

Eine Modification des Scheiner'schen Versuches (sammt Zusatz).

[Wiener akademische Sitzungsberichte 1854 u. 1855 (Physiologische Studien).]

(Hierzu Fig. 14 u. 15 auf Taf. 13 und Fig. 8 u. 9 auf Taf. 16).

Schon im Jahre 1847 habe ich den SCHEINER'schen Versuch, welcher in der physiologischen Optik so häufig zur Anwendung kommt, auch zur Beobachtung der Farbenmischung in einem Auge eingerichtet und benützt.

Ich befestigte nämlich vor jede Oeffnung des Kartenblattes ein Glas von bestimmter Farbe. Blickt man durch ein SCHEINER'sches Doppelloch nach einem hellen Hintergrunde, so bemerkt man bekanntlich zwei helle Scheiben, welche sich mehr oder weniger decken, so dass ein beiden gemeinschaftlicher Raum vorhanden ist; diesen gemeinsamen Raum nenne ich das »Interferenzfeld«.

Es versteht sich von selbst, auf welche Art ich durch obige Vorrichtung meinen Zweck erreichte. Jede der beiden hellen Scheiben erschien in der Farbe des vor die entsprechende Oeffnung befestigten Glases, — das Interferenzfeld wurde von beiden Farben bestrahlt, und musste in einer Mittelfarbe erscheinen, um welche es sich eben handelte.

Zu meiner grossen Verwunderung fand ich, nachdem eine grosse Menge von farbigen Glasplatten durchprobirt worden war, dass nur Roth und Blau ihre Mischfarbe, Violet, gaben, während fast alle übrigen Grundfarben im Interferenzfeld ein helles Grau meist mit einem Stich ins Röthliche oder eine schmutzige Missfarbe erscheinen liessen.

Damals schob ich diese auffallende Erscheinung auf die Unreinheit der Farben im Glase und vermuthete, dass mit reinen Spectrumfarben Resultate zu erhalten wären, welche der gewöhnlichen Farbenlehre besser entsprechen sollten. Um Spectrum-Farben zum Versuche anwenden zu können, hatte ich mir vorgenommen, zwei kleine um eine horizontale Axe drehbare Glasprismen vor die Oeffnungen des Kartenblattes anzubringen, und durch die verschiedene Stellung der Prismen verschiedene Farben durch die Oeffnung des Kartenblattes fallen zu lassen.

Seither hat bekanntlich HELMHOLTZ (Müll. Arch. 1852) seine neue Theorie der zusammengesetzten Farben entwickelt, und die auffallendste meiner Erfahrungen, dass nämlich Gelb und Blau weisslich Grau und durchaus nicht Grün gab, zu einer allgemein gültigen Thatsache erhoben.

Bedeckte ich bloss eine Oeffnung des SCHEINER'schen Doppellockes mit einem farbigen Glase, so erschien mir der dem unbedeckten Loche entsprechende Zerstreungskreis mit einem zarten Hauche der complementären Farbe des Glases überflogen. Betrachte ich eine Nadel durch ein so vorbereitetes Doppelloch, so erscheint mir ein farbiges Doppelbild derselben und zwar ist das eine Bild von der Farbe des Glases, das andere complementär gefärbt.

Das Belegen der Oeffnungen des SCHEINER'schen Doppellockes mit farbigen Gläsern hat, abgesehen von diesen Beobachtungen der Farbenmischung in einem Auge, noch einen anderen Vortheil, und dieser betrifft die Demonstration des SCHEINER'schen Versuches selbst. Betrachtet man nämlich eine Nadel, die man gegen das Licht hält, durch das farbige Doppelloch, so erscheint im Interferenzfeld auch ein farbiges Doppelbild der Nadel und zwar hat das eine der Doppelbilder die Farbe des vor der rechten, das andere die Farbe des vor der linken Oeffnung befestigten Glases. Das Doppelbild, welches der rechts gelegenen Oeffnung seine Entstehung verdankt, erscheint in der Farbe des Glases, das vor der links gelegenen Oeffnung angebracht ist, und umgekehrt, indem die gegen das Licht betrachtete Nadel zwei Schattenkegel durch die farbigen Oeffnungen in das Auge wirft, welche, wenn sie im Interferenzfeld auf der Retina projicirt werden, und die Farbe ihrer Oeffnung daselbst aufheben, in der Farbe der andern Oeffnung erscheinen müssen. Man ersieht hieraus wie sich unter diesen Umständen aus der Farbe des Doppelbildes unmittelbar bestimmen lässt, welcher Oeffnung es angehört.

