

Ueber die Lage der Netzhautschaale zur Brennfläche des dioptrischen Systems des mensch- lichen Auges.

Von

Dr. W. Stammeshaus.

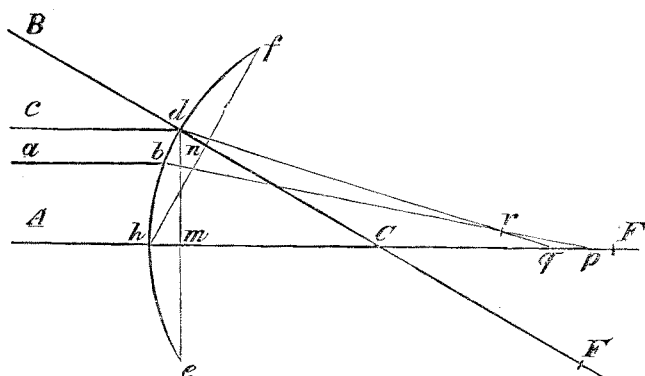
Thomas Young behandelt in seiner classischen Arbeit on the mechanism of the Eye in den Philosoph. transact. of the R. Soc. of London for 1801, P. I. auch die Frage, ob die ganze Netzhautkrümmung in der Brennfläche des dioptrischen Systems liegt. Bekanntlich gelten unsere gewöhnlich benutzten optischen Formeln nur bei nahezu senkrechter Incidenz der Lichtstrahlen. In diesem Falle bleibt homocentrisches Licht homocentrisch. Werden die Randstrahlen nicht durch Diaphragmen abgeblendet, so werden die entstehenden Bilder unrein, weil die Brennweite der Randstrahlen bei den gewöhnlichen Linsen kleiner ist als diejenige der centralen Strahlen. Es giebt allerdings optische Systeme, welche die Homocentricität der Strahlen bei der Brechung bewahren, auch ohne dass jene Bedingung erfüllt ist (aplanatische Systeme). Die Aplanasie kann erreicht werden: einmal durch eigen-

thümliche, von der sphärischen abweichende Oberflächenkrümmung der brechenden Fläche und sodann durch variirende Dichtigkeit resp. variirendes Brechungsvermögen der lichtbrechenden Substanz. Es ist klar, dass die Randstrahlen bei einem respectiven geringeren Brechungsvermögen der Randtheile einer Linse in dem Focus der centralen Strahlen zur Vereinigung kommen werden. Was die Aplanasie durch Oberflächenkrümmung betrifft, so muss für parallele Strahlen die Krümmungscurve eine Ellipse von bestimmter Excentricität sein (vgl. Helmholtz, über die Accommodation des Auges, Arch. f. Ophth. I, Abth. 2); die Ermittlung der Hornhautkrümmung hat ergeben, dass die Cornea für sich allein nicht aplanatisch ist. Es wäre jedoch immerhin möglich, dass die elliptische Krümmung der Cornea dazu beitrüge, im Verein mit der vom Centrum nach der Peripherie abnehmenden Dichtigkeit der Krystalllinse für das ganze Auge homocentrische Lichtbrechung hervorzubringen (abgesehen von der chromatischen Aberration und den übrigen Mängeln des dioptrischen Apparates, gegen welche allerdings nach Helmholtz die Frage nach der sphärischen Aberration in dem Sinne, wie dieser Ausdruck für künstliche Instrumente gebraucht wird, ihre Wichtigkeit verliert). Höchst auffallend ist, dass Volkman n (Artikel: Sehen, in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, p. 293) nach seinen Beobachtungen sogar Augen gefunden hat, welche die centralen Strahlen eher vereinigten als die Randstrahlen. Andererseits scheint aus der Beobachtung, dass die Sehschärfe guter emmetropischer Augen bei Atropinmydriasis für die Ferne nicht abnimmt, hervorzugehen, dass solche Augen so gebaut sind, dass die Homocentricität der Lichtstrahlen bei der Brechung erhalten bleibt.

Betrachtet man die anhomocentrische Brechung der Randstrahlen, welche schief auf eine sphärische Krüm-

mungsoberfläche fallen (wodurch in toto die kaustische Lichtfigur entsteht) genauer, so zeigt sich, dass durch die Lichtbrechung an jedem kleinen Abschnitt der Randzone für zwei aufeinander senkrecht stehende Strahlenschaaren getrennte Brennpunkte entstehen. Um die Verhältnisse kurz an einer bekannten schematischen Figur zu erläutern, so trifft der dem Axenstrahl parallele Randstrahl $a\ b$ den Rand der Linse dhem in b und schneidet nach der Brechung den Axenstrahl in p , also in einem

Fig. 1.



Punkte, welcher dem Linsenscheitel näher liegt, als der Focus F der centralen Strahlen.

Der Punkt p ist zugleich Brennpunkt für alle Strahlen, welche dem Axenstrahl Ah parallel, die brechende Oberfläche in demselben Parallelkreis treffen wie der Strahl $a\ b$ (den Scheitelpunkt h als Pol der Kugel betrachtet). Die Gesammtheit dieser Strahlen stellt den Mantel eines Cylinders dar (respective eines Kegels, wenn die Strahlen von einem in endlicher Entfernung gelegenen Punkte aus divergiren). Die dem Strahl $a\ b$ unmittelbar benachbarten Strahlen, welche

vor und hinter der Blattebene in dem angegebenen Parallelkreis die brechende Oberfläche treffen, kann man als in einer zur Blattebene senkrecht stehenden Ebene verlaufend sich vorstellen.

