbewege, zeigen sie gleichmäßige Scheinbewegungen. Ebenso leicht ist es, dasselbe Experiment mit blauen Marken anzustellen. Vollends mit grauen Marken, die man nicht aus vorhandenem Material auszuwählen gezwungen ist, sondern sich selbst in jedem Helligkeitsgrade anfertigen kann, läßt sich zu dem gleichen Zweck eine reichere Stufenleiter mit kürzeren Zwischenräumen anbringen. Mit Berücksichtigung der schon einmal angegebenen Bedingungen läßt sich der gleiche Erfolg auf dem Grunde von Rot und Orange eines jeden beliebigen Helligkeitsgrades erzielen.

Aus den bisher beschriebenen Versuchen haben wir zunächst erfahren, daß die Erscheinung des Flatterns durch Kombinationen von Farben zu erhalten ist, die im Spektrum sich ungleich weit voneinander befinden. Und dazu muß jetzt noch erwähnt werden, daß wir auch mit Hülfe von violetten Marken in dieser Gruppe sehr gut die Erscheinung hervorrufen können. Ich berichte hierüber erst nachträglich, weil das Verhalten des Violett, wie wir bald sehen werden, sich in wichtiger Hinsicht von demjenigen der bisher benutzten Farben unterscheidet.

1. Auf Rotbraun (Buntpapier 149 und 290) flattert eine Marke von Blumenpapier No. 14 Neuviolett VII äußerst lebhaft in 1,5 m Entfernung von der Kerze.

VIII.
Versuch.

2. Auf Orange (Blumenpapier No. 18, V.) flattert eine hellviolette Marke (Umschlagpapier 57 No. 11) ebensogut in gleicher Entfernung.

IX.
Versuch.

Es könnte sonach scheinen, daß dann, wenn die Marke eine Farbe hat, diese der entgegengesetzten Hälfte des Spektrums angehören muß; aber ich kann schon hier ein Beispiel anführen, welches dem widerspricht. Auf dunklem Karmin (Buntpapier 149) flattern Blumenpapier No. 5 Braunrot II in 1 m von der Kerzenflamme und No. 9 Braunrot V in 0,5 m.

X.
Versuch.

Wenn wir hierzu nun noch die Erfolge rechnen, die wir auf dem Grunde von hellem Orange bis zum dunkeln Karmin mit den Marken von entsprechend hellem bis dunklem Grau erhalten (auf dem zuletzt benutzten Karmin flattert Blumenpapier No. 16 Schwarz I oder eine Marke aus schwarzem Karton, der in jeder Papierhandlung zu haben ist), so erscheint uns vorläufig so viel sicher, daß bei den bisher angestellten Versuchen die eigentümliche Netzhauterregung, welche zur optischen Täuschung des Flatterns führt, vorzugsweise durch die Einwirkung des farbigen Grundes entsteht. Die Marke hat bloß die Aufgabe, eine geeignete Unterbrechung des Grundes herzustellen, auf welcher jene Netzhauterregung sich reaktiv äußern kann. Wir werden später sehen, daß unter geeigneten Umständen umgekehrt auch eine farbige Marke auf farblosem Grunde die gleiche Netzhauterregung hervorruft.

Unter den für das Auftreten des Flatterns erforderlichen äußeren Umständen zeigen sämtliche bisher verwendeten Marken auf dem entsprechenden roten und orangefarbenen Grunde die unverkennbaren Erscheinungen des Farbenkontrastes. Wie hinfällig der Eindruck der objektiven Farbe der Marke der subjektiven Kontrastempfindung gegenüber ist, erfährt man leicht, wenn man beispielsweise die bei den ersten drei Versuchen benutzten Marken: Blumenpapier No. 7 Grün, No. 11 Blau und Grau (Einbandleinwand No. 69) in einiger Entfernung voneinander auf dem roten Grunde (Blumenpapier No. 1) anbringt. Jede der drei Marken erscheint dann in einer gewissen Entfernung

XI.
Versuch.

von der Kerze graugrün, kaum durch einen Helligkeitsgrad voneinander unterschieden. Die gleiche Kontrastwirkung kann man im exzentrischen Sehen schon in geringerer Entfernung wahrnehmen. Bei beiden Versuchsarten erhält man die Reaktion am frühesten mit der grauen Marke, offenbar weil ihr die farblose Unterbrechung des Grundes den freiesten Spielraum läßt, dann mit der grünen Marke, weil hier der objektive Eindruck der subjektiven Kontrastempfindung qualitativ näher steht, als bei der blauen Marke.

So wie hier können wir es bei sämtlichen bisher versuchten Kombinationen erfahren, daß die subjektive Erregung der Netzhaut bei sinkender Beleuchtungsintensität, sowie durch Verschiebung des Netzhautindrucks aus dem Bereich des centralen Sehens, bis zu einer gewissen Grenze, sich in steigendem Maße geltend macht. Es ist nun die Frage: nimmt die Intensität dieser reaktiven Netzhauterregung durch eine solche Steigerung der ihr günstigen Bedingungen absolut zu, oder ist es ihr nur gestattet, besser hervorzutreten, etwa weil sie bei abnehmender Beleuchtung und im exzentrischen Sehen verhältnismäßig langsamer abnimmt, als die objektive Wahrnehmung?

Es ist nicht zu bezweifeln, daß diese Reaktion der Netzhaut durch die geeigneten Kombinationen wohl unter allen Umständen angeregt, jedoch für gewöhnlich in ihrem Geltendwerden dadurch behindert wird, daß ihr die objektive Wahrnehmung noch genügend die Wage hält. Wir empfinden oft den eigentümlichen Konflikt zwischen beiden schon bei gutem Tageslicht. So zum Beispiel wird aus diesem Grunde das Verweilen des Blickes auf roten Flächen mit grünen und blauen Buchstaben, und umgekehrt auf grünen und blauen Flächen mit roten Buchstaben, welchen man oft genug begegnet, zuweilen höchst unleidlich. Ich selbst kann mit Hilfe dieser Empfindung schon bei voller Beleuchtung fast sämtliche zum Flattern geeigneten Kombinationen sofort auswählen. Nach den übereinstimmenden Erfahrungen bei den von uns bisher angestellten Versuchen bedarf es wohl keines weiteren Beweises, daß diese durch gewisse Farbkombinationen erzeugte subjektive Netzhautempfindung, die bei vollem Lichte von der objektiven Wahrnehmung unterdrückt wird, letztere bei genügend herabgesetzter Beleuchtung völlig übertönt. Bei

dieser Intensitätsverschiebung der objectiven und subjektiven Empfindung müssen bei einem gewissen Grade beide gleich sein: dann haben wir zu gleicher Zeit die objektive Wahrnehmung der Marke und das schwankende Scheinbild der subjektiven Netzhauterregung, was wir bei jeder bisher benutzten Kombination unter geeigneten Umständen erzielen konnten. Ich werde durch das, was ich dabei empfinde, stets sehr lebhaft an den stereoskopischen Glanzversuch von DOVE erinnert. Wie bei diesem die Erscheinung aus dem binokularen Wettstreit hervorgeht, so, glaube ich, resultiert hier der glanzähnliche Schimmer, der auf der Marke liegt, aus dem (monokularen) Wettstreit zwischen dem objektiven Eindruck der Marke und der subjektiven Erregung, welche an derselben Netzhautstelle durch die Umgebung der Marke verursacht wird.

