

Anatomische Beschreibung des Auges.

1871

1872

1873

Anatomische Beschreibung des Auges

1874

1875

§ 1. Formen des Sehorgans im Allgemeinen.

1

Die Augen der Thiere unterscheiden:

Entweder nur Hell und Dunkel. Dies ist wahrscheinlich bei den sogenannten Augenpunkten der niedersten Thierformen (Ringelwürmer, Eingeweidewürmer, Seesterne, Seeigel, Quallen, Infusionsthierchen) der Fall. Ein lichtempfindender Nerv, dessen peripherisches Ende dem Lichte zugänglich unter durchsichtigen Decken liegt, genügt zu diesem Zwecke. Das peripherische Ende des Nerven scheint meistens von verschiedenfarbigem Pigment umgeben zu sein, und verräth sich dadurch dem Beobachter. Doch wissen wir durchaus noch nicht, ob alle pigmentirten sogenannten Augenpunkte der niederen Thierformen wirklich zur Lichtempfindung dienen. Andererseits müssen wir aus der Empfindlichkeit, welche niedere Thiere ohne Augenpunkte für das Licht zeigen, schliessen, daß auch lichtempfindende Nerven in durchsichtigen Thieren ohne Pigment vorkommen, die nur der Beobachter in keiner Weise als solche erkennen kann.

Oder die Augen unterscheiden nicht bloß Hell und Dunkel, sondern auch Gestalten. Um das zu können, muß Licht, welches von gesonderten leuchtenden Punkten ausgeht, gesondert, d. h. mittels verschiedener Nervenfasern wahrgenommen werden. Es darf dann nicht mehr jede einzelne Nervenfasern von allen Seiten des Raums her Licht empfangen, sondern nur von einem beschränkten Theile des Raums. Jeder einzelnen Nervenfasern entspricht dann ein gewisses Gesichtsfeld, und es wird in der Wahrnehmung unterschieden werden können, in welchen dieser elementaren Gesichtsfelder leuchtende Körper liegen, in welchen nicht. Je kleiner jedes einzelne Gesichtsfeld ist und je größer ihre Gesamtzahl, desto kleinere Theile der uns umgebenden Körper können unterschieden werden, bis bei der höchsten Vollendung des Sehorgans die einzelnen elementaren Gesichtsfelder gegen das Gesamtgesichtsfeld verschwindend klein werden. Für ein solches Organ können wir die Bedingung des deutlichen Sehens² so aussprechen: Licht, welches von einem leuchtenden Punkte der Außenwelt kommt, darf nur auf einen Punkt der lichtempfindenden Nervenmasse (Netzhaut) fallen.

Die Scheidung des Lichts, welches von verschiedenen Seiten des Raums kommt, geschieht
entweder durch trichterförmig gestellte, undurchsichtige Scheidewände (zusammengesetzte Augen der Wirbellosen),
oder durch Brechung des Lichts an gekrümmten brechenden Flächen (einfache Augen der Wirbellosen und Augen der Wirbelthiere).

Die Trennung der Augen, welche nur Hell und Dunkel, und derer, welche auch Gestalten wahrnehmen, ist keine scharfe. Schon bei den niedersten

Thierformen bewirken die Pigmentscheiden der lichtempfindenden Nervenfasern, daß Licht nur von der freien Seite auf das Ende der Faser fallen kann, und mit Hülfe von Bewegungen seines Körpers wird ein Thier mit solchen Augenpunkten schon ermitteln können, von welcher Seite das meiste Licht kommt, ebenso wie der Mensch durch sein Hautgefühl die Richtung einstrahlender Wärme wahrnimmt, oder ein Kranker mit vollständig getrübtter Krystalllinse den Ort der Fenster eines Zimmers ermittelt. In dieser Beziehung haben die Pigmentscheiden der Augenpunkte offenbar einen sehr wesentlichen Nutzen. Wo, wie bei den Blutegeln und Planarien, vor der Nervensubstanz noch ein durchsichtiger kugelig oder kegelförmiger Körper liegt, können schon verschiedene Theile der Netzhaut von dem aus verschiedenen Richtungen einfallenden Lichte verschieden stark getroffen werden. Von diesen findet ein allmählicher Fortschritt der Ausbildung statt durch die einfachen Augen der Crustaceen, Arachniden und Insecten, welche meist hinter der Hornhaut noch eine Linse und einen Glaskörper unterscheiden lassen, zu denen der Mollusken und namentlich der Cephalopoden, welche letzteren denen der Wirbelthiere schon sehr ähnlich sehen. Da die mikroskopischen Elemente der thierischen Gewebe, namentlich auch die des Nervensystems, in allen Klassen ziemlich gleiche Größe besitzen, und die Genauigkeit des Sehens wesentlich zusammenhängt mit der Menge einzelner empfindender Elemente, die Zahl dieser aber nahehin proportional sein muß der hinteren Oberfläche des Glaskörpers der einfachen Augen, so ist im Allgemeinen wohl anzunehmen, daß die Genauigkeit des Sehens dieser Augen ihren linearen Dimensionen direct proportional ist.

3) Vom Auge des Menschen habe ich in *Fig. 1.* einen horizontalen Querschnitt abgebildet in viermaliger Vergrößerung; das Auge der Wirbelthiere ist dem menschlichen im wesentlichen ähnlich gebaut. Diese Augen schliessen folgende durchsichtige Theile ein:

- 1) die wässrige Feuchtigkeit in der vorderen Augenkammer *B.*
- 2) die Krystalllinse *A.*
- 3) den Glaskörper *C.*

Umschlossen sind diese Theile von drei in einander liegenden Systemen von Häuten.

1) System der Netzhaut *i* und *Zonula Zinnii e*, schließt zunächst den Glaskörper ein und heftet sich vorn an die Linse *A.*

2) System der *Uvea*, besteht aus der durch einen stärkeren schwarzen Strich angedeuteten Aderhaut (*Chorioidea*) *g*, dem Ciliarkörper *h* und der Regenbogenhaut (*Iris*) *b*. Es umschließt das vorige System mit der Linse und hat nur an der vorderen Seite vor der Linse eine Oeffnung, die Pupille.

3) Die feste Kapsel des Augapfels, welche in ihrem größeren hinteren Theile aus der undurchsichtigen weißen Sehnenhaut (*Sclerotica*) und in dem kleineren vorderen aus der durchsichtigen knorpeligen Hornhaut (*Cornea*) gebildet wird. Am lebenden Auge sieht man zwischen den Augenlidern den vorderen Theil der Sehnenhaut (das Weiße) und hinter der durchsichtigen

und hervorspringenden Hornhaut die braun- oder blaufärbte ringförmige Iris, in deren Mitte die schwarze Pupille.

Eine Linie, welche durch den Mittelpunkt der Hornhaut und durch den Mittelpunkt des ganzen Auges geht, nennt man die *Axe des Auges*, weil das Auge wenigstens annähernd einem Rotationskörper mit dieser *Axe* entspricht. Eine darauf senkrechte Ebene, welche durch die größte Weite des Augapfels geht, nennt man dagegen die *Äquatorialebene*.

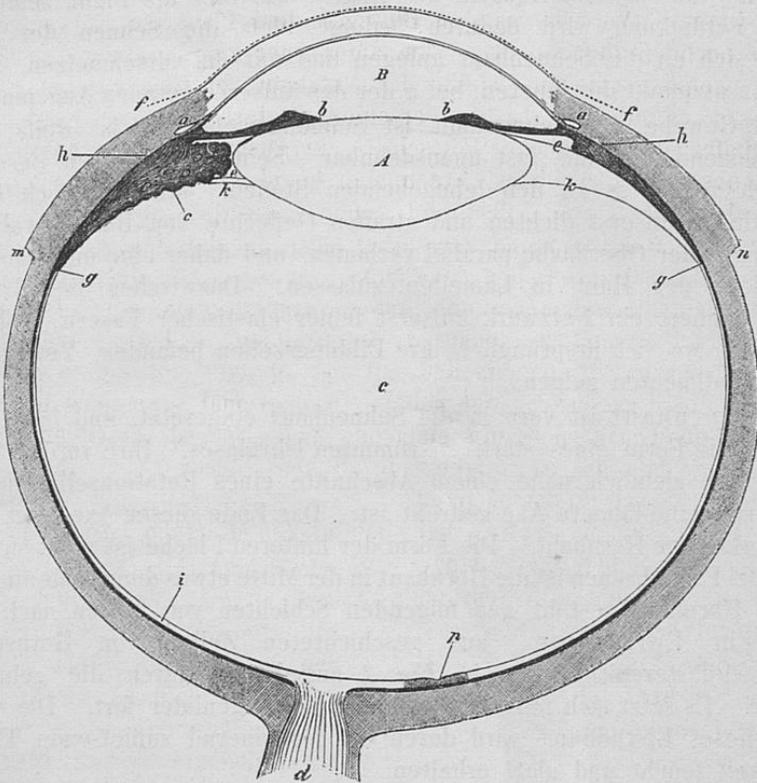


Fig. 1.

Ich werde im Folgenden eine Beschreibung der einzelnen Theile des Auges geben, dabei aber natürlich nur so weit in Einzelheiten gehen, als es für das Verständniß der Functionen des Auges nothwendig ist.

§ 2. Sehnhaut und Hornhaut.

Die Sehnhaut des Auges (*σκληρόν*, *tunica albuginea*, *sclerotica*, *dura*, harte Haut) umschließt den größeren Theil des Augapfels, bedingt seine Gestalt und schützt ihn vor äußeren Einwirkungen. Ihre äußere Form weicht merklich von der einer Kugel ab; ihre hintere Seite ist nämlich abgeplattet, und im Äquator wird sie oben und unten, rechts und links durch

den Druck der geraden Augenmuskeln etwas eingedrückt, während sie sich zwischen diesen Stellen stärker hervorwölbt. Der größte Durchmesser liegt bei den meisten Individuen von der Nasenseite und oben nach der Schläfen-
seite und unten. Vorn nimmt die Sehnenhaut die stärker gewölbte Hornhaut in sich auf, hinten und etwas nach der Nase herüber ist sie durchbohrt, um den Sehnerven (*Nervus opticus*) *Fig. 1. d* eintreten zu lassen, und geht hier in dessen sehnigen Überzug über. Die Sehnenhaut ist hinten und vorn dicker als in dem Äquator des Auges, wie dies die Figur zeigt. Die vordere Verdickung wird dadurch bedingt, daß die Sehnen der Augenmuskeln sich an die Sehnenhaut anlegen und mit ihr verschmelzen. Bei *m* ist der Ansatzpunkt des inneren, bei *n* der des äußeren geraden Augenmuskels.

