Über die Möglichkeit einer stereoskopischen Projektion ohne Ab- lenkungsprismen mit weissen Teilbildern.

Von

Otto Wiener.

(Mit 2 Textfiguren.)

Über stereoskopische Projektionen hat Hering¹⁾ in dieser Zeitschrift einen Aufsatz veröffentlicht, an den anknüpfend es mir vergönnt sein möge, einen kleinen Beitrag zur Feier unseres verehrten Jubilars zu liefern.

Unter den verschiedenen Arten der stereoskopischen Projektionen, welche Hering bespricht, ist wohl die einfachste und zweckmässigste die, dass man ein rotes und ein grünes Teilbild auf eine weisse Wand projiziert und die stereoskopisch verschiedenen Bilder mit einer Brille betrachtet, welche auf der einen Seite ein rotes, auf der anderen Seite ein grünes Glas enthält. Sind die Farben so gewählt, dass sie sich spektral ausschliessen, so erblickt man durch das rote Glas die grüne Zeichnung schwarz auf hellem Grunde, während die rote Zeichnung nicht bemerkt wird; mit dem grünen Glas sieht man entsprechend nur das rote Bild schwarz auf hellem Grunde, so dass dadurch die stereoskopische Wirkung erreicht wird.

Die farbige Natur der Teilbilder und ihr Wettstreit stört kaum, wie Hering ausführt. Dagegen ist es klar, dass die gleichzeitige Forderung einer stereoskopischen und beliebig farbigen Projektion auf diesem Wege ohne weiteres nicht möglich ist. Ich habe mir nun die Frage vorgelegt, ob eine derartige Projektion doch erzielt werden kann mit Benutzung des von Hering verwendeten Grund-

1) E. Hering, Über die Herstellung stereoskopischer Wandbilder mittels Projektionsapparates. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 87 S. 229. 1901. Dort sind auch über die Verfahren der Herren Rollmann, d'Almeida und Petzold genauere Angaben gemacht, die sich vorher mit der Aufgabe beschäftigt haben.

satzes der Verwendung einer Brille, von der jedes Glas nur das eine Bild erblicken lässt. Die Aufgabe führt auf dasselbe hinaus, wie die Erzielung einer stereoskopischen Projektion mit weissen Teilbildern ohne Benutzung von Ablenkungsprismen. Da der Projektionsschirm in der Regel das Licht depolarisiert, so ist auch der naheliegende Gedanke der Verwendung von gekreuzten Nikols ausgeschlossen.

Die Aufgabe kann gelöst werden durch Benutzung von zwei aus verschiedenen Farben zusammengesetzten Arten von Weiss, welche sich spektral ausschliessen. Denken wir uns (s. Fig. 1) ein Spektrum in eine Reihe aufeinanderfolgender Abschnitte eingeteilt, derart, dass sich zwei benachbarte voneinander in der Farbe nur unmerklich unterscheiden und gleichen Helligkeitswert besitzen. Wir greifen einerseits die ungeradzahigen Streifen und andererseits die geradzahigen Streifen heraus und setzen sie jeweils wieder zusammen,

Fig. 1.

dann erhalten wir als Mischfarbe von beiden Teilen zwei Arten von Weiss in gleicher Lichtstärke, aber doch in der Art, dass kein Wellenlängenbereich des einen in den Wellenlängenbereich des anderen hineinfällt. Um einen abgekürzten Ausdruck benutzen zu können, sollen diese beiden Arten von Weiss als sich spektral ergänzende¹⁾ bezeichnet werden, weil ihre Spektren sich zum zusammenhängenden Gesamtspektrum ergänzen; sie sollen auch als spektral ausschliessende bezeichnet werden, weil keines eine Farbe besitzt von einem Wellenlängenbereich, den die andere Art von Weiss umfasst. Für den beabsichtigten Zweck ist es nötig, dass die beiden Arten von Weiss sich spektral ausschliessen, jedoch nicht, dass sie sich spektral ergänzen.

Dabei ist die beschriebene Anordnung zwar hinreichend, aber

1) Man könnte sie als „physikalisch komplementäre Weiss“ bezeichnen, wenn das Wort „komplementär“ nicht für die Bezeichnung von Paaren bunter Farben vergeben wäre.

nicht notwendig zur Erreichung des Zieles. Beschränkt man sich auf die Forderung, dass die Teilbilder weiss sein sollen, so genügt es, wenn jedes Weiss aus mindestens zwei Farben besteht; fordert man zugleich die Möglichkeit der Wiedergabe von Farben, so muss jedes Weiss aus mindestens drei Farben bestehen. Die Forderung, dass die beiden Arten von Weiss gleiche Lichtstärke haben sollen, muss in jedem Falle durch geeignete spektrale Begrenzung der Farben erfüllt werden.