In gewisser Entfernung erscheint die Nadel bekanntlich einfach

und dann ist sie schwarz, weil beide Schattenkegel auf denselben Punkt der Netzhaut auftreffen und alles Licht daselbst aufheben.

Betrachtet man durch das farbige Doppelloch statt der Nadel einen feinen Lichtpunkt, so erscheint derselbe als farbiger Doppelpunkt, und zwar gehört der Punkt zur Oeffnung gleicher Farbe. Es sei die rechte Oeffnung des Doppelloches mit einer gelben, die linke Oeffnung mit einer blauen Glasplatte bedeckt, so wird der Gang der Lichtstrahlen, welche von einem Lichtpunkte (A) ausgehen, folgender sein. (Taf. 13, Fig. 14).

Bringt man ein bei A durchlöcheretes Kartenblatt vor die Doppelöffnung und lässt von A zwei feine Strahlenkegel durch die farbigen Gläser bei g und b einfallen, so bildet sich rechts ein gelbes (γ), links ein blaues (β) Bild des Punktes A .

Da die Retina alle Eindrücke umgekehrt nach aussen setzt, so sehen wir unter diesen Umständen das gelbe Bild links und das blaue rechts, wie die beiden Sehstrahlen anzeigen ($\beta\beta'$, $\gamma\gamma'$).

Entfernt man den Punkt A so weit, dass die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen vor die Netzhaut fallen, dann erscheint uns das rechte Bild gelb und das linke blau, weil dann die linke Oeffnung ihr Bild objectiv rechts von dem Bilde der rechten Oeffnung auf die Netzhaut wirft, wie Fig. 15 der Taf. 13 zeigt.

Befindet sich A in der passenden Schweite, so erscheint ein einfacher Punkt von weisser Farbe, indem dann das gelbe und blaue Bild auf denselben Netzhautpunkt fallen.

Zusatz.

a) Um mit Bequemlichkeit das SCHEINER'sche Doppelloch mit verschiedenfarbigen Gläsern zu bedecken und die durch diese Modification ermöglichten Erscheinungen zu beobachten, habe ich mir folgenden einfachen Apparat construiren lassen. Vgl. Fig. 8 (Taf. 16). Es ist eine geschwärzte Messingplatte, in welcher sich eine quer ovale Oeffnung befindet, an dem Holzstiele S befestigt. An dieser Platte sind 2 um die Punkte A und B drehbare Scheiben in der Art befestigt, dass sie sich über der Mitte der querovalen Oeffnung berühren. Jede der Scheiben trägt knapp an der Peripherie 7 runde Oeffnungen (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6), in welchen Gläsern von rother, oranger, gelber, grüner, blauer und violetter Farbe eingesetzt sind. Die Oeffnung mit dem Zeichen 0 ist leer gelassen. Die abnehmbare Spange D trägt in ihrem Ringe das in ein Stückchen Zinnfolie (Stanniol) eingestochene Doppelloch, welches so über die beiden eingestellten Oeffnungen zu

liegen kommt, dass jedes Loch von einem anderen farbigen Gläschen verlegt wird. Hält man den Apparat knapp vor ein Auge und blickt nach dem gleichmässig umwölkten Himmel, so sieht man zwei gefärbte Kreise, welche in der Mitte über einander greifen und in diesem »Interferenzfelde« eine eigenthümliche Mischfarbe erzeugen.