Aber aus gewissen Beobachtungen ergab sich die Vermutung, daß diese subjektive Netzhauterregung denn doch während der Dauer des Versuches auch noch an sich eine absolute Steigerung innerhalb gewisser Grenzen erfahren muß. So konnte ich beispielsweise für die richtige Entfernung von der Lichtquelle und für den Ablenkungswinkel der Blickrichtung bei den Versuchen im exzentrischen Sehen keine ganz bestimmten Maße finden, weil ich das Flattern nicht zu allen Versuchszeiten gleich prompt sehe. Ich bin entschieden besser geneigt, als wann immer sonst, die Erscheinung sofort zu sehen, wenn ich mich schon einige Zeit in mäßiger künstlicher Beleuchtung ohne Anstrengung der Augen aufgehalten habe. Die Versuche gelingen darum ungleich leichter am Abend, als wenn man aus dem vollen Tageslicht in einen künstlich beleuchteten Raum tritt; auch gelingen sie am besten erst nach einiger Fortsetzung. So kam es auch häufig, daß andere, die ich zu den Versuchen rief, zuerst gar nichts bemerken wollten, als vor mir schon alle Erscheinungen höchst lebhaft waren, um sie etwas später ebensogut zu sehen. Daraus geht hervor, daß, abgesehen von den äußeren Umständen, zur Beobachtung des Flatterns eine gewisse Adaptation der Netzhaut erforderlich sei.

Ich habe diesbezüglich eine Reihe von Versuchen angestellt, zunächst mit den bisher benutzten farbigen Objekten auf rotem und orangefarbigem Grunde. Die gewonnenen Aufzeichnungen beziehen sich auf Beobachtungen, die ich stets von dem Augenblick angefangen gemacht habe, als ich aus dem

hellen Tageslichte in eine Kammer getreten war, die mit gänzlichem Ausschluss des Tageslichtes nur durch eine Kerze beleuchtet ist. Wenn sich auch bei verschiedenen Kombinationen gewisse zeitliche Verschiedenheiten ergaben, die im Verhältnis zur Helligkeitsdifferenz zwischen Grund und Marke stehen, so war doch das Ergebnis ein ziemlich gleiches; bei wiederholten Versuchen mit denselben Kombinationen waren aber die Resultate stets völlig übereinstimmend. Ich zweifle allerdings nicht, daß die Versuche, von anderen ausgeführt, mancherlei individuelle Abweichungen ergeben würden; so weit ich sehen konnte, werden sie aber nicht bedeutend sein. Eine völlig maßgebende Reihe von solchen Versuchen an anderen steht mir derzeit allerdings noch nicht zur Verfügung. Sie sind sehr zeitraubend, da stets nur ein Versuch mit einer einzelnen Kombination immer erst nach genügend langem Aufenthalt im Tageslicht ausgeführt werden kann. Auch an mir selbst habe ich nicht mit allen Kombinationen gleich zahlreiche Versuche ausgeführt, um eine Mittelberechnung zu liefern. Darum führe ich nur das Resultat an, welches sich mir aus den Versuchen mit solchen Kombinationen ergab, bei welchen sich die Helligkeitsdifferenz zwischen Grund und Marke so verhält, wie zwischen Orange (Blumenpapier No. 18 V.) und Grün (Buntpapier G.).

Wenn ich, vom Betreten der Kammer angefangen in 1,5 m Entfernung von der Kerze, die Marke fixire, so erscheint mir dieselbe starr. Erst nach etwa 8—10 Minuten beginnt auf der Scheibe der gewisse Schimmer sich in auffallendem Maße geltend zu machen, und das Flattern geht an (näher als in 1,5 m Kerzendistanz etwas später, in größerer Entfernung etwas früher). Ich kann aber fast unmittelbar nach dem Betreten der Kammer im exzentrischen Sehen, von jedem Punkte einer ringförmigen Zone, deren Mittelpunkt die Marke bildet, und die einer Ablenkung der Blickrichtung etwa um 10^0 entspricht, die Marke in der charakteristischen Aufhellung flattern sehen. Nach etwa 2 Minuten hat sich die Zone allmählich bis auf ihren halben früheren Radius verengt. Nach weiteren 3 Minuten bin ich so weit gelangt, daß ich schon vom Rande der Marke aus das Flattern beobachten kann, jetzt schon mit genügend auffallender Absonderung des Scheinbildes vom Objekte; aber auch

XII.
Versuch.

jetzt noch, wie bisher, zeigt sich die Marke, wenn ich den Blick direkt auf sie richte, völlig starr und ohne auffallenden Schimmer. Erst in der 8. bis 10. Minute vom Beginne des Versuches gerechnet, kann ich das Flattern beim Betrachten der Marke selbst beobachten. Je länger dann noch der Versuch fortgesetzt wird, um so kräftiger wird die Erscheinung, und um so überzeugender werden die an ihr zu machenden Beobachtungen. Ich sehe dann die Marke auf dem Blatte schon bei den leisesten unwillkürlichen Bewegungen meiner Hand wie Gallerte erzittern, und immer leichter wird es mir, das zurückbleibende subjektive Scheinbild von der (scheinbar hinter ihm) hin- und herbewegten objektiven Marke zu unterscheiden.

Ich glaube nicht, daß man länger über die Natur der hier zur Geltung gelangenden Netzhauterregung im unklaren sein kann: es ist die des farbigen Kontrastes und damit im Zusammenhange stehend die Projektion eines negativen Nachbildes. Höchst eigentümlich erscheint es, daß die Kontrasterregung um so intensiver ist, je näher zu einander Grund und Marke bezüglich des Helligkeitsgrades stehen; und daß ihr gerade jene Beleuchtung am günstigsten ist, bei welcher sich die Konturen zu verwischen beginnen; desgleichen das exzentrische Sehen. Bei einem gewissen Grade der Zusammenwirkung dieser Umstände geschieht es, daß die subjektive Netzhauterregung nicht bloß den Reiz überdauert und ein kräftiges Nachbild erzeugt, sondern daß sie dem Eindrücke des Objektes dermaßen entgegenwirkt, daß seine direkte Wahrnehmung aufhört.