Das Gewebe der Sehnenhaut ist Sehnengewebe; es ist weiß, wenig durchscheinend, biegsam, fast unausdehnbar. Seiner chemischen Beschaffenheit nach gehört es zu den leimgebenden Stoffen. Mikroskopisch besteht es aus einem äußerst dichten und straffen Geflechte von Bindegewebfasern, welche meist der Oberfläche parallel verlaufen, und daher eine unvollkommene Spaltbarkeit der Haut in Lamellen zulassen. Dazwischen liegt, wie in anderen Sehnen, ein Netzwerk äußerst feiner elastischer Fasern, welche an den Stellen, wo sich ursprünglich ihre Bildungszellen befanden, Verdickungen mit Kernrudimenten zeigen.

5 Die Hornhaut ist vorn in die Sehnenhaut eingesetzt, und hat im Allgemeinen die Form eines stark gekrümmten Uhrglases. Ihre vordere Fläche schließt sich ziemlich nahe einem Abschnitte eines Rotationsellipsoides an, welches um seine längere Axe gedreht ist. Das Ende dieser Axe liegt in dem Mittelpunkte der Hornhaut. Die Form der hinteren Fläche ist nicht sicher bekannt. Bei Erwachsenen ist die Hornhaut in der Mitte etwas dünner als am Rande.

Die Hornhaut besteht aus folgenden Schichten von außen nach innen:

1) Ein Epithelium, aus geschichteten Zellen von Hornsubstanz gebildet (Pflasterepithelium), in *Fig. 1* angedeutet durch die gebrochene Linie *ff*. Es setzt sich auf die Bindehaut der Augenlider fort. Die vordere Fläche dieses Epitheliums wird durch die fortdauernd zufließende Thränenfeuchtigkeit feucht und glatt erhalten.

2) Die faserige Schicht der Hornhaut (*Substantia propria corneae*) ist die mächtigste von allen, in der Figur weiß gelassen. Sie gehört nach ihrer chemischen Zusammensetzung den Knorpeln an, indem sie beim Kochen Chondrin giebt. Sie besteht aus einem ähnlichen Gewebe von Fasern, wie die Sehnenhaut, nur sind die Fasern zu platten Bündeln vereinigt, deren Fläche der Oberfläche der Hornhaut parallel läuft, daher auch die Hornhaut sich unvollkommen in Schichten trennen läßt. Beim Erwachsenen enthält die Hornhaut keine blutführenden Gefäße, wohl aber zwischen den Faserbündeln ein System verästelter kernhaltiger Zellen, wie sie als unentwickeltes elastisches Gewebe in den meisten bindegewebigen Organen sich finden, und wahrscheinlich unterhalten diese den zur Ernährung der Hornhaut nöthigen Austausch von Flüssigkeiten durch die Substanz hin. Die Substanz der

Hornhaut erscheint bei der gewöhnlichen Beleuchtung vollkommen durchsichtig. Concentriert man aber viel Licht durch eine Sammellinse auf einen Punkt der Hornhaut, so erscheint sie trüb, indem nun das von den Grenzflächen ihrer mikroskopischen Elemente zurückgeworfene Licht reichlich genug wird, um wahrgenommen zu werden.

3) Die DESCOMET'sche Haut (Wasserhaut, glasartige Lamelle der Hornhaut, auch *Membrana Demoursii*) ist eine structurlose, durchsichtige, brüchige Membran von 0,007 mm bis 0,015 mm Dicke. Wenn man sie von der Hornhaut trennt, rollt sie sich auf. Sie schließt sich durch ihre Resistenz gegen kochendes Wasser, Säuren und Alkalien dem elastischen Gewebe an. Auf ihrer der wässrigen Feuchtigkeit zugewendeten Fläche trägt sie eine Schicht großer polygonaler Epithelialzellen, welche in *Fig. 1* durch die Doppellinie auf der inneren Seite der Hornhaut angedeutet ist.

Die Grenzfläche zwischen Hornhaut und Sehnenhaut ist nicht senkrecht gegen die Oberfläche des Augapfels, sondern außen greift die Sehnenhaut, innen die Hornhaut weiter über. Auf der inneren Fläche ist die Grenze der Hornhaut ein ziemlich regelmäßiger Kreis, von außen erscheint die Hornhaut dagegen queroval, weil oben und unten die Sehnenhaut etwas mehr übergreift als an den Seiten. Die Fasern der Hornhaut gehen an dieser Grenze unmittelbar in die der Sehnenhaut über.

Eigenthümlich verhält sich dagegen die DESCOMET'sche Haut an der Grenze der Hornhaut. In

Fig. 2 ist ein stark vergrößerter Querschnitt dieser Gegend dargestellt. Darin ist *S* die Sehnenhaut, *C* die Hornhaut, *c* ihr äußeres Epithelium, *6* welches auf die Bindehaut *D* übergeht, *d* die DESCOMET'sche Haut. Von *f*

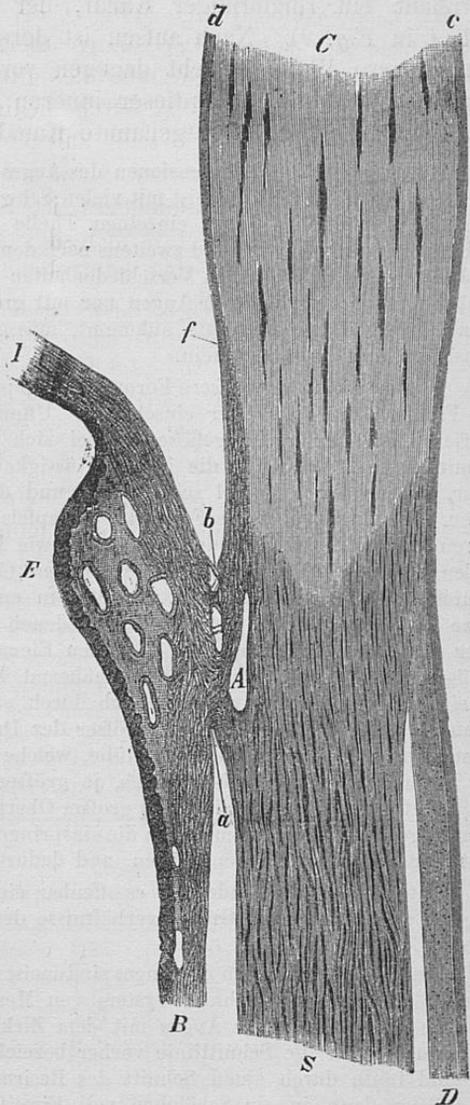


Fig. 2.

ab entspringt zwischen dieser und der Substanz der Hornhaut ein Netzwerk elastischer Fasern, während die DESCHEMET'sche Haut selbst mit einem zugeschärften Rande zu enden scheint. Indem sich die Schicht elastischer Fasern von der Sehnhaut trennt, und weiter hinten sich an eine Lamelle derselben ansetzt, entsteht hier an der Grenze zwischen Sehnhaut und Hornhaut ein ringförmiger Kanal, der SCHLEMM'sche Kanal (*a* in *Fig. 1* und *A* in *Fig. 2*). Nach außen ist derselbe von der Sehnhaut begrenzt, seine innere Wand besteht dagegen vorn aus elastischem Gewebe, hinten aus Sehngewebe. An dieser inneren Wand sind die muskulösen Theile der Uvea befestigt. Der genannte Kanal scheint Blut zu führen.

Die Messungen der Dimensionen des Auges sind für die physiologische Optik von der größten Wichtigkeit, aber meist mit vielen Schwierigkeiten verbunden, weil die Gestalt des ganzen Augapfels und seiner einzelnen Theile einmal bei verschiedenen Augen außerordentlich verschieden ist, und zweitens nach dem Tode den mannigfachsten Veränderungen unterliegt. Die individuellen Verschiedenheiten sind so groß, dass man Mittelwerthe aus Beobachtungen verschiedener Augen nur mit großer Vorsicht anwenden darf. Wo es auf genaue und sichere Resultate ankommt, müssen alle wichtigeren Größen durchaus an demselben Auge gemessen sein.

Was zunächst die äußere Form des Augapfels anlangt, so hängt dieselbe vom Druck der Flüssigkeiten ab, die er einschließt. Unmittelbar nach dem Tode entleert sich ein großer Theil seiner Blutgefäße, wobei sich der Druck natürlich verringert; dann vermindert sich allmählich die innere Flüssigkeitsmenge auf endosmotischem Wege noch mehr, so daß der Augapfel schlaff wird, und die Häute, namentlich die Hornhaut, sich falten. Messungen über die Form des Augapfels müssen daher entweder an sehr frischen Augen angestellt werden, oder man muß, wie BRÜCKE¹, den Druck künstlich wiederherstellen, indem man durch den Sehnerven eine Canüle einstößt und diese mit einer senkrechten, eine Wassersäule von etwa 0,4 m enthaltenden Röhre in Verbindung bringt. Diese Methode genügt, um die verschiedenen Durchmesser des Augapfels zu messen. Aber für eines der wichtigsten optischen Elemente des Auges, die Hornhautkrümmung, genügt es nicht den Druck nur annähernd herzustellen. Der Krümmungsradius des Scheitels der Hornhaut wird, wie ich durch eine unten beschriebene Messungsmethode gefunden habe, desto größer, je größer der Druck. Der Grund hiervon ist wohl darin zu suchen, daß eine membranöse Hülle, welche Flüssigkeit umschließt, sich desto mehr der Form einer Kugel nähern muß, je größer der Druck der Flüssigkeit ist, weil die Kugel unter den Körpern mit gleich großer Oberfläche das größte Volumen hat. Wenn dies beim Auge eintritt, wird namentlich die einspringende Rinne zwischen Hornhaut und Sehnhaut herausgedrängt werden müssen, und dadurch die Hornhaut weniger gewölbt werden.

