

# Die monochromatischen Aberrationen des menschlichen Auges.

Von

M. TSCHERNING,

Directeur adjoint du laboratoire d'ophtalmologie à la Sorbonne, Paris.

(Mit 12 Figuren im Text.)

Die Untersuchung der Brechungsverhältnisse im Auge beschränkt sich heutzutage auf die Bestimmung des Grades der Myopie, der Hypermetropie und des regelmässigen Astigmatismus. Die Untersuchung der übrigen optischen Fehler des Auges konnte bisher keinen praktischen Wert in Anspruch nehmen, da wir die zur Korrektion dieser optischen Fehler geeigneten Gläser leider nicht besitzen.

In jedem rein emmetropischen, myopischen oder hypermetropischen Auge müssen sich alle von einem Punkte ausgehenden Strahlen nach der Brechung wieder in einem Punkte vereinigen oder, was dasselbe sagen will, jeder von einem Punkte ausgehende Lichtstrahl muß durch das optische System des Auges gleich stark gebrochen werden. Ebenso ist es bei regelmässigem Astigmatismus notwendig, daß sämtliche Punkte eines Hauptmeridians die gleichen Brechungsverhältnisse aufweisen, damit sämtliche durch diesen Meridian gehenden Lichtstrahlen in einem Punkte zur Vereinigung kommen können. Höchstwahrscheinlich giebt es aber wohl nur wenige Augen, welche dieser Bedingung auch nur annähernd entsprechen, weil die Refraktion gewöhnlich nicht in jedem Punkte der Pupillarebene von derselben Stärke ist. Das menschliche Auge ist ebenso wie die künstlichen optischen Systeme nicht frei von dem Fehler der monochromatischen Aberration.

Diesen Unregelmässigkeiten gegenüber hat man sich in der Praxis bisher in doppelter Weise verhalten. War jene Unregel-

mäßigkeit hochgradig, und konnte dieselbe namentlich mit Hülfe des Augenspiegels zur Anschauung gebracht werden, so stellte man die Diagnose auf unregelmäßigen Astigmatismus. In Fällen dagegen, in denen jene Unregelmäßigkeit nicht so in die Augen springend war, liefs man sie entweder ganz unbeachtet, oder führte die Herabsetzung der Sehschärfe auf eine Amblyopie zurück, deren Ursache man in die Retina und nicht, wie es meiner Ansicht nach meistens bei höheren Graden von Hypermetropie und Astigmatismus thatsächlich der Fall ist, in das optische System verlegte.

Noch einen anderen diagnostischen Irrtum haben mitunter diese Unregelmäßigkeiten im optischen System des Auges veranlaßt, nämlich die Diagnose eines sogenannten Spasmus des Accommodationsmuskels. Wenn man nach Einträufelung von Atropin einen geringeren Grad von Refraktion als vor derselben feststellen kann, so hat das meistens seinen Grund darin, daß die Erweiterung der Pupille den Lichtstrahlen gestattet, durch die periphere Zone des optischen Systems zu gehen, welche, von der Iris bedeckt, sich gewöhnlich aufer Funktion befindet und häufig einen geringeren Grad von Refraktion besitzt, als die centralen Teile. Findet eine solche Abnahme, resp. Zunahme der Refraktion gegen die Peripherie hin nur in einem Meridian statt, so ruft das Erscheinungen hervor, zu deren Erklärung man eine astigmatische Accommodation annehmen zu müssen glaubte. Unseren Auseinandersetzungen zufolge kann man, aufer in den Fällen von latenter Hypermetropie, im allgemeinen den in gewöhnlicher Weise erzielten Refraktionsbestimmungen mehr Zutrauen schenken, als den nach Einträufelung von Atropin.

Man hat sich daran gewöhnt, alle Refraktionsanomalien, welche nicht zu einer der drei regelmässigen Formen gehören, als unregelmässigen Astigmatismus zu bezeichnen. In der That aber sind diese bisher nur sehr unvollkommen bekannten Refraktionsanomalien sehr verschiedener Natur. Es wird also eher die Aufgabe zukünftiger Forschung sein, die verschiedenen Formen dieser Refraktionsanomalien näher zu bestimmen, um sie voneinander unterscheiden zu können, als immer wieder nach neuen Methoden zu suchen, um den Grad der drei regelmässigen Anomalien zu bestimmen, die mit den uns gegenwärtig zu Gebote stehenden Mitteln bereits so vollkommen

bestimmt werden können, daß es mir kaum möglich erscheint, neue wichtige Fortschritte in dieser Richtung zu machen. Diese Untersuchungsmethoden erweisen sich eben nur in den Fällen nicht ausreichend, in welchen das gebrochene Strahlenbündel allzu sehr von der regelmässigen Form abweicht. Man

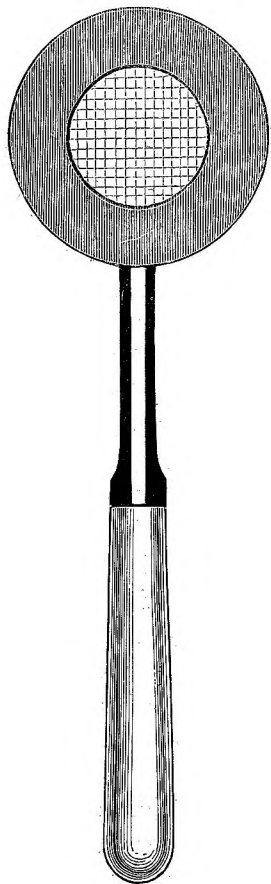


Fig. 1.

