IV. *Versuche über Zerstreuungsbilder; von Wilhelm von Bezold.*

Im Bande XIV. 2. S. 1 bis 30 des Archivs für Ophthalmologie habe ich eine Abhandlung veröffentlicht: »Ueber Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.« In diesem Aufsätze wurde eine Reihe von Versuchen beschrieben, bei welchen durch Betrachtung gewisser Figuren aus Entfernungen, für welche man nicht mehr accommodiren kann, förmliche Trugbilder entstehen. Die Entstehung dieser Trugbilder läßt sich nun vollständig erklären, wenn man die Theorie der Zerstreuungsbilder mathematisch entwickelt, und dann darauf gestützt die Helligkeit an irgend einer Stelle eines solchen Bildes sucht. Diefs ist in der angeführten Arbeit geschehen, und dabei eine vollständige Uebereinstimmung mit den Resultaten der Beobachtung und Messung erzielt worden.

Da jedoch die Anstellung solcher physiologisch optischer Versuche manchen Personen nur mit Schwierigkeit und nicht in überzeugender Weise gelingt, und da es auch nicht jedermanns Sache ist, längeren mathematischen Deductionen zu folgen, so war ich darauf bedacht, das Wesentliche der Erscheinung durch einen Versuch mit einer Linse objectiv anschaulich zu machen.

Da diese Versuche, welche ich erst neuerdings angestellt habe, ebenso leicht ausführbar als hübsch und überraschend sind, so dürfte ihre Beschreibung wohl auch hier am Platze seyn. Vorerst sollen jedoch in Kürze die subjectiven Versuche reproducirt werden, welche den Ausgangspunkt der ganzen Untersuchung bildeten.

Es war mir häufig aufgefallen, dafs manche Objecte im Zerstreuungsbilde, d. h. bei der Betrachtung aus einer Entfernung, für welche man nicht accommodiren kann, ziemlich deutliche Conturen zeigen, und bei veränderter Farbe und Gestalt zur Entstehung förmlicher Trugbilder Anlaß geben

können. So erschienen mir z. B. kleine, ovale, sehr dunkle Photographien in weißem Carton und dunklem ovalen Rahmen aus einer Entfernung von mehreren Fußsen, d. i. aus einer Distanz, welche die meines Fernpunktes (6 Zoll) beträchtlich übertrifft, als milchweiße ovale Flecke auf bräunlichem dunklerem Grunde. Tapeten zeigten mir unter den gleichen Umständen oft ein gänzlich verändertes Muster usw.

Indem ich diese Trugbilder genau studirte, gelang es mir, einige Figuren herzustellen, welche diese Erscheinungen in höchst auffallendem Grade zeigen, und zugleich einen sehr einfachen und schlagenden Beweis für die Farbenabweichung des Auges liefern.

Das Ergebniss der Versuche, welche man mit diesen Figuren anstellen kann, ist selbstverständlich von der Beschaffenheit des beobachtenden Auges abhängig. Die folgenden Beschreibungen beziehen sich alle auf ein kurzsichtiges Auge, da ich selbst an Myopie leide. Ein normales Auge muß sich demnach zur Wahrnehmung derselben Erscheinungen eines passenden Convexglases bedienen. Für ein übersichtiges Auge müssen die Figuren in viel kleineren Dimensionen ausgeführt und dem Auge genähert werden, während man sie vom kurzsichtigen entferne. Unter diesen Voraussetzungen wird auch der Uebersichtige dieselben Erscheinungen beobachten, wie der Kurzsichtige, nur werden die Färbungen im entgegengesetzten Sinne auftreten, d. h. es werden sich die complementären Töne zeigen, also z. B. statt eines bläulichweißen ein röthlich gelber Fleck erscheinen, statt eines röthlichbraunen Ringes ein blauschwarzer usw. Selbstverständlich kann auch ein Normalsichtiger die Versuche in dieser Weise anstellen, und sich so die Benutzung eines Convexglases ersparen.