Unter diesen Umständen ist es offenbar ein wesentliches Bedürfnis, daß so viel als möglich alle wichtigeren Größenverhältnisse des Augapfels an lebenden Augen bestimmt werden.

Die älteren Messungen des Auges sind meist nur mit dem Zirkel ausgeführt. C. KRAUSE, welcher ein sehr ausgedehntes System von Messungen durchgeführt hat, hat zuerst die äußeren Dimensionen des Auges mit dem Zirkel abgemessen; dann hat er die Augen, nachdem er sich die Schnittlinie vorher bezeichnet hatte, halbirt, und zwar Hornhaut, Iris und Linse durch einen Schnitt des Rasirmessers, die Sehnhaut mit der Scheere, die Hälften dann in ein Schälchen voll Eiweißlösung gelegt, so daß die Schnittfläche sich dicht unter der Oberfläche der Flüssigkeit befand. So muß er die Dimensionen des Querschnitts, theils mit dem Zirkel, theils mit einem gegitterten Glasmikrometer im

¹ E. BRÜCKE, *Anat. Beschreibung des menschl. Augapfels*. Berlin 1847. S. 4.

Oculare eines schwach vergrößernden Mikroskops, theils mit einem quadratischen Drahtnetze, welches auf die Oberfläche der Flüssigkeit gelegt wurde. Er hatte vielfach Gelegenheit sehr frische Augen anzuwenden; bei diesen können die äußeren Messungen der Sclerotica als hinreichend zuverlässig angesehen werden, die Wölbung der Hornhaut, deren GröÙe vom Drucke der Flüssigkeiten abhängt, ist aber wohl an den durchschnittlichen Augen beträchtlich verändert gewesen.

Ich gebe hier KRAUSE's Tafel für die Form von 8 Augäpfeln.¹ Es ist Nr. I von einem 30jährigen ertrunkenen Manne, Nr. II das rechte Auge eines 60jährigen Mannes, durch einen Schnitt in den Hals getödtet, Nr. III und IV das linke und rechte Auge eines 40jährigen Mannes, erhängt, Nr. V und VI das linke und rechte Auge eines 29jährigen, Nr. VII und VIII dieselben eines 21jährigen Mannes, die beiden letzten mit dem Schwerte hingerichtet. Die Maafse sind in Pariser Linien angegeben.

Nr.	Axe des Auges		Durchmesser					
	äußere	innere	trans- versal.	senkrechter		diagonaler		kleiner
				äußerer	innerer	großer	innerer	
I.	10,9	9,85	10,9	10,8	9,9	11,25	10,3	
II.	11,05	10,0		10,3	9,4	11,1	10,2	11,05
III.	10,7	9,8	10,7	10,5	9,6	11	10,2	10,6
IV.	10,5	9,5	10,6	10,3	9,5	10,9	10,1	10,7
V.	10,8	9,55	10,9	10,55	9,6	11,3	10,35	11
VI.	10,8	9,55	11	10,6	9,45	11,3	10,2	11,1
VII.	10,65	9,4	10,75	10,3	9,45	10,75	9,6	10,75
VIII.	10,65	9,45	10,75	10,3	9,15	10,9	9,75	10,7

BRÜCKE hat Messungen an Augen angestellt, welche durch einen Wasserdruck von 4 Decimeter gespannt waren, und giebt an, daß die Axe des Augapfels zwischen 23 und 26 mm betrage, der größte horizontale Durchmesser zwischen 22,8 und 26 mm, der größte verticale zwischen 21,5 und 25 mm.

C. KRAUSE vergleicht die innere Wölbung der Sclerotica mit der Fläche eines Rotationsellipsoides; die Axen, welche er berechnet hat, und seine Angaben über Dicke der Hornhaut und Sclerotica an verschiedenen Stellen führe ich hier noch an.

Nr.	Dicke der Sehnenhaut			Halbe Axen des Ellipsoides der inneren Wölbung		Dicke der Hornhaut	
	in der Augen-axe.	am Äquator.	am vorderen Rande.	groÙe	kleine	der	
						Mitte	Rand
I.	0,55	0,45	0,35	5,12	4,45	0,4	0,5
II.	0,5	0,35		5,05	4,15	0,35	0,5
III.	0,45	0,4	0,35	5,12	4,23	0,4	0,5
IV.	0,5	0,4	0,3	5,07	4,41	0,4	0,45
V.	0,65	0,4	0,3	5,14	4,58	0,5	0,55
VI.	0,65	0,5	0,3	5,05	4,43	0,48	0,55
VII.	0,55	0,5	0,4	5,05	4,41	0,53	0,63
VIII.	0,6	0,5	0,4	4,93	4,19	0,5	0,62

¹ Zusammenstellungen von Messungen s. in ZEHENDER, *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Auges*. Erlangen 1856, und MERKEL, *Makroskopische Anatomie des Auges*, (GRAEFE und SAEMISCH *Handbuch der Augenheilkunde*. Leipzig 1874. Bd. I. Th. 1.) S. 44.

Die Messungen von C. KRAUSE über die Form der Hornhaut übergehe ich hier, weil deren Methode für ein so wichtiges Element nicht zuverlässig genug erscheint. Ich bemerke nur, daß er die vordere Wölbung der Hornhaut für eine Kugelfläche, die hintere für den Scheitel eines Rotationsparaboloïdes erklärt. Betreffs der Dicke fand ich an einigen Hornhäuten, die ich untersuchte, daß die Dicke in den mittleren zwei Vierteln des Querschnitts fast constant war, und erst gegen den Rand hin schnell zunahm, so daß in der Mitte die Krümmungskreise der beiden Flächen nahe concentrisch zu sein scheinen.

8 R. H. KOHLRAUSCH hat an lebenden Augen den Krümmungsradius der Hornhaut dadurch zu messen gesucht, daß er die Größe der Spiegelbilder auf der Hornhaut bestimmte. Der, dessen Auge untersucht werden sollte, saß auf einem sehr massiven Stuhle mit hoher Lehne. Sein Kopf wurde durch eine besondere Vorrichtung gehalten, wodurch es ihm leicht wurde, vollkommen ruhig zu sitzen. Er fixirt einen kleinen weißen Punkt, der auf dem Mittelpunkte des Objectivs eines auf 2 bis 3 Fufs Entfernung zu gebrauchenden KEPLER'schen Fernrohrs angebracht ist. Das Fernrohr ist auf das Auge gerichtet, und zwar so, daß der besagte weiße Punkt in derselben Horizontalebene mit dem Mittelpunkte der Hornhaut liegt. In dem Brennpunkte des Oculars sind zwei Spinnfäden parallel gespannt, welche, ohne ihren Parallelismus zu verlieren, durch Schraubenbewegung einander genähert werden können. Auf jeder Seite, wieder in derselben Horizontalebene, steht ein Licht, dessen Schein durch eine runde Öffnung in einem kleinen Schirme auf das Auge fällt und von diesem reflectirt wird, so daß im Fernrohre zwei kleine Bilder der leuchtenden Punkte erscheinen. Nachdem die Spinnfäden auf diese genau gerichtet sind, wird an die Stelle des Auges ein wohlgetheilter Maassstab gebracht, und auf diesem die Entfernung der spiegelnden Stellen der Hornhaut abgelesen. Aus dieser Entfernung, aus dem Abstände des Auges von den Öffnungen in den Lichtschirmen und dem Mittelpunkte des Objectivs, und endlich aus der Entfernung der letztgenannten Punkte von einander wurde der Radius der Hornhaut annäherungsweise berechnet.

KOHLRAUSCH fand aus Messungen an 12 Augen im Mittel 3,495 Par. Lin. (7,87 mm), als kleinsten Werth 3,35, als größten 3,62, und berechnet den wahrscheinlichen Fehler der einzelnen Bestimmungen auf 0,02.

SENFf hat nach einer ähnlichen, aber nicht genauer beschriebenen Methode nicht bloß die Krümmungshalbmesser, sondern auch die Ellipticität der Hornhaut bestimmt und giebt folgende Resultate an:

	Krümmungshalbmesser im Scheitel.	Quadrat der Excentricität.	Große Axe.	Kleine Axe.	α
Rechtes Auge. Vertical.	7,796	0,1753	9,452	8,583	3°6
Rechtes Auge. Horizontal.	7,794	0,2531	10,435	9,019	2°9
Linkes Auge. Vertical.	7,746	0,4492	11,243	8,344	1°6

Den Winkel α nennt SENFF den Winkel zwischen dem Scheitel der Ellipse und dem Endpunkte der Augenaxe. Jener liegt von diesem in den verticalen Durchschnitten nach unten, in dem horizontalen nach aussen. Wahrscheinlich versteht SENFF hier unter Augenaxe dasselbe, was wir später als Gesichtslinie definiren werden.

