VII. Ueber ein neues Interferenzphotometer; von Dr. Fr. Fuchs,

Privatdocenten für medicinische Physik in Bonn.

Bei Gelegenheit einer physiologisch-optischen Untersuchung bin ich zur Construction eines Photometers gelangt, bei welchem das Kriterium für die Gleichheit der Lichtstärken, wie bei dem Wild'schen Instrumente, durch das Verschwinden von Interferenzstreifen geliefert wird, ohne dass es indessen nöthig wäre, die Strahlen der beiden Lichtquellen senkrecht zu einander zu polarisiren.

Die Vorrichtung besteht einfach aus zwei einander gleichen, gleichschenkligen Glasprismen ABZ , ABZ' , Taf. IV Fig. 18, welche mit den Grundflächen AB aneinander gelegt werden.

Der horizontale Querschnitt des Doppelprismas ist also ein Rhombus $AZBZ'$. Den Prismenflächen AZ und AZ' parallel stehen die hinsichtlich ihrer Lichtstärke zu vergleichenden weissen Flächen bz und $b'z'$, welche verlängert sich in der verticalen, in der Fortsetzung der Ebene AB liegenden Kante a schneiden. aA ist ein Diaphragma, welches die gegenseitige Bestrahlung der Flächen bz und $b'z'$ verhindert. k ist der Knotenpunkt des beobachtenden Auges. Zwischen den Prismenflächen AB ist eine dünne Luftschicht eingeschlossen, deren Dicke sich durch einen auf die gegenüber stehenden Kanten ZZ' ausgeübten Druck noch weiter vermindern lässt.

Der leichteren Orientirung wegen werde die Dicke der Luftschicht AB zunächst als so gross vorausgesetzt, dass das von den Flächen bz und $b'z'$ kommende Licht keine Interferenzerscheinung hervorruft. Das bei k befindliche Auge sieht nun die Fläche bz direct und die Fläche $b'z'$ infolge der an der Luftschicht AB stattfindenden Reflexion. Es seien $rtsuk$, lk , $bvwk$ diejenigen der von den Punkten r, l, b ausgehenden Strahlen, welche nach dem Durchgange durch das Prisma durch den Knotenpunkt k des Auges gehen. Aus der Figur ist unmittelbar ersichtlich, dass der Punkt

l , dessen Richtungsstrahl die Prismenflächen AZ , $Z'B$ senkrecht durchsetzt, in seiner wahren Lage gesehen wird, dass dagegen die rechts von l liegenden Punkte, wie n, p, r nach rechts und die links von l liegenden Punkte, wie b , nach links verschoben erscheinen. Bei der Construction der Strahlen ist übrigens zunächst keine Rücksicht darauf genommen, dass ein Strahl wie $bvwk$ im allgemeinen an der Luftschicht total reflectirt wird.

Die erwähnte Verschiebung ist in der Linie $\beta\zeta$ angedeutet, welche man indessen so auf die Linie bz gelegt denken muss, dass der Punkt λ mit dem Punkte l zusammenfällt.

Construirt man nun ferner den von der Fläche $b'z'$ ausgehenden Strahl $r't's$, welcher nach der Reflexion an AB in der Richtung suk fortschreitet, so gelangt man zu dem Punkte r' , dessen Bild auf die gleiche Netzhautstelle fällt, wie das des Punktes r . Es ist nun leicht nachzuweisen, dass die homologen Punkte r, r' , sowie auch die Strahlen rts , $r't's$ symmetrisch zu der Linie AB liegen. Denkt man den Strahl $r't's$ um die Linie AB als Axe gedreht, so kommt der Punkt t mit dem Punkte t und r' mit r zur Deckung.

Hierbei kann füglich von der kleinen parallelen Verschiebung, welche der Strahl ts beim Durchgange durch die Luftschicht erleidet, abgesehen werden, da diese Verrückung wegen der geringen Dicke der Schicht zu klein ist, als das sich dadurch das Netzhautbild des Punktes r um die Breite eines Zapfens verschieben könnte.

Die homologen, von dem Punkte a gleich weit abstehenden Punktpaare rr' , pp' , nn' , ll' , bb' erscheinen also im Gesichtsfelde sich deckend bei $\varrho, \pi, \nu, \lambda, \beta$.