Die Versuche sind nun folgende:

Betrachtet man einen kreisrunden schwarzen Fleck (Fig. 17 Taf. V) auf weißem Grunde zuerst aus der größten Distanz, für welche man accommodiren kann, und entfernt man sich dann allmählig immer weiter von demselben, so scheint er sich immer mehr zusammenzuziehen, während ein

ihn umgebender grauer Hof fortwährend an Umfang gewinnt. Mit einem Male aber verschwindet das schwarze Centrum vollständig und an seine Stelle tritt ein heller, etwas bläulich gefärbter Fleck, der bei zunehmender Entfernung sich immer mehr vergrößert, bis endlich das Ganze nebelartig verschwimmt. Diese Erscheinung ist jedoch wenig auffallend, und leicht nach bekannten Grundsätzen zu erklären.

Anders gestaltet sich jedoch die Sache, wenn man an die Stelle des unbegrenzten Grundes einen weissen Ring (Fig. 18 Taf. V) treten läßt, wobei man den äusseren Radius desselben am Besten dreimal so groß wählt als den innern. Dann sieht man in der richtigen Entfernung eine ziemlich gut begränzte, entschieden bläulich weisse Fläche an die Stelle des schwarzen Punktes treten, umgeben von einem dunkleren röthlich braunen Ringe, der abermals von einem helleren umschlossen wird.

Die Figur ist demnach im Zerstreuungsbild vollständig umgekehrt, man sieht das *Negativum* des Originals, jedoch ein wenig gefärbt.

Viel schöner sieht man diese Umkehrungen und zwar mehrmals nacheinander, wenn man eine Reihe abwechselnd heller und dunkler, concentrischer gleichbreiter Ringe dem Auge darbietet. Betrachte ich die Fig. 19 (ein Normalsichtiger oder Uebersichtiger bringe statt dessen die kleinere Fig. 19a nahe ans Auge) aus verschiedenen Entfernungen, so kann ich zwei, ja sogar drei Umkehrungen beobachten, dann aber nimmt bei fortgesetzter Entfernung vom Objecte das Ganze eine höchst eigenthümliche Gestalt an. Die Kreislinien, die bei der ersten Umkehrung noch ganz regelmässig erscheinen, zeigen bei der zweiten schon bedeutende Abweichungen von ihrer ursprünglichen Form und gehen endlich in ein System mannigfaltig gekrümmter und unterbrochener Linien über. Bei binocularer Betrachtung erhält man den Eindruck einer Rosette.

In Fig. 21 und 22 Taf. V habe ich versucht diese Erscheinung zu zeichnen, wie sie sich bei einäugiger (Fig. 21) und bei doppeläugiger (Fig. 22) Betrachtung darstellt. Uebrigens

ist es kaum möglich, diese Trugbilder durch eine Zeichnung fest zu halten, da ein einziger Lidschlag genügt, um das Ganze wesentlich umzugestalten.

Die zuletzt beschriebene Erscheinung wurde schon früher einmal, freilich in ganz anderer Form, von Helmholtz beobachtet. Helmholtz sagt nämlich ¹⁾, daß ein System feiner concentrischer Kreislinien, sehr nahe ans Auge gebracht, eigenthümliche Verzerrungen zeige. Die interessante Umkehrung der Figur so wie die dabei auftretenden Farben sind ihm jedoch vollkommen entgangen, was sehr leicht erklärlich ist, da der Versuch in dieser Form viel schwerer anzustellen ist: denn einerseits wirken die Accommodationsanstrengungen, welche das Auge immer macht, wenn man ihm Gegenstände sehr nahe bringt, äußerst störend, und andererseits ist es schwer bei einer solchen Lage des Objectes gegen das Auge eine günstige Beleuchtung zu erzielen.