Die größte Schwierigkeit bei diesen Messungen ist die, das Auge und den Kopf des Untersuchten gehörig zu befestigen. Bei einer jeden Messungsmethode der Bilder, wobei man erst abzulesen hat, mit welchem Theilstriche der gewählten Scale der eine Rand des Hornhautbildes, und dann, mit welchem der andere zusammentrifft, wird jede kleinste Verschiebung des Kopfes zwischen den beiden Ablesungen zur Größe des Bildes addirt oder davon subtrahirt werden. Ich habe deshalb ein Meßinstrument construirt, welches diese und andere Messungen am Auge genau auszuführen erlaubt, ungestört durch

die kleinen Schwankungen des Kopfes, und es eben deshalb Ophthalmometer genannt, obgleich es auch zu einer großen Menge anderer Messungen, namentlich zu Messungen optischer Bilder mit Vortheil anzuwenden ist. Wenn wir durch eine planparallele Glasplatte, die wir schräg gegen die Gesichtslinie halten, nach einem Gegenstande blicken, sehen wir diesen in seiner natürlichen Gröfse, aber um ein wenig seitlich verschoben, und diese Verschiebung ist desto größer, je kleiner der Winkel zwischen den Lichtstrahlen und den Flächen der Platte wird. Das Ophthalmometer ist im Wesentlichen ein Fernrohr, zum Sehen auf kurze Distanzen eingerichtet, vor dessen Objectivglase neben einander zwei Glasplatten stehen, so daß die eine Hälfte des Objectivglases durch die eine, die andere durch die andere Platte sieht. Stehen beide Platten in einer gegen die Axe des Fernrohrs senkrechten Ebene, so erscheint nur ein Bild des betrachteten Objects,

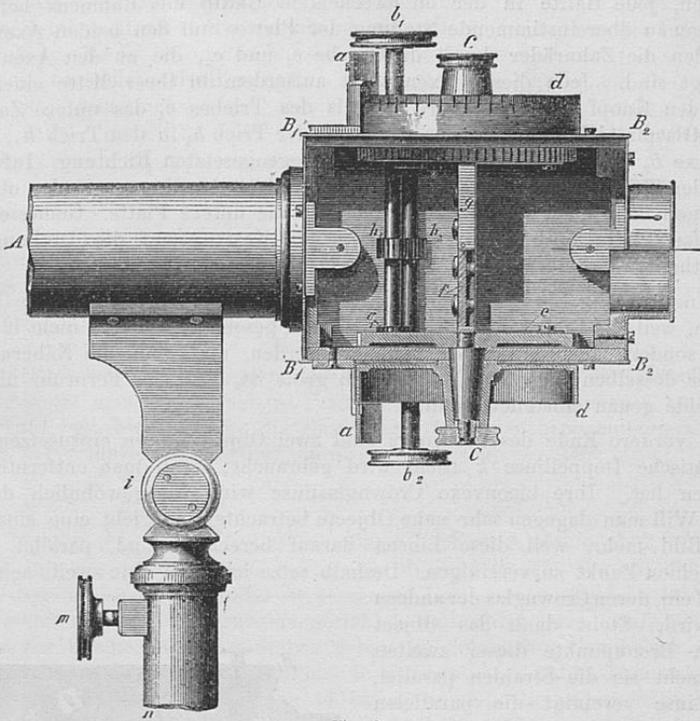


Fig. 3.

dreht man aber beide Platten ein wenig und zwar nach entgegengesetzten Seiten, so theilt sich das einfache Bild in zwei Doppelbilder, deren Entfernung desto größer wird, je größer der Drehungswinkel der Glasplatten. Diese Entfernung der Doppelbilder aber kann aus den Winkeln, welche die Platten mit der Axe des Fernrohrs machen, berechnet werden. Stellt man die beiden Doppelbilder einer zu messenden Linie so auf einander ein, daß sie sich gerade mit ihren Enden berühren, so ist die Länge der Linie gleich der Entfernung der beiden Doppelbilder von einander und wie diese zu berechnen.

Das Instrument ist in Fig. 3 in einer verticalen Ansicht gezeichnet, in Fig. 4 in einem horizontalen Durchschnitte, in halber natürlicher Gröfse. Der viereckige Kasten $B_1 B_1 B_2 B_2$, welcher die ablenkenden Glasplatten enthält, ist am vorderen Ende des Fernrohrs *A* befestigt. In Fig. 3 ist die vordere Wand des Kastens weggenommen, und außerdem sind alle Theile der unteren Hälfte in der Mittelebene durchschnitten gedacht. Die Grundlage des Kastens bildet ein starker viereckiger Rahmen, den man in Fig. 3

rings um den Kasten laufen sieht; an diesen sind dünne Messingplatten als Wände befestigt, wie namentlich in *Fig. 4* sichtbar ist. In der Mitte der horizontalen Theile des Rahmens sind conische Durchbohrungen vorhanden, in denen die Drehungsaxen *CC* der beiden Gläser laufen. Jede der Axen trägt außerhalb des Kastens eine Scheibe *d*, deren cylindrischer Umfang in Winkelgrade getheilt ist; bei *a* ist ein Nonius angebracht, mittels dessen Zehnthelle eines Grades abgelesen werden können. Innerhalb des Kastens trägt jede Axe zunächst ein Zahnrad *ee* und einen Metallrahmen *g*, in welchem die Glasplatte *f* befestigt ist. Der Rahmen jeder Platte hat aber nur drei Seiten, die der anderen Glasplatte zugekehrte Seite desselben fehlt. Die beiden Glasplatten bildeten ursprünglich eine planparallele Platte. Für diese wurde ein vollständiger Metallrahmen gemacht und zwischen den Flächen der beiden Zahnräder befestigt, dann die Axen abgedreht und endlich der Rahmen in der Mitte durchschnitten. Eben so wurde das Glas durchschnitten, jede Hälfte in der entsprechenden Hälfte des Rahmens befestigt. So wurde eine genau übereinstimmende Stellung der Platten auf den beiden Axen erreicht. Bewegt werden die Zahnräder durch die Triebe *c*₁ und *c*₂, die an den Axen *b*₁ *c*₁ und *b*₂ *c*₂ befestigt sind. Jede dieser Axen trägt außerdem in ihrer Mitte einen Trieb *h*. Dreht man den Knopf bei *b*₁, so wird mittels des Triebes *c*₁ das untere Zahnrad mit der unteren Glasplatte bewegt. Außerdem greift der Trieb *h*₁ in den Trieb *h*₂, und dreht die zweite Axe *b*₂ *c*₂ um eben so viel in der entgegengesetzten Richtung. Infolge davon wirkt auch der Trieb *c*₂ auf das obere Zahnrad, und dreht dieses mit der oberen Glasplatte um einen nahe eben so großen Winkel wie die untere Platte. Gemessen wird die Drehung jeder Platte mittels der außerhalb des Kastens auf die Drehungsaxe aufgesetzten getheilten Scheiben.

Es ist notwendig, zwei Platten anzubringen, welche um nahe gleiche Winkel gedreht werden, weil die Bilder der durch die Platten gesehenen Objecte nicht bloß seitlich verschoben, sondern auch ein wenig genähert werden, und wenn die Näherung für die beiden Bilder desselben Gegenstandes ungleich groß ist, man das Fernrohr nicht gleichzeitig auf beide genau einstellen kann.

In das vordere Ende des Fernrohrs sind zwei Objectivlinsen einzusetzen, *k* und *l*. Die achromatische Doppellinse *k* allein wird gebraucht, wenn man entferntere Objecte zu betrachten hat. Ihre biconvexe Crownglaslinse wird wie gewöhnlich dem Objecte zugekehrt. Will man dagegen sehr nahe Objecte betrachten, so giebt eine einzelne Linse kein gutes Bild mehr, weil diese Linsen darauf berechnet sind, parallel einfallende Strahlen in einen Punkt zu vereinigen. Deshalb setze ich dann eine zweite achromatische Doppellinse *l* ein, deren Crownglas der andern zugekehrt wird. Steht dann das Object im vorderen Brennpunkte dieser zweiten Linse, so macht sie die Strahlen parallel, die erste Linse vereinigt die parallelen Strahlen in ihrem hinteren Brennpunkte. Dadurch erhält man schärfere Bilder. Die Brennweite von *k* ist bei meinem Instrumente 6 Zoll, die von *l* 16 Zoll. Das Fernrohr ruht auf einer Säule *n*, in der ein Cylinder gedreht, so wie auch auf und ab bewegt werden kann. Auf diesem ist mittels des Charniergelenks *i* das Fernrohr befestigt. So kann man der Fernrohraxe beliebige Stellungen geben. Außerdem ist auch der Kasten mit den Gläsern drehbar um das vordere Ende des Fernrohrs.

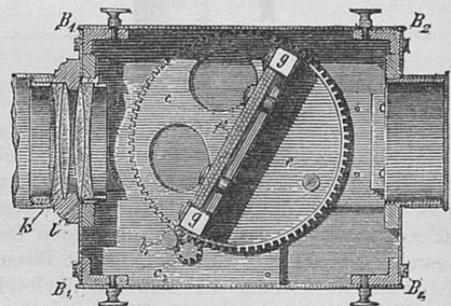


Fig. 4.

10 Zunächst will ich nachweisen, wie die Verschiebung der Bilder aus dem Drehungswinkel der Glasplatten zu finden ist.

Es sei in *Fig. 5* $A_1 A_1 A_2 A_2$ eine der Glasplatten, $a_1 c_1$ der einfallende, $c_1 c_2$ der gebrochene, $c_2 a_2$ der hindurchgegangene Strahl; $b_1 c_1 d_2$ das erste, $b_2 c_2 d_1$ das zweite Einfallslot. Der Einfallswinkel $b_1 c_1 a_1$, welcher dem Winkel $b_2 c_2 a_2$ gleich ist, werde mit α , der Brechungswinkel $d_2 c_1 c_2$, welcher gleich ist mit $c_1 c_2 d_1$, mit β bezeichnet und die Dicke der Platte mit h . Wird der Strahl $a_2 c_2$ rückwärts verlängert, so scheint der leuchtende Punkt a_1 für ein unterhalb der Platte befindliches Auge in dieser Verlängerung von $a_2 c_2$ zu liegen. Fällt man von a_1 ein Loth $a_1 f$, dessen Länge wir x nennen wollen, auf die genannte Verlängerung, so ist dies x die scheinbare seitliche Verschiebung des leuchtenden Punktes. Es ist

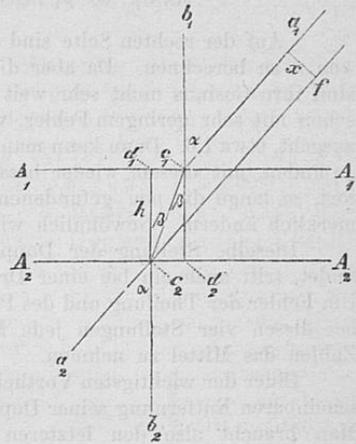


Fig. 5.