Die Einfallswinkel, unter denen die homologen Strahlen rt , $r't'$ auf die Prismenflächen AZ und AZ' fallen, sind von gleicher Grösse. Beide Strahlen werden somit beim Eintritte in das Prisma infolge der an AZ und AZ' stattfindenden Reflexion um den gleichen Bruchtheil ihrer Intensität geschwächt. Haben die Strahlen also vor dem Eintritte in das Prisma die gleiche Intensität, so ist dasselbe nach dem Eintritte ebenfalls noch der Fall.

Die Einfallswinkel tsq , $t'sq'$, unter denen die Strahlen

rts , $r't's$ auf die ihnen zugekehrte Seite der Luftschicht AB fallen, sind ebenfalls einander gleich.

Das Licht des Strahles ts zerfällt in zwei Theile; der eine derselben schreitet nach dem Durchgange durch die Luftschicht in der Richtung su fort, und der andere Theil wird infolge der an beiden Seiten der Luftschicht stattfindenden Reflexion in der Richtung sg zurückgeworfen.

Das Licht des Strahles $t's$ wird ebenfalls in zwei Theile zerlegt, von welchen der erste in der Richtung su reflectirt wird, und der andere in der Richtung sg durchgeht.

Sind nun i und i' die Intensitäten einer homogenen, in den Richtungen ts und $t's$ fortschreitenden Lichtart, so wird von i das Quantum αi in der Richtung su durchgelassen und das Quantum $(1 - \alpha) i$ wird in der Richtung sg reflectirt; von i' wird das Quantum $\alpha i'$ in der Richtung sg durchgelassen, und das Quantum $(1 - \alpha) i'$ wird in der Richtung su reflectirt. Die Intensität x des Strahles su ist also:

$$x = \alpha i + (1 - \alpha) i'.$$

Ist nun $i = i'$, so wird:

$$x = i.$$

Sind also die Intensitäten zweier homogenen Strahlen ts , $t's$ einander gleich, so ist auch die Intensität des Strahles su gleich der der Strahlen ts , $t's$.

Das gewöhnliche weisse Licht besteht aus einer grossen Zahl von homogenen Lichtarten. Auf eine jede derselben lässt sich die vorstehende Betrachtung anwenden. Hat demnach ein weisser Strahl ts dieselbe Gesamtintensität und dieselbe Zusammensetzung wie der homologe Strahl $t's$, so ist auch die Gesamtintensität und die Zusammensetzung des Strahles su gleich der der Strahlen ts , $t's$. In diesem Falle ist also der Strahl su rein weiss, wenn auch ein jeder der im Strahle su sich fortpflanzenden Antheile der Strahlen ts , $t's$ für sich infolge einer für einzelne Lichtarten eingetretenen totalen Reflexion oder infolge von Interferenz farbig erscheinen würde.

Da dieses die eigentliche Thatsache ist, auf welche die zu besprechende photometrische Methode sich gründet, so mag noch hervorgehoben werden, dass die eben ausge-

sprochene Behauptung auch für die Strahlen gilt, welche nicht in der Horizontalebene verlaufen. Denn ein jeder Strahl, welcher von der dem Auge zugewendeten Seite der Luftschicht an gerechnet das Prisma in irgend einer Richtung durchläuft, besteht aus zwei Theilen, von welchen der eine von einem Punkte der Fläche bz , und der zweite von einem homologen Punkte der Fläche $b'z'$ her stammt, und welche beide unter demselben Einfallswinkel auf die ihnen zugewendete Seite der Luftschicht AB gefallen sind. Diese beiden Theile sind daher genau complementär, sofern die von den beiden Flächen herkommenden Strahlen ursprünglich dieselbe Zusammensetzung hatten.

Wirft man nochmals einen Blick auf die Taf. IV Fig. 18, so bemerkt man, dass die Einfallswinkel, unter denen die von den homologen Punkten rr' , pp' ... ausgehenden Richtungsstrahlen auf die Luftschicht AB treffen, um so grösser werden, je näher die Punkte dem Punkte a liegen. Nun tritt bei einem gewissen von dem Brechungsexponenten der Glassorte abhängigen Einfallswinkel die totale Reflexion der Strahlen ein.