Im Falle also die Ebene der Zeichnung die horizontale wäre, würden jene Strahlen die verticale Strahlenschaar darstellen, welche demnach ihren Brennpunkt in p hätte. Der Strahl $a\ b$ gehört aber zu gleicher Zeit einer horizontalen Randstrahlenschaar an und wird von den ihm zunächst benachbarten dieser Strahlen, z. B. dem Strahl $c\ d$ nach der Brechung in einem Punkte r geschnitten, welcher seitwärts von der Axe und noch näher nach der Linse zu liegt als der Brennpunkt der verticalen Strahlenschaar. Endlich schneiden die dem Strahl $a\ b$ unmittelbar benachbarten Strahlen, welche aber weder in der Ebene der Zeichnung, noch in dem durch die Entfernung $h\ b$ gegebenen Parallelkreis die Krümmungsoberfläche treffen, den gebrochenen Strahl $b\ p$ gar nicht. (Vergl. Helmholtz, physiol. Optik, § 14, p. 142 ff.)

Die Verhältnisse sind demnach analog denen, welche bei der Brechung im Scheitel eines ungleichaxigen Ellipsoides entstehen (Meridianasymmetrie). Dasselbe was für die Randstrahlen eines Lichtbündels, dessen centraler Strahl mit der optischen Axe des Systems zusammenfällt, gilt nun auch für diejenigen Strahlen, welche von ausserhalb der Axe liegenden Lichtpunkten ausgehend, schief auf den Scheitel der brechenden Fläche treffen. Es existiren auch hier unter den von jedem dieser Lichtpunkte ausgehenden Strahlenschaaren zwei, welche bei kleiner Oeffnung der brechenden Krümmungsoberfläche als in senkrecht aufeinander stehenden Ebenen verlaufend gedacht werden können und welche, wenn auch nicht zu mathematisch genauen, so doch für unsere Sinne hinreichend ausgeprägten Brennpunkten vereinigt werden. Jeder dieser beiden Brennpunkte der schief

auffallenden Strahlenschaaren liegt der Linse näher als der Brennpunkt der centralen Strahlen und ausserdem hat immer diejenige Strahlenschaar die kürzere Brennweite, welche, den Scheitelpunkt der Krümmungs Oberfläche als Pol gedacht, in einer Meridianebene verläuft. So bilden die Strahlen $a b$ und $c d$ zugleich eine schief auf den Scheitel der Linse $h d f n$ fallende, von einem ausserhalb der Axe $B C$ dieser Linse liegenden Punkte ausgehende Strahlenschaar, welche, wenn der Durchschnitt der Linse im horizontalen Meridian gedacht wird, die horizontale Strahlenschaar darstellen, resp. die verticale Schaar, wenn die Ebene der Zeichnung die verticale Meridianebene darstellt. Die andere Strahlenschaar, welche, so lange es sich um die Brechung durch kleine Oberflächenabschnitte (kleine Oeffnung) handelt, als in einer Ebene verlaufend betrachtet werden kann, welche senkrecht auf der Ebene der ersten Strahlenschaar steht, verhält sich auch hier ganz analog wie oben bei den Randstrahlen angegeben. Beim Auge kommen nun im Gegensatz zu unseren künstlichen optischen Instrumenten die von ausserhalb der Axe liegenden Objecten ausgehenden und demnach schief auf das brechende System fallenden Strahlen in ausgedehntem Masse zur Verwendung und es kommt demnach hier zweierlei in Frage:

- 1) Ist durch den Bau des Auges, hauptsächlich durch die variirende Dichtigkeit der Linse homocentrische Brechung für diese schief auffallenden Strahlenbündel erreicht?
- 2) Wenn das der Fall ist, fällt die Netzhaut mit dem einheitlichen Focus der schief auffallenden Strahlen überall zusammen?

Sind beide Bedingungen erfüllt, so liegt die ganze Netzhaut im Brennpunkt des dioptrischen Systems; ist bloss das erstere erreicht, so ist Astigmatismus ver-

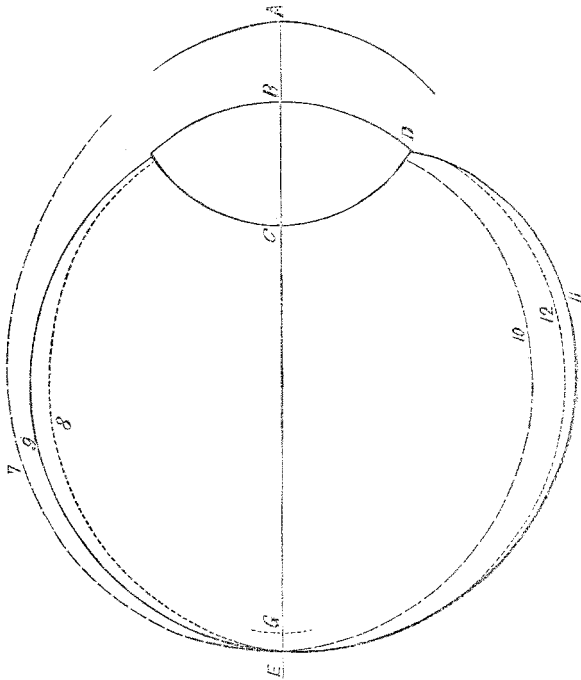
mieden, es kann aber noch Ametropie an der Peripherie bestehen.

Fast alle diese Verhältnisse sind von Thomas Young in seiner oben citirten Abhandlung besprochen; er entwickelt zunächst die Gesetze der Lichtbrechung von Strahlen, welche schief auf sphärische Flächen und homogene Linsen fallen*), giebt sodann ein Gesetz an, by which the refraction at a spherical surface must vary so as to collect parallel rays to a perfect focus und stellt darauf eine Formel auf für die Lichtbrechung von Strahlen falling obliquely on a sphere of variable density. Nachdem er sodann die Grösse des Gesichtsfeldes und die Abnahme der Sehschärfe nach der Peripherie besprochen, sagt er: the imperfection (der peripheren Sehschärfe) is partly owing to the unavoidable aberration of oblique rays, but principally to the insensibility of the retina, ferner: but the whole of the retina is of such a form as to receive the most perfect image on every part of its surface that the state of each refracted pencil will admit; and the varying density of the crystalline renders that state more capable of delineating such a picture than any other imaginable contrivance could have done. Da das Gesetz der varying density der Linse weder damals noch jetzt bekannt ist, so stellt Young seine Ansicht auch nur als Hypothese auf. Wäre dieses Gesetz bekannt, sowie die Oberflächenkrümmung der brechenden Flächen des Auges (die Th. Young noch als sphärische ansieht) ebenfalls genau eruirt, so würde der Gang der Lichtstrahlen, welche schief auf das Auge fallen, zu berechnen sein, eine Arbeit allerdings, die selbst Th. Young somewhat laborious hält. And pro-