$$x = c_1 c_2 \cdot \sin \angle c_1 c_2 f$$

$$c_1 c_2 = \frac{h}{\cos \beta}$$

$$\angle c_1 c_2 f = \angle d_1 c_2 f - \angle d_1 c_2 c_1$$

$$= \alpha - \beta$$

$$x = h \cdot \frac{\sin (\alpha - \beta)}{\cos \beta} .$$

Der Winkel α wird durch das Instrument gemessen; die Dicke der Glasplatte h muß bekannt sein, ebenso ihr Brechungsverhältniß n gegen Luft. Dann ist

$$\sin \alpha = n \cdot \sin \beta .$$

Aus dieser Gleichung ist β zu finden, und dann sind alle Stücke zur Berechnung von x bekannt. Benutzt man zwei drehbare Platten, wie in dem Instrumente, welches ich beschrieben habe, geschieht, so ist die Entfernung E zweier beobachteten Punkte, deren Bilder man auf einander gestellt hat, doppelt so groß als x , also

$$E = 2h \cdot \frac{\sin (\alpha - \beta)}{\cos \beta} 1)$$

Die Werthe von n und h , die bei dieser Rechnung nöthig sind, findet man am besten durch Ausmessung der Theile eines guten Millimetermaafsstabs mit dem Instrument. Man stellt den Maafsstab horizontal in passender Entfernung vor dem Instrumente auf, senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs gerichtet, und achtet darauf, daß bei der Drehung der Platten die Längskanten des Stabes genau in sich selbst verschoben werden. Am genauesten, finde ich, sind die Doppelbilder so einzustellen, daß die Theilstriche des einen die Zwischenräume des andern genau halbiren, so daß die gegenseitige Verschiebung der Bilder 0,5 oder 1,5 oder 2,5 u. s. w. Millimeter beträgt. Dann erscheint der Stab wie in halbe Millimeter eingetheilt, und man erkennt sehr sicher, ob die einzelnen Intervalle alle gleich, oder abwechselnd größer und kleiner sind. So bekommt man eine Reihe von Werthen des Winkels α , die zu gegebenen Entfernungen E gehören.

Seien E und E_1 zwei verschiedene Werthe von E , α und α_1 sowie β und β_1 die dazu gehörigen Werthe der Winkel, so ergibt Gleichung 1)

$$\frac{E_1}{E} = \frac{\sin (\alpha_1 - \beta_1) \cdot \cos \beta}{\sin (\alpha - \beta) \cdot \cos \beta_1} = \epsilon$$

worin ϵ nur eine kürzere Bezeichnung für das Verhältniß der beiden E ist. Indem man die Sinus der Differenzen auflöst, und $\sin \beta = \frac{1}{n} \cdot \sin \alpha$ setzt, erhält man:

$$\sin \alpha_1 \cdot [n \cdot \cos \beta_1 - \cos \alpha_1] \cdot \cos \beta = \epsilon \cdot \sin \alpha \cdot [n \cdot \cos \beta - \cos \alpha] \cdot \cos \beta_1 ,$$

oder

$$n = \frac{\sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \beta - \varepsilon \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta_1}{\sin \alpha_1 \cdot \cos \beta_1 \cdot \cos \beta - \varepsilon \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \beta_1} \dots \dots \dots 1a)$$

Auf der rechten Seite sind α und α_1 bekannt, β und β_1 allerdings nur bei Kenntniss von n zu berechnen. Da aber die beiden letzteren Winkel nicht groß werden können, sind ihre Cosinus nicht sehr weit von 1 unterschieden. Man findet $\cos \beta$ und $\cos \beta_1$ also schon mit sehr geringem Fehler, wenn man von einem angenähert richtigen Werthe von n ausgeht, etwa 1,6. Dann kann man Gleichung 1a) benutzen, um einen genaueren Werth für n zu finden, mit diesem wieder bessere Werthe von $\cos \beta$ und $\cos \beta_1$, u. s. f. Man fährt so fort, so lange die neu gefundenen Werthe des n noch die Werthe von $\cos \beta$ und $\cos \beta_1$ merklich ändern. Gewöhnlich wird die zweite Berechnung von n schon genügen.

10 Dieselbe Stellung der Doppelbilder, welche bei einer Drehung um α Grade stattfindet, tritt auch ein bei einer Drehung um $-\alpha$, um $180 - \alpha$ und um $\alpha - 180$ Grade. Um Fehler der Theilung und des Parallelismus der Glasplatten zu eliminiren, ist es rathsam, bei diesen vier Stellungen jede Messung zu wiederholen und aus den vier gefundenen Zahlen das Mittel zu nehmen.

Einer der wichtigsten Vortheile des Ophthalmometers ist, dass die lineare Größe der scheinbaren Entfernung seiner Doppelbilder unabhängig ist von dem Abstände des Objects. Man braucht also den letzteren nicht zu kennen, um die Messungen auszuführen. Sollten indeß die Glasplatten schwach gekrümmte Oberflächen haben, so würde der Abstand des Objects nicht einflusslos sein. Daraufhin ist jedes Ophthalmometer zu untersuchen.

Wenn man das beschriebene Instrument zur Messung eines Hornhautbildes anwendet, wird man von kleinen Schwankungen des Kopfes des Beobachteten durchaus nicht gehindert, da beide Doppelbilder immer in derselben Weise sich mitbewegen, und ihre Stellung zu einander nicht geändert wird. Ist gleichzeitig das Object des Hornhautbildes weit genug entfernt, dass die kleinen Schwankungen des Kopfes gegen seine Entfernung verschwinden, so wird auch die Größe des Bildes nicht merklich durch die Schwankungen verändert, und es genügt daher zur Befestigung des Kopfes, dass man das Kinn leicht aufstützen lässt.

n Das Instrument erlaubt nur kleine Distanzen zu messen, bis zur Größe von etwa 4 mm oder 2 Linien. Mittels des Nonius werden $\frac{1}{10}$ Grade abgelesen, welche im Durchschnitt etwa $\frac{1}{300}$ mm entsprechen. Mittels einer leichten Veränderung kann man es aber auch geschickt machen, größere Entfernungen zu messen. Zu dem Ende setzt man an Stelle des Deckels *C* am vorderen Ende des Instruments eine Concavlinse ein, deren Brennpunkt so weit vor dem Instrumente liegt, als der vordere Brennpunkt der ersten achromatischen Objectivlinse *m*. Bei dieser Veränderung mißt das Instrument die lineare Größe der im Brennpunkt der Concavlinse entworfenen Bilder ferner Gegenstände. Da diese Bilder stark verkleinert sind, so entsprechen ihre Dimensionen viel größeren des Gegenstandes. Entfernt man dann den gemessenen Gegenstand, bringt an seine Stelle einen Maßstab, und mißt dessen Theilstriche bei derselben Einrichtung des Instruments, so erhält man die absolute Größe des Gegenstandes. Für sehr entfernte Gegenstände wirkt das Instrument dann dem Heliometer gleich: es mißt die Gesichtswinkel.

Die Größe der Drehung der zwei Platten eines Instruments differirt gewöhnlich um einige Zehntel eines Grades; zur Rechnung ist das Mittel beider Zahlen zu nehmen.

Um eine größere Genauigkeit zu erreichen, kommt viel darauf an, dass man die Orte, deren Entfernung zu messen ist, passend durch die Erleuchtung markirt. Sehr genau ist namentlich die Breite eines geraden hellen Streifens mit parallelen Rändern auf dunklem, oder eines eben solchen dunkeln auf hellem Grunde zu messen. Wenn man die beiden Doppelbilder eines solchen Streifen zur Berührung bringt, zeichnet sich die kleinste Entfernung oder das kleinste Übereinandergreifen der Bilder durch eine feine schwarze oder helle Linie ab, für deren Wahrnehmung das Auge sehr empfindlich ist; bei genauer Berührung verschwindet die Grenze beider Bilder fast ganz. Oder man kann auch den einen Ort durch einen feinen hellen Punkt, den andern durch zwei solche einander sehr nahe stehende markiren, und nun das eine Bild des ersten genau in die

Mitte zwischen die zwei anderen einstellen. Auf die große Genauigkeit, welche diese Art der Einstellung zuläßt, hat schon BESSEL bei der Messung der Sternparallaxen durch das Heliometer aufmerksam gemacht.

Wenn wir das Ophthalmometer zur Messung der Hornhautkrümmung anwenden wollen, so müssen wir auf der Hornhaut das Spiegelbild eines äußeren Objects von bekannter Größe und Entfernung erzeugen. Die Größe dieses Spiegelbildes ist zunächst durch das Ophthalmometer zu messen. Die Entfernung des gespiegelten Objects vom beobachteten Auge muß so groß sein, daß die kleinen Schwankungen in der Stellung dieses Organs dagegen vernachlässigt werden können.

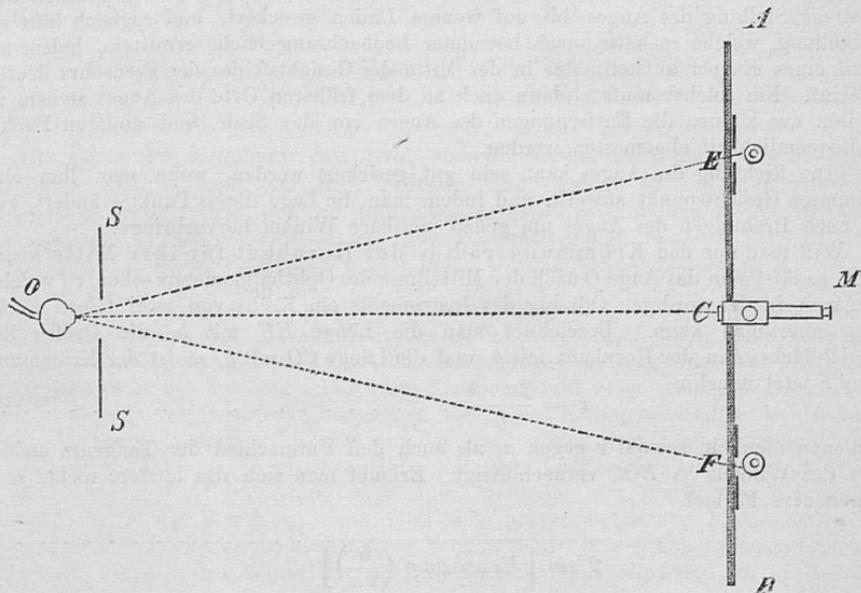


Fig. 6.