Aehnliche Erscheinungen kann man an Systemen von gleichbreiten abwechselnd hellen und dunklen parallelen Streifen, wie sie Fig. 20 zeigt, wahrnehmen.

Alle diese Zerstreuungsbilder sind mehr oder minder gefärbt. Diese Färbungen, welche in der Farbenabweichung des Auges ihren Grund haben, werden um so lebhafter sichtbar, je rascher man sich von der Figur entfernt, am Auffallendsten in dem Augenblicke der Umkehrung des Zerstreuungsbildes. Beobachtet man bei monochromatischem Lichte, so fallen die Farbenänderungen weg und man hat es mit bloßen Helligkeitsänderungen zu thun. Man kann demnach durch bloße Betrachtung der Figuren 19 und 20 ein Urtheil über die Zusammensetzung des Lichtes gewinnen, welches z. B. ein gefärbtes Glas, das man während der Beobachtung vor das Auge hält, durchläßt. In ähnlicher Weise kann man mit bloßem Auge das Licht analysiren, welches Pigmente liefern, mit denen man die weißen Ringe oder Streifen überstrichen hat.

Alle diese Erscheinungen lassen sich durch theoretische Betrachtungen bis ins Einzelne erklären, was a. a. O. bereits geschehen ist. Man kann sie aber auch durch künst-

1) Handbuch d. physiolog. Optik S. 140.

liche Hilfsmittel vollkommen nachahmen, wie im Folgenden beschrieben werden soll.

Man belege Glasplatten mit Stanniol und schneide alsdann die oben angegebenen Versuchsfiguren aus diesen Belegungen in der Art aus, dafs die dunklen Stellen durch das Stanniol gebildet werden, während an den hellen dasselbe weggenommen ist. Dann braucht man nur mit Hülfe einer Linse diese Platten von rückwärts passend zu beleuchten, um vermittelt einer zweiten Linse auf einem Schirme ein vergrößertes oder verkleinertes Bild der Figuren zu erhalten.

Verschiebt man alsdann den Schirm aus der Bildebene, so nimmt man dieselben Erscheinungen wahr, welche oben beschrieben wurden. Auch hier gelingt der Versuch am schönsten mit Fig. 19 Taf. V, und zwar wird er in mancher Hinsicht deutlicher und lehrreicher als bei der Ausführung mit blofsem Auge. Besteht nämlich die Figur aus dunklem Centrum und n hellen Ringen (es ist zweckmäfsig, die Umgebung der Figur ganz abzublenzen, d. h. dieselbe auf dunklem Grunde auszuführen), so kann man n Umkehrungen beobachten, d. h. man erhält n mal Figuren mit hellem Centrum, während im scharfen Bilde der centrale Kreis dunkel war. Hierbei nimmt aber die Anzahl der umgebenden dunklen Ringe jedesmal um Eins ab, so dafs man zuletzt nur noch einen hellen Fleck auf etwas dunklerem Grunde vor sich hat. Soweit kann man es mit blofsem Auge bei einer einigermafsen gröfseren Anzahl von Ringen nicht treiben, da schon früher die oben beschriebenen Verzerrungen eintreten. Deshalb bezieht sich auf die oben gemachte Bemerkung, dafs man Negative des Originals erblicke, eigentlich nur auf die inneren Ringe.

Benutzt man eine einfache nicht achromatische Linse, so sind die Ringe gefärbt, wie bei den subjectiven Versuchen, und zwar treten diese Färbungen in entgegengesetzter Reihenfolge auf, je nachdem man den Schirm in dem einen oder in dem anderen Sinne aus der Bildebene verschiebt.

Bei einer zusammengesetzten, aber nicht vollkommen achro-

matischen Linse kann man aus diesen Färbungen entnehmen, ob man es mit einer über- oder untercorrigirten Linse zu thun habe. Es dürfte deshalb diese Figur in den richtigen Dimensionen ausgeführt, ein gutes Probeobject für die Prüfung von Fernrohren oder Mikroskopen abgeben.