Ich habe schon einmal erwähnt, daß bei guter Wahl der Marke und bei günstiger Beleuchtung es schwer fällt, neben dem hin- und herschwankenden Scheinbild das dunkle Segment des wirklichen Objektes, welches in der Richtung der Bewegung frei wird, wahrzunehmen. Bei einem gewissen Grade der Beleuchtungsabnahme, sowie jenseits einer gewissen Grenze außerhalb des centralen Sehens bleibt dieses Segment völlig unsichtbar. Ebenso wenig unterscheidet man dann die wechselnde verschiedenfarbige Zusammensetzung der subjektiven Erscheinung. Bei der größten Aufmerksamkeit sieht man nichts als das ruhige Hin- und Herschwanken eines einfarbigen Scheinbildes, welches man nun für die wirkliche Marke zu

halten geneigt ist: man hat nun thatsächlich den Eindruck, als wäre das Objekt von seiner Unterlage abgelöst und labil geworden.

Nachdem ich mir aber aus den Beobachtungen in dem für unser Urteil ungleich maßgebenderen centralen Sehen auf jede Weise und stets von neuem die Überzeugung holen kann, daß jener Teil des Scheinbildes, welcher auferhalb der Marke erscheint, die Farbe des Grundes hat mit der Abänderung, welche dem Helligkeitsverhältnis des negativen Nachbildes entspricht, so muß ich zunächst annehmen, daß die völlige Einfarbigkeit des schwankenden Scheinbildes im exzentrischen Sehen eine Urteilstäuschung ist, die wohl in folgendem ihre Begründung findet. Das Scheinbild behauptet sich vor allem durch seinen Helligkeitsgrad als ganzes; außerdem bleibt dasselbe stets nur so viel gegen die Bewegung der Marke zurück, daß ein verhältnismäßig kleiner Teil auferhalb derselben nachzieht; auch befindet es sich eben in dem Augenblick der Bewegungsumkehr, wo der Eindruck am kräftigsten wird, im ganzen ausschließlicly auf der Marke, was bestimmend sein muß dafür, daß ihm — bei herabgesetzter Unterschiedsempfindlichkeit (schwaches Licht, exzentrisches Sehen) und bei der Flüchtigkeit des Netzhautindrucks (bewegtes Objekt) — die einheitliche, aber durch die subjektive Thätigkeit der Netzhaut alterierte Farbe der Marke zugeschrieben wird.

Was endlich unter diesen, dem Flattern günstigsten Umständen jenes Segment der Marke anbelangt, welches, der Bewegung zugekehrt, jeweilig vom hellen Kontrast befreit ist, haben mich maßgebende Versuche, die ich weiter unten beschreiben werde, belehrt, daß es sich während der Bewegung, infolge seines geringen Helligkeitsunterschiedes vom Grunde, der Wahrnehmung entzieht.

Wenn diese Beobachtungen und die auf sie gestützten Annahmen richtig sind, dann muß das Flattern überall zu erreichen sein, wo die gleichen Bedingungen erfüllt werden, wie bei den bisher angestellten Versuchen. Aber es ist nichts bekannt davon, daß auch noch andere Kombinationen diese Täuschung bewirken können. Ich werde nun zeigen, daß das Flattern in der That noch sehr viel weitree Grenzen hat, als

wir schon bis jetzt erfahren haben. Bevor ich aber so weit gehe, will ich zuerst die in der ersten Versuchsreihe benutzten Kombinationen umkehren, um zu sehen, ob sich hier auch wirklich, wie ich erwarte, die entgegengesetzte Kontrasterregung an dem schwankenden Scheinbilde erkennen läßt; denn daß auf grünem und blauem Grunde ein rotes und orange-farbiges Objekt flattert, ist schon von früher bekannt.

Zweite Versuchsreihe.

Flattern auf grünem und blauem Grunde.

I. Farbige Marken.

Grüner Grund (Blumenpapier No. 8, Grün II), orangefarbige Marke (Blumenpapier No. 18, Orange V).

XIII.
Versuch.

Wir finden hier im Gegensatz zu den Erscheinungen der ersten Versuchsreihe, daß sich zunächst über die Marke ein dunkles Kontrastbild wie ein Schatten legt, der bei der geringsten Unruhe, gerade so wie dort der helle Schimmer, erzittert. Ganz so wie dieser erweist sich hier die Erscheinung des Schattens als Folge einer überdauernden subjektiven Netzhauterregung, indem beim Hin- und Herbewegen des Blattes in seiner Ebene an dem der Bewegungsrichtung entgegengesetzten Rande der Marke auf den Grund das Segment eines Nachbildes projiziert wird, welches die Farbe des Grundes hat, aber dunkler ist, und zu gleicher Zeit an dem der Bewegungsrichtung zugekehrten Rande der Marke ein Segment derselben von dem Kontrast frei wird und eine Sichel in der eigenen Farbe der Marke bildet, welche heller ist, als der übrige vom Kontrast affizierte Teil derselben.

Die Gegensätzlichkeit im Vergleich zu den Erscheinungen der früheren Versuchsreihe spricht sich ferner noch darin aus, daß die Marken, die weiter in der Peripherie das Flattern zeigen sollen, heller als jene sein müssen, die schon im centralen Sehen oder in dessen nächster Nachbarschaft die Erscheinung bieten. Wie dort eine relativ zu helle Marke keine wirksame Reaktion, also nirgends Flattern hervorruft, so hier eine relativ zu dunkle, wie dort eine relativ sehr dunkle Marke bei stark herabgesetzter Beleuchtung und weit im exzentrischen Sehen sich noch zum Flattern anschickt, so erweist

sich hier unter den gleichen Umständen eine relativ sehr helle Marke noch wirksam. Und so wie bei der ersten Versuchsreihe die Marken im exzentrischen Sehen eine maximale Aufhellung erleiden (bei herabgesetzter Beleuchtung und hellere Marken in verhältnismäßig geringerer Entfernung vom Netzhautcentrum), so erfahren die Marken in der vorliegenden Versuchsreihe in der Peripherie eine maximale Verdunkelung (bei herabgesetzter Beleuchtung und dunklere Marken verhältnismäßig näher zum Netzhautcentrum).

Das hier Gefundene wiederholt sich dem Wesen nach völlig übereinstimmend bei sämtlichen geeigneten Kombinationen von orangefarbigem und roten Marken sowohl mit der grünen als auch mit der blauen Farbe des Grundes. Zur Erzielung des gleichen Effektes muß selbstverständlich auch hier das Verhältnis zwischen Grund und Marke bezüglich der Lichtstärke immer das gleiche bleiben.

Ebenso wie im VII. Versuch der vorhergehenden Reihe kann man eine Anzahl von verschieden hellen roten oder orangefarbigem Marken auf grünem oder blauem Grund derartig anbringen, daß sämtliche von einem gewissen Punkte aus im exzentrischen Sehen von gleicher Helligkeit erscheinen. Natürlich muß jetzt umgekehrt die dunkelste Marke dem centralen Sehen am nächsten liegen. Wie dort der Ausgleich durch Aufhellung der entfernteren Marken zu stande kommt, so hier durch Verdunkelung.