Die Anordnung des hierher gehörigen Apparates ist in Fig. 6 im Grundrisse dargestellt. Der Beobachtete sitzt an einem Tische; die Lage seines Auges ist so weit als nöthig dadurch gesichert, daß er durch eine Öffnung von etwa 1 Zoll Durchmesser des vor ihm stehenden Pappschirms *SS* zu blicken angewiesen ist. Das beobachtete Auge ist in der Figur mit *O* bezeichnet. Sechs bis acht Fufs davon entfernt, und etwa 1 Zoll niedriger als das Auge, ist ein in Centimeter getheilter Maßstab *AB* horizontal angebracht. Den Fußpunkt *C* des von *O* auf *AB* gefällten Lothes ermittelt man leicht dadurch hinreichend genau, daß man an die hintere Seite des Maßstabes einen Glasspiegel anlegt, dessen Ebene dabei also der Linie *AB* parallel wird, und bemerkt, über welchem Theilstriche *C* des Maßstabes das Auge *O* sich selbst gespiegelt sieht. Nun mißt man von *C* aus nach beiden Seiten hin zwei gleiche Entfernungen *CE* und *CF* ab, jede ungefähr gleich $\frac{1}{4} OC$, und bringt an der Vorderseite des Maßstabes Pappschirme an, von denen der eine eine runde Öffnung, der andere zwei solche übereinander enthält. Die beiden durch die Mittelpunkte dieser Öffnungen gehenden Verticallinien

müssen den Theilstrichen *E* und *F* entsprechen. Hinter den Schirmen werden Lampen angebracht, deren Licht durch die Öffnungen auf das Auge *O* fällt. Die Linie *EF*, deren eines Ende somit durch einen lichten Punkt, das andere durch zwei bezeichnet wird, ist das Object, dessen Spiegelbild in der Hornhaut gemessen werden soll. Um nun noch die Stellung des Ophthalmometers *M* zu bestimmen, bringt man an den Theilstrich *C* einen durch ein Gewicht gespannten Faden, visirt an diesem vorbei nach der Mitte der Öffnung des Schirmes *S*, durch welche das Auge *O* sieht, und läßt, so daß sie vom Faden gedeckt wird, auf der Tischplatte eine Linie ziehen, auf welcher der Mittelpunkt des Fusses des Ophthalmometers sich befinden muß. Hat man das Ophthalmometer fest aufgestellt, auf das Auge *O* gerichtet, und für dasselbe eingestellt, so bemerkt man jede Verschiebung des Auges senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs daran, daß es im Gesichtsfelde die Mitte des Fadenkreuzes verläßt, und kann seine Stellung verbessern lassen. Außerdem kann sich das Auge auch nicht viel in Richtung der Gesichtslinie des Beobachters nähern oder entfernen, ohne daß sein Bild undeutlich wird. So ist die Stellung des Auges bis auf wenige Linien gesichert, und zugleich läßt sich die Stellung, welche es hatte, nach beendeter Beobachtung leicht ermitteln, indem man irgend einen Körper aufstellt, der in der Mitte des Gesichtsfeldes des Fernrohrs deutlich erscheint. Ein solcher muß alsdann auch an dem früheren Orte des Auges stehen, und von ihm aus können die Entfernungen des Auges von der Scale und anderen Punkten mit Bequemlichkeit abgemessen werden.

Die Richtung des Auges kann sehr gut gesichert werden, wenn man ihm einen bestimmten Gesichtspunkt anweist, und indem man die Lage dieses Punktes ändert, kann man auch Drehungen des Auges um genau meßbare Winkel hervorbringen.

Will man nur den Krümmungsradius der Hornhaut für ihre Mitte kennen lernen, so läßt man das Auge *O* nach der Mittellinie des Ophthalmometers sehen, zu welchem Ende man in der vorderen Öffnung des Instruments ein Kreuz von zwei feinen weißen Fäden anbringen kann. Bezeichnet man die Länge *EF* mit *b*, die Größe ihres Spiegelbildchens in der Hornhaut mit β , und die Länge *CO* mit *a*, so ist der Krümmungsradius *r* jetzt nahehin:

$$r = \frac{2a \cdot \beta}{b}, \dots \dots \dots 2)$$

wenn man nämlich, sowohl *r* gegen *a*, als auch den Unterschied der Tangente und des Sinus des Winkels $\frac{1}{2} EOC$ vernachlässigt. Erlaubt man sich das letztere nicht, so ist die genauere Formel:

$$r = \frac{\beta}{2 \sin \left[\frac{1}{2} \text{arc tang} \left(\frac{b}{2a} \right) \right]} \dots \dots \dots 2a)$$

welcher letztere Werth von *r* bei den oben angegebenen Dimensionen des Apparats etwa um $\frac{1}{2}$ Proc. von dem der ersten Formel abweicht.

Die Richtigkeit jener ersten abgekürzten Formel leuchtet leicht ein aus den bekannten katoptrischen Gesetzen. Die Brennweite eines convexen Spiegels ist gleich dem halben Radius, also $\frac{1}{2} r$. Das Bild eines weit entfernten Gegenstandes liegt nicht merklich vom Hauptbrennpunkte des Spiegels entfernt, und die Größe des Objects und seines Bildes verhalten sich zu einander wie ihre Entfernungen von der Kugelfläche. Also

$$b : \beta = a : \frac{1}{2} r,$$

woraus sich unmittelbar der angegebene Wert von *r* ergibt.

Kann man die Theile des Apparates ein für alle mal fest aufstellen, so ist die Messung der Hornhautkrümmungen verschiedener Augen außerordentlich leicht und schnell zu vollziehen. Man braucht nur eine Beobachtung durch das Ophthalmometer; für den abgelesenen Winkel entnimmt man aus der Tabelle den Werth von β , und multiplicirt ihn mit dem constanten Factor

$$\frac{2a}{b} \text{ oder } \frac{1}{2 \sin \left[\frac{1}{2} \text{arc tang} \left(\frac{b}{2a} \right) \right]}$$

Noch bequemer wird es natürlich, wenn man sich gleich eine Tabelle berechnet für die den abgelesenen Winkelgraden entsprechenden Hornhautkrümmungen.

Umständlich ist die Bestimmung der Ellipticität der Hornhaut. Wenn ich, wie SENFF gethan hat, die äussere Hornhautfläche im Folgenden als ein Stück eines Ellipsoids betrachte, so möchte ich dies nur in dem Sinne thun, dafs jedes kürzere Stück einer continuirlichen Curve im Allgemeinen viel näher durch einen elliptischen als durch einen Kreisbogen ausgedrückt werden kann, und bei der Hornhaut der Ausdruck ihrer Form durch ein Ellipsoid vorläufig eine grosse Annäherung giebt. Auf einer Kugelfläche ist der Krümmungsradius überall constant, auf einem Ellipsoid veränderlich. So ist er denn auch am Rande der Hornhaut gröfser, als in ihrer Mitte. Kennt man die Werthe des Krümmungsradius an verschiedenen Stellen eines Ellipsoids, so kann man daraus dessen Axen und Excentricität berechnen. Die Messung des Krümmungsradius an verschiedenen Stellen der Hornhaut kann ganz so ausgeführt werden, wie ich eben beschrieben habe. Streng richtig ist die Methode allerdings nur für den Fall, dafs das gemessene Spiegelbildchen verschwindend klein gegen den Krümmungsradius ist, was bei den gegebenen Dimensionen des Apparats eigentlich nicht der Fall ist. Indessen da die Abweichung des kleinen Scheitelabschnitts eines Ellipsoids, den die Hornhaut bildet, von einer Kugel überhaupt gering ist, so ist die begangene Ungenauigkeit, wie ich mich überzeugt habe, von keinem in Betracht kommenden Einflusse.

Die Form der Hornhaut entspricht nahehin einem Ellipsoid, welches durch Umdrehung einer Ellipse um ihre gröfsere Axe erzeugt ist. Der Scheitel des Ellipsoids entspricht, wie sich im folgenden zeigen wird, ungefähr der Mitte der Hornhaut, weicht aber merklich von der Gesichtslinie ab, welche bei allen von mir untersuchten Individuen vom Scheitel aus nach der Nasenseite hin lag.

Die Beobachtungen werden hierfür ganz so angestellt, wie ich es für die Bestimmung des Krümmungsradius der Hornhaut in der Gesichtslinie beschrieben habe, nur weist man dem beobachteten Auge nach einander verschiedene Fixationspunkte an, und wiederholt für alle diese die Messung. Der erste Fixationspunkt möge wieder in der Axe des Fernrohrs liegen; der zugehörige berechnete Werth des Krümmungsradius der Hornhaut sei ρ_0 . Die beiden andern wähle man auf der Scale gleich weit nach rechts und nach links von dem Punkte *C*, in gleicher Höhe mit dem Lichtzeichen, etwa bei *A* und *B*. Für die Richtung der Gesichtslinie nach *A* sei gefunden der Werth des Krümmungsradius ρ_1 , für *B* der Werth ρ_2 . Nun folgt aus den geometrischen Eigenschaften der Ellipse, dafs der Krümmungsradius ρ eines beliebigen Punktes durch folgende Gleichung gegeben ist, worin ω den Winkel zwischen dem Krümmungsradius und der grossen Axe, a die halbe grosse Axe, ϵ die Excentricität (d. h. Abstand der Brennpunkte, dividirt durch die grosse Axe) bezeichnet.

$$\rho = \frac{a(1 - \epsilon^2)}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 \omega}} \dots \dots \dots \quad 3)$$