braucht nur zwei Fälle von Astigmatismus desselben Grades miteinander zu vergleichen, um zu sehen, wie verschieden dieselben voneinander sein können. In einem Falle wird der Astigmatismus durch Cylindergläser vollständig aufgehoben, und der Patient bedenkt sich weder bei der Wahl der Nummer noch der Stellung des Glases. Dieses sind Fälle, welche dem idealen astigmatischen Auge sehr nahe kommen. In einem anderen Falle erhält man nur geringe oder gar keine Verbesserung durch Cylindergläser, bei deren Auswahl der Patient sich weder für eine bestimmte Nummer noch für eine bestimmte Stellung des Cylinders entscheiden kann. Untersucht man solche Fälle genauer, so findet man die Ursache dieses Misserfolges meistens darin begründet, daß das Bündel der gebrochenen Strahlen sich zu weit von dem Konoid STURMS entfernt.

Man stellt sich häufig die Form des Strahlenbündels in unregelmässig astigmatischen Augen als eine ganz

regellose vor. Dieses ist aber nach meiner Ansicht außer bei den mit Hornhautflecken und ähnlichen Fehlern behafteten Augen nur selten der Fall. In letzteren ist der Verlauf der Strahlen ein unterbrochener oder diskontinuierlicher, während er sonst ein regelmässig fortlaufender oder kontinuierlicher ist. Dabei entfernt sich jedoch die Gestalt des gebrochenen Strahlenbündels mehr oder weniger vom Konoid STURMS. Ein von

einer schief gestellten Linse gebrochenes Strahlenbündel bietet uns ein Beispiel hiervon. Als zweites Beispiel soll, wie ich sogleich näher auseinandersetzen will, mein rechtes Auge dienen. Solche Fälle, die noch eingehender zu erforschen sind, müssen scharf von denjenigen geschieden werden, welche von stellenweise in der Hornhaut und der vorderen Linsenfläche auftretenden Unregelmäßigkeiten hergeleitet werden müssen. Ich möchte nur diesen letzten Fällen den Namen eines unregelmäßigen Astigmatismus beilegen, die anderen mehr regelmäßigen Abweichungen aber als *Aberrationen* bezeichnen. Man wird den Nutzen eines eingehenderen Studiums dieser Aberrationen leicht einsehen, wenn man bedenkt, daß wir die Hoffnung hegen dürfen, in Zukunft Mittel und Wege zur Korrektur dieser Fehler zu finden, während dieses für solche Unregelmäßigkeiten, deren Ursache in Hornhautflecken und ähnlichen Affektionen gesucht werden muß, wohl niemals auf anderem Wege als vielleicht durch Kontaktgläser zu erreichen sein wird.

Die in Frage stehenden optischen Fehler des Auges können mit Hülfe eines kleinen Instrumentes, welchem wir den Namen *Aberroskop*<sup>1</sup> (Fig. 1) gegeben haben, näher studiert werden. Dasselbe besteht aus einer plankonvexen Linse von 4 Dioptrien, auf deren planen Fläche ein Mikrometer in Form eines quadratischen Netzes eingegraben ist. Blickt ein emmetropisches oder durch Gläser emmetropisch gemachtes Auge durch diese Linse auf einen entfernten Lichtpunkt, so sieht es im Zerstreuungskreise den Schatten des Netzmikrometers. Doch nur ein Auge, dessen Refraktion in der ganzen Ausdehnung des Pupillarraumes eine gleichmäßige ist, sieht die Linien des Mikrometers ohne Verkrümmungen. Allen Augen, welche dieser Bedingung nicht entsprechen, erscheinen jene Linien gekrümmt, und zwar sind dieselben gegen den Pupillarmittelpunkt hin konvex gekrümmt (Fig. 2), wenn die Refraktion sich gegen die Peripherie hin vergrößert, hingegen konkav (Fig. 3) gekrümmt, wenn die Refraktion sich gegen die Peripherie hin vermindert. Wir wollen die erste Verkrümmung die sichelförmige (*Déformation en crois-*

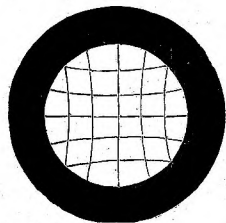


Fig. 2.

<sup>1</sup> Fabrikant: M. Iwan Werlein, Paris, 71 rue Cardinal Lemoine.  
Preis: 10 Francs.

sant), die zweite die tonnenförmige (*Déformation en barillet*) nennen. Stellenweise auftretende Krümmungen der einzelnen Linien werden durch lokale Unregelmäßigkeiten hervorgerufen. — Da wir die Linse nur dazu

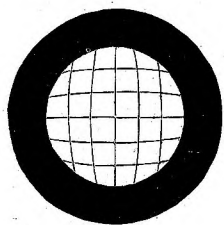


Fig. 3.

gebrauchen, um das Auge myopisch zu machen, so können kurzsichtige Augen dieselbe entbehren. Der Versuch gelingt gewöhnlich am besten, wenn man das Instrument 10—20 cm vom Auge entfernt hält. Der Durchmesser des Zerstreuungskreises darf jedenfalls nicht größer sein,

als etwa die Hälfte des Durchmessers der Linsenoberfläche.

