(Aus dem physiologischen Laboratorium in Zürich.)

Eine optische Erscheinung, welche zur Construction eines Optometers verwerthet werden kann.

Von

Prof. Dr. **Axenfeld**

in Camerino.

Bei Versuchen die ich anstellte, um die Refraction des Lichtes in den Randtheilen der Linse im Auge zu studiren, gerieth ich auf eine Beobachtung, welche ich hier mittheilen möchte. Um die centralen Strahlen abzuhalten, beabsichtigte ich einen Schirm mit ringförmiger Oeffnung zu benutzen. Zu diesem Zwecke wurde eine Glasplatte (Objectträger oder dergl.) berusst und mit einem Stifte ein Ring im Russ ausgewischt. Als ich nun durch dieses Ringdiaphragma ein Gitter geradliniger paralleler Fäden betrachtete, welche etwa um 1 mm von einander abstanden, beobachtete ich, wenn ich den Schirm in einer Entfernung von 4 bis 5 cm von meinem Auge hielt, das Gitter aber in der Entfernung von etwa 20 cm, dass die Fäden bald gerade bald gekrümmt erschienen, je nachdem ich das Gitter nach vorn oder nach hinten verschob. Je nachdem ich das Gitter dem Auge näherte oder von demselben entfernte, war die Krümmung der Fäden das eine Mal mit der Convexität nach innen, das andere Mal nach aussen gerichtet. Der Kürze halber möchte ich die erstere als x-förmige, die zweite als o-förmige Krümmung bezeichnen.

Zur Aufklärung dieser Erscheinung suchte ich auf den Rath des Herrn Prof. L. Hermann in Zürich im dortigen Laboratorium zunächst dieselbe objectiv darzustellen. Eine Convexlinse wirft das Bild eines Faden- oder Drahtgitters auf eine beölte Papierfläche, hinter dem Gitter befindet sich eine Lampe; um das Gitter gleichmässiger zu beleuchten, wird zusammen mit dem Gitter ein mattgeschliffenes Glas eingeklemmt. Nun schiebe ich zwischen Gitter und Linse den Schirm mit der ringförmigen Oeffnung ein.

Der im Russ gemachte Ring war bei den objectiven Versuchen 1 mm breit; sein Durchmesser betrug 1 cm. Da wegen des Schirmes das Licht zur Linse nicht ungehindert, sondern durch eine ringförmige

Oeffnung geht, so wird dadurch auf der auffangenden Fläche ein heller Ring entworfen. Die in diesem Ringe abgebildeten Fäden erscheinen ganz gerade. Schieben wir aber die beölte Papierfläche einmal an die Linse heran, das andere Mal von derselben weg, so werden die Fäden gekrümmt, und zwar nehmen sie beim Heranrücken der Papierfläche eine x-förmige, beim Hinwegrücken eine o-förmige Krümmung an. Rücken wir jetzt die auffangende Fläche wieder in die Stellung zurück wo die Linien noch gerade erscheinen, und befestigen sie in dieser Stellung. Jetzt wird der Schirm, statt zwischen Gitter und Linse, zwischen Gitter und Lichtquelle gesetzt. Wieder haben wir auf der auffangenden Fläche den hellen Ring und in ihm die geraden Linien; verrückten wir sie aber, wie vorher, so sehen wir das Umgekehrte eintreten wie beim vorigen Versuche, nämlich die Linien bekommen die o-förmige Krümmung beim Herannahen (vorher waren sie unter dieser Bedingung x-förmig gekrümmt), die x-förmige beim Entfernen.