*) Vergl. Kugel, Ueber die Wirkung schief vors Auge gehaltener sphärischer Brillengläser. Arch. f. Ophth. X, I. Abth.

bably the image, thus corrected, would approach very nearly to the form of the twelfth curve, cf. Fig. 2, wonach die peripherischen Parthien myopische Einstellung zeigen würden, was jedoch nicht der Fall ist. Zur vollständigen Erledigung der Frage der Refraction der Netz-

Fig. 2.



hautschaale würde dann noch die Kenntniss der Krümmung dieser letzteren erforderlich sein.

Anmerkung:

Da es von grossem Interesse ist, die Ansichten des genialen Briten kennen zu lernen, so sei es gestattet, die weiteren Bemerkungen hier kurz mitzutheilen und zugleich den grösseren Theil der betreffenden Abbildung (Plate IV, Fig. 16 der Philosoph. transact.) wiederzugeben.

Th. Young berechnet nämlich für sein eigenes Auge die Lage der conjugirten Vereinigungspunkte für verticale und horizontale Strahlenschaaren für eine Serie von Objecten, welche in einem circle of ten inches in der Horizontalen vor seinem Auge liegen und zwar zunächst nach der Brechung durch die Cornea. Die erste Curve is the image formed by the furthest intersection of rays, refracted at the cornea, the second the image formed by the nearest intersection. Zwischen beiden Curven (welche, von dem einheitlichen Focus der centralen Strahlen ausgehend nach der Peripherie weiter auseinander gehen) zeichnet er eine dritte, welche der Mitte der Brennstrecke entspricht: such must be the form of the image which the cornea tends to delineate in an eye deprived of the crystalline lens.

Die drei nächsten Curven zeigen die Bilder formed after the refraction at the anterior surface of the lens (unter Nichtberücksichtigung des individuellen Fehlers der Schiefelage seiner Linse, deren Wirkung für die centralen Strahlen er vielmehr noch gesondert angiebt in E und G) and the three following (7, 8, 9 der Fig.) the result of all the successive refractions. Die 10. Curve ist eine Wiederholung der 9; vergleicht man diese mit der 11., welche die Form der Retina wiedergiebt, so zeigt sich that nothing more is wanting for their perfect coincidence than a moderate diminution of density in the lateral parts of the lens.

Directe Beweise für das von Th. Young behauptete Zusammenfallen der Netzhautschaale mit dem Focus der schief auffallenden Strahlen glaubte man (ohne der scharfen Fragestellung von Th. Young immer genügend Rechnung zu tragen) vor und nach der Erfindung des Augenspiegels in der beobachteten Schärfe der Flammenbildchen im weissen Kaninchenauge zu finden. Indessen sind die verschiedenen Beobachter über die Schärfe dieser Bilder verschiedener Ansicht. Magendie fand bei Beobachtung der centralen Netzhautbilder an dem präparirten Auge eines weissen Kaninchens die Deutlichkeit derselben von der Entfernung der Lichtflammen unabhängig und liess sich daraufhin verleiten, die Accommodation des Auges zu läugnen. Und auch Aubert und Förster, welche bei ihren Untersuchungen über das indirecte Sehen (cf. Archiv f. Ophth. III, Abthlg. 2.) die Kaninchenexperimente von Weber wiederholten und

dessen Beobachtung von der Schärfe der Flammenbildchen an der Peripherie der Netzhaut bestätigt fanden, geben indirect die Unexactheit der Methode zu, indem sie bemerken, dass die Kaninchenaugen für die verschiedenen Entfernungen, in welchen sie dieselben unter Erhaltung von scharfen Bildern von den Lichtobjecten aufgestellt hatten, doch wohl nicht accommodirt gewesen sein könnten.

Volkmann (Artikel Sehen p. 334) überzeugte sich bei Betrachtung derselben Bildchen sofort, dass dieselben in den Seitentheilen des Kaninchenauges beträchtlich an Schärfe verlieren. An den Versuchen von Magendie tadelt er, dass dieser mit blossem Auge beobachtet habe. Jedoch die Hauptschwierigkeit, welche, wie auch Helmholtz (physiol. Optik p. 118) sagt, die geringen Unterschiede, welche bei der Accommodation in Betracht kommen, übersehen lässt, liegt darin, dass die Bildchen durch die Sclera hindurch gesehen werden, welche Schwierigkeit auch bei Betrachtung mit Vergrösserung nicht abnimmt. Dazu kommt noch, dass die neuesten Untersucher dieser Flammenbildchen (cf. Landolt und Nuel, Versuch einer Bestimmung des Knotenpunktes für excentrisch in das Auge fallende Lichtstrahlen, Arch. f. Ophth. XIX. Abth. 3) eine beträchtliche Hypermetropie des Kaninchenauges zugeben müssen, die allerdings an den todten Augen abnehmen soll, jedenfalls aber die Schärfe der Bilder beeinträchtigt. Die früheren Untersucher schlossen vom Kaninchenauge ohne weiteres auf das menschliche, ohne diese Annahme durch Gründe stützen zu können. Landolt und Nuel leiten die Berechtigung hierzu davon ab, dass sie sagen: Auch beim Kaninchenauge erhält man bekanntlich, wie beim menschlichen von sehr weit von der Axe entfernten Theilen noch sehr scharfe ophthalmoscopische Bilder. Und hier komme ich auf das

eigentliche Thema meiner Arbeit, welche wesentlich eine ophthalmoscopische ist.