Um sich über den Ursprung dieser Verkrümmungen oder Verzerrungen zu unterrichten, stelle man folgenden Versuch an: Nachdem man vermittelt einer gewöhnlichen Linse von 15 D. das Bild einer entfernten Kerzenflamme auf einen Schirm geworfen hat, rückt man die Linse so weit vom Schirme ab, bis sich ein Zerstreuungskreis bildet. Bringt man nun eine Stricknadel so zwischen Licht und Linse, daß ihr Schatten im Zerstreuungskreise erscheint, so bemerkt man, daß derselbe nur dann geradlinig ist, wenn er mit einem der Linsendurchmesser zusammenfällt. In allen übrigen Stellungen ist der Schatten konvex gegen den Mittelpunkt des Zerstreuungskreises verzerrt. Befindet sich der Schirm innerhalb der Brennweite, so kann man, wenn auch weniger deutlich, die umgekehrte Erscheinung beobachten.

Diese Verzerrungen des Bildes haben ihre Ursache darin, daß der sphärischen Aberration wegen nicht alle Teile der Linse dieselbe Refraktion besitzen. Die Randteile der Linse haben bekanntlich eine höhere Brechkraft, als die mittleren Teile, so daß die peripherisch eintretenden Strahlenbündel die Achse näher zur Linse treffen, als die central eintretenden (Fig. 4). Stellen wir uns nunmehr einen Durchschnitt des eintretenden Strahlenbündels in gleich breite konzentrische Zonen geteilt vor, so wird ein Durchschnitt des gebrochenen Strahlenbündels entsprechende Zonen aufweisen müssen, welche jedoch der sphärischen Aberration wegen, wie leicht ersichtlich, nicht von gleicher Breite untereinander werden sein können. Die Zonen eines bei  $a$  (Fig. 4) gemachten Durchschnittes würden gegen die Peripherie hin an Breite verlieren, während die-

jenigen eines bei  $b$  geführten Schnittes gegen die Peripherie hin an Breite gewinnen würden. Korrigiert man die sphärische Aberration in der Weise, daß alle Strahlen sich in einem Punkte der Achse treffen, so werden die Zonen überall dieselbe Breite beibehalten. Wird die sphärische Aberration dagegen in der Weise überkorrigiert, daß die centralen Strahlen die Achse zuerst treffen, so werden wir die entgegengesetzten Erscheinungen beobachten.

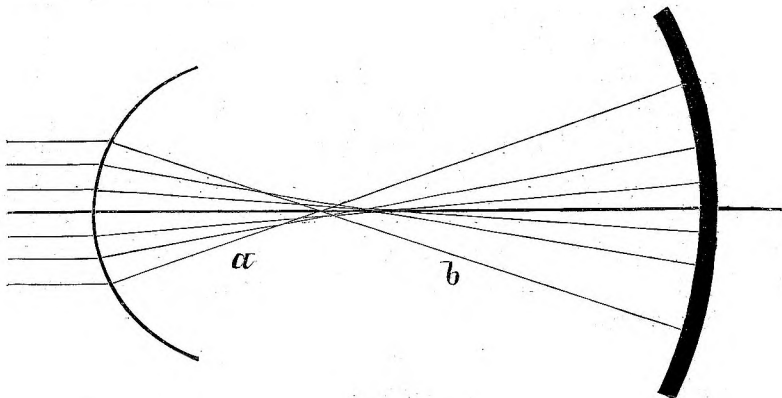


Fig. 4.

Diese Verengung, resp. Erweiterung der Zonen gegen die Peripherie hin ist die Ursache der Gestaltveränderungen des Schattens, welche wir bei dem oben erwähnten Versuche beobachten konnten. In Fig. 5 stellt  $cd$  die Nadel vor,  $c'd'$  den Schatten, welchen diese auf einen in  $a$  (Fig. 4) aufgestellten Schirm wirft.

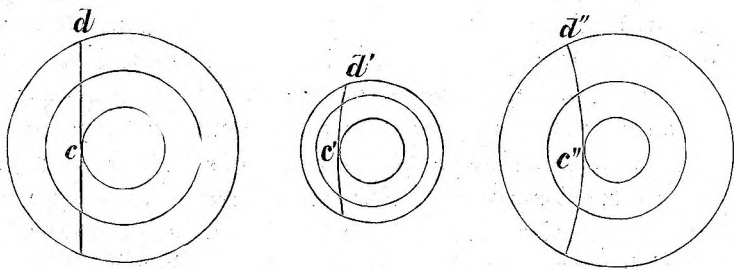


Fig. 5.

Infolge der Verengung der peripheren Zonen ist  $d'$  verhältnismäßig mehr gegen das Centrum hin verschoben, als  $c'$ , was dem Schatten seine gekrümmte Gestalt verleiht.  $c'' d''$



giebt die Gestalt des Schattens wieder, wenn der Schirm sich außerhalb des Brennpunktes befindet.