Man kann leicht durch Drehen der die farbigen Gläschen tragenden Scheiben alle möglichen Combinationen der verschiedenen Farben einstellen, so dass dieser Apparat sehr gut zur Untersuchung der Farbenmischung in einem Auge und subjectiver Farbenercheinungen u. s. w. gebraucht werden kann.

b) Stellt man den Apparat so ein, dass das eine Loch über die Oeffnung 1, 2, 3, 4, 5 oder 6, das andere hingegen über die Oeffnung 0 zu liegen kommt, so fällt durch das erstere farbiges, durch das letztere weisses Licht ins Auge. Das Interferenzfeld wird dann von weissem und farbigem Lichte zu gleicher Zeit bestrahlt. Unter diesen Umständen erscheinen die Netzhautstellen, welche nur von weissem Lichte getroffen werden, wie ich bereits mitgetheilt habe, nicht rein weiss, sondern complementär gefärbt zu der Farbe des angewendeten Glases, vgl. Fig. 9 (Taf. 16). Daher ist sowohl die ganze kreisförmige Fläche, welche dem das weisse Licht durchlassenden Löchelchen entspricht, bis auf das Interferenzfeld, das mit einem Hauch der Farbe des angewendeten Gläschens überzogen ist, complementär dazu gefärbt, als auch jede Stelle des Interferenzfeldes, an welcher ein durch das gefärbte Löchelchen einfallender Schatten die gefärbten Strahlen eliminirt und die weissen allein zurückbleiben.

Das letztere findet statt, wenn man eine Nadel, welche sich diesseits oder jenseits des Accommodationspunktes befindet, gegen einen hellen Hintergrund, am besten gegen den umwölkten Himmel gehalten, betrachtet. Die Nadel wirft dann durch jedes Löchelchen ein Schattenbild auf das Interferenzfeld. Das eine Schattenbild hebt die farbigen, das andere die weissen Strahlen an den getroffenen Netzhautstellen auf, welche daher im ersten Falle nur durch die weissen, im zweiten nur durch die farbigen Strahlen erregt werden, so dass das eine Bild der Nadel in der Farbe des angewendeten Gläschens, das andere hingegen complementär gefärbt erscheint.

Diese subjectiv auftretenden complementären Färbungen finden durch das Princip des Contrastes ihre ungezwungene Erklärung, welche BRÜCKE¹⁾ mit gewohnter Klarheit folgendermassen ausgeführt hat:

¹ BRÜCKE: »Untersuchungen über subjective Farben«. Denkschr. d. math.-naturw. Classe d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. III, 1851.

»Wenn sich nun gleich in der physikalischen Theorie der Farben durchaus kein Anhaltspunkt findet, um die Complementärfarben an und für sich als Gegensätze zu betrachten, so ist es doch auf der anderen Seite unzweifelhaft, dass sie für die subjective Anschauung Gegensätze bilden, indem sie sich neben oder nach einander empfunden verstärken; wenn aber ihre Eindrücke im Sensorium einander decken, sich gegenseitig zerstören, und es lässt sich leicht die Mechanik aufdecken, durch welche uns eine Farbe so afficiren kann, dass wir ihren Gegensatz, ihr Complement zu sehen glauben, wenn dasselbe weder objectiv, noch als Erregungszustand in den peripherischen Theilen unserer Schnerven-Elemente existirt. Wenn wir angeben, dass überhaupt irgend eine Farbe vorhanden sei, so sagen wir damit, dass die Lichtwellensysteme verschiedener Schwingungsdauer nicht in solchen Amplituden mit einander combinirt sind, dass sie sich unter einander zu Weiss oder Grau neutralisiren. Unser ganzes Urtheil über Farben muss also wesentlich von der Vorstellung abhängen, welche wir vom neutralen Grau oder, wenn es sich um höhere Lichtintensitäten handelt vom reinen Weiss haben. Wenn das Gedächtniss in unseren Sinnen ein absolutes und mithin die Vorstellung vom Weiss in uns eine unwandelbare wäre, so würden wir auch immer richtig über die Farben urtheilen, d. h. wir würden Grün für grün, Roth für roth etc. erklären. Dem ist aber nicht so; vermöge der Unvollkommenheit unseres sinnlichen Gedächtnisses nennen wir zu verschiedenen Zeiten Dinge weiss, welche sich neben einander als höchst verschiedenfarbig erweisen. Wären wir nun disponirt, ein Licht weiss zu nennen, welches z. B. einen Ueberschuss an Grün enthält, so würden wir zu derselben Zeit das reine Weiss für roth erklären, und wiederum ein andermal könnten wir dieses selbe reine Weiss für grün erklären, wenn wir disponirt wären, ein Licht mit einem Ueberschusse an rothen Strahlen für weiss zu halten.