Um ein Beispiel zu haben, nehme man auf dem blauen Grund (Blumenpapier No. 13. Ultramarin II.) eine rote Marke (Buntpapier 290, Braunrot) eine andere (Blumenpapier No. 1, Karmin) und eine dritte (Blumenpapier No. 20, Geranium I); wenn man diese Marken in etwa 3 cm Entfernung senkrecht übereinander auf die Tafel klebt und dieselbe in 1 m von der Kerzenflamme etwas unterhalb der untersten braunrötlichen Marke fixiert, dann erscheinen sämtliche Marken in gleich dunklem Braunrot.

Ich muß hier erwähnen, daß auf grünem und blauem Grunde auch Marken von violetter Farbe flattern.

Beispielsweise auf Grün (Blumenpapier No. 23. Gifffreies Grün VI) Hellviolett (Umschlagpapier 57 No. 11; die violette Marke erscheint dabei graurosa-
farben. Von ganz gleicher vorzüglicher Wirkung erweist sich Blumenpapier No. 14 Neuviolett VII als Marke ebenso auf dem dunkelgrünen Grunde (Buntpapier 289), als auch auf dem dunkelblauen Grunde. (Blumenpapier No. 12, Ultramarin I). Hier tritt das

XIV.
Versuch.

XV., XVI. und
XVII.
Versuch.

Flattern ein, indem sich ein kräftiger braunroter Schimmer über die Marke legt.

In der letzten Kombination sehen wir also zwei im Spektrum nebeneinanderliegende Farben, unter geeigneter Lichtverteilung jene eigentümliche subjektive Thätigkeit der Netzhaut anregen, auf welcher die Erscheinung des Flatterns beruht.

II. Graue Marken.

In dem Maße, als bei den Kombinationen von Grün oder Blau mit Grau die farbige Kontrasterscheinung viel diskreter ist, als bei jenen, wo Rot oder Orange als Grund oder als Marke eine Rolle spielt, zeigte sich auch das Flattern bei den zunächst angestellten Versuchen mit hellen Farbentafeln verhältnismäßig schwach; aber es ist immerhin vorhanden und bei genügend herabgesetzter Beleuchtung ganz leicht zu beobachten.

Als Beispiel nenne ich folgende Kombinationen:

1. Grüner Grund (Buntpapier G), 2. Blauer Grund XVIII. u. XIX. Versuch.
(Mittelblaues Packpapier); beide mit der gleichen grauen Marke (Umschlagpapier 55, No. 19); auf dem blauen Grunde mußte ich die Marke noch ein wenig mit dem Wischer schattieren.

Um so überraschender wirkt das Auftreten einer sehr lebhaften Scheinbewegung der grauen Marken auf dem farbigen Grunde, sobald beide dunkler genommen werden. Zu gleich schönen Erfolgen gelangt man ebensowohl mit den grünen als auch mit den blauen Tafeln; aber auf letzteren ist das Flattern doch noch leichter zu erreichen, wohl aus dem Grunde, weil mit der abnehmenden Helligkeit der kombinierten Versuchsobjekte, wie wir bald sehen werden, noch eine zweite Ursache der Täuschung zur Geltung gelangt, und weil kein so schönes dunkles Grün zu beschaffen ist, das bezüglich der Lichtwirkung demjenigen Blau (Blumenpapier No. 12, I) entsprechen würde, auf welchem die Scheinbewegung thatsächlich am besten zu beobachten ist.

Auf dem grünen Grund (Buntpapier 147) ist die graue Einbandleinwand (No. 69) eine vorzügliche Marke; auf dem dunkelgrünen Grunde (Blumenpapier No. 7) mußte ich die Marke aus demselben Stoff mit dem Bleistift noch etwas nachdunkeln. Man erhält hier schon recht lebhaftes Flattern mit ausgesprochener Kontrastfarbe auf der Marke; bei einiger Aufmerksamkeit kann ich auf der Kombination all jene Erscheinungen wahrnehmen, die ich von roten Marken auf grünem Grund

XX.
Versuch.

beschrieben habe. Ein noch minder helles Grün für den Grund bietet ein Tuchpapier (Buntpapier 189), auf welchem eine dunkelgraue Marke aus sogenanntem „schwarzen Karton“ vorzüglich flattert.

Für den ultramarinblauen Grund habe ich die geeignetste Marke in dem schwarzen Papier der Heidelberger Kollektion gefunden, welches auf schwarzem Sammet entschieden grau ist. Das Flattern mit dieser Kombination steht demjenigen von grauen Marken auf rotem Grunde kaum nach. Auch hier fällt es dem aufmerksamen Auge nicht schwer, die Kontrasterscheinung in der gelblich braunen Färbung der Marke, und auf dem blauen Grunde das dunkle Segment des hin- und herschwankenden Scheinbildes wahrzunehmen.

Es ist interessant, ultramarinblaue Tafeln miteinander zuvergleichen, auf welchen die Marken: Blumenpapier No. 4 Braunrot I, No. 5 Braunrot II, No. 9 Braunrot V und No. 16 Schwarz I flattern. Man merkt, wie von Tafel zu Tafel die rote Marke hinter dem Scheinbilde immer mehr latent wird. Während die Marke Braunrot I sich sehr lange von dem Scheinbilde noch sehr auffallend differenziert, verschwindet Schwarz I am frühesten fast völlig hinter demselben. Wir sehen also die farblose Marke hier auf dem blauen Grunde von der ganz gleichen unübertrefflichen Wirksamkeit, wie in der ersten Versuchsreihe auf dem roten und orangefarbigem Grunde.

Auf diesem tiefblauen Grunde machen wir die sehr bemerkenswerte Wahrnehmung, daß die Marke auch noch dunkler, beispielsweise mit chinesischer Tusche gemalt sein kann; und wenn die Beleuchtung genügend herabgesetzt ist, wird hier selbst eine Marke aus schwarzem Sammet beweglich. Wenn es auch unleugbar ist, daß auf diesen schwarzen Marken die Kontrastwirkung der blauen Farbe des Grundes ebenfalls noch in gewissem Grade erkennbar ist, so ist sie doch so unbedeutend, daß ihr die Verursachung der Täuschung nicht zugeschrieben werden kann. Die Scheinbewegung hat auch in der That nichts mehr von dem eigentümlichen Flattern, das ich bisher noch bei allen helleren farbigen und farblosen Marken auf farbigem Grunde in verschiedener Abstufung beobachten konnte. Da wir ähnlichen Erscheinungen noch begegnen sollen, erlaube ich mir ihre Untersuchung, die ein wichtiges Moment des Flatterns enthüllt, gesondert mitzuteilen.

XXI.
Versuch.

XXII.
Versuch.

XXIII.
Versuch.

Dritte Versuchsreihe.

Flattern auf farblosem (grauem und schwarzem) Grunde.