Der Einfallswinkel der totalen Reflexion ist aber für die einzelnen homogenen Lichtarten verschieden; er ist um so grösser, je grösser die Wellenlänge der betreffenden Strahlengattung ist. Es seien pp' die homologen Punkte der Flächen bz , $b'z'$, für welche die zum Auge gelangenden Lichtstrahlen kleinster Wellenlänge, und nn' seien die homologen Punkte, für welche die Strahlen grösster Wellenlänge totale Reflexion erleiden.

Der Leser wird jetzt leicht die Erscheinungen deuten können, welche sich dem bei h befindlichen Auge darbieten.

Wird die Prismenfläche AZ verdeckt, so sieht man die Fläche $b'z'$ in der durch die Linie $\beta\zeta$ angedeuteten Lage, wobei nochmals daran erinnert werden mag, dass die Linie $\beta\zeta$ in die Linie bz zu verlegen ist, und zwar derartig, dass der Punkt λ mit dem Punkte l coincidirt. Das links von dem Punkte ν liegende Feld erscheint wegen der hier stattfindenden totalen Reflexion ganzhell; das rechts von π liegende Feld ist halbhell. Zwischen beiden Gebieten läuft

in dem Bezirke $\nu\pi$ in der Richtung von oben nach unten ein etwas gekrümmter Streifen von vorwiegend grünblauer Farbe, deren Sättigung in der Richtung von π nach ν abnimmt.

Wird dagegen die Fläche AZ' verdeckt, so sieht man die Fläche bz wiederum in der Lage $\beta\zeta$, jedoch in geringerer Ausdehnung wie die vorige Fläche. Das Gesichtsfeld ist links von ν vollständig dunkel und rechts von π halbhell. Zwischen beiden Gebieten läuft ein vorwiegend rother Streifen $\nu\pi$, dessen Sättigung in der Richtung von π nach ν zunimmt.

Sind beide Prismenflächen unbedeckt, so erscheint links von ν das ganzhelle Feld der Fläche $b'z'$ und rechts von π superponiren sich die halbhellen Felder der beiden Flächen bz und $b'z'$. In dem Bezirke $\nu\pi$ decken sich die beiden farbigen Grenzen der totalen Reflexion.

Ist nun die eine der beiden Flächen bz , $b'z'$ lichtstärker als die andere, so ist der Streifen $\nu\pi$ gefärbt, und die nach rechts und links angrenzenden Felder sind verschieden hell. Wird dagegen die Lichtstärke der beiden Felder einander gleich gemacht, so verschwindet der Streifen, und das ganze Feld erscheint in gleichmässiger Helligkeit.

Man würde also schon das Verschwinden der farbigen Grenze als Kriterium für die Gleichheit der Lichtstärken benutzen können. Man gibt der Vorrichtung jedoch eine weit grössere Empfindlichkeit, wenn man die Dicke der Luftschicht AB durch leises Aneinanderpressen der Flächen soweit verkleinert, dass das von den Flächen bz , $b'z'$ kommende Licht infolge der an der Zwischenschicht stattfindenden Reflexionen in wahrnehmbarer Weise interferirt. Man kann die Interferenzerscheinung schon leicht durch Anziehen einer um das Doppelprisma geschlungenen Schnur hervorrufen. Verdeckt man dann die Prismenfläche AZ , so sieht man in dem Bezirke $\nu\zeta$ ein schönes System von stark gesättigten farbigen Streifen, welche mit leichter Krümmung in der Richtung von oben nach unten verlaufen.

In dem Gebiete der totalen Reflexion fehlen die Streifen selbstverständlicher Weise, da das Licht hier keine doppelte

Reflexion erleidet, und folglich auch kein Gangunterschied der Strahlen entstehen kann.

Verdeckt man dagegen die Prismenfläche AZ' , so bemerkt man — wiederum in dem Felde $\nu\zeta$ — ein zweites System von Interferenzstreifen, deren Farben indessen weniger gesättigt sind.