Bei unseren Versuchen mufs der Krümmungsradius der spiegelnden Stelle der Hornhaut immer der Axe des Fernrohrs parallel sein, weil die Mitte *C* des gespiegelten Objects *EF* in der Fernrohraxe liegt, und daher die spiegelnde Stelle senkrecht gegen die Fernrohraxe stehen mufs. Der Winkel ω zwischen dem Krümmungsradius und der Axe des Ellipsoids ist also derselbe, wie der zwischen der Axe des Fernrohrs und der Axe des Ellipsoids. Bei der ersten Beobachtung, wo die Gesichtslinie des beobachteten Auges in die Axe des Fernrohrs fällt, ist der Winkel ω gleich dem noch unbekanntem Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Axe des Ellipsoids, den wir α nennen und positiv rechnen wollen, wenn die Axe des Ellipsoids auf derselben Seite der Linie *CO* liegt, wie der Punkt *A*, negativ, wenn sie auf der Seite von *B* liegt. Bei der zweiten Beobachtung ist die Gesichtslinie nach *A* gerichtet; und setzen wir

$$\angle EOC = \angle FOC = \varphi,$$

so wird ω jetzt gleich $(\alpha + \varphi)$. Wenn bei der dritten Beobachtung die Gesichtslinie nach

B gekehrt ist, wird ω gleich $(\alpha - \varphi)$. Setzen wir also die drei Paare zusammengehöriger Werte von ϱ und ω in die Gleichung 3, so erhalten wir folgende drei Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} \varrho_0 &= \frac{a(1-\epsilon^2)}{\sqrt{1-\epsilon^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \dots \dots \dots \\ \varrho_1 &= \frac{a(1-\epsilon^2)}{\sqrt{1-\epsilon^2 \cdot \sin^2 (\alpha + \varphi)}} \dots \dots \dots \\ \varrho_2 &= \frac{a(1-\epsilon^2)}{\sqrt{1-\epsilon^2 \cdot \sin^2 (\alpha - \varphi)}} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} 3a)$$

Aus diesen drei Gleichungen läßt sich zunächst *a* eliminiren. Wenn man sie gleichzeitig auf die zweite Potenz erhebt, und die dritte Wurzel auszieht, bekommt man folgende zwei andere Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} \varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_1^{\frac{2}{3}} &= \epsilon^2 \left[\varrho_0^{\frac{2}{3}} \cdot \sin^2 \alpha - \varrho_1^{\frac{2}{3}} \cdot \sin^2 (\alpha + \varphi) \right] \dots \dots \dots \\ \varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_2^{\frac{2}{3}} &= \epsilon^2 \left[\varrho_0^{\frac{2}{3}} \cdot \sin^2 \alpha - \varrho_2^{\frac{2}{3}} \cdot \sin^2 (\alpha - \varphi) \right] \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} 3b)$$

Aus diesen endlich bekommt man nach Elimination von ϵ^2 die Gleichung

$$\text{tang } (2\alpha) = \text{tang } \varphi \cdot \frac{(\varrho_0 \cdot \varrho_2)^{\frac{2}{3}} - (\varrho_0 \cdot \varrho_1)^{\frac{2}{3}}}{(\varrho_0 \cdot \varrho_1)^{\frac{2}{3}} + (\varrho_0 \cdot \varrho_2)^{\frac{2}{3}} - 2(\varrho_1 \cdot \varrho_2)^{\frac{2}{3}}} \dots \dots \dots 3c)$$

Aus dieser letzten ist α zu finden, und wenn man α hat, aus einer der Gleichungen 3b) die Excentricität ϵ und aus 3a) die halbe Axe *a*. Die halbe kleine Axe der Ellipse *b* ist gegeben durch die Gleichung

$$b = a \cdot \sqrt{1 - \epsilon^2},$$

und der Krümmungsradius im Scheitel der Ellipse

$$\varrho = a(1 - \epsilon^2) = \frac{b^2}{a}.$$

Es ist bei dieser Berechnungsmethode wieder die Größe der gespiegelten Bildchen gegen die Axen der Ellipsen vernachlässigt worden; denn nur wenn man das thut, kann man unmittelbar aus der Größe der Bildchen den Krümmungsradius berechnen. Will man die Größe der Bildchen nicht vernachlässigen, so wird die Rechnung außerordentlich weitläufig, während ihre Ergebnisse sich nur ganz unerheblich von denen der hier angegebenen Formeln unterscheiden. Die Resultate meiner Messungen, welche ich weiter unten zusammengestellt habe, sind auf diesem genaueren Wege gewonnen. Übrigens ist es immer nothwendig, die Rechnung zuerst nach den einfachen Formeln zu führen, die ich oben aufgestellt habe, um genäherte Werthe der gesuchten Größen zu erhalten, da sich die genaueren Formeln nicht arithmetisch nach den Unbekannten auflösen lassen, und daher deren Werthe nur durch approximative Rechnungen zu finden sind.

In dieser Weise habe ich für den horizontalen Durchschnitt der Hornhaut folgende Werthe für die drei untersuchten Augen gefunden. Es ist *a* die halbe große, *b* die halbe kleine Axe der Ellipse, ϱ der Krümmungshalbmesser im Scheitel, ϵ die Excentricität, α der Winkel, den die Gesichtslinie nach der Nasenseite zu mit der großen Axe der Ellipse bildet. Die Längenmaaße sind Millimeter.

	ϱ	ϵ^2	<i>a</i>	<i>b</i>	α
O. H.	7,338	0,4367	13,027	9,777	4° 19'
B. P.	7,646	0,2430	10,100	8,788	6° 43'
J. H.	8,154	0,3037	11,711	9,772	7° 35'

Es bleibt noch übrig, die Lage des Randes der Hornhaut gegen den Scheitel der Ellipse und die Gesichtslinie zu bestimmen. Ich brauchte dazu das Ophthalmometer mit dem Concavglase an seinem vorderen Ende, brachte dicht unter diesem Glase ein kleines Licht reflectirendes Spiegelchen an, dessen Spiegelbild als ein helles Pünktchen auf der Hornhaut erschien. Da das Licht hier in derselben Richtung in das Auge fiel, als das Fernrohr hineinsah, mußte das Spiegelbild auf derjenigen Stelle der Hornhaut erscheinen, welche senkrecht gegen die Fernrohraxe war. Nun wurden die ebenen Glasplatten des Ophthalmometers gedreht, so daß sich die Bilder der Hornhaut und des hellen Pünktchens darauf verdoppelten. Zugleich verschob ich den Körper, auf dem das beobachtete Auge seinen Gesichtspunkt hatte, so, daß es möglich wurde jedes der beiden Bilder des hellen Pünktchens mit einem Bilde eines der entgegengesetzten Ränder der Hornhaut zusammenfallen zu lassen. Die Einstellung war gut auszuführen, da das Spiegelbildchen nahehin in der Ebene der Hornhautbasis liegt, und deshalb mit dieser zugleich deutlich im Fernrohre erscheint. Es wurde endlich durch passende Abmessungen der Winkel β bestimmt, den die optische Axe des Fernrohrs mit der Gesichtslinie des beobachteten Auges bei der gedachten Einstellung gemacht hatte, und dieser fand sich nahe gleich dem Winkel α zwischen der Gesichtslinie und der großen Axe der Ellipse. Zur Vergleichung setze ich beide Winkel für die drei gemessenen Augen neben einander.

	β	α	Differenz
O. H.	4° 51'	4° 19'	+ 32'
B. P.	6° 21'	6° 43'	- 22'
J. H.	7° 9'	7° 35'	- 26'

Die spiegelnde Stelle der Hornhaut war also nahehin der Scheitel der Ellipse, das Spiegelbild lag in der großen Axe, und da sich durch dieselbe Drehung der Glasplatten gleichzeitig beide Hornhautränder mit dem Spiegelbildchen zum Decken bringen ließen, so müssen beide gleich entfernt von der Axe sein, folglich muß die Basis der Hornhaut eine nahehin auf der großen Axe der Ellipse senkrechte Ebene sein, und der Mittelpunkt der Hornhaut mit dem Scheitel der Ellipse zusammenfallen. Die kleinen Differenzen zwischen den Winkeln α und β können dabei vernachlässigt werden, da auch die größte Winkelabweichung 32', längs der Fläche der Hornhaut gemessen, nur 0,07 mm beträgt.

Aus dem Winkel, um den wir bei dem angegebenen Versuche die Glasplatten abgelenkt haben, können wir auch sogleich noch den horizontalen Durchmesser der Hornhautbasis berechnen, und aus diesem und den Axen der Ellipsen den Abstand ihres Scheitels von der Basis. Diese Größen finden sich, wie folgt, in Millimetern.

Auge.	Durchmesser der Basis.	Abstand des Scheitels von der Basis.
O. H.	11,640	2,560
B. P.	11,640	2,531
J. H.	12,092	2,511

Seit der ersten Veröffentlichung dieser Untersuchungsmethoden¹⁾ sind eine große Zahl von Messungen der Krümmung und Dimensionen der Hornhaut gemacht worden. Es wird genügen, mit Verweisung auf die am Schlusse des Werks folgenden Litteraturübersichten, hier die von DONDERS²⁾ gegebene Zusammenstellung ihrer Ergebnisse anzu-

¹ H. HELMHOLTZ, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie*. I. (2) S. 1. 1854.

² F. C. DONDERS, *On the anomalies of accommodation and refraction*. London. 1864. p. 89. — *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie*. VIII. (1) S. 1862.

führen. Die Mittelwerthe des Krümmungsradius der Hornhaut in der Gesichtslinie waren in Millimetern

A. Männer.		
1)	20 unter 20 Jahren	7,932
2)	51 unter 40 „	7,882
3)	28 über 40 „	7,819
4)	11 über 60 „	7,809
	Mittel	7,858
	Maximum	8,396
	Minimum	7,28
B. Weiber.		
1)	6 unter 20 Jahren	7,720
2)	22 unter 40 „	7,799
3)	16 über 40 „	7,799
4)	2 über 60 „	7,607
	Mittel	7,799
	Maximum	8,487
	Minimum	7,115
C. Nach der Sehweite geordnet.		
1)	27 Normalsichtige	7,785
2)	25 Kurzsichtige	7,874
3)	26 Hypermetropen	7,96

Die ellipsoidische Gestalt der Hornhaut ist nicht immer regelmäfsig eingehalten; in der That habe ich die Annahme von SENFF, dafs die Hornhaut ein Ellipsoid sei, zunächst nur in dem Sinne festhalten wollen, dafs ein kleines Stück einer jeden gekrümmten Fläche durch ein Ellipsoid sich genauer wird darstellen lassen, als durch eine Kugel. Die Herren AUBERT und MATTHIESSEN¹ sind zu dem Resultat gekommen, dafs ein mittlerer Theil der Hornhaut sich einer Kugel mehr nähert, als es der Scheitel eines Ellipsoids thun sollte, und dafs erst in etwa 16° Entfernung von der Mitte die Wölbung geringer wird.