Donders macht in dem Aufsatz: Aphakie, Arch. f. Ophth. VII, Abth. 1 und Anomalien der Refraction, p. 270 die gelegentliche Bemerkung: Es sei bekannt, dass die ganze Krümmung der Netzhaut im emmetropischen Auge in der Brennfläche des dioptrischen Systems liege; mit dem Augenspiegel sehe man bei unveränderter Accommodation die verschiedenen Theile der Netzhaut im aufrechten Bilde scharf u. s. w. mit Berufung auf Th. Young und dessen Erklärung dieser idealen Refraction durch die variirende Dichtigkeit der Linse. Diese Ansicht von Donders, welche im Zusammenhang der Stelle eigentlich mehr die vollkommenere Strahlenbrechung für die seitlichen Theile des normalen Auges gegenüber dem aphakischen betonen soll, ist von den Ophthalmologen (so weit ich die Literatur kenne) für das emmetropische normale Auge als massgebend betrachtet worden; vergl. z. B. Mauthner, optische Fehler, 1870, pag. 213—214.

Meine Untersuchungen haben mich nun schon seit geraumer Zeit gelehrt, dass diese Ansicht nur zum Theil richtig ist und da ich in letzter Zeit bei Untersuchung ametropischer Augen Beobachtungen gemacht habe, die möglicherweise bei der prognostischen Beurtheilung von Wichtigkeit werden können, so zögere ich nicht, diesen Beitrag zur Kenntniss des Auges zu veröffentlichen.

Was die Untersuchung im aufrechten Bilde betrifft, so halte ich den Helmholtz-Jäger'schen lichtschwachen Spiegel, welcher zugleich gestattet, immer senkrecht durch die benutzten Oculargläser zu sehen, für das hier allein in Frage kommende Instrument. Alle neuerdings zur Bestimmung der Refraction empfohlenen compendiösen Augenspiegel, bei denen neben dem cito das tuto der Untersuchung ganz vergessen zu sein scheint, leiden an

dem Mangel jener Eigenschaften, von denen die eine gerade so wichtig ist wie die andere.

Ich habe zur Bestimmung der Refraction der Netzhautschaale von Augen mit centraler Emmetropie meistens nur vollkommen gesunde Augen mit normaler Sehschärfe gewählt, welche Personen des verschiedensten Alters angehörten.

Obwohl die Diagnose der Refraction und des Grades ihrer Anomalien mit Hülfe des aufrechten Bildes für mich eigentlich allein massgebend ist, weil diese Methode den Untersucher, der seine eigene Accommodation controlirt, nicht im Stiche lässt, ihn unabhängig macht und für die nachfolgende Functionsprüfung viele Irrthümer, Zeit und Mühe erspart, so wurde doch die Emmetropie der untersuchten Augen auch jedesmal durch eine genaue Functionsprüfung constatirt. Bei reiferem Alter der Untersuchten ist auch auf letzterem Wege ohne Atropinisirung die Refraction sicher festzustellen.

Ich bemerke, dass ich beiderseits Myopie $\frac{1}{8}$ und S $\frac{15}{12}$, bei guter Beleuchtung $\frac{15}{10}$ habe. Nachdem ich mich überzeugt, dass ich ein emmetropisches Auge vor mir habe, dadurch, dass ich erst mit — 18 die Oberflächenzeichnung einer normalen Papille, sowie die feineren über den temporalen Rand derselben hinwegziehenden Gefässchen mit der prachtvollen Schärfe erkenne*), so lege ich das Concavglas bei Seite und unter-

*) Einen numerisch ausdrückbaren Unterschied in der Refraction der macula lutea und der feinen, den temporalen Rand einer normalen Papille überschreitenden Gefässchen habe ich bis jetzt an emmetropischen Augen nicht constatiren können. Ich habe allerdings gesunde Augen ophthalmoscopirt, bei denen die Papille eine wellenförmige Oberfläche zeigte, indem die Nervenfasern durch ein stärkeres Zusammengedrängtsein und ungleichmässige Vertheilung einen Hügel bildeten, der über das Niveau seiner Umgebung hervorragte und eine von der dieser letzteren durchaus verschiedene dioptrische Einstellung zeigte.

suche mit unbewaffnetem Auge. Ich sehe alsdann die Papille mit ihren größeren Gefässen in verschwommenen Zügen und aus dem Grade dieser Undeutlichkeit schon allein kann ich einen ziemlich sicheren Schluss auf die Refraction des Auges ziehen.

Zur Beobachtung der peripherischen Parthien ist es nun am bequemsten, die mediale Netzhauthälfte zu wählen. Gewöhnlich verläuft dort in meridionaler und häufig auch fast horizontaler Richtung eine grössere Vene oder auch Arterie, welche entweder schon auf der Papille oder in unmittelbarer Nähe derselben von den Hauptstämmen sich abzweigen und bis zur Ora serrata verlaufen, unterwegs verschiedene Aestchen unter verschiedenen Winkeln abgebend. Verfolge ich ein solches Gefäss mit meinem unbewaffneten myopischen Auge, so erscheint mir dasselbe von dem medialen Papillenrande bis auf eine meridionale Strecke von 3—4 Papillendurchmesser in derselben Undeutlichkeit wie in der unmittelbaren Nachbarschaft der Papille. Andererseits sehe ich diese Gefässe mit ihren nach verschiedenen Richtungen sich abzweigenden Aestchen, sowie die feine Zeichnung des Augenhintergrundes in der angegebenen Strecke bei Vorsetzen von — 18 vollkommen deutlich, d. h. in dieser Region besteht für alle Meridiane und Parallelkreise emmetropische Einstellung, die Homocentricität der gebrochenen Strahlenbündel ist eine vollständige.

