

Die Erklärung des ZEEMANSchen entoptischen Phänomens.

Von

E. G. A. TEN SIETHOFF
in Deventer (Holland).

Mit großem Interesse habe ich die kurze Mitteilung von P. ZEEMAN (Leiden) „Über eine subjektive Erscheinung im Auge“ (in *dieser Zeitschr.* Bd. VI) gelesen. Beim Versuche, diese Erscheinung selber zu beobachten, fand ich, daß es am besten gelingt, die blau-violetten gebogenen Lichtlinien zu sehen, wenn man im Dunkeln durch einen Spalt in einem schwarzen Stück (Karton) Papier eine nicht zu intensive Lichtquelle beobachtet. Am schönsten gelingt es, wenn man Na-Licht verwendet (ich beobachtete die durch *BrNa* gefärbte BUNSENsche Flamme). Wenn man plötzlich den Spalt vor die Flamme bringt und zugleich durch den Spalt blickt, so sieht man, wie ZEEMANN sagt, „namentlich in den ersten Momenten, nicht nur den hell erleuchteten Spalt, sondern auch eine blau-violette Lichtlinie. Sie gleicht dem Umriss einer Birne, deren Achse senkrecht zur Spaltmitte steht. Dem rechten Auge erscheint der spitzige Teil der Lichtlinie, also der Stiel der Birne, rechts vom Spalte, der gekrümmte Teil kommt ein wenig jenseit des Spaltes. Mit dem linken Auge sieht man die der beschriebenen symmetrischen Figur.“ „Der von der Lichtlinie umsäumte Teil des Feldes ist meistens dunkel.“ Von diesen Lichtlinien möchte ich noch Folgendes sagen: Wenn man den Kopf aufrecht hält und den Spalt vertikal (für mich z. B. einen Spalt von 2 mm Breite und 2 cm Länge auf 37 cm Entfernung vom Auge), dann beobachtet man, daß von dem oberen und dem unteren Ende des beleuchteten Spaltes zwei gebogene elliptische Streifen

von schwach violetterm Lichte ausgehen, die ungefähr symmetrisch verlaufen über und unter einer hypothetischen Linie, die senkrecht auf der Mitte des Spaltes steht. Bringt man den Spalt dem Auge näher, so wird die von den Lichtlinien umsäumte Figur kleiner, bleibt jedoch in der Form der erst gesehenen gleich. Man sieht dann die Lichtstreifen, unabhängig von den Enden des Spaltes, auf zwei anderen Punkten austreten, symmetrisch von der hypothetischen Achse, die senkrecht auf dem Spalte steht (die Unabhängigkeit von der Spaltgröße ist ebenfalls zu konstatieren bei Beobachtung eines längeren Spaltes auf die Entfernung von 37 cm). Die beiden Enden dieser elliptischen, violetten Lichtstreifen berühren sich jedoch nicht, obgleich sie einander am Ende deutlich näher rücken. Sie sind nämlich in der Nähe des Spaltes am breitesten und werden mit der Entfernung vom Spalte schmaler und lichtschwächer, schließlich für mich nicht mehr wahrnehmbar. Dabei ist es unmöglich, den Punkt zu fixieren, wo die beiden Lichtlinien zusammenkommen würden, — wie wir sehen werden, liegt hier der blinde Fleck. Deshalb muß es auch unmöglich sein, das Zusammentreffen der Lichtlinien zu beobachten. Wenn wir zum Beispiel die Erscheinung nehmen, wie sie sich dem rechten Auge zeigt, so sieht man den hell und gelb leuchtenden Spalt; temporalwärts von diesem, d. h. nach außen, nach rechts, die von ZEEMAN birnförmig genannte Figur (vielleicht besser: zugespitzt eiförmig, weil die umrahmenden Lichtstreifen eine scharfe, mehr oder weniger elliptische Form haben). An der linken Seite des Spaltes, nasalwärts, sieht man die beiden leuchtenden Streifen in einander übergehen, wobei sie ungefähr einen Kreisbogen bilden. Dieser Bogen entfernt sich nicht weit vom Spalte. Bemerkenswert ist ferner, daß man die Erscheinung nicht sieht, wenn man gerade durch den Spalt blickt. Wenn man mit dem rechten Auge beobachtet, muß man einen Punkt fixieren, der etwa 2 bis 3 mm nach rechts vom Spalt liegt; wenn man mit dem linken Auge beobachtet, einen symmetrischen Punkt links. Plötzlich kommt dann die violette Figur zum Vorschein. Ganz dunkel ist jedoch nach meiner Beobachtung der von der Lichtlinie umsäumte Teil des Feldes nicht. Es besteht ein, wenn auch schwacher, violettgrauer Ton. ZEEMAN betont besonders, „daß nicht nur gelbes Licht, sondern alle Spektralfarben die violette