Eine ganz abweichende Form des Ophthalmometers hat Herr COCCIUS² construirt, in welchem die Doppelbilder durch einen doppeltbrechenden Kalkspath mit parallelen Grenzflächen hervorgebracht werden. Solche haben auch constante lineare Entfernung von einander, die man aber nicht variiren kann. Man verändert deshalb den Abstand der Lichte, welche von der Hornhaut gespiegelt werden, bis die Doppelbilder die gewünschte Stellung zu einander haben.

Um in verticalen oder in schräg gerichteten Meridianen der Hornhaut die Krümmung messen zu können, hat Herr DONDERS einen verticalen Holzring mit beweglichen Lichtchen construiren lassen. Bequemer noch ist es, an einer um eine horizontale Axe drehbaren und in Centimeter getheilten Stange *Fig. 7* drei Spiegelchen *a, b, c* anzubringen, die in verschiedenen Entfernungen (*Fig. 8*) vermittle der Hülse *a* und der Schraube *b* angeklemt, und mit Hilfe einer andern Schraube *g* in beliebiger Neigung festgestellt werden können. Die Drehungsaxe bildet einen hohlen Cylinder *d* in *Fig. 7*, durch welchen das Ophthalmometer nach dem zu messenden Auge hin gerichtet wird. Die Lampe kommt nahe zur Seite des beobachteten Auges zu stehen, und die Drehungsaxe der Scala wird so gerichtet, dafs sie einen mitten zwischen beobachtetem Auge und Lampe gelegenen Punkt schneidet. Die Spiegelchen müssen so gerichtet werden, als wären sie Stücke von einer Kugelfläche, die ihr Centrum in dem letztgenannten Punkte hat. Sie reflectiren dann das Licht der Flamme in das beobachtete Auge, und da alle Punkte einer spiegelnden Kugelschale innerhalb ziemlich grosser Winkelentfernung von der

¹ H. AUBERT, *Pflüger's Archiv*. Bd. 35. S. 597. 1885.

² A. COCCIUS, *Über den Mechanismus der Accommodation des menschl. Auges*. Leipzig 1867. *Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge*. Leipzig 1872.

Axe dasselbe thun würden, so verliert sich der Reflex auch nicht, wenn man den Hebel dreht. Wenn die Öffnung für das beobachtete Auge und der Ort der Lichtflamme ein für alle Mal fixirt, und der Beleuchtungsapparat fest aufgestellt wird, kann man die Spiegelchen dadurch in ihre richtige Lage bringen, dafs man versucht, ob sie bei allen Drehungen der Stange das Licht gleichmäfsig reflectiren, und ihre Stellung dem entsprechend corrigirt.

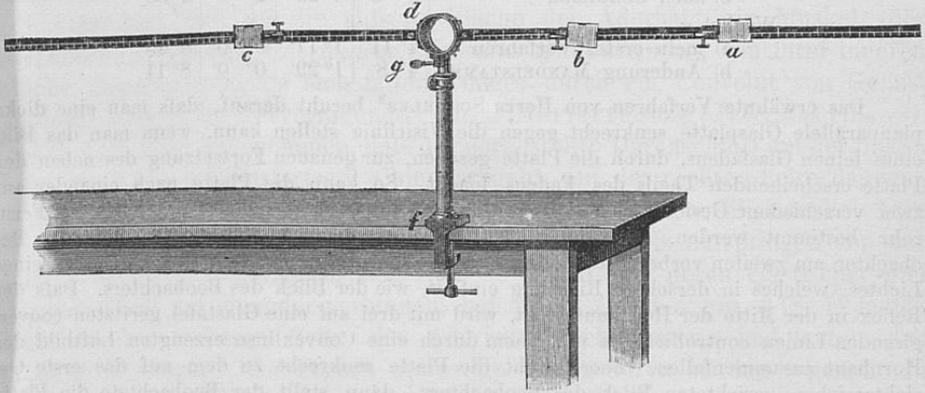


Fig. 7.

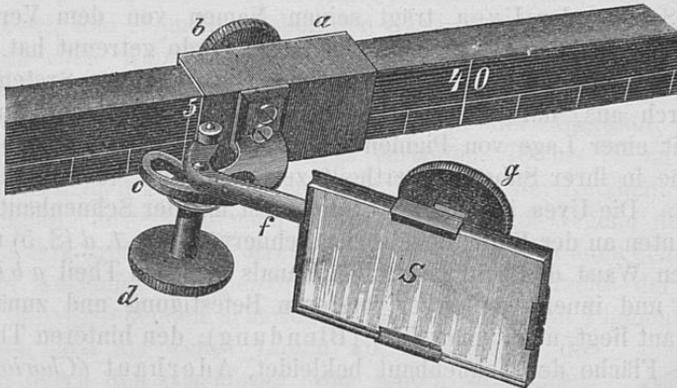


Fig. 8.

Dieser Apparat ist von Herrn MANDELSTAMM¹ auch benutzt worden, um die Abweichung der Gesichtslinie von der Hornhautaxe in verschiedenen Meridianen zu studiren. Es ist verhältnißmäfsig leichter diese Messungen so auszuführen, dafs man auf beiden Seiten der Mefsstange Orte für den Fixationspunkt des beobachteten Auges sucht, welche einer gleichbleibenden Einstellung des Ophthalmometers entsprechen.

Die Gesichtslinie ist der Regel nach etwas abwärts gegen die Axe der Hornhaut gerichtet, (bis $3^{\circ}5'$), ausnahmsweise aufwärts ($0^{\circ}56'$).

¹ E. MANDELSTAMM, *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XI. (2) S. 259—265. 1865.

Der Scheitel des Ellipsoids zeigt oft größere Abweichungen von der Mitte der Hornhaut, als sie in den von mir beobachteten Augen vorhanden waren. Herr Dr. UHTHOFF fand für vier Augen:

	Dr. A.	Dr. K.	Dr. R.	Dr. F.
Winkel β bestimmt				
a) mit Ophthalmometer	6° 22'	3° 54'	2° 10'	6° 35'
b) nach SCHOELER	6° 6'	4° 25'	2° 9'	6° 35'
Winkel α				
a) mein erstes Verfahren	4° 11'	1° 17'	0° 0'	8° 45'
b) Änderung MANDELSTAMM	4° 8'	1° 29'	0° 0'	8° 11'

Das erwähnte Verfahren von Herrn SCHOELER² beruht darauf, dafs man eine dicke planparallele Glasplatte senkrecht gegen die Visirlinie stellen kann, wenn man das Bild eines feinen Glasfadens, durch die Platte gesehen, zur genauen Fortsetzung des neben der Platte erscheinenden Theils des Fadens macht. So kann die Platte nach einander auf zwei verschiedene Gesichtszeichen eingestellt und ihr Drehungswinkel mit Scala und Fernrohr bestimmt werden. Das erste Gesichtszeichen wird so eingestellt, dafs der Beobachter am zweiten vorbeivisirend dies zum Decken bringt mit dem Hornhautreflex eines Lichtes, welches in derselben Richtung einfällt, wie der Blick des Beobachters. Dafs der Reflex in der Mitte der Hornhaut steht, wird mit drei auf eine Glastafel geritzten convergirenden Linien controllirt, die mit einem durch eine Convexlinse erzeugten Luftbild der Hornhaut zusammenfallen. Zuerst steht die Platte senkrecht zu dem auf das erste Gesichtszeichen gerichteten Blick des Beobachters, dann stellt der Beobachtete die Platte so ein, dafs sie senkrecht gegen seine auf das zweite Zeichen gerichtete Gesichtslinie ist.

Der Winkel zwischen Visirlinie und Mitte der Hornhaut, der hier β genannt ist, ist praktisch wichtig wegen der Beurtheilung des Schielens.

§ 3. Die Uvea.

12

Das System der Uvea trägt seinen Namen von dem Vergleiche mit einer dunklen Weinbeere, die man von ihrem Stiele getrennt hat. Die Stielöffnung entspricht der Pupille. Sämmtliche Theile dieses Systems zeichnen sich dadurch aus, dafs sie von der Netzhaut getrennt auf ihrer inneren Fläche mit einer Lage von Pigmentzellen bedeckt zurückbleiben, theilweise auch solche in ihrer Substanz vertheilt zeigen, denen sie ihre dunkle Farbe verdanken. Die Uvea ist an zwei Stellen fest mit der Sehnenhaut verbunden, nämlich hinten an der Eintrittsstelle des Sehnerven *Fig. 1. d* (S. 5) und vorn an der inneren Wand des SCHLEMM'schen Kanals *a*. Den Theil *abb a*, welcher nach vorn und innen von dieser letzteren Befestigung und zunächst hinter der Hornhaut liegt, nennt man *Iris* (Blendung); den hinteren Theil, welcher die innere Fläche der Sehnenhaut bekleidet, Aderhaut (*Chorioidea*).

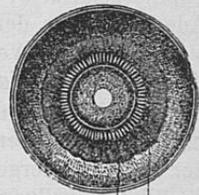
Im hinteren Theile des Augapfels bildet die Aderhaut eine dünne dunkle Membran, grösstentheils aus Blutgefäfsen zusammengesetzt, die durch ein eigenthümliches Gewebe verbunden sind. Dieses Gewebe, welches KÖLLIKER als unentwickeltes elastisches Gewebe bezeichnet, besteht aus in einander geflochtenen strahligen, zum Theil mit Pigment gefüllten Zellen, deren Ausläufer äufserst fein verästelt sind. Dies eigenthümliche Stroma verbindet zunächst die Arterien und Venen der Aderhaut; die Schicht der Capillaren gefäfsse (*membrana chorio-capillaris*) liegt ihm nach innen lockerer auf, und

² H. SCHOELER, *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XXX. (3) S. 311—312. 1884. — W. UHTHOFF, *Bericht der Ophthalm. Ges