Verfolge ich das betreffende Gefäss weiter, so wird dasselbe für mein unbewaffnetes Auge allmähig weniger undeutlich (beginnende Hypermetropie) bis in einer Entfernung von circa 5 Papillendurchmesser vom medialen Papillenrande entfernt nach einem bei manchen Augen mehr successiven, bei den meisten jedoch ziemlich plötzlichen Uebergange das Gefäss in aller Schärfe gleichsam hervorspringt und die hier bestehende Hypermetropie ist so stark, dass ich mit Convex 24 und auch noch 18 die

Vene oder Arterie noch vollkommen scharf erkenne (in der gewöhnlichen bei der Untersuchung im aufrechten Bilde benutzten kurzen Distanz meines Auges vom Untersuchten), sodass demnach eine Hypermetropie von ca. $\frac{1}{10}$ an dieser Stelle besteht. Ich glaube nicht zu irren, wenn ich behaupte, dass die Hypermetropie an jener Stelle niemals weniger als $\frac{1}{8}$ beträgt.

Die Schätzung der Entfernung im Augenhintergrunde nach Papillendurchmessern ist Täuschungen unterworfen und erfordert Uebung. Ich habe in einem sich dazu eignenden Falle eine möglichst genaue Zeichnung des Augenhintergrundes von der Papille bis zur Peripherie sowohl im aufrechten als umgekehrten Bilde entworfen, welches letztere wegen des grösseren Gesichtsfeldes eine bessere Schätzung der Entfernung zulässt und glaube auf diese vergleichende Beobachtung gestützt, mit Sicherheit angeben zu können, dass die ausgeprägte Hypermetropie von $\frac{1}{8}$ und mehr in der medialen Netzhaut-hälfte in einer Entfernung von 5 Papillendurchmessern von dem medialen Rande der Papille beginnt. Nimmt man an, dass die Netzhautschaale kuglig gewölbt sei (was ohne grossen Fehler für die folgende Rechnung angeht) und der Radius der Kugel betrage 11 mm. (wie man aus den Maassen der Durchmesser des Auges mit Abzug der Dicke der Sclera und Chorioidea entnehmen kann*), so beträgt ein grösster Kreis dieser Kugel $2 r \pi = 69,08$ und demnach ein halber Umfang von Aequator über Macula lutea nach Aequator 34,5 mm. Rechnet man vom Aequator bis Ora serrata 5 mm., so beträgt die Entfernung von der Macula lutea bis zur Ora serrata auf der Netzhaut 22,25 mm. Das Centrum

*) Vergl. Merkel, macroscopische Anatomie pag. 44 (Handbuch der gesammten Augenheilkunde. Herausgegeben von Alfred Graefe und Th. Sämisch, 1874).

des gelben Flecks ist von der Mitte der Papille zwischen 3,5 bis 4,0 mm. entfernt, der Durchmesser der Papille schwankt ungefähr zwischen 1,5 und 2,0 mm.*). Demnach kann man die Entfernung vom medialen Rande der Papille bis zur Ora serrata auf etwa 18 mm. annehmen. Nimmt man den Papillendurchmesser zu 1,8 mm., so sind das gerade 10 Papillendurchmesser und in der Liebreich'schen grossen Zeichnung des Augenhintergrundes, welche medialwärts bis zur Ora serrata reicht, ist dies in der That der Fall.

5 Papillendurchmesser vom medialen Rande der Papille würden demnach die Mitte der Strecke zwischen Papille und Ora serrata bezeichnen und diese Stelle der Netzhaut, wo ausgeprägte Hypermetropie besteht, ist unter Zugrundelage der obigen Werthe noch etwa 4 mm. von dem Aequator der Retina entfernt.

Sicherer fast noch als durch die Schätzung nach Papillendurchmessern habe ich den Ort der Netzhaut, wo die ausgesprochene hypermetropische Einstellung beginnt, auf andere Art zu ermitteln gesucht, dadurch, dass ich möglichst genau den Winkel bestimmte, unter dem ich in das beobachtete Auge hineinsehen musste, um jene Stelle zu beobachten. Ich fand, dass ich durchschnittlich unter einem Winkel von etwas über 50° zur Gesichtslinie hineinsehen musste, um jene Stelle vor mir zu haben. Später liess ich daher die Gesichtslinie des untersuchten Auges gewöhnlich sofort um denselben Winkel nach innen richten, um jene Netzhautparthie mit Musse betrachten zu können. Beträgt die Entfernung des Netzhautmittelpunktes bis zum hinteren Knotenpunkt (dem Scheitelpunkt des Gesichtswinkels) 4 mm. (insofern der letztere 15 mm. von der Macula lutea entfernt ist), so gehört zu einem Gesichtswinkel von 52° ein Netz-

*) Vergl. Helmholtz, physiol. Optik, p. 213.

hautwinkel von ca. $68\frac{1}{2}^{\circ}$ und der hierzu gehörige Netzhautbogen beträgt 13,3 mm. Dies stimmt fast genau mit dem oben gefundenen, und die hypermetropische Einstellung von $\frac{1}{3}$ und mehr beginnt daher in einer Entfernung von ca. 4 mm. vor dem Aequator der Netzhaut (von der Macula lutea aus gerechnet).

Verfolge ich ein meridional verlaufendes Gefäss weiter, so bleibt die hypermetropische Einstellung immer höchst evident und nimmt über den Aequator gegen die Ora serrata hin noch zu, indem ich hier mit noch stärkeren Convexgläsern deutlich sehe.

Das Bisherige bezieht sich auf die meridional verlaufenden Gefässe, welche immer im Gesichtsfeld an der Peripherie dominiren. Mein nächstes Interesse galt der etwaigen anhomocentrischen (astigmatischen) Strahlenbrechung und ich richtete daher mein Augenmerk auf die abgehenden Aestchen.