Wenn wir im ringförmigen Schirm die innere schwarze Scheibe auswischen und den so scheibenförmig durchbrochenen Schirm an die Stelle des vorigen ringförmigen hinstellen, sei es vor oder hinter dem Gitter, so haben wir ganz denselben Erfolg wie vorhin, nur ist die Krümmung etwas geringer. Wischen wir umgekehrt im ringförmig durchbrochenen Schirm alles äussere Schwarz bis auf den Ring aus, so dass nur eine kleine schwarze Scheibe auf dem Glase zurückbleibt, so tritt die Krümmung der Fäden wieder ganz in der vorher bezeichneten Weise auf. Ja die Oeffnung im Schirme braucht nicht einmal die runde Form zu haben, sie kann eckig sein, alle beliebigen Formen haben, immer tritt dieselbe Erscheinung ein: Die geraden Linien werden da, wo sie dem dunklen Felde nahe kommen, verbogen, einmal gegen das dunkle Feld hin, das andere Mal von ihm weg. Mit der ringförmigen Oeffnung ist die Verkrümmung nur ausgesprochener, weil sich da die beiden Schirme, der innere und der äussere, wie wir es noch später zu begründen suchen werden, gegenseitig unterstützen. Ganz dasselbe haben wir, wenn wir die verschiedenartigen hier aufgezählten Schirme vor unser Auge halten und das Gitter durch sie betrachten. Die Linien sind immer gerade, wenn sie sich im Bereiche des deutlichen Sehens befinden, sie werden x-förmig gekrümmt beim Heranrücken an das Auge, o-förmig beim Fortrücken vom Auge. Befinden sich die Fäden dem Auge näher, als der Schirm, und

wird durch seine ringförmige oder anders geformte Oeffnung hindurch gegen eine helle Fläche geschaut, so werden die Fäden beim Herannahen an das Auge o-förmig, beim Entfernen vom Auge x-förmig gekrümmt, Alles ganz wie beim objectiven Versuche.

Gehen wir nun an die Erklärung dieser Erscheinung und betrachten wir den einfachsten Fall. Eine schwarze Scheibe schiebt sich von der Seite her zwischen Auge und Fäden oder im objectiven Versuche zwischen Linse und Gitter. C (Fig. 1) sei der

Fig. 1.

Durchschnitt eines Fadens, AB die Linse, so schneiden sich die von C ausgehenden Strahlen nach der Brechung in D . Schieben wir nun den undurchsichtigen Schirm EF zwischen Faden und Linse von der Seite B her ein, so interceptirt derselbe den schraffirten Theil des von C ausgehenden Strahlenkegels. Das Bild von C wird dadurch nicht verändert, sondern bleibt in D . Befindet sich aber eine auffangende Fläche statt am Orte des Bildes (in T) vor oder hinter demselben, in U oder V , so entsteht ein Zerstreuungsbild δ_1 resp. δ_2 , welches verschoben ist. Da der Schirm EF sich verkehrt (in $E'F'$) abbildet und in U oder V gleichsinnige Zerstreuungsbilder giebt, so lässt sich das Gesetz der Verschiebung folgendermassen ausdrücken: Befindet sich ein Objectpunkt so hinter dem Rande eines Schirms, dass letzterer einen Theil des Strahlenkegels interceptirt (das Genauere über die Lage s. unten), so verschiebt sich das Bild des Objectpunctes im Zerstreuungsfalle, und zwar gegen den dunklen Rand des Bildes des Interceptors hin, wenn die Auffangung vor der Vereinigung geschieht (Fall U), vom Bildrande des Interceptors weg, wenn die Auffangung nach der Vereinigung geschieht (Fall V). Die Verschiebung ist, wie man leicht einsieht, um so grösser: erstens je entfernter vom

Bildorte die Auffangung geschieht, zweitens je grösser der interceptirte Theil des Strahlenkegels ist, d. h. je annähernder Objectpunct und Interceptorrand sich im Bilde decken.

Haben wir nun ein Fadengitter und einen runden Interceptor, so werden diejenigen Fäden, welche dem dunklen Rande des letzteren im Bilde nahe liegen, an den dem Rande nächsten Puncten,

Fig. 2.

Fig. 3.

d. h. in der Mitte, am stärksten verschoben, und zwar im Fall *U* gleichsam angezogen, im Fall *V* gleichsam abgestossen. Hierdurch entsteht, wie Fig. 2 und 3 zeigen, eine Verkrümmung der Linien: eine Einziehung (x-Form) im ersten, eine Ausbuchtung (o-Form) im zweiten Falle.

Ist umgekehrt der Interceptor ein Diaphragma, wie in Fig. 4 und 5, so werden wiederum die Fäden des Gitters im Falle *U* x-förmig eingezogen, im Falle *V* o-förmig ausgebaucht, weil jetzt

Fig. 4.