Nachdem ich durch sorgfältige Beobachtung der Erscheinungen auf farbigem Grunde zur Überzeugung gelangt war, daß jenes Segment des Scheinbildes, welches an dem der Bewegungsrichtung abgekehrten Rande der Marke zurückbleibt, wirklich den Charakter eines negativen, auf den farbigen Grund projizierten Nachbildes hat, mußte ich daran denken, daß farbige Marken auf farblosem (grauem) Grunde unter den gleich günstigen Bedingungen der absoluten und relativen Lichtverteilung wohl ebenfalls kräftige negative Nachbilder geben und deshalb gleichfalls flattern werden. Die diesbezüglichen Untersuchungen bilden die erste Gruppe der folgenden Experimente.

Aus der anderen Erfahrung, daß beim Flattern im exzentrischen Sehen und bei genügend herabgesetzter Beleuchtung, das der Bewegungsrichtung zugekehrte, jeweilig von dem zurückbleibenden Erregungsbilde freiwerdende Segment der Marke sich der momentanen Wahrnehmung völlig entzieht, schloß ich ferner, daß bei aneinander grenzenden Objekten von geringem Helligkeitsunterschied durch Herabsetzung der Beleuchtung der Netzhautempfindung dermaßen verzögert werden kann, daß er langsamer zu stande kommt, als die in einer gewissen Geschwindigkeit erfolgende Bewegung. Die Folge hiervon muß es nun sein, daß unter solchen absoluten und relativen Lichtverhältnissen bewegte Objekte scheinbar zurückbleiben und vor angrenzenden hellen Objekten, welche die Netzhautempfindung rascher auslösen, zeitweilig völlig verschwinden. Die hierauf bezüglichen Untersuchungen sind in der zweiten Gruppe der folgenden Experimente zusammengefaßt.

I. Farbige Marken auf farblosem Grunde.

Rot und Orange erweist sich in ebenso weiter Ausdehnung, wie bei den ersten Versuchen als Farbe des Grundes, auch hier als Farbe der Marke wirksam. Vom hellsten Orange bis zum dunkelsten Karmin und Braunrot erhalten wir auf dem grauen Grunde des jeweilig entsprechenden Helligkeitsgrades gleich lebhaftes Flattern.

Grüne und blaue Marken verhalten sich bezüglich ihrer Wirkungsintensität wiederum ähnlich den ebenfalls schon geprüften entgegengesetzten Kombinationen von grauen Marken auf grünem und blauem Grunde; die hellen Marken zeigen eine etwas diskrete Wirkung, während die dunkleren auf entsprechend lichtschwachem Grau mit großer Intensität wirken.

Unter den unzählbaren möglichen Kombinationen erwähne ich bloß die folgenden, weil sie aus dem von uns bisher benutzten Material herstellbar sind: XXIV.—XXVI.

1. Auf dem grauen Grund (Umschlagpapier U 55, No. 19) flattert Orange (Blumenpapier, No. 18, V) sehr lebhaft; minder lebhaft Grün (Blumenpapier, No. 23, VI) und Blau (Buntpapier 158). Versuch.

2. Auf dem grauen Grunde (Einbandleinwand No. 69) flattern Rot (Blumenpapier No. 6, Scharlach), Nachtgrün (Blumenpapier, No. 7) und Blau (Blumenpapier No. 11) gleich ausgezeichnet. XXVII.—XXIX.
Versuch.

3. Auf „schwarzem Karton“ flattern ebenso lebhaft: Braunrot (Blumenpapier, No. 5, II und No. 9, V) auch ein dunkles Karmin (Buntpapier 149), ferner Blau (Blumenpapier, No. 12, I und 13, II) und Grün (Einbandleinwand 58). XXX.—XXXII.
Versuch.

Die roten und orangefarbigsten Marken lassen ein dunkleres Scheinbild flattern, als dem eigentlichen Helligkeitsgrade ihrer Farbe entspricht, die grünen und blauen Marken ein helleres. Jene erfahren im exzentrischen Sehen eine Verdunkelung, diese eine Aufhellung. Bei jenen ist während der Beobachtung sehr leicht das grüne Segment wahrzunehmen, welches als negatives Nachbild an dem der Beobachtungsrichtung abgewendeten Rande der Marke auf dem grauen Grunde zurückbleibt und dunkler ist als dieser; und ebensolich das helle Segment, welches sich an dem der Bewegungsrichtung zugekehrten Rande auf der Marke selbst zeigt, dort, wo diese von dem zurückbleibenden Scheinbilde frei wird. Übrigens macht sich die Kontrastwirkung der roten Marken auf der grauen Fläche noch weit hinaus durch blaugrüne Färbung derselben bemerkbar, die um so intensiver wird, je mehr bei dem Versuche den allgemeinen Bedingungen des Flatterns entsprochen wird. Diese subjektive Alteration der Umgebung der Marke beeinflusst wiederum den der Marke entsprechenden Netzhauteindruck dermaßen, daß mit der vorhandenen Kombination nun all jene Erscheinungen zur Wahrnehmung gelangen, die wir mit roten Marken auf grünem Grunde erzielt haben. Etwas mehr Auf-

merksamkeit erfordert es, bei der grünen und blauen Marke die rötliche Farbe des Nachbildes, welches der ersteren, und die gelblichgraue Farbe des Nachbildes, welches der letzteren nachzieht, zu erkennen, ferner das dunkle Segment der Marke an dem der Bewegungsrichtung zugekehrten Rande im Auge zu behalten.

Im Verlaufe der fortgesetzten Untersuchungen habe ich ferner die Erfahrung gemacht, daß dunkelfarbige Marken auch noch aufgänzlich schwarzer Folie (schwarzem Sammet) Schwankungen zeigen, die auf einem scheinbaren Zurückbleiben der Marke gegen die Bewegung des Grundes beruhen. Von der blauen Farbe habe ich das schon in meiner eingangs erwähnten ersten Mitteilung angegeben. Der betreffende Versuch bestand darin, daß mehrere senkrechte scharlachrote und ultramarinblaue Streifen miteinander abwechselnd und in gleicher Distanz auf einer Tafel aus schwarzem Sammet bei mäfsig raschem Hin- und Herbewegen in der Ebene die Erscheinung bieten, als würden die blauen Streifen zwischen den roten hin- und herschwanken. Ich habe die Täuschung dort auf die physiologische Thatsache zurückgeführt, welche HELMHOLTZ vermuthungsweise zur Erklärung der „flatternden Herzen“ heranzog: „daß der Lichteindruck im Auge für die verschiedenen Farben nicht gleich schnell zu stande kommt und deshalb das Blau in der von dem Blatte beschriebenen Bahn scheinbar etwas hinter dem Rot zurückbleibt“.¹ Aber nun sehe ich, daß auch Braunrot (Blumenpapier No. 9, V) und Dunkelgrün (Buntpapier 289) und, wie ich später zeigen werde, jede andere genügend dunkle Marke auf dem schwarzen Grunde die gleiche Erscheinung in wechselndem Mafse bietet, namentlich wenn man sie zwischen wesentlich helleren Gegenmarken angebracht hat, selbst wenn diese der gleichen Farbe angehören. So schwankt das obenbezeichnete Ultramarinblau auch zwischen hellblauen Streifen (Buntpapier 158). Aber am besten zeigt sich das Schwanken der dunklen Marken zwischen weissen Gegenmarken. Aus diesen Versuchen scheint hervorzugehen, daß dem quantitativ geringeren Reiz, der von einer Unterbrechung des Grundes durch einen geringeren Helligkeitsunterschied ausgeht, im Vergleich zu jenem eines gröfseren Helligkeitsunterschiedes, eine relative Verzögerung des Netzhautindruckes entspricht, die

¹ H. HELMHOLTZ, *Physiologische Optik*. 1. Aufl., S. 383.

sich bei der Bewegung in einem scheinbaren Zurückbleiben des dunkleren Objektes äußern wird. Zur Bekräftigung dieser wichtigen Annahme habe ich es für nötig erachtet, das Experiment noch möglichst zu vereinfachen.