In gleicher Weise wie dieser Versuch gestaltet sich die Untersuchung des Auges mit dem Aberroskop. Da das zu untersuchende Auge durch die Linse des Instrumentes myopisch gemacht wird, so muß sich die Retina desselben außerhalb des Brennpunktes befinden. Eine Erhöhung der Refraktion gegen den Rand des Pupillarraumes hin hat also eine sichelförmige Verzerrung der Linien des Mikrometernetzes, eine Verminderung der Refraktion hingegen eine tonnenförmige Verzerrung dieser Linien zur Folge. In ersterem Falle sagt man, die Aberration sei unterkorrigiert, in letzterem, sie sei überkorrigiert.

Nur selten trifft man ein Auge an, welches, durch das Aberroskop blickend, gar keine Verzerrung bemerkt. Sehr häufig sehen selbst Augen, welche man sonst für durchaus normal hält, recht bedeutende Verzerrungen. Ich will nun die rein örtlichen Unregelmäßigkeiten, welche mehr wellenförmige Verzerrungen der einzelnen Linien hervorrufen, beiseite lassen und diejenigen Formen von Aberration näher betrachten, welche ich bei der nur geringen Zahl von Personen, die ich bisher zu untersuchen Gelegenheit hatte, angetroffen habe. Es ist jedoch leicht einzusehen, daß es außer diesen von mir beobachteten Verzerrungen noch eine Anzahl anderer geben muß.

I. Die Refraktion nimmt gleichmäßig nach allen Richtungen vom Centrum zur Peripherie hin zu, resp. ab. — Sphärische Aberration. (Figg. 2 und 3.)

Aus der Theorie der optischen Instrumente wissen wir, daß die sphärische Aberration mit dem Öffnungswinkel des Instrumentes und der Krümmung der brechenden Flächen in hohem Grade wächst. Nur selten kann man einem Instrumente eine Öffnung geben, welche ein Zwölftel der Brennweite überschreitet. Setzen wir den Durchmesser der Pupille  $= 4 \text{ mm}$  und die hintere Brennweite des Auges  $= 20 \text{ mm}$ , so ist das Verhältnis  $= 1/5$ . Das Auge müßte also eine sehr bedeutende sphärische Aberration besitzen, und in der That ergibt sich durch Rechnung, wenn man überall sphärische Flächen und denselben Brechungsindex in allen Teilen der Krystalllinse annimmt, daß das schematische Auge von HELMHOLTZ eine Aberration von fast 4 Dioptrien haben würde, d. h. wenn der mittlere Teil der Pupille emmetropisch wäre,

so würden die äußersten peripherischen Teile eine Myopie von 4 Dioptrien haben. Allein das menschliche Auge besitzt zwei Eigenschaften, welche geeignet sind, diesen Fehler auszugleichen. Die eine Eigenschaft ist die Abflachung der Flächen gegen die Peripherie hin. Die Abflachung der Hornhaut ist allgemein bekannt; die der vorderen Linsenfläche kann mit meinem Ophthalmometer leicht beobachtet werden. An der hinteren Fläche der Linse habe ich diese Abflachung dagegen noch nicht bemerken können. Die andere Eigenschaft ist die Abnahme des Brechungskoeffizienten der Linse gegen die Peripherie hin.

Untersucht man eine Reihe von Augen mit dem Aberroskop, so werden bei einer gewissen Anzahl derselben keine deutlich ausgesprochenen Verzerrungen des Mikrometernetzes vorhanden sein, bei vielen aber werden die sichelförmigen Verzerrungen bestehen, was auf eine nicht vollständige Korrektur der sphärischen Aberration hindeutet. Nur wenige Augen sehen die Linien des Mikrometernetzes tonnenförmig verzerrt, was auf eine Überkorrektur der sphärischen Aberration zurückzuführen ist. Nur zweimal habe ich jene eigentümliche in Fig. 6 abgebildete Form angetroffen, in welcher der centrale Teil eine sichelförmige, der periphere dagegen eine tonnenförmige Verzerrung der Linien des Netzmikrometers zeigten. Diese zuletzt beschriebene Verzerrung hat wahrscheinlich ihre Ursache in einer eigentümlichen Gestaltung der Hornhaut, welche in ihrem mittleren Teile eine annähernd sphärische Gestalt beibehält und sich gegen die Peripherie hin plötzlich abplattet. Überhaupt scheint die Gestalt der Hornhaut bei verschiedenen Personen sehr zu variieren.

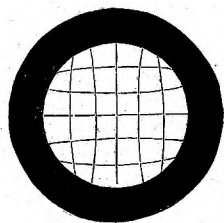


Fig. 6.

Die Feststellung der Form, unter welcher ein Lichtpunkt gesehen wird, ist in vieler Beziehung eine notwendige Ergänzung zur Untersuchung mit dem Aberroskop. Myopisch gemachte Augen, welchen das Liniennetz des Mikrometers sichelförmig erscheint, sehen den Zerstreuungskreis eines entfernten Lichtpunktes am hellsten in der Mitte, von welcher aus die Helligkeit gegen die Peripherie hin allmählich abnimmt. Augen, deren Aberration überkorrigiert ist, sehen dagegen gerade die Peripherie des Zerstreuungskreises am hellsten erleuchtet. Ein Blick auf Fig. 4 wird diese Unterschiede leicht verständlich machen.