Es sind nun zwar keine Stoffe bekannt, welche derartig einfache Absorptionsspektren besässen. Es gibt aber verschiedene Methoden, mit deren Hilfe man solche Spektra herstellen kann, zum mindesten mit einem gewissen Grad der Annäherung. Freilich wird es dazu jeweils eines besonderen Apparates bedürfen. Der Einfachheit der Darstellung halber wollen wir von Gläsern statt von Apparaten reden, welche ein Weiss der genannten Art hindurchlassen.

Denken wir uns also zwei Gläser, welche zwei Arten von Weiss, die sich spektral ausschliessen, hindurchlassen und die wir jetzt als Weiss (1) und Weiss (2) bezeichnen wollen. Dann benutze man zwei Projektionsapparate, von denen der eine das Bild nur in Weiss (1), der andere das stereoskopisch zugeordnete Bild nur in Weiss (2) auf einen weissen Schirm projiziert. Der Zuschauer setzt eine Brille auf, deren eines Glas nur Weiss (1), deren anderes Glas nur Weiss (2) hindurchlässt. Dann erblickt er mit dem einen nur das eine, mit dem anderen nur das andere Bild und erhält so einen stereoskopischen Eindruck.

Bei der praktischen Ausführung des Gedankens habe ich zunächst das sogenannte „Weiss höherer Ordnung“ ins Auge gefasst, wie es bei nicht sehr dünnen Blättchen infolge der Interferenz des natürlichen Lichtes auftritt, oder bei dickeren Kristallblättchen infolge der Interferenz polarisierten Lichtes, obgleich man mit diesen Methoden zunächst nur sich spektral ergänzende und nicht sich ausschliessende Arten von Weiss herstellen kann.

Beginnen wir mit folgendem einfachen Versuch: Wir bringen zwischen gekreuzte Nikols ein Glimmer- oder Gipsblättchen, dessen Hauptelastizitätsrichtungen einen Winkel von 45° mit den Polarisationsrichtungen der Nikols bilden; das Blättchen erscheint dann im parallelen Lichte gleichmässig gefärbt, wenn es ausreichend dünn ist; im Weiss höherer Ordnung, wenn es dick genug ist. Untersucht man aber dies Weiss spektral, so erkennt man, dass in regel-

mässiger Folge Farben fehlen, die Stellen der Minima der Interferenzen, zwischen denen Maxima liegen. Es ist nicht nötig, das Spektroskop in der Richtung des einfallenden Lichtes zu halten. Man kann auch das Bild irgendeines Diaphragmas auf den Projektionsschirm werfen und das weisse Bild mit dem Spektroskop betrachten. Dann sieht man die Interferenzstreifen ebenso gut, wie man die Fraunhofer'schen Linien in der Strahlung einer weissen Wolke erkennt. Dreht man den einen Nikol um 90° , so werden die Maxima und Minima miteinander vertauscht. Wir haben also die gesuchten zwei Arten von Weiss, die sich spektral ergänzen und sich auch wenigstens teilweise spektral ausschliessen.

Wir denken uns nun zwei in gleicher Weise eingerichtete Polarisationsapparate, jeder mit zwei Nikols versehen und mit einem

Fig. 2.

Gipsblättchen von jeweils gleicher Dicke, in der angegebenen Orientierung. Sind die beiden Nikols parallel, so entsteht das Weiss (1), dessen spektrale Helligkeitsverteilung schematisch in Fig. 2a angegeben ist. Sind die beiden Nikols gekreuzt, so entsteht ein Weiss, dessen spektrale Helligkeitsverteilung unter Fig. 2b angegeben ist. Setzt man die beiden Polarisationsapparate hintereinander, oder betrachtet man durch den zweiten das Weiss, welches durch den ersten auf einen Schirm projiziert wurde, und stellt die Nikols in gleicher Weise ein, z. B. beide parallel, so wird von Apparat (2) das meiste Licht hindurchgelassen, welches der Apparat (1) aussendet. Enthält aber Apparat (1) parallele, Apparat (2) gekreuzte Nikols, so tritt eine erhebliche Abschwächung der Helligkeit ein, indem jetzt doppelt soviel Interferenzstreifen auftreten wie vorher und die dazwischen liegenden Maxima nur noch eine sehr geringe

Intensität besitzen. Ich habe diesen Versuch mit dem angegebenen Erfolge angestellt¹⁾. Setzt man die Intensität des Lichtes bei gleicher Orientierung der Apparate gleich 1, so müsste die Lichtstärke bei entgegengesetzter Orientierung der Apparate nur ein Sechzehntel sein, wie man durch eine einfache Rechnung erfahren kann. Der spektrale Ausschluss, der für die stereoskopische Projektion erforderlich ist, wird theoretisch somit nicht vollständig erreicht, praktisch in einer durchaus ausreichenden Weise, wenn wirklich dieses Helligkeitsverhältnis erzielt werden könnte.