Linie erzeugen. Es gelingt sogar bei jeder der drei Wasserstofflinien. Mit der roten Linie gelingt es leicht, mit den anderen sehr schwer. Mit gelbem oder weißem Lichte ist die Beobachtung der Erscheinung leicht.“ Im Anfang schon meinte ich, wir hätten hier mit einem Nachbilde zu thun, des Umstandes wegen, daß, wenn man die Erscheinung beobachtet, den Kopf und das Auge fixiert, und das schwarze Papier (mit dem Spalte) plötzlich bewegt, die ganze Figur absolut ruhig bleibt und vom Spalte unabhängig wird. Ein gewöhnliches Nachbild konnte es jedoch nicht sein, denn das Nachbild des Spaltes müßte eine Linie sein. Eine andere Beobachtung ist die, daß, wenn man den Kopf schief hält nach links und dann mit dem rechten Auge durch den vertikalen Spalt blickt (immer unter der Bedingung, daß man nicht den Spalt fixiert, sondern das Bild eines Punktes rechts vom Spalte auf die Fovea centralis retinae fallen läßt), man dieselbe grau-violette, spitzeiförmige, von hellen violetten Rändern umsäumte Figur sieht, jedoch mit dem zugespitzten Ende nach rechts und oben verschoben. Bei Beobachtung mit dem linken Auge, und den Kopf schief nach rechts (wieder unter der Bedingung, daß man einen Punkt links vom Spalt fixiert), sieht man die Spitze der Figur nach links oben verschoben. Diese zwei Beobachtungen beweisen, daß es ein irgendwie in der Retina festgelegtes Bild sein muß, — ein entoptisches Nachbild. Meines Erachtens ist es höchst wahrscheinlich, daß die Figur das Bild der nach außen projizierten, in Erregung versetzten Macula lutea und Umgebung ist. Wollte man es noch besser umschreiben, so könnte man sagen: die Erscheinung ist ein entoptisches komplementäres Nachbild, verursacht durch die Erregung der hinter der Umgebung der Macula lutea gelegenen, perzipierenden Elemente — (Sehzellen). Daß dieses komplementäre Nachbild immer bei jeder Beleuchtung violett ist, ist dadurch zu erklären, daß in der Umgebung der Macula infolge der elektiven Absorption des gelben Farbstoffes immer mehr oder weniger gelbes Licht herrscht.

Dafür sprechen die folgenden Überlegungen:

1. Wenn man das schwarze Papier mit dem Spalte z. B. 15 cm vom Auge entfernt hält, kann man mit einem Bleistifte so ungefähr angeben, wie weit die violetten Lichtstreifen sich erstrecken, und an welchem Punkte sie sich ungefähr schneiden

würden. Wenn man auf ein weißes Stück Papier zwei Punkte oder Kreise markiert, in derselben Entfernung von einander, wie der horizontale Längsdurchmesser der violetten Figur, und wenn man nun (das Auge in derselben Entfernung von 15 cm vom Papier) den einen Punkt fixiert, so verschwindet der andere. Von diesen Punkten oder Kreuzen liegt deshalb in diesem Falle das Bild des einen in der Fovea centralis, das des anderen im blinden Fleck.

2. Die von ZEEMAN gemachte Beobachtung, daß die Figur immer violett erscheint, ob man gelbes, weißes oder anderes Licht gebraucht. Es ist ja bekannt, daß die Macula lutea ihren Namen empfangen hat, weil sie durch ihre gesättigt gelbe Farbe gekennzeichnet ist. Weißes Licht muß deshalb ein violettes Nachbild erzeugen. Daß gelbes Licht die Farbe der Erscheinung am schönsten hervorruft, kann uns nicht wundern. Daß alle nicht vollkommen rein roten, blauen oder anderen Spektralfarben die Erscheinung erzeugen, jedoch weit schwächer, ist begreiflich. Daß es mit dem reinen Spektralblau noch hervorzurufen wäre, würde schwer begreiflich sein. Während diese Beobachtungen es wahrscheinlich machen, daß die Macula lutea und speziell ihre gelbe Farbe die Erklärung der Erscheinung geben kann, zumal da die Form der Lichtstreifenfigur, das zugespitzt eiförmige, und der horizontale Stand ihres größten Durchmessers genau übereinstimmt mit der Form und dem Stande der Macula lutea, und die Figur, mit Beibehaltung ihrer Form, ihren Stand bei Beobachtung mit schiefem Kopfe in gleicher Weise ändert, wie die durch die Kopfdrehung mitbewegte Macula lutea, deutet die unter 1 genannte Beobachtung auf noch kompliziertere Verhältnisse. Wissen wir doch, daß die Macula lutea sich nicht bis zum blinden Fleck erstreckt. Was könnte dann die Umgrenzung der Figur verursachen?

Bekanntlich beobachtete BERGMANN zwei den gelben Fleck oben und unten umfassende Randwülste, gebildet durch die in einem Bogen herumlaufenden Nervenbündel. BLESSIG hat dieser Beobachtung zwar widersprochen, aber nach ihm haben Andere den Befund BERGMANNs bestätigt, und KRAUSE sah die Wälle in der unmittelbar nach dem Tode untersuchten Retina eines Enthaupteten ebenfalls.