Alles, was soeben gesagt worden ist, bezieht sich aber nur auf ein nicht accommodiertes Auge, denn während der Accommodation lassen sich sehr in die Augen springende Veränderungen beobachten. Augen, welchen die Linien des Mikrometernetzes sichelförmig verzerrt erscheinen, sehen dieselben während der Accommodation sich gerade richten, ja sogar eine leichte tonnenförmige Verzerrung annehmen. Augen hingegen, denen während der Accommodationsruhe die Linien gerade oder tonnenförmig verzerrt erscheinen, sehen während der Accommodation eine noch viel ausgesprochenere, tonnenförmige Verzerrung derselben eintreten. Dementsprechend sehen die meisten Personen auch den Zerstreuungskreis eines entfernten Lichtpunktes während der Accommodation von einem hellleuchtenden Saume umgeben. Die Accommodationsanstrengung korrigiert oder überkorrigiert also die Aberration des Auges. Wahrscheinlich ist diese Veränderung davon abhängig, dass die Oberfläche der Linse während der Accommodation im Centrum eine stärkere Krümmung erhält, als in ihrer Peripherie. Der Versuch scheint im allgemeinen nur bei jungen Personen zu gelingen.<sup>1</sup>

Die sphärische Aberration ist häufig so ausgeprägt, daß die Frage nahe liegt, ob man nicht einmal die Korrektur derselben versuchen sollte. Es sind hier besonders zwei Fälle zu berücksichtigen, in denen die sphärische Aberration eine hervorragende Rolle spielen muß. Diese sind die Iridektomie zu optischen Zwecken und der Keratokonus. Das Resultat, welches man nach einer Iridektomie zu optischen Zwecken erlangt, entspricht oft nicht den gehegten Erwartungen. Diese Mißerfolge haben häufig ihre Ursache in der sphärischen Aberration (Über- oder Unterkorrektur), welche gerade in diesen Fällen, wo es sich um verhältnismäßig weit von der Achse entfernt liegende Teile des optischen Systems handelt, von besonderer Bedeutung sein muß. Ebenso klar ist es, daß ein idealer Keratokonus, d. h. ein solcher, welcher ganz regelmässig ist, und in welchem die Gesichtslinie durch seinen Scheitel und

---

<sup>1</sup> Ein solcher Versuch ist bereits von Th. Young gemacht worden seitdem aber in Vergessenheit geraten. Man wird diese Frage genauer in einer französischen Ausgabe von Th. Youngs ophthalmologischen Werken ausgeführt finden, welche ich im Begriff bin, erscheinen zu lassen.

den Mittelpunkt der Pupille geht, ein sehr in die Augen springendes Beispiel einer überkorrigierten sphärischen Aberration abgeben muß.

Da ich bisher noch keine Gelegenheit gehabt habe, Untersuchungen darüber anzustellen, auf welchem Wege eine Korrektion der Aberration zu erlangen sein könnte, so will ich mich hier auf einige theoretische Andeutungen beschränken und zunächst nur bemerken, daß meiner Meinung nach die Versuche, die sphärische Aberration durch andere als sphärische, wie z. B. hyperbolische oder elliptische Gläser zu korrigieren, als unpraktisch aufzugeben sind.

In einigen Fällen könnte der Fehler durch Menisken korrigiert werden. Ein in der Mitte emmetropisches, gegen die Peripherie hin aber myopisch werdendes Auge könnte so durch einen Meniscus, dessen konvexe Fläche gegen das Auge gerichtet ist, korrigiert werden. Ein Meniscus, dessen konvexe Fläche einen Radius von 12,5 mm, dessen konkave Fläche einen Radius von 10 mm haben, und dessen Dicke 6 mm beträgt, wäre neutral in der Mitte und würde 4 mm von der Achse entfernt einen Wert von  $-2$  D. besitzen. Es würden solche Gläser namentlich nach einer Iridektomie zur Anwendung kommen können.

In anderen Fällen könnte man eine plankonvexe und eine plankonkave Linse von gleichem Radius so hintereinander vor das Auge stellen, daß ihre beiden planen Flächen diesem zugekehrt wären. Man erhält auf diese Weise eine Kombination, welche eine sehr bedeutende Aberration besitzt, und zwar wird die Refraktion gegen die Peripherie hin zunehmen, wenn die plankonkave Linse sich vor der plankonvexen befindet; dagegen wird die Refraktion gegen die Peripherie hin abnehmen, wenn die letztere vor die erstere gestellt wird. Die zuletzt erwähnte Kombination müßte theoretisch einen Keratokonus korrigieren können, wobei man übrigens noch die planen Flächen durch andere ersetzen könnte, welche die zur Korrektion des Astigmatismus und der Ametropie geeigneten Krümmungen besitzen. Dieses scheint mir der einzige rationelle Versuch zur Korrektion des Keratokonus zu sein; wobei jeder Fall noch eine sehr genaue Überlegung erfordern würde, um erfolgreich korrigiert werden zu können. Auch würde man selbstverständlich nur eine gegebene Stellung des Auges zu korrigieren im stande sein. Ich habe mir solche Gläser herstellen lassen, um ihre Wirkung

kennen zu lernen. Es hat sich mir aber bisher kein geeigneter Fall zur Prüfung dieser Wirkung dargeboten.