Fig. 5.

die dem dunklen Rande am nächsten kommenden Puncte jeder Linie an deren Enden, und nicht wie in Fig. 2 und 3 in ihrer Mitte liegen.

Den Fall des ringförmigen Diaphragmas endlich kann man sich vergegenwärtigen, wenn man das schwarze Feld der Fig. 2 in das weisse Feld der Fig. 4 verlegt. Man sieht dann, dass die Verkrümmungen des äusseren und des inneren schwarzen Feldes gleichen Sinn haben und sich gegenseitig unterstützen und verstärken.

Befindet sich der Interceptor nicht zwischen Fadengitter und Linse, sondern zwischen dem ersteren und einer diffusen Licht-

quelle, so treten ganz ähnliche Verhältnisse ein (wie der punctirte Theil der Fig. 1 zeigt), nur kehrt sich das Gesetz der Verschiebung um. Alle Strahlen, welche von der Lichtquelle aus das Object C beleuchtend auf die Linse AB fallen, liegen in dem Kegel $LMCBA$. Der Interceptor GH bewirkt also genau dieselbe Auslöschung wie der frühere EF , und da sein Bild $G'H'$ umgekehrt liegt als $E'F'$, so haben wir Anziehung der Punkte gegen den dunklen Rand des Interceptorbildes im Falle V und Abstossung im Falle U .

Die beschriebene Erscheinung ist in ihrer Deutlichkeit namentlich von dem Abstände zwischen Object und Interceptor in seinem Verhältniss zu dem Abstände zwischen Object und Linse abhängig. Versuche belehrten mich, dass die Erscheinung ausbleibt, wenn Fadengitter und Diaphragma in dieselbe Ebene verlegt werden, was a priori begreiflich ist, da in diesem Falle das Diaphragma einen Theil des Objectes ausmacht. Andererseits verschwindet die Erscheinung auch dann, wenn das Diaphragma sich unmittelbar an der Linse befindet. Bei allen zwischenliegenden Stellungen tritt die Erscheinung mehr oder weniger deutlich ein, am deutlichsten bei einer Lage des Diaphragma ziemlich nahe dem Object. Diese Verhältnisse erklären sich vollständig folgendermassen: Die Verkrümmung beruht darauf, dass die Strahlenkegel, welche von den Punkten der gleichen Objectlinie ausgehen, in verschiedenem Grade partiell interceptirt, und dadurch die entsprechenden Zerstreuungsfelder in verschiedenem Grade verlagert werden. Liegt der Interceptor der Linse unmittelbar an, so interceptirt er sämtliche Strahlenkegel in gleichem Maasse, da dieselben in der Linsenfläche ihre gemeinsame Basis haben. Liegt der Interceptor unmittelbar am Object, also an den Spitzen der Strahlenkegel, so interceptirt er einen Theil der Strahlenkegel ganz, die andern gar nicht, keinen partiell. Die Figur 6 erläutert in einfachster Weise, welche gegenseitige Lage Object und Interceptor haben müssen, damit überhaupt die Erscheinung eintrete. Ist AB wieder die

Fig. 6.

Linse, CD ein undurchsichtiger Schirm, so liegen alle diejenigen Punkte, deren auf die Linse fallende Strahlenkegel partiell intercept werden, in dem Felde ECF . Denn die unterhalb CE liegenden Punkte werfen gar kein Licht auf die Linse, die oberhalb CF liegenden werfen dagegen Licht auf alle Punkte der Linse. Die stärkste Verlagerung des Zerstreuungsbildes müssen die nahe oberhalb CE liegenden Objecte zeigen.

Auf das Auge angewendet lautet das Resultat unserer Versuche: Betrachtet das Auge ein Fadengitter, vor welchem sich ein runder Interceptor oder ein ringförmiges Diaphragma befindet, so erscheinen die Fäden x-förmig verkrümmt, wenn ihr Bild hinter die Netzhaut fällt, o-förmig dagegen, wenn es vor die Netzhaut fällt. Umgekehrt ist es, wenn das Fadengitter dem Auge näher steht als der Interceptor.