Jedoch, bevor ich über die betreffenden Untersuchungen berichte, muß ich als hierhergehörig noch erwähnen, daß auf dem grauen Grunde sowohl Gelb als Violett unwirksam sind. Reines Gelb ist wie für jede andere Kombination auch hier zu hell. Die Unwirksamkeit des Violett bildet hingegen eine passende Ergänzung der mit dieser Farbe bei früheren Gelegenheiten schon gemachten Erfahrungen. Wir haben nämlich das eine Mal Violett als Marke auf Rot und Orange (VIII. und IX. Versuch), das andere Mal auf Grün und Blau (XV. Versuch) flattern gesehen, dort, indem es sich der Kontrastwirkung des Grundes fügend zur Entstehung eines grau-grünen Scheinbildes Gelegenheit bot, hier, indem es, der sozusagen entgegengesetzten Kontrastwirkung entsprechend, auf sich ein rötliches Scheinbild flattern läßt. Violett verhält sich demnach nahezu so indifferent, wie neutrales Grau; seine eigene Kontrast erregende Fähigkeit ist zu schwach, um als Marke auf dem grauen Grunde den Bedingungen des Flatterns zu entsprechen. Sein dem Grau ähnliches Verhalten bekundet sich auch folgerichtig darin, daß es ebenso wie jenes auf sich selbst als Grund einerseits Rot und Orange, andererseits Grün und Blau als Marken ihre entgegengesetzte Kontrastanregung ausüben läßt.

Unter den möglichen Kombinationen greife ich die folgenden heraus, die vorzügliches Flattern geben:

1. Auf dem Grunde helles Violett (Umschlagpapier S/575, No. 11) die Marken: Orange (Blumenpapier No. 18, V.) und Grün (Umschlagpapier A/5, No. 7).

2. Auf dem Grunde Neuviolett (Blumenpapier No. 14, VII.) die Marken Braunrot (Blumenpapier No. 4, D), Grün (Buntpapier 289) und Blau (Blumenpapier No. 12, I. und No. 13, II.)

XXXIII. und
XXXIV.
Versuch.

XXXV. bis
XXXVII.
Versuch.

II. Farblose Objekte auf farblosem Grunde.

Ich habe schon weiter oben angedeutet, daß ich auch von diesen Kombinationen eine Scheinbewegung erwarte. Die ganz dunkeln erweisen sich als die geeignetsten. Z. B.

1. Marke aus schwarzem Karton auf schwarzem glanzlosen Tuch als Grund (oder umgekehrt Tuchmarke auf Kartongrund).

XXXVIII.
Versuch.

2. Marke aus schwarzem Wollsammet auf schwarzem Tuch als Grund, oder auf der Rückseite des Sammetes (auch umgekehrt Tuchmarke auf Sammetgrund). Überall weisse Gegenmarken.

Die Schwankungen, welche hier beim Hin- und Herbewegen der Tafel an der dunkeln Marke beobachtet werden, sind durchaus jenen gleich, welche wir beispielsweise an der ultramarinblauen Marke auf schwarzem Sammet und ganz ebensogut an der Marke aus schwarzem Sammet auf dem blauem Grunde wahrgenommen haben. Helle Kombinationen sind der Erscheinung viel weniger günstig, wengleich ich sie auch auf solchen nicht gänzlich vermisste. Überall ist der geringe Helligkeitsunterschied zwischen Marke und Grund eine Hauptbedingung des Erfolges. In dem scheinbaren Zurückbleiben des bewegten Objektes ist hier die Täuschung eine ähnliche wie bei den „flatternden Herzen“. Allein nirgends hebt sich von dem Objekt ein besonderes Scheinbild ab, wie wir dies bei den wirklich flatternden Kombinationen auf Grund einer intensiven Kontrasterregung ganz zweifellos beobachten können. Demgemäß zeigen auch die Schwankungen in der nun vorliegenden Versuchsreihe bei weitem nicht die quecksilberne Unruhe des eigentlichen Flatterns. Gleichwohl hat diese Art der Verzögerung des Netzhauteindruckes einen ganz wesentlichen Anteil an der Erscheinung der flatternden Herzen.

Wenn wir bei allen hierhergehörigen Versuchen recht große kreisrunde Marken verwenden, so gewahren wir bei einiger Aufmerksamkeit, daß dieselben in der Richtung der Bewegung an dem ihr zugekehrten Rande eine Verkürzung erleiden, so daß sie während der Bewegung mehr die Form eines aufrechten Ovals als einer Kreisscheibe zeigen. Wenn man hingegen den Versuch mit ganz kleinen Marken anstellt und die Bewegungen etwas rascher ausführt, so sieht man die Marken unterwegs auch gänzlich verschwinden; aber sowohl die Art dieses Verschwindens, wie die Art des plötzlichen Wiederauftauchens im Augenblick der Bewegungsumkehr oder des Stillstandes genügt, um auch dann noch den Eindruck des scheinbaren Zurückbleibens zu machen.

Eine noch bessere Versuchsart, um den durch Verzögerung des Netzhauteindruckes bewirkten scheinbaren Schwund des

Objektes wahrnehmbar zu machen, ist die folgende: Man benütze viereckige Marken von etwa 2 cm vertikaler und 1 cm horizontaler Seitenlänge und versehe dieselben an dem einen vertikalen Rande mit einem weissen 3—4 mm breiten Grenzstreifen. Wenn man nun mit einer solchen Anordnung horizontale Bewegungen in der Ebene des Blattes ausführt, dann sieht man, für die ganze Dauer der Bewegung in der Richtung des freien Randes der Marke, diese von dem weissen Grenzstreifen dermassen überholt werden, das die Marke auffallend verschmälert erscheint, ja oft ganz verschwindet; bei der Bewegungsumkehr erscheint die dunkle Marke selbstverständlich wieder in ihrer vollen Breite für die ganze Dauer der Rückbewegung. Es bietet ein wirklich frappantes Schauspiel, wie solchermassen die Marke von dem viel schmälern Grenzstreifen abwechselnd verschluckt wird und aus ihm wieder hervorzüngelt.