II. Die Refraktion nimmt in einem bestimmten Meridian nach der Peripherie hin zu, ohne sich in dem diesem entgegengesetzten Meridian zu verändern. (Fig. 7.)

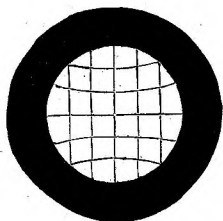


Fig. 7.

Diese Form trifft man besonders in astigmatischen Augen an, welche sich durch Cylindergläser schwer korrigieren lassen;<sup>1</sup> denn denkt man sich den Pupillarraum durch zur Gesichtslinie konzentrische Kreise in Zonen geteilt, so wird der Grad des Astigmatismus in jeder Zone ein anderer sein. Solche Augen sind es, welche uns an das Vorhandensein einer astigmatischen

Accommodation zu denken veranlassen. Und in der That, wenn sich die Refraktion in einem Meridian zur Peripherie hin neben dem Pupillarraum weiter verändert, während sie in dem anderen dieselbe bleibt, so muß sich in der Zone, welche nach Erweiterung der Pupille ins Spiel kommt, auch der Grad des Astigmatismus verändern. Da aber diese Zone gewöhnlich den eigentlichen Pupillarraum an Ausdehnung übertrifft, so sind die Aussagen des Patienten nach Atropineinträufelung hauptsächlich auf sie zu beziehen.

III. Die Refraktion nimmt gegen die Peripherie hin in einer Richtung ab, während sie in den anderen Richtungen zunimmt. (Fig. 8.)

Die Erscheinungen, welche man hier zu beobachten Gelegenheit hat, sind denen ähnlich, welche eine schiefgestellte Glaslinse hervorruft. Mein rechtes Auge gehört zu dieser Kategorie. Durch das eingehendere Studium des gebrochenen Strahlenbündels dieses Auges werden wir sehen, wie uns das Aberroskop dazu dienen kann, die Refraktion selbst recht komplizierter Fälle zu analysieren.

Mein rechtes Auge sieht in der über meinen Fernpunkt hinaus gestellten Sternfigur am schärfsten die um  $15^{\circ}$  unter-

<sup>1</sup> Wenn man solche Augen mit einem Lichtpunkte prüft, wird man finden, daß sie keine scharfen Fokallinien sehen, wohl aber Formen, die sich mehr oder weniger diesen nähern. Überhaupt giebt die Prüfung mit dem Lichtpunkte in den meisten Fällen die Erklärung, warum man mit Cylindergläsern keine vollständige Korrektur erhält.

halb und nasalwärts gegen den Horizont geneigte Linie, welche somit dem am stärksten brechenden Meridian entspricht. Die subjektive Untersuchung mit Gläsern ergibt einen leichten Grad von zusammengesetztem myopischen Astigmatismus, der aber durch Vorsetzen von Cylindergläsern nie bis zur vollständig normalen Sehschärfe verbessert werden kann. Man könnte also glauben, ich hätte eine leichte Amblyopie, was jedoch durchaus nicht der Fall ist.

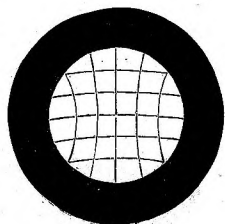


Fig. 8.

Bereits im Beginne meiner ophthalmologischen Studien ist meine Aufmerksamkeit auf die eigentümliche Form gelenkt worden, unter welcher mir stets Sterne oder die Flamme einer entfernten Laterne erschienen. Niemand konnte mir bisher eine genügende Erklärung dieser Erscheinung geben; erst durch das Aberroskop bin ich zu einer solchen gelangt. In Fig. 9e habe ich ein solches Sternbild gezeichnet. Seine Form nähert sich der eines Halbkreises, in dem jedoch der Durchmesser, welcher dem am stärksten brechenden Meridian entspricht, eine leicht konvexe Krümmung besitzt. Auch erscheint das Licht im Sternbilde unregelmäßig verteilt, und zwar scheint die größte Helligkeit sich längst der genannten Linie anzusammeln. Nähert man den Lichtpunkt dem Auge, so erscheint derselbe in der in Fig. 9d abgebildeten Gestalt, welche an ein in einen dunkleren Halbkreis eingetragenes, hell erleuchtetes *T* erinnert. Läßt man den Lichtpunkt allmählich immer näher herankommen, so erscheint derselbe zunächst unter der Form 9c und erlangt, auf 60 cm angenähert, endlich die Gestalt einer fast vertikal stehenden Linie (9b), deren obere Hälfte die stärkste Helligkeit besitzt. Dieses ist nun die einzige Brennlinie des Systems. Denn wenn der Lichtpunkt immer näher herangebracht wird, so geht die Brennlinie in eine Ellipse und diese nach und nach in einen Kreis über. Entfernt man andererseits mit Hilfe von Konvexgläsern oder durch eine Accommodationsanstrengung den Lichtpunkt über unendlich hinaus, so nähert sich die halbkreisförmige Gestalt der Fig. 9e immer mehr der kreisförmigen. Als ich diesen Versuch zuerst anstellte, machte ich folgende Beobachtung, die der Ausgangspunkt der hier auseinandergesetzten Untersuchungen geworden ist: Wenn ich Fig. 9d ansehe und dann eine Accommodations-