Wir wissen ferner, daß die gelbe Färbung der Macula

lutea von einem diffusen gelben Farbstoff herrührt, der alle vor den Sehzellen gelegenen Netzhautschichten der Macula durchtränkt, den Sehzellen aber fehlt; er fehlt darum auch dem Grunde der Fovea centralis. Es ist sehr wahrscheinlich, daß auch in der unmittelbaren Nähe der Macula der gelbe Farbstoff vorhanden ist und die Randwülste färbt.

Die elliptischen Lichtlinien können deshalb diesen Randwülsten ihr Entstehen zu verdanken haben und durch die an diesen auftretende Zerstreuung des Lichtes gerade besonders deutlich zur Beobachtung kommen. Zum Zustandekommen dieser Erscheinung haben wir nötig ziemlich starke (nicht zu starke) diffuse, periphere Beleuchtung der Macula. Im Anfang haben wir schon gesagt, daß man nicht die Flamme oder den Spalt selbst fixieren soll, aber einen Punkt nach rechts, resp. nach links vom Spalte gelegen. Wenn man den Spalt vertikal hält und den Kopf aufrecht, steht die Achse der spitzeiförmigen Lichtfigur senkrecht auf dem Spalte. Hält man den Spalt nicht vertikal, jedoch schief, dann bleibt die Form und der Stand der Lichtfigur gänzlich unverändert. Je mehr der Stand des Spaltes jedoch dem horizontalen Stande nahe kommt, desto schwerer wird die Beobachtung der Lichterscheinung. Steht der Spalt horizontal (oder nahezu horizontal), so ist es nicht möglich, etwas von der Erscheinung zu sehen. Die Erklärung hierfür ist die folgende: Der Durchmesser sowohl der Macula lutea als ihrer unmittelbaren Nähe (der Teil der Retina durch die Randwülste begrenzt) ist in vertikaler Richtung viel kleiner als in horizontaler. Die Erscheinung dauert so kurz, daß man sie theoretisch unmittelbar nach, praktisch jedoch während der Beobachtung erhaschen muß. Eine zentrale Beleuchtung würde das Auge blenden und andererseits, weil in der Fovea centralis kein Farbstoff vorhanden ist, die violette Lichtfigur nicht erzeugen. Besonders ungünstig würde es sein, wenn das linienförmige Lichtbild des Spaltes in den Längsdurchmesser der Macula und Umgebung fiel (dies geschieht bei horizontalem Stand des Spaltes). Damit das starke Licht bei zentraler Beleuchtung die Beobachtung der lichtschwächeren violetten Lichtfigur nicht beeinträchtigt, ist periphere Beleuchtung notwendig. Da nun die Macula lutea temporalwärts vom Eintritt des Nervus opticus im Auge gelegen ist und die Randwülste sich nasalwärts von der Macula erstrecken, müssen wir sorgen,

daß das einfallende Licht temporalwärts von der Macula lutea die Retina trifft, und deshalb den leuchtenden Spalt nasalwärts vom Fixierpunkt (2 mm vom Spaltrande) halten. Die unmittelbare Nähe der Macula wird deshalb das stärkste diffuse Licht empfangen und auch am deutlichsten das violette Licht erzeugen. Je mehr man der Papilla nervi optici nahe kommt, desto lichtschwächer wird die Erscheinung. Wenn man für periphere Beleuchtung der Macula auf die oben beschriebene Weise Sorge trägt, kann man auch ohne Spalt durch eine kleine runde Öffnung die Lichterscheinung erzeugen, wenn auch viel undeutlicher.

Zum Schlusse habe ich noch versucht, die Erscheinung zu beobachten bei momentaner Beleuchtung des Spaltes durch einen einzelnen elektrischen Funken. Ich fand, daß ein einzelner elektrischer Funke nicht genügte, die Lichtfigur zum Vorschein zu bringen. Erst bei nahezu kontinuierlicher Beleuchtung durch eine Reihe überspringender Funken gelang es mir, die Lichtfigur zu sehen. Der Spalt muß dabei so eng sein, daß er ganz leuchtend erscheint. Die elektrischen Funken erhielt ich durch eine Influenzmaschine von WIMSHURST mit vier drehbaren Scheiben von 52 cm Durchmesser.

Diese Beobachtung von ZEEMAN ist darum von hohem physiologischen Interesse, weil sie beweist, daß die höchste lichtperzipierende Fähigkeit an bestimmte Teile der Retina gebunden ist, und daß die hinter der gelbgefärbten Region der Nervenfasern- und anderen Netzhautschichten gelegenen Stäbchen und Zapfen, in diesem Falle speziell die Zapfen, ein Bild jener wichtigen Region zur Wahrnehmung bringen können und dadurch zugleich beweisen, daß sie eigentlich die perzipierenden Elemente sind.