»Es ist nun hinreichend bekannt, dass wenn wir plötzlich eine grosse Menge farbigen Lichtes auf unsere Augen wirken lassen, z. B. wenn wir durch ein farbiges Gläschen sehen, die Farbe desselben im ersten Augenblicke mit der vollen Energie auf uns wirkt, diese aber von Moment zu Moment abnimmt und zwar in solchem Maasse, dass Leute, welche eine farbige Brille tragen, oft nachdem sie dieselbe kurze Zeit vor den Augen gehabt haben, sich nicht mehr deutlich bewusst sind, dass sie die Gegenstände in anderen als in den natürlichen Farben sehen. In demselben Maasse aber, in dem für uns die Energie des Farbeneindruckes verloren geht, muss offenbar auch unsere Vorstellung vom Weiss verändert werden, und wir werden des-

halb unmittelbar disponirt, das reine Weiss oder das neutrale Grau, für complementär gefärbt zu halten, ja wenn die Verschiebung unserer Vorstellung von Weiss bedeutend ist, so kann uns sogar ein gefärbter Gegenstand in der zu seiner wahren Farbe complementären erscheinen. Denke ich mir z. B. ich sehe durch ein rein grünes Gläs und die Energie des Eindruckes dieser Farbe sei schon so gesunken, dass ich gemischtes Licht mit einem beträchtlichen Ueberschuss von Grün schon für weiss erklären würde, so müsste ich offenbar ein anderes gemischtes Licht, in dem ein geringerer Ueberschuss von Grün vorhanden wäre, schon für roth erklären, obgleich ich im Normalzustande meiner Empfindungen keinen Augenblick angestanden haben würde, es grün zu nennen. Auf diese Weise glaube ich, erklären sich am ungezwungensten die oben angeführten Beobachtungen.«

Beiläufig erlaube ich mir hier darauf aufmerksam zu machen, dass BRÜCKE durch die eitrte Auseinandersetzung eine höchst interessante Analogie zwischen den Gesichtsempfindungen und den Wärme- und Kälteempfindungen, welche, wie E. H. WEBER gezeigt hat, ebenfalls nach einem subjectiven, veränderlichen Maassstabe beurtheilt werden, aufgedeckt hat. Je nachdem der Nullpunkt unseres subjectiven Thermometers in der einen oder der anderen Richtung verschoben ist, erklären wir bekanntlich eine und dieselbe objective Temperatur bald für warm, bald für kalt u. s. w. Ich möchte behaupten, dass man unter den Thätigkeitserscheinungen der übrigen Sinne ebenfalls analoge Verhältnisse finden würde, wenn man unter den Geruchs-, Geschmacks- und Gehörs-Empfindungen solche subjective Gegensätze oder Complemente, wie unter den Empfindungen des Temperatur- und Gesichtssinnes entdecken könnte. Für das Gehör findet sich im Reiche der musikalischen Töne nichts destoweniger, wie ich glaube, eine entfernte Analogie.

Es ist nämlich bekannt genug, dass derselbe Ton, derselbe Accord bald einen angenehmen, harmonischen, bald einen unangenehmen disharmonischen Eindruck macht. Spielt oder singt man z. B. die *G-dur* Tonleiter, so ist man genöthigt die siebente Stufe von *f* auf *fis* zu erhöhen, weil unserem Gehör die Tonfolge *efg* in der diatonischen *G-dur* Tonleiter widerstrebt. Dieselbe Tonfolge *efg* befriedigt uns aber vollständig, wenn wir die Tonleiter statt mit *G* mit *C* beginnen, ja, nachdem wir die *C-dur* Tonleiter gespielt oder gesungen haben, können wir auch die Octave von *G* bis *g* hören lassen und *f* statt *fis* intoniren, ohne dass unser Gehör den geringsten Anstoss daran nimmt. Die musikalische Geltung eines Tones oder Accordes wird eben nach dem Grundton oder der *Tonica* beurtheilt, desshalb ändert

sich jene Geltung für dieselben objectiven Töne und deren melodische oder harmonische Combinationen, je nachdem die subjective Auffassung diesen oder jenen Ton als Grundton festhält. —