Um darüber nämlich ein Urteil zu erhalten, haben wir zwei normal eingestellte Hefner-Alteneck-Kerzen in 1 bzw. 4 m Abstand von einem Schirm aufgestellt und vor dem Schirm einen schwarzen Stab derartig, dass die Schatten der beiden Kerzen nebeneinander fielen. Der von der entfernteren Lampe geworfene Schatten war dann kaum noch zu bemerken; man musste schon genau zusehen, um seines Vorhandenseins bewusst zu werden. Das Helligkeitsverhältnis aber, in dem diese beiden Schatten erschienen, war nach der Versuchsanordnung 1:16.

Bei der praktischen Ausführung des Versuchs mit den Polarisationsapparaten konnten wir nun leider nicht ohne weiteres ein so günstiges Helligkeitsverhältnis erzielen. Wir benutzten Gipsblättchen von rund 2 mm Dicke, deren erster sichtbarer Streifen bei gekreuzten Nikols im Rot bei einer Wellenlänge von $\lambda = 725 \mu\mu$, deren fünfundzwanzigster und letzter sichtbarer im Blau bei $\lambda = 402 \mu\mu$ lag. Leider stimmten die vier erforderlichen Blättchen in der Dicke nicht genau überein. Es wurden daher einige Blättchen gegen die Achse des Apparates so lange gedreht, bis bei je zwei entgegengesetzt orientierten Apparaten die hellen Interferenzstreifen des einen möglichst genau auf die dunkeln des zweiten fielen. Trotz dieser Sorgfalt in der Einstellung gelang es nicht, ein günstigeres Helligkeitsverhältnis bei gleich- und entgegengesetzt orientierten Apparaten zu erzielen, als das etwa von 1:2 bis etwa 1:3. Wahrscheinlich hat der Mangel an Planparallelität der Blättchen und depolarisierende Fehler der Nikols und Blättchen zu dem ungünstigen Ergebnis beigetragen.

1) Bei den hier angegebenen Versuchen genoss ich die dankenswerte Unterstützung des Herrn Ludwig Schiller, Assistent am physikal. Institut, und des Herrn Universitätsmechaniker Donner.

Um nun die rot-grüne Brille nachzuahmen, wurden auf einem mit Handgriff versehenen Brettchen zwei Polarisationsapparate mit der beschriebenen Anordnung angebracht, von denen der eine das Weiss (1) und der andere das Weiss (2) hindurchliess. Wurde nun auf den Schirm Weiss (1) projiziert, so erkannte man ganz deutlich, dass das mit Weiss (1) bewaffnete Auge einen grösseren Helligkeitseindruck empfing als das mit Weiss (2) bewaffnete. Bei einer so mangelhaften Verwirklichung der theoretischen Forderung, wie sie oben angegeben wurde, war natürlich an die praktische Ausführung der stereoskopischen Projektion nicht zu denken. Genauere und geeignetere Blättchen konnten bei der Kürze der verfügbaren Zeit nicht mehr beschafft werden¹⁾; aber es musste auch mit dieser unvollkommenen Einrichtung möglich sein, eine stereoskopische Erscheinung hervorzubringen.

Zu diesem Zwecke wurden zwei Projektionsapparate aufgestellt, welche je einen Spalt gleicher Grösse und Lichtstärke in Weiss (1) und (2) auf den Schirm projizierten. Um den Spaltbildern objektiv die gleiche Lichtstärke zu sichern, wurde tatsächlich nur eine einzige Lichtquelle benutzt, nämlich die Lampe eines von der Firma Zeiss hergestellten Ives'schen Projektionsapparates, welcher das Licht in drei gleichstarke Anteile zu zerspalten gestattet. Benutzt wurden im vorliegenden Fall nur die beiden äusseren Strahlenbündel.

Betrachtet man nun das Spaltbild in Weiss (1) mit dem Zwillingspolarisationsapparat durch das mit Weiss (1) bewaffnete Auge, so erblickt man es heller als mit dem mit (2) bewaffneten Auge, während umgekehrt das in Weiss (2) projizierte Spaltbild dem mit Weiss (2) bewaffneten Auge heller erscheint. Damit war aber erreicht, dass die beiden Spaltbilder mit den beiden Augen in verschiedener Weise gesehen wurden, z. B. das rechte Spaltbild mit dem rechten Auge heller, das linke mit dem linken. Daraus folgt, dass man beim Sehen mit beiden Augen den Eindruck gewinnen musste von zwei hintereinanderliegenden Bildern, nämlich einem hinteren helleren und einem vorderen dunkleren.