Durch abwechselnde oder theilweise Verdeckung der Prismenflächen kann man sich leicht überzeugen, dass beide Streifensysteme genau coincidiren und complementäre Färbung haben.

Lässt man beide Prismenflächen unbedeckt, so superponiren sich die beiden Streifensysteme.

Ist nun die Lichtstärke der einen der Flächen bz , $b'z'$ grösser als die der anderen, so kommt das ihr angehörige Streifensystem, wenn auch mit geringerer Sättigung der Farben, zur Erscheinung.

Wird aber das von der stärker leuchtenden Fläche ausgehende Licht durch eine der üblichen Methoden soweit geschwächt, dass die Lichtstärke der beiden Flächen die gleiche ist, so verschwinden die Streifen, und man hat dann ein vollkommen homogenes weisses Feld vor sich. Die Helligkeit des Gesichtsfeldes ist in diesem Falle eine derartige, als wenn man die Fläche bz durch den compacten Glaskörper $AZBZ'$ ohne Vorhandensein der Zwischenschicht betrachtete.

Muss die Lichtstärke der helleren Fläche auf den n ten Theil ihres Werthes reducirt werden, damit die Streifen sich der Wahrnehmung entziehen, so ist dieselbe n mal grösser als die der schwächer leuchtenden Fläche.

Die Indicationen für die Anwendung der Vorrichtung sind dieselben wie bei dem Wild'schen Photometer. Sie kann benutzt werden erstens, um monochromatische Flächen gleicher Farbe und zweitens, um weisse Flächen, welche Licht von ähnlicher Zusammensetzung ausgeben, hinsichtlich der Lichtstärken miteinander zu vergleichen. Die Vorrichtung würde beispielsweise nicht anwendbar sein, wenn das Weiss der einen Fläche aus monochromatischem Roth und Grünblau, und das der anderen aus Gelb und Blau zusammengesetzt wäre. Im concreten Falle wird es sich

immer bald entscheiden lassen, ob die zu prüfenden Lichter die geeignete Zusammensetzung haben, da man sich ja ohne Schwierigkeit davon überzeugen kann, ob die Interferenzstreifen zum Verschwinden gebracht werden können oder nicht.

Da man die beschriebene Vorrichtung mit den in einem jeden Laboratorium vorhandenen Hilfsmitteln sofort zusammenstellen und die Brauchbarkeit derselben einer Prüfung unterwerfen kann, so glaube ich mir eine weitere Empfehlung des Verfahrens erlassen zu können. Ich möchte mir jedoch erlauben, noch einige, die Ausführung des Apparates betreffende Vorschläge zu machen mit dem Wunsche, dass sich irgend ein mit grösseren Mitteln arbeitender Optiker für die Construction des Apparates zu technischen Zwecken interessiren möge.

Soll die Vorrichtung benutzt werden, um die Leuchtkraft von Flammen zu vergleichen, so kann man ihr etwa die folgende Einrichtung geben.

Die Prismen stehen in einem geschlossenen, inwendig geschwärzten Kasten, welcher bei k in unmittelbarer Nähe der Prismenfläche $Z'B$ eine Oeffnung für das Auge des Beobachters hat.

In zwei grösseren Oeffnungen sind zwei gleichförmig bearbeitete Platten von Glas oder Milchglas eingesetzt, deren äussere Seite matt geschliffen ist. Diese Platten haben die Stellung der Flächen bz , $b'z'$. Ihre Entfernung von dem Prisma muss eine derartige sein, dass sich das Auge bequem für dieselben accomodiren kann. Ein Diaphragma aA schützt die Platten vor der gegenseitigen Bestrahlung.

Es ist zweckmässig, die Winkel an den Grundflächen der gleichschenkligen Prismen nach Maassgabe des Brechungsexponenten der verwendeten Glassorte derartig zu wählen, dass der Strahl lck , welcher, die Prismenflächen AZ , $Z'B$ senkrecht schneidend, zu dem Mittelpunkte der für das Auge bestimmten Oeffnung geht, unter dem Einfallswinkel der totalen Reflexion auf die Luftschicht AB fällt.