Man sieht sofort, dass diese Erscheinung als optometrische Methode verwendet werden kann, in ähnlicher Weise wie der Scheiner'sche Versuch. Um die Genauigkeit beider Methoden zu vergleichen, benutzte ich zunächst die objective Darstellung (für den Scheiner'schen Versuch diente ein nahe der Linse angebrachtes Diaphragma mit zwei Löchern). Es ergab sich, dass Doppelbilder etwas leichter bemerkbar werden, als die Krümmung, besonders wenn die Bedingungen für die letztere ungünstig sind, wie schwache Beleuchtung, oder zu grosse ringförmige Oeffnung im Schirm. Bei guter Beleuchtung und passendem Ringe (vom Durchmesser eines Centimeters) konnte ich kaum einen Unterschied zu Gunsten des einen oder des anderen Verfahrens herausfinden. Dasselbe Resultat erhielt ich bei der Bestimmung des Fern- und Nahepunctes meines kurzsichtigen Auges. Mit dem Stampfer'schen Optometer, welches auf den Scheiner'schen Versuch gegründet ist, fand ich 12 cm für den Fernpunkt; dieselbe Entfernung erhielt ich beim Durchsehen durch die ringförmige Oeffnung. Ja der Nahepunct ist mit einem Optometer, das sich auf mein Verfahren gründet, viel genauer zu bestimmen, als mit dem Scheiner'schen, besonders bei sehr kurzsichtigen Augen, weil die rapide Zunahme der Zerstreuungskreise einer deutlichen Unterscheidung des Scheiner'schen Doppelbildes hinderlich ist, während die Krümmungen der Geraden hier besonders stark sind. Folgende Vorrichtung ist geeignet die Krümmung bei Vorlesungen zu demonstrieren, respective als Optometer zu dienen. Eine aus Blech oder Holz gefertigte Röhre von

5 cm Durchmesser und 8 cm Länge trägt auf einer Glasplatte in der Entfernung eines cm vom Anfange der Röhre (damit das Auge Platz findet) den in Farbe oder Russ ausgesparten Ring, von der Oeffnungsbreite eines mm und vom Durchmesser eines cm. In der Entfernung von $2\frac{1}{2}$ cm von der Glasplatte wird das Gitter angebracht aus gleichförmig geraden, straff aufgespannten metallischen Fäden.

Zu einer optometrischen Beobachtung halte man die Röhre mit der Glasplatte gegen das Auge. Solange man die Drähte gerade sieht, befindet man sich im Bereiche des deutlichen Sehens. Rückt man die Röhre vom Auge weiter weg, als sein Fernpunkt, so werden die Linien o-förmig gekrümmt. Bewegt man die Röhre gegen das Auge zu und überschreitet man den Nahepunkt, so werden die Linien x-förmig gekrümmt. Die x-förmige Krümmung ist viel auffallender, weil sie in der ringförmigen Oeffnung eine entgegengesetzte Richtung hat, als die concentrischen Krümmungen beider Kreise des Ringes. Deshalb ist auch die Bestimmung des Nahepunctes viel genauer. Um den Vortheil, den uns diese Krümmung bietet, auch beim Bestimmen des Fernpunctes zu benutzen, erinnern wir uns des Falles, wenn das Gitter zwischen Interceptor und Auge sich befindet. Wir fanden, dass in diesem Falle die Krümmung der Fäden beim Entfernen x-förmig wird. Drehen wir also unsere Röhre so um, dass das Gitter dem Auge zugewendet ist, so werden die Linien bei allmählicher Entfernung der Röhre vom Auge bis der Fernpunct überschritten ist, x-förmig gekrümmt werden. Um die Röhre als Optometer zu verwenden, müsste sie auf einem Schlitten hin und her verschoben werden können, um die Abstände das eine Mal von dem einen Ende, das andere Mal vom anderen ablesen zu können. Die Röhre, welche Gitter und Interceptor trägt, wird vortheilhafter aus zwei in einander verschiebbaren Röhrchen hergestellt, von denen eines das Gitter, das andere den Interceptor trägt, so dass man sie beliebig an einander nähern kann.

Zum Schlusse möchte ich noch Herrn Prof. Hermann meinen verbindlichsten Dank aussprechen für die liebenswürdige Art seiner Unterstützung.