XXXIX.
Versuch.

Ganz gleich, ja für manche Personen noch viel auffallender gestaltet sich der Erfolg, wenn man derlei mit einem weissen Grenzstreifen versehene, auf einem Kartonblättchen aufgeklebte Marken an der Spitze eines Stäbchens vor dem dunkeln Grunde in horizontaler Richtung frei hin- und herbewegt. Diese Art der Beobachtung läst sich selbstverständlich auf alle in dieser Abhandlung angeführten farbigen und farblosen Kombinationen ausdehnen. Am wirkungsvollsten geben sich dann die Kombinationen des echten Flatterns, weil bei diesen mit der scheinbaren Verschmälerung während der Bewegung gegen den freien Rand, bei der Umkehr eine, durch das nachziehende Nachbild gesteigerte, Verbreiterung der Marke abwechselt.

XL.
Versuch.

Was wir durch diese letzten Experimente zur Erscheinung gebracht haben, bestätigt vollauf, was wir schon bei der Beobachtung des Flatterns für einen Teil der Erscheinung angenommen haben, das nämlich jenes Segment der bewegten Marke, welches an dem der Bewegungsrichtung zugekehrten Rande momentan von dem Scheinbilde der subjektiven Netzhauterregung frei ist, aus dem Grunde völlig unsichtbar werden kann, weil unter gewissen Bedingungen (welche auch zu denen des Flatterns gehören) der betreffende Netzhautindruck langsamer zu stande kommt, als die von der Marke ausgeführte Bewegung erfolgt. Bei den letzten farblosen Kombinationen haben wir diese Bedingungen dermassen isoliert, das die Abhängigkeit der Täuschung von der angedeuteten Unzulänglichkeit

der Unterschiedsempfindlichkeit unserer Netzhaut wohl nicht bezweifelt werden kann.

Da es unmöglich ist, die von mir beschriebenen Tafeln mit „flatternden Kombinationen“ dieser Abhandlung im Druck beizufügen, bin ich dem Herausgeber dieser Zeitschrift Herrn Prof. KÖNIG sehr dankbar für die Ermächtigung hier mitzutheilen, daß er mit von mir angefertigten Tafeln meine Versuche geprüft und alle bestätigt hat. Auch weil Herr Prof. AUBERT hat meine Versuche kennen gelernt. Die folgenden Zeilen von seiner Hand, die mir ein wertvolles Andenken an den heimgegangenen Forscher sind, bezeugen die Übereinstimmung seiner Beobachtungen mit den meinigen:

„Herr Dr. SZILI wünschte, daß ich die von ihm benutzten Tafeln auf ihre Wirksamkeit prüfte, und ich habe das für die sämtlichen Tafeln gethan, indem ich sie nach seiner Vorschrift im Dunkelzimmer etwa 1 bis 1,5 m von der Kerze entfernt bei indirektem Sehen beobachtete. Wirksam habe ich alle seine Kombinationen gefunden, obwohl in verschiedener Intensität: für meine Augen tritt das Flattern in Verbindung mit Kontrastwirkung in den Kombinationen mit irgendwelchem Rot am schnellsten und stärksten ein — weniger schnell und ergiebig für Blau und Grün; dagegen wirkt Schwarz auf schwarzem Sammet in Versuch XXXIX sehr frappant. — Ich bemerke dazu, daß unter den von Herrn Dr. SZILI vorgeschriebenen Bedingungen das Flattern am deutlichsten und sicher, außerdem aber auch bei gewöhnlicher Tages- oder Lampenbeleuchtung für die meisten seiner Kombinationen eintritt.

Rostock, 16. Januar 1892.

AUBERT.“

Ich glaube, nach dieser Reihenfolge von Versuchen die Erscheinung der „flatternden Herzen“ auf ihre Elemente zerlegen und die Bedingungen ihres Zustandekommens angeben zu können.

Das eigentliche Flattern erscheint als das Resultat einer zweifachen Behinderung der direkten Gesichtswahrnehmung: einerseits durch die Verzögerung des Netzhautindrucks infolge Herabsetzung des quantitativen Lichtreizes, andererseits durch die überdauernde subjektive Erregung der Netzhaut infolge des überwiegenden qualitativen Lichtreizes. Demgemäß zeigt auch ganz folgerichtig jede Kombination das Flattern, die durch ihren Unterschied den Lichtsinn nur wenig, den Farbensinn aber kräftig anregt. Möglichste Ausgleichung des Helligkeitsunterschiedes der aufeinanderwirkenden Kom-

bination, Verminderung der Beleuchtung, exzentrisches Sehen (Umstände, welche die objektive Wahrnehmung beeinträchtigen) wirken einzeln und zusammen zu Gunsten der subjektiven Erregung. Unter diesen Bedingungen sehen wir, namentlich an den Marken der ersten Versuchsreihe, wie selbst qualitativ höchst verschiedene objektive Netzhautindrücke der gleichen Kontrastwirkung einer kräftig anregenden Farbe des Grundes zum Opfer fallen, und sehen wir die Kontrastwirkung ausgehend von einer kräftig anregenden Marke sich weit über den Grund hin ausbreiten. Alle Kombinationen mit Rot und Orange bieten hierfür lehrreiche Beispiele; die übrigen, die aufeinander eine minder kräftige Kontrastwirkung ausüben, stehen auch bezüglich der Intensität des Flatterns jenen nach, bei welchen Rot oder Orange als Grund oder als Marke vertreten ist. Wo mit den Kombinationen von diskreter Kontrastwirkung wieder lebhaftes Flattern erzielt wird (Dunkelgrün und Dunkelblau mit Grau), hat die Verzögerung des Netzhautindrucks den überwiegenden Anteil an dem Zustandekommen der Erscheinung, was sich auch für den geübten Beobachter in dem veränderten Charakter der Scheinbewegung äußert. Die höchste Intensität erreicht das Flattern darum bei den dunkleren Kombinationen mit Rot, weil hier beide Komponenten der Erscheinung am ausgiebigsten zusammenwirken.