Man findet zuweilen äusserst günstige Stellen, indem ausser dem meridional verlaufenden Hauptgefäss noch andere Aestchen in demselben peripherischen Gesichtsfeld verlaufen, die theils unter rechtem Winkel sich abzweigend in Parallelkreisen verlaufen, theils auch unter spitzen Winkeln abtreten. Bis in die Gegend des Aequators und noch darüber hinaus erhält man in solchen Fällen noch ganz schöne ophthalmoscopische Bilder, und ich habe mit demselben Convexglase die verschiedensten im Gesichtsfelde sich abzweigenden Gefässe gleich deutlich gesehen. Wenn ein Unterschied bestand, so war es immer so, dass die meridional verlaufenden Gefässe die stärkere hypermetropische Einstellung zeigten. Die ganz peripherisch gelegenen Parthien muss ich ausschliessen, da es fast zu schwer ist, hier ein sicheres Urtheil zu gewinnen, wegen des immer schmäler werdenden Gesichtsfeldes. Ich glaube aber, dass die Homocentricität hier nicht mehr gewahrt ist, die meridional ver-

laufenden Gefässe erscheinen gegen die Ora serrata hin gestreckt, strichförmig, wie wenn man Linien durch eine schief gehaltene Glaslinse betrachtet*).

Ausserdem ist zu bemerken, dass in der Gegend des Aequators, wo man noch ganz scharfe, schöne Bilder erhält, auf den Seitenästchen und besonders auf den unter rechtem Winkel von den meridional verlaufenden Hauptstämmchen abtretenden Zweigen gleichsam ein schwacher Schatten zu liegen scheint gegenüber den klarer hervortretenden meridionalen Gefässen. Trifft man ein abgehendes Aestchen, welches starke Krümmungen in der Ebene der Netzhaut macht, so lagert der Schatten hauptsächlich auf den in der Richtung eines Parallelkreises verlaufenden Gefässabschnitten. Durch kleine Bewegungen und Drehungen des Spiegels kann man die Schatten wandern und fast verschwinden lassen.

Der Grund dieser Erscheinungen liegt nach meiner Ansicht darin, dass, weil der Mittelpunkt der Netzhautkugelschaale hinter dem Kreuzungspunkt der Richtungslinien liegt, die peripherischen Netzhautparthien dem Ophthalmoscopirenden unter merklicher perspectivischer Verkürzung erscheinen. Man kann die Verhältnisse und die Art ihres Einflusses nachahmend veranschaulichen dadurch, dass man zwei unter rechtem Winkel sich kreuzende Linien auf ein Blatt Papier zeichnet (welche bei senkrechter Blattebene vertical und horizontal verlaufen sollen) und nun die Papierebene schief zur Gesichtslinie hält, so wird ein zunehmender Unterschied in der Schwärze der beiden Linien auftreten, indem diejenige Linie mehr und mehr verblasst, welche senkrecht steht auf der Richtung der perspectivischen Verkürzung.

*) Auch die im Folgenden erwähnte perspectivische Wirkung kommt hier in Betracht, wodurch das Urtheil noch mehr erschwert wird.

Durch Aufsuchen einer möglichst günstigen Beleuchtung beim Betrachten der peripherischen Netzhauttheile (Drehungen des Spiegels) kann jener Einfluss vermindert werden. Wenn ich auch vorzugsweise die mediale Netzhauthälfte untersucht habe, so habe ich doch auch die übrigen Parthien der Beobachtung unterworfen und in Bezug auf Bestehen der Hypermetropie an der Peripherie und den Ort ihres Beginnens auf der Retina im Wesentlichen überall dasselbe gefunden. Nur schienen mir in den oberen und unteren Netzhautparthien in Entfernungen von der Macula lutea (nämlich in der Gegend des Aequators), wo die Bilder in andern, besonders in dem horizontalen Meridian noch nichts zu wünschen übrig lassen, dieselben an einer merklichen auf anhomocentrische Strahlenbrechung deutenden Unklarheit zu leiden. Die ophthalmoscopische Untersuchung lässt demnach in der Netzhaut zwei Zonen unterscheiden: eine innere, welche die Macula lutea umgiebt, wo Emmetropie herrscht und eine äussere, die innere ringförmig umgebende, wo ausgeprägte Hypermetropie vorhanden ist.

Anmerkung:

Man wird mir wohl kaum einwenden wollen, dass ich immer hypermetropische Augen vor mir gehabt habe, und dass die betreffenden Augen, wenn die centrale Region ophthalmoscopirt wurde, die Hypermetropie durch Accommodiren verdeckt und Emmetropie vorgetäuscht hätten, während die Peripherie dem Untersucher ihre Refraction unverhüllt gezeigt hätte. Ich habe allerdings bei diesen Beobachtungen kein einziges Auge atropinisirt, weil ich es nicht mehr für nöthig halte, die Untersuchung im aufrechten Bilde gegen diesen Einwand zu schützen. Ausserdem ist das Augenspiegelbild immer höchst prägnant und übereinstimmend, beweisend aber ist der Umstand, dass man eine Uebergangsstelle ophthalmoscopiren kann, wo auf der einen Seite noch Emmetropie und auf der anderen ausgeprägte Hypermetropie vorhanden ist. Uebrigens habe ich in letzter Zeit eine traumatische uncomplicirte Accommodationslähmung und sehr starke Mydriasis bei einem emmetropischen Auge beobachtet und Alles bestätigt gefunden.

Dass Donders angiebt, die ganze Netzhaut liege im Brennpunkt des dioptrischen Systems, erklärt sich, wie ich glaube,

daraus, dass Donders Emmetrop ist und sich allerdings des verschiedenen Accommodationszustandes beim Betrachten der centralen und peripheren Parthien nicht bewusst geworden ist.

Nach Bestimmung der Refraction der Netzhaut-schaaale central-emmetropischer Augen wandte ich mich zu ametropischen Augen. Schon Donders sagt hierüber (Anomalien, p. 91): „In manchen Fällen ist es mir allein auf diese Weise (Untersuchung im aufrechten Bilde) gelungen, mich zu überzeugen, dass die Myopie im indirecten Sehen geringer als in der Richtung der Sehlinie war“.