1) Anm. bei der Korrektur. Inzwischen bezogene Blättchen von nur 1 mm Dicke liessen sich besser aufeinander abpassen und zeigten die unten beschriebene Erscheinung vollkommener. Aber auch sie hatten nicht überall die gleiche Dicke, wodurch die möglichste spektrale Ausschliessung der beiden Arten von Weiss vereitelt wird. Das Abschleifen der Blättchen müsste also mit ungleich grösserer Sorgfalt geschehen, wodurch ihr Preis indes eine unverhältnismässige Höhe erreichen würde.

Tatsächlich gelang dieses Experiment bei den drei Beobachtern, allerdings erst nach mehr oder weniger grosser Übung. So aufdringlich wie ein gewöhnliches stereoskopisches Bild trat die Erscheinung nicht auf. Um daher zu prüfen, ob ein tatsächliches stereoskopisches Sehen vorlag, wurde das folgende Experiment angestellt.

Es wurde der Betrachtungsapparat um eine vertikale Achse herumgedreht, derart, dass vor den beiden Augen der Apparat, der Weiss (1) hindurchlässt, vertauscht wurde mit dem, der Weiss (2) hindurchlässt, und umgekehrt. Es musste dadurch der Helligkeitswert der beiden Bilder vertauscht werden und also das hellere Bild nach vorn rücken, wenn es früher hinten lag. Dieses Experiment gelang deutlich allen drei Beobachtern; auch wurde die Frage nach der Lage des helleren Bildes, ob vorn oder hinten, stets richtig beantwortet, wenn der Beobachter den Betrachtungsapparat von einem anderen in beliebiger Weise in die Hand bekam, so dass er über seine Orientierung von vornherein nichts wusste.

Wurde auf dem Projektionsschirm selbst eine Marke zwischen den beiden projizierten Spaltbildern angebracht, so erschien bei Benutzung des Zwillingsbetrachtungsapparates das eine der Bilder, etwa das hellere, hinter der Marke, das dunklere dann davor.

Es ist kein Zweifel, dass bei einer sorgfältigeren Auswahl bzw. geeignetem Nachschleifen der Gipsblättchen bessere Ergebnisse zu erzielen sein werden; ob sie aber für eine stereoskopische Projektion ausreichen werden, lässt sich von vornherein nicht sagen.

Aus diesem Grunde seien noch verschiedene Wege angedeutet, die möglicherweise zum Ziele führen. Zunächst wird es möglich sein, durch eine Belegung der beiden Seiten des Gipsblättchens mit durchsichtigen Metallspiegeln die Maxima der Helligkeit im Spektrum schärfer zu begrenzen und somit eine bessere spektrale Ausschliessung der beiden Arten von Weiss zu erzielen.

Auch durchsichtige dünne Blättchen, die beiderseitig mit durchsichtigen Metallspiegeln belegt werden und Interferenzen natürlichen Lichtes liefern, werden dem gleichen Zwecke dienen können.

Man kann aber noch ein anderes vollkommen sicheres, wenn auch rein mechanisches Mittel benutzen, um solche zwei Arten von Weiss ganz beliebiger Zusammenstellung zu erzwingen. Man braucht nur in der Brennebene eines Spektralapparates eine Blende mit be-

liebig vielen Schlitzten anzubringen, deren Kanten dem Spalt parallel laufen, und das gesamte übrigbleibende Spektrum wieder durch geradsichtige Prismen oder Linsen oder mit Hilfe beider wieder zu vereinigen.

Wir haben auf diese Art ein Weiss auf einen Schirm projiziert, das, mit einem Taschenspektralapparat betrachtet, ein sehr wunderliches Spektrum darbietet, von einer Art, wie es in natürlicher Weise, d. h. durch Absorptions- oder Interferenzspektren nicht hergestellt werden kann. Dem uneingeweihten Fachmann vorgelegt, müsste es nicht geringes Erstaunen hervorrufen.

Auf diese Art lässt sich vielleicht die Lösung der gestellten Aufgabe erzwingen, jedoch durch eine Umständlichkeit der Anordnung, welche mit der Wichtigkeit ihres Zweckes in keinem günstigen Verhältnis mehr stehen würde.

Ausgeschlossen wäre es indes nicht, dass man jenes wunderliche Spektrum einigermaassen mit Lippmann'schen farbenphotographischen Platten festhalten und diese dann als Farbfilter verwenden könnte, indem man das Licht an zwei solchen reflektieren lässt, wodurch seine Richtung erhalten bliebe.

Wie dem auch sei, die Entwicklung der optischen Technik gibt manchmal so überraschende und einfach herzustellende Hilfsmittel an die Hand, dass es nicht ausgeschlossen erscheint, dass eines der angegebenen Verfahren tatsächlich noch einmal zum Ziele führen kann.

Der dabei benutzte Grundsatz dürfte immerhin beachtenswert genug sein, um die vorliegende Veröffentlichung zu rechtfertigen.