Das eine der im Interferenzfelde entstehenden complementär zu einander gefärbten Doppelbilder einer Nadel (vergl. oben sub b) gehört unter die Erscheinungen der farbigen Schatten, welche man gewöhnlich auf andere Weise hervorzurufen pflegt. Unter den Bedingungen meines oben angeführten Versuchs tritt die subjective Färbung des Schattens mit grösster Reinheit und Intensität hervor, so dass sich der angegebene Versuch vor den anderen Arten, farbige Schatten zu erregen, zur Demonstration besonders empfiehlt.

Was die Erscheinung selbst angeht, so können wir uns die Frage stellen: »ob der Farbe des Schattens wirklich der Erregungszustand der betreffenden Netzhautstelle entspreche oder nicht« und werden dieselbe *mutatis mutandis* mit BRÜCKE (a. a. O.) folgendermaassen erörtern: »Betrachte ich den rothen Schlagschatten, welchen ein Körper hinter einer grünen Glastafel auf einen weissen Grund wirft, so ist sicher, dass das dem Schatten entsprechende Netzhautfeld nicht von rothem sondern nur von neutralem (weissen, grauem) Lichte erregt wird. Ich kann auch nicht annehmen, dass das grüne Licht auf diesem Netzhauttheile roth inducirt; denn Grün inducirt, wie wir oben gesehen haben, nicht die ihm complementäre, sondern die ihm gleiche Farbe. Man kann also nur annehmen, entweder, dass der Erregungszustand jenes Netzhautfeldes der Wirkung des neutralen Lichtes entspricht, und nur die durch das grüne Licht in unserem Sensorium hervorgebrachte Verstimmung bewirkt, dass wir ihn als Roth empfinden, oder dass das grüne Licht die Netzhaut so verändert, dass die von ihm nicht getroffenen Stellen von neutralem Licht in einen Erregungszustand versetzt werden, der dem Roth entspricht. Da wir aber oben gesehen haben, dass wir in Fällen, in welchen der Erregungszustand eines Netzhautfeldes sicher nur dem Grau oder gar dem Graugrün entspricht, lediglich durch die Verstimmung unseres Sensoriums Roth empfanden, so würde die letztere der beiden Annahmen eine unnöthige und durch nichts gerechtfertigte Hypothese sein. Dasselbe, was über die rothen Schatten im grünen Lichte gesagt ist, gilt von den gelben Schatten im violetten Lichte. Bei den grünen Schatten im rothen Lichte kann man allerdings darauf rechnen, dass das Roth auf dem dem Schatten entsprechenden Theile der Netzhaut das ihm complementäre Grün induciren, aber man darf dies nicht auf andere Farben übertragen, ehe man sich auf die oben von mir beschriebene Weise überzeugt hat,

dass sie wirklich im Stande sind, ihre Complementärfarben zu induciren.«

Anmerkung. Nachdem ich bereits diese Zusätze vollendet hatte, kamen mir die Verhandlungen der naturf. Gesellsch. in Basel 1854, I. Heft in die Hände, worin sich ein interessanter Aufsatz von Fr. BURCKHARDT: »Ueber Binocularsehen« (S. 123) findet. Ich habe für jetzt weder Zeit noch Raum, um genauer auf diese Arbeit eingehen zu können und muss mich darauf beschränken zu bemerken, dass BURCKHARDT auf ähnliche Versuche »über den Zusammenhang zwischen Accommodation und Augenstellung« gekommen ist, wie ich, dass wir aber nichts destoweniger in manchen Punkten nicht unbedeutend von einander abweichen.