Nach dem, was oben über das emmetropische Auge mitgetheilt ist, ist dies a priori wahrscheinlich. Nimmt man an, dass die Ametropie bei unverändertem dioptrischen System durch Verlängerung (Myopie), resp. Verkürzung (Hypermetropie) der Bulbusaxe entstanden sei, wobei die übrigen Durchmesser des Auges ebenfalls eine Vergrößerung, resp. Verkleinerung relativ zum emmetropischen Auge erfahren haben, die jedoch geringer ist als die Veränderung des sagittalen Durchmessers, so würde daraus folgen, dass die Differenz des Refraktionszustandes im Centrum und an der Peripherie im myopischen Auge grösser, im hypermetropischen Auge dagegen geringer sein würde als im emmetropischen Auge. Es liesse sich ein gewisser mittlerer Grad von Myopie denken, bei der die aequatoriellen Gegenden emmetropische Einstellung zeigen würden; erst bei stärkeren centralen Myopiegraden würde auch an der Peripherie myopische Einstellung (geringeren Grades) bestehen. Andererseits würde bei Ametropie, hervorgerufen durch veränderte dioptrische Verhältnisse (bei unveränderten Bulbus-Durchmessern), die Differenz des Refraktionszustandes im Centrum und an der Peripherie der bei central-emmetropischen Augen beobachteten mehr gleichbleiben. Das letztere würde jedoch auch z. B. bei

Myopie durch Axenverlängerung möglich sein, wenn die übrigen Bulbusdurchmesser (der transversale und verticale) in demselben Verhältniss gewachsen wären wie der sagittale Durchmesser des Auges.

Die Resultate der Untersuchung hypermetropischer Augen höheren Grades stimmen nun zu der Annahme, dass das hypermetropische Auge hauptsächlich in dem sagittalen Durchmesser verkürzt sei, insofern bei centraler Hypermetropie von $\frac{1}{2}$ und mehr die Hypermetropie an der Peripherie sich nur sehr wenig höher stellte (in den von mir bis jetzt untersuchten Augen). In Betreff der Aphakie gilt das oben von Thomas Young Mitgetheilte.

Dagegen habe ich bei Myopie höchst auffallende und interessante Unterschiede constatiren können. Ich gebe im Folgenden die genauen Daten zweier von mir in letzter Zeit in Bezug auf periphere Refraction untersuchter Myopen, welche wahrscheinlich die Extreme repräsentiren, zwischen denen die Refraction an der Peripherie der Retina relativ zu der des Centrums myopischer Augen schwanken kann. Beide haben ungefähr dieselbe centrale Myopie, aber durchaus verschiedene Refraction der peripheren Netzhautparthien. Der Eine, 24 Jahr alt, aus Mülheim a. Ruhr, hat beiderseits Myopie $\frac{1}{6}$ mit Insufficienz der musc. recti intt.; trägt seit Jahren — $\frac{1}{2}$ bei der Arbeit (als Commis in einem Bankgeschäft)

S oc. dextr. mit — $\frac{1}{6} = \frac{15}{20 \text{ bis } 15}$. Ophthalmoscopisch

sehe ich erst mit — $\frac{1}{4\frac{1}{2}}$ bei möglichster Annäherung an das Auge die normale Papille in gewohnter Schärfe, woraus mit Abzug meiner eigenen Myopie folgt

$M = \frac{1}{6 + x}$ (x = Distanz bei der Untersuchung). Die temporale Hälfte des Sclerotalringes stark ausgeprägt,

daran sich schliessend ein halbmondförmiger Chorioideal-pigmentsaum, dessen grösste, im horizontalen Meridian gelegene Breite $\frac{1}{3}$ Papillen-Durchmesser misst, aussen unten sieht das Pigment etwas macerirt aus, wie bei beginnender Chorioidealatrophie.

In einer Ausdehnung von mehreren Papillendurchmessern vom medialen Rande der Papille besteht dieselbe myopische Einstellung, wie in unmittelbarer Nähe der Papille. Lasse ich das Auge unter einem Winkel von etwas über 50° nach innen blicken, so habe ich in der medialen Netzhauthälfte diejenige Stelle der Retina gerade vor mir, wo ich schon mit $-\frac{1}{10}$ den Augenhintergrund vollkommen deutlich wahrnehmen kann, d. h. wo eine Myopie von $\frac{1}{22}$ beginnt. Die Differenz zwischen der Refraction dieser peripheren Parthie und der des Centrums beträgt demnach $\frac{1}{6} - \frac{1}{22} = \frac{1}{8}$, ist also etwas grösser als die entsprechende eines central-emmetropischen Auges.

Nimmt man an, dass das dioptrische System dieses myopischen Auges praeter propter dem eines emmetropischen Auges gleicht (worüber das Ophthbalmometer Aufschluss geben könnte) so würde die centrale Myopie durch eine Verlängerung des Bulbus in der Axe zu erklären sein, das Bestehen der peripheren Myopie dagegen ebenfalls eine Vergrösserung der übrigen Bulbusdurchmesser (wenn auch in etwas geringerem Maasse) erheischen. In diesem Falle würde demnach mehr oder weniger der ganze Bulbus vergrössert sein müssen, resp. die Dehnung würde sich nicht auf den hinteren Abschnitt allein concentriren, sondern sich mehr auf den ganzen Bulbus vertheilen. Das fast völlige Fehlen der Atrophie der Chorioidea circ. papill. würde vielleicht zu Gunsten dieses Raisonnements sprechen.