Die Kombinationen mit Rot und Orange zeichnen sich übrigens noch dadurch vor anderen aus, daß unter gewissen Bedingungen eine ziemlich bedeutende Helligkeitsdifferenz zwischen Grund und Marke das Flattern noch gestattet.¹ Der besondere Grund dieser Thatsache liegt, wenn ich mich so ausdrücken darf, in der Regulierbarkeit des Eindruckes beider Farben, einerseits durch das Maß der Beleuchtung, andererseits durch das Maß der Verlegung des Netzhautindrucks in die Peripherie. Beide Farben werden sowohl mit der Verminderung der Beleuchtung, als mit der Entfernung des Eindruckes vom Centrum der Netzhaut allmähig dunkler. Rot verdunkelt sich zu Braunrot, Orange erscheint rot. Jede der zur Kombination mit Rot und Orange benutzten Farben (Grün, Blau, Violett und Grau) bleibt in der gleichzeitigen Verdunkelung wesentlich

¹ Die betreffenden Beobachtungen sind S. 365, 366 und 374 beschrieben.

zurück. So ist es nun möglich, gewisse Helligkeitsdifferenzen zwischen Grund und Marke, welche das Flattern beeinträchtigen, auszugleichen. Wenn wir also eine zum Flattern geeignete Kombination konstruieren wollen, werden wir nun wissen, daß auf einem roten oder orangefarbigem Grunde die Marke, von der geringsten Helligkeitsdifferenz angefangen bis an eine ziemlich weite Grenze, dunkler sein kann, aber nicht heller sein darf, daß hingegen eine rote oder orangefarbige Marke umgekehrt, von der geringsten Helligkeitsdifferenz angefangen bis an eine ziemlich weite Grenze, heller sein kann, aber nicht dunkler sein darf, als der Grund, auf welchem sie flattern soll. Kurz, auf die angegebene Art ausgleichbar ist die Helligkeitsdifferenz nur in dem Falle, wenn das Rot oder Orange in der Kombination der hellere Teil ist.

Ich will hier noch darauf aufmerksam machen, daß die Veränderung des Aussehens der flatternden Marken im exzentrischen Sehen (S. 365, 373 und 374) nicht aus der daselbst erfahrungsgemäß allmählig abnehmenden Empfindlichkeit für Farben abgeleitet werden kann, sondern daß sie, ebenso wie das Flattern selbst, durch jene eigentümliche Wechselwirkung zwischen Grund und Marke bedingt ist, welche — wie wir bei allen hier beschriebenen Versuchen erfahren haben — nur unter ganz besonderen Umständen zur Geltung gelangt. Wir sehen merkwürdigerweise alle Marken, welche auf Rot flattern, im exzentrischen Sehen hell werden, obgleich sie thatsächlich relativ dunkler sind als der Grund, und jedes Rot (oder Orange) auf dem Grunde, auf welchem es flattert, im exzentrischen Sehen dunkel werden, obgleich es relativ heller ist, als dieser. Diese Wechselwirkung bekundet sich geradezu im Widerspruch mit den Regeln des Helligkeitskontrastes, wie diese beispielsweise für die Perzeption von farbigen Objekten auf schwarzem und weißem Grunde von AUBERT gewonnen wurden. Man vergleiche die Wahrnehmung im exzentrischen Sehen an den auf sogenanntem „schwarzen Karton“ flatternden roten Marken mit dem Verhalten von Rot auf Schwarz in vollem Tageslichte, wie es von AUBERT beschrieben wird.¹ Auf schwarzem Karton wird noch eine Marke aus dem Karmin (Blumenpapier No. 1), die um Wesentliches heller ist als der Grund,

¹ H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut*, S. 160.

unter den Bedingungen des Flatterns im exzentrischen Sehen dunkel.

Jede Beleuchtung, bei welcher der hier in Rede stehende Helligkeitswechsel der Marke auftritt, eignet sich auch für das Flattern der betreffenden Kombination. Für eine Anzahl genügt herabgesetztes Tageslicht; andere rufen die Reaktion nur bei künstlicher Beleuchtung hervor: Kerzenlicht, Lampenlicht. Es scheint mir zweifellos, daß bei den letzteren außer der quantitativen auch noch eine qualitative Beeinflussung des Farbeindrucks durch die Beleuchtung zum Zustandekommen des Flatterns nötig ist.

Diese und noch andere zahlreiche Wahrnehmungen bei den einzelnen Versuchen wären würdig, in eingehendem Studium weiter verfolgt zu werden. Soweit ich selbst hierin gelangt bin, habe ich nichts gefunden, was mit meinen hier gemachten Angaben bezüglich der Bedingungen des Flatterns im Widerspruch stände.

Man kann also für das Experiment Grund und Marke aus verschiedenen Farben kombinieren; sie müssen sich aber bezüglich des Helligkeitsgrades ziemlich nahestehen, oder ihr Helligkeitsunterschied muß durch nebenumständliche Modifikationen ausgleichbar sein, ohne daß dadurch die qualitative Verschiedenheit zwischen Grund und Marke für das Auge beeinträchtigt wird (wie beispielsweise zwischen Rot und Orange einerseits und zwischen Grün und Blau andererseits, die auch darum aufeinander nicht flattern). Da bei solchen Kombinationen unter den für das Flattern günstigen äußeren Bedingungen der Einfluß der kräftiger kontrasterregenden Farbe sich dermaßen dominierend erweist, daß die entsprechende Kontrastempfindung den objektiven Eindruck der jeweilig vorhandenen anderen Farbe übertönt, so genügt es auch, eine einzige kontrasterregende Farbe, sei es als Grund oder als Marke, mit neutralem Grau zusammenzustellen, um unter der geeigneten Beleuchtung Flattern zu erzielen. Bei den kräftiger kontrasterregenden Farben (Rot, Orange) sind noch sehr helle Kombinationen wirksam, bei den minder kräftig anregenden Farben (Grün und Blau) zeigen erst dunkle Kombinationen lebhaftes Flattern, weil dann die weitere Herabsetzung der objektiven Unterschiedsempfindlichkeit der Täuschung Vorschub leistet. Bei einer mit Berücksichtigung dieser Angaben getroffenen Auswahl flattern:

Auf Rot	} Grün, Blau,	{ Versuch I bis III, VIII, X, XI.
„ Orange	} Violett, Grau	{ „ IV bis VII, IX, XII.
„ Grün	} Rot, Orange,	{ Versuch XIII, XV, XVI, XVIII, XX, XXII, XXIII.
„ Blau	} Violett, Grau	{ „ XIV, XVII, XIX, XXI.
„ Violett	} Rot, Orange,	{ Versuch XXXIII bis XXXVII.
„ Grau	} Grün, Blau	{ „ XXIV bis XXXII.

Das hier Mitgeteilte enthält das Ergebnis einer genauen Beobachtung der Erscheinung des Flatterns und die möglichst präzise Feststellung der Umstände, unter welchen es zu stande kommt. Damit sind wohl die letzten Ursachen der Täuschung nicht aufgedeckt; allein so weit sind wir mit der Erklärung der meisten Erscheinungen des subjektiven Sehens noch nicht. Für die physiologische Psychologie ist es aber schon von Bedeutung, die Gesetzmäßigkeit und die Grenzen der Fälschung einer Sinneswahrnehmung erkannt zu haben. Diese hier wurzelt durchaus in jener mangelhaften Übereinstimmung zwischen Netzhautreiz und Gesichtsempfindung, welcher AUBERTS treffender Ausspruch gilt: „Wir haben daher keine Veranlassung, die Vollkommenheit unseres Gesichtsansorgans zu bewundern, wohl aber, die Unvollkommenheiten desselben zu untersuchen“.