Damit aber dieser Forderung genügt sei, müssen die Winkel ZAB , ZBA , $Z'AB$, $Z'BA$ gleich sein dem Einfallswinkel, für welchen die Strahlen mittlerer Brechbarkeit

beim Uebergang von Glas in Luft totale Reflexion erleiden. Denn der Winkel ZAB ist ja gleich dem Einfallswinkel dcl . Ist nun n der Brechungssexponent der betreffenden Glasorte für die Linie D , so ist der in Rede stehende Einfallswinkel α bestimmt durch die Gleichung:

$$\sin \alpha = \frac{1}{n}.$$

In der folgenden Tabelle sind eine Reihe von zusammengehörigen Werthen von n und α zusammengestellt.

α	35°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°	45°
n	1,743	1,701	1,662	1,624	1,589	1,556	1,524	1,495	1,466	1,440	1,414

Ist also beispielsweise der Brechungssexponent der zu verwendenden Glassorte für die Linie D gleich 1,524, so macht man zweckmässiger Weise die Winkel an den Grundflächen der Prismen gleich 41°. Alsdann erscheint dem gerade durch das Doppelprisma hindurchsehenden Auge der erste Interferenzstreifen bei dem Punkte l .

Bei Benutzung der gangbaren Glassorten, deren Brechungssexponent zwischen 1,7 und 1,5 liegt, ist der Winkel an der Basis der Prismen unter den günstigsten Versuchsbedingungen kleiner als 45°. Mithin werden alsdann die Winkel $Z'AZ$ und zaz spitze sein. In der Figur sind diese Winkel als stumpfe gezeichnet worden, weil bei den angestellten Versuchen gleichseitige Flintglasprismen verwendet wurden. Unter diesen Umständen lag der erste Interferenzstreifen rechts vom Punkte l .

Möglicher Weise könnte man auch statt der Glasprismen mit Vortheil rechtwinklige Flüssigkeitsprismen mit planparallelen Glaswänden wählen. Der Brechungssexponent der Flüssigkeit müsste dann gleich 1,414 sein.

Wollte man statt der Luft irgend einen anderen Körper als Zwischenschicht benutzen, so wäre der Winkel α nach der Formel:

$$\sin \alpha = \frac{r}{n}$$

zu berechnen, worin r den Brechungssexponenten des betreffenden Körpers für die Linie D bedeutet.

Das die Prismen enthaltende Gehäuse wird auf einem Stativ befestigt, von welchem zwei mit Millimeterscalen versehene Arme rechtwinkelig zu den matten Glastafeln bz , $b'z'$ auslaufen. Auf diesen Armen werden die Träger der zu vergleichenden Lichtquellen verschiebbar angebracht, und zwar derartig, dass die Linie kcl und die correspondirende $c'l'$ in ihrer Verlängerung ungefähr durch die Mitte der Flammen hindurchgeht.

Die Untersuchung geschieht dann in der Weise, dass man der einen der Flammen eine feste Stellung gibt und die andere so lange verschiebt, bis die Interferenzstreifen verschwinden. Man kann natürlich auch die zu untersuchenden Flammen nach einander auf demselben Arme vorrücken, während der anderen Platte eine dritte Lichtquelle gegenüber steht. Das erstere Verfahren ist vorzuziehen, wenn die matten Glastafeln von gleicher Beschaffenheit sind, wovon man sich leicht überzeugen kann. Stellt man nämlich ein Licht in der Verlängerung der Linie AB auf, so werden beide Platten in gleicher Weise beleuchtet. Unter diesen Umständen zeigt demnach das Fehlen oder Vorhandensein der Interferenzstreifen die Gleichheit oder Ungleichheit der Platten an.

Bringt man der Prismenfläche ZB gegenüber noch eine zweite Oeffnung an, so können gleichzeitig zwei Personen beobachten, welche dann natürlich complementäre Erscheinungen wahrnehmen werden.

Zum Schlusse erlaube ich mir, meinem verehrten Freunde Dr. Gieseler, Docenten an der landwirthschaftlichen Akademie in Poppelsdorf, meinen Dank für die bereitwillige Gewährung der zur Arbeit erforderlichen experimentellen Hilfsmittel auszusprechen.