Der zweite Fall betrifft den eines befreundeten

Gymnasiallehrers (26 Jahr alt), welcher seit Jahren fortwährend (auch bei der Arbeit) — $\frac{1}{8}$ trägt. Seine Myopie beträgt $\frac{1}{7}$, S $\frac{15}{20}$ bis $\frac{15}{15}$; ophthalmoscopische Diagnose der Myopie ergiebt dasselbe (scharf mit — $\frac{1}{5}$). Es besteht ausgesprochene Atrophie der Chorioidea vom temporalen Rande der Papille gegen die Macula lutea hin, auf floriden Zustand deutend. Nachdem ich die Myopie im Umkreis der Papille als gleich befunden hatte, liess ich das Auge, wie gewöhnlich, um etwas über 50° nach innen blicken und war beim Hineinschauen nicht wenig erstaunt über das sich mir darbietende Bild. Für mein unbewaffnetes Auge sprangen nämlich die Retinalgefässe in der betreffenden peripheren Parthie der medialen Netzhauthälfte mit derselben Deutlichkeit hervor, wie ich es bei emmetropischen Augen gewohnt bin, und in der That sah ich mit Convex 18 den peripheren Augen-Grund noch mit vollkommener Schärfe. Das Bild war so frappant, dass, wenn ich nicht mit bewusster Absicht untersucht hätte, ich wahrscheinlich im ersten Augenblick an Netzhautablösung gedacht haben würde. In diesem Falle besteht demnach centrale Myopie $\frac{1}{7}$ und peripher (schon weit vor dem Aequator beginnend, wie beim central-emmetropischen Auge) stärkere Hypermetropie (etwa $\frac{1}{10}$).

Nimmt man wiederum an, dass das dioptrische System dieses Auges dem eines emmetropischen Auges gleichkommt, so erklärt sich der Fall so, dass der Bulbus nur in der Richtung seiner Axe gedehnt ist, während die äquatoriellen Durchmesser denen eines emmetropischen Auges gleichgeblieben sind. Vielleicht würde das beständige Tragen von — $\frac{1}{8}$ und das hiermit verbundene stärkere Accommodiren beim Nahesehen ein Licht auf diesen Zustand werfen, insofern die neueren Unter-

suchungen eine Zerrung der Chorioidea in ihrem hinteren Abschnitt bei der Accommodation wahrscheinlich machen. Der floride Zustand der Atrophie der Chorioidea an der Papille würde hiermit gut übereinstimmen.

Diese beiden Fälle geben in der That viel zu denken. Eine fortgesetzte Beobachtung in dieser Hinsicht verspricht wichtige Aufschlüsse über die Art der Progression der Myopie und wird möglicherweise in prognostischer Beziehung hinsichtlich des Vorkommens von Netzhautablösung bei höheren Myopiegraden von Wichtigkeit werden. Bei den oben beschriebenen Myopien liesse sich eine Verschiedenheit der Disposition zu *Solutio retinae* wohl denken.

Schon bevor ich diese Unterschiede in der peripheren Refraction myopischer Augen kennen gelernt hatte, hatte es mich interessirt, die Verhältnisse der Peripherie meiner eigenen Augen zu ermitteln. Und da mir von früheren Untersuchungen her in Erinnerung war, wie weit man bei der Autophthalmoscopie nach Coccius (im aufrechten Bilde) die Retinalgefässe nach der Peripherie verfolgen kann, so suchte ich nach dieser Methode Aufschluss zu erhalten.

Untersuche ich mit einem blossen Planspiegel (ohne Concav 18) mit meiner rechten Macula lutea meinen rechten Augenhintergrund und verfolge ein Retinalgefäss von der Papille bis gegen die Peripherie hin, so ist es mir durchaus deutlich, dass ich das betr. Gefäss gegen die Peripherie hin viel weniger verschwommen sehe, als auf der Papille und in ihrer näheren Umgebung. Vollständig klar sehe ich indessen die Vene oder Arterie auch an der Peripherie nicht, so weit ich dieselben noch verfolgen kann (also höchstens bis zum Aequator des Auges). Es würde daraus folgen, dass in der Peripherie meiner Augen die Myopie geringer ist und die Refraction

der Emmetropie sich nähert (a priori wäre noch ein gewisser Grad von Hypermetropie zu erwarten).

Hiermit scheint zu stimmen, was ich bei Prüfung meines peripheren Sehens ermittelt habe, insofern ich beim Sehen in die Ferne für die peripheren Theile des Gesichtsfeldes durch Concavgläser keine Verbesserung in der Deutlichkeit erreiche (im Gegensatz zu einer grossen centralen Parthie im Umkreis des fixirten Punktes). Doch ist es sehr schwer, in etwas grösseren Entfernungen von dem Fixationspunkte bei der Unbestimmtheit des peripheren Sehens genaue Resultate zu erhalten.

Da die Abnahme der Sehschärfe schon in unmittelbarer Nähe von der Macula lutea beginnt, also in einer Region, wo die Netzhautbilder noch ganz scharf sind, so ist es klar, dass bei der peripheren Sehschärfe noch andere Factoren eine Rolle spielen.

Ebenso ist die Untersuchung auf etwaigen Astigmatismus an der Peripherie mit Schwierigkeiten verknüpft, da bei der Auslegung des Gesichtsfeldes noch andere Momente in Frage kommen.

Zum Schluss bemerke ich, dass, wie eigentlich Alles, was sich auf die optischen Verhältnisse des normalen Auges bezieht, so auch das Bestehen der peripheren Hypermetropie des central-emmetropischen Auges in der physiologischen Optik von Helmholtz sich angegeben findet. Es heisst dort pag. 177: Auch für die seitlich gelegenen Theile der Netzhaut ist gewöhnlich keine Linse nothwendig (Helmholtz setzt hier eine geringe Accommodation für die Nähe bei dem untersuchten wie untersuchenden Auge beim Ophthalmoscopiren voraus, resp. er betrachtet die Augen als schwach myopisch), weil diese vor den dorthin fallenden Vereinigungspunkten der Lichtstrahlen weit entfernter Objecte zu liegen scheinen und

die Augenmedien von ihnen daher selbst schon ein dem Beobachter passendes Bild entwerfen.

Diese Stelle scheint den Ophthalmologen entgangen zu sein und ich selbst bin erst vor Kurzem bei einer systematischen Durchsicht der betr. Literatur darauf aufmerksam geworden.