anstrengung mache, so erweitert sich diese Figur hauptsächlich nach unten. Ihr oberer Rand hingegen verändert nur sehr wenig seine Lage, wird aber etwas konvexer. Anfangs glaubte ich diese Erscheinung von einer besonderen Eigenschaft der Accommodation abhängig machen zu müssen. Allein dieselbe besteht auch, wenn ich, anstatt eine Accommodationsanstrengung

30 cm      60 cm      1 m      1,5 m      Unendlich



a      b      c      d      e

Fig. 9.

30 cm      60 cm      1 m      1,5 m      Unendlich



a      b      c      d      e

Fig. 10.

30 cm      60 cm      1 m      1,5 m      Unendlich



a      b      c      d      e

Fig. 11.

zu machen, ein Konvexglas vor mein Auge bringe. Wie wir sogleich sehen werden, hängt diese Erscheinung von der eigentümlichen Form des gebrochenen Strahlenbündels ab.

Das Aberroskop gab mir den Schlüssel zur Erklärung dieser Erscheinung. Blickte ich mit meinem rechten Auge durch dieses Instrument auf einen entfernten Lichtpunkt, so sah ich das Mikrometernetz in der in Fig. 8 dargestellten Weise verunstaltet. Nach den bereits oben auseinandergesetzten Prinzipien dieses Instrumentes konnte ich aus dieser Verunstaltung

schließen, daß die Refraktion gegen die untere und seitliche Peripherie des Pupillarraumes zu sich vergrößert, gegen die obere aber abnimmt. Die schematische Fig. 12A zeigt den Verlauf der vertikalen und Fig. 12B den der horizontalen Strahlen.<sup>1</sup> Man sieht also, daß der horizontale Durchschnitt des Bündels keine andere Unregelmäßigkeit, als eine geringe sphärische Aberration aufweist, indem die Strahlen symmetrisch zur Achse verlaufen. In dem vertikalen Durchschnitt sind es die unteren Strahlen, die zuerst die Achse scheiden. Die Kreuzung der centralen Strahlen mit der Achse findet weiter nach hinten statt, und die der oberen Strahlen ist noch weiter von der Oberfläche entfernt. Die Strahlen sind weit davon entfernt, symmetrisch zur Achse gelegen zu sein. Diese eigentümliche Gestaltung des gebrochenen Strahlenbündels erklärt sämtliche unregelmäßigen Formen, welche der Lichtpunkt anzunehmen im stande ist. Es ist ersichtlich, daß man hier keine andere, als eine dem Orte 1 (Fig. 12) entsprechende vertikale Brennpunktlinie haben kann und muß, weil die horizontalen Strahlen sich hier annähernd in einem Punkte vereinigen, während dieses die vertikalen Strahlen überhaupt nicht thun. Ebenso ersichtlich ist es, daß letztere besonders in dieser Gegend nach unten angehäuft sind, was dem oberen Teile von Fig. 9b jene stärkere Helligkeit verleiht. Auch bemerkt man, daß die Fig. 9d der Gegend 2 entspricht, deren halbkreisförmige Gestalt ihren Grund darin hat, daß sich hier alle vertikalen Strahlen oberhalb der Achse befinden, und daß der vertikale Balken vom *T* durch die Übereinanderlagerung der unteren Strahlen, welche die Achse bereits geschnitten und der oberen Strahlen, welche derselben noch nicht geschnitten haben, hervorgerufen wird. Ebenso genügt ein Blick auf die Figur, um die Gestaltung der Sterne und die unregelmäßige Verbreiterung jener Figur während der Accommodation zu verstehen.

Wir besitzen noch eine andere Methode, welche die Analyse dieser Erscheinungen gestattet und uns erlaubt, die gewonnenen Resultate zu bestätigen. Dieselbe besteht darin, daß man

<sup>1</sup> Ich bediene mich hier der Ausdrücke vertikal und horizontal, um die Richtung der Hauptmeridiane meines Auges anzudeuten. Streng genommen, sind diese Meridiane nicht vollständig horizontal oder vertikal, da sie um  $15^\circ$  geneigt sind.



einen Teil der Pupille verdeckt und die Teile der leuchtenden Figur, welche dabei verschwinden, näher ins Auge faßt. Auf diese Weise läßt sich für jeden Teil der Pupille der ihm entsprechende der Figur finden, und umgekehrt. Man weiß ferner, daß, wenn ein Myop auf einen entfernten Lichtpunkt