Bringt man auf die projicirende Linse oder zwischen Linse und Schirm dunkle Körper, klebt man z. B. Oblaten auf die Linse oder hält man die ausgespreizten Finger in den Weg der Lichtstrahlen, so erscheinen die Ringe des Zerstreuungsbildes verzerrt, und zwar um so mehr, je weiter man den Schirm aus der Bildebene entfernt hat. Es treten also hier wieder dieselben Erscheinungen auf, wie bei der subjectiven Ausführung des Versuches, und man hat mithin auf diese Weise den experimentellen Beweis geliefert, daß Trübungen der brechenden Medien des Auges und Unregelmäßigkeiten in der Form der Pupille solche Verzerrungen hervorrufen müssen.

Daß Unregelmäßigkeiten der brechenden Flächen, mangelhafte Centrirung usw. ebenfalls Störungen im Ringsysteme des Zerstreuungsbildes verursachen, kann man leicht beweisen, wenn man entweder die Linse schief stellt, oder zwei Linsen anwendet und diese mehr oder weniger gut centriert.

Die Erklärung dieser Erscheinungen sowohl auf der Netzhaut als auf dem Schirme ist ihren Hauptzügen nach leicht zu geben.

Bei zunehmender Entfernung der Projectionsfläche von der Bildebene (im Auge bewegt sich letztere, bei der objectiven Darstellung der Versuche die erstere) nehmen die Dimensionen des von jedem hellen Punkte entworfenen Zerstreuungskreises immer zu, greifen endlich bei den benutzten Objecten übereinander und erzeugen auf diese Weise Stellen, welche sich durch größere Helligkeit vor ihrer Umgebung auszeichnen. Da bei einem nicht achromatischen Systeme brechender Medien diese Zerstreuungskreise für die verschiedenen Spectralfarben ungleich groß sind, so tritt dieses Uebereinandergreifen für dieselben nicht

gleichzeitig, sondern successive ein, und es müssen demnach die durch das Uebereinandergreifen erzeugten helleren Stellen gefärbt erscheinen. Dabei ist klar, daß ein vollkommen symmetrisches dioptrisches System von einem symmetrischen Objecte immer nur symmetrische Zerstreuungsbilder entwerfen kann. Da aber diese Bedingung bei keinem Auge erfüllt ist, wie die sogenannten entoptischen Erscheinungen beweisen, so sind auch die Zerstreuungsbilder der einzelnen Punkte keine gleichförmig helle, regelmäfsig begränzte Kreise, und mithin können auch die Zerstreuungsbilder symmetrischer Objecte nicht symmetrisch bleiben, sondern es müssen Verzerrungen eintreten, und zwar um so mehr, je gröfser die Zerstreuungskreise werden.

Hinsichtlich der schärferen Durchführung dieser hier nur angedeuteten Erklärung mufs ich auf die genannte Abhandlung verweisen.

München den 9. October 1869.

**V. Ueber die Schwingungen einer Luftplatte,
welche denen einer festen Scheibe entsprechen;
von E. H. Vierth,**

Collaborator an der Friedrich-Wilhelms Schule zu Stettin.

Ohne von den Arbeiten des Hrn. Prof. Kundt, welche derselbe im 7. Hefte dieser Annalen S. 456 veröffentlichte, Kenntnifs zu haben, hatte ich mich mit demselben Gegenstande, den Schwingungen einer Luftplatte, beschäftigt. Ich führe einige meiner Versuche hier an, weil sie zeigen, wie man auf einfachere Weise eine Luftscheibe erregen kann, als diess durch Hrn. Prof. Kundt geschehen ist, und weil sie zu gleicher Zeit den Zusammenhang mit den Chladni'schen Figuren erkennen lassen.

Unmittelbar auf den Balken *AB* der S-förmigen Halteschraube (Fig. 1 Taf. V) wurde eine starke Platte gelegt,