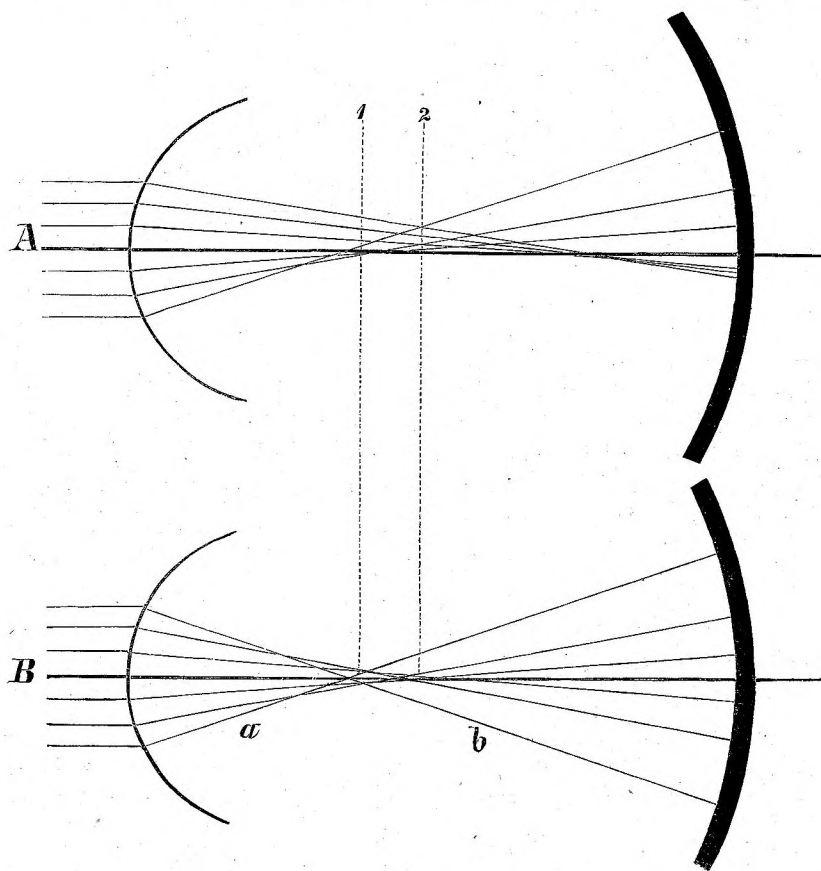


Fig. 12.

blickt und die rechte Hälfte seiner Pupille verdeckt, immer die rechte Hälfte des Zerstreuungskreises verschwindet, während es bei einem Hypermetropen die linke ist. Dadurch sind wir im stande, zu entscheiden, ob ein gegebener Teil der leuchtenden Figur von Strahlen gebildet wird, welche die Achse bereits geschnitten haben oder nicht.

Die Figg. 10 und 11 erhalte ich, wenn ich nacheinander die untere und obere Hälfte der Pupille verdecke. Besonders

in die Augen fallend sind die Resultate, welche diese Methode für Fig. 9d giebt. Verdeckt man die untere Hälfte der Pupille, so ist es der untere, wenig lichtstarke Halbkreis, der zum Verschwinden kommt, was beweist, daß derselbe von Strahlen gebildet wird, welche die Achse schon geschnitten haben. Verdeckt man dagegen die obere Hälfte der Pupille, so ist es der vertikale, ebenfalls nach unten gerichtete Balken des *T*, der verschwindet, was darauf hinweist, daß derselbe aus Strahlen besteht, welche die Achse noch nicht geschnitten haben. Die Helligkeit des horizontalen Balkens ist in beiden Fällen vermindert. Dieser Versuch bestätigt also die bereits von uns ausgesprochene Ansicht, daß diese Figur der Gegend 2 der Fig. 12 entspricht.

Im allgemeinen entfernen sich die Bilder in Fig. 11, welche ich beim Verdecken des oberen Teiles der Pupille erhalte, kaum von denjenigen, welche ein leicht myopisches Auge erblicken würde. Die einzige Abweichung, die stärkere Helligkeit des oberen Teiles des Bildes, welches 1 m und 1,50 m entspricht, ist durch eine geringe Erhöhung der Refraktion gegen die Peripherie hin zu erklären. Eine solche findet man übrigens auch in vielen normalen Augen.

Die Bilder (siehe Fig. 10), welche man erhält, wenn die untere Hälfte der Pupille verdeckt wird, sind hingegen den Bildern ähnlich, welche ein astigmatisches Auge aufweist, dessen horizontaler Meridian der am stärksten brechende ist. Die einzige Abweichung hiervon ist der vertikale Balken, welcher am *T*-förmigen Bilde durch eine allzu bedeutende Herabsetzung der Refraktion nach oben entsteht.

Wir können aus unseren Untersuchungen also den Schluß ziehen, daß dieses Auge eine Form von Astigmatismus besitzt, welche die Eigentümlichkeit hat, daß das gebrochene Strahlenbündel anstatt zwei Brennpunkten nur einen besitzt. Diese besondere Form von Astigmatismus kann man sich auch so erklären, daß die untere Hälfte des Auges eine einfache Myopie, die obere Hälfte aber einen zusammengesetzten myopischen Astigmatismus besitzt. Bei einem solchen Auge kann, wie leicht einzusehen ist, auf eine Verbesserung der Sehkraft durch Cylindergläser wohl kaum gerechnet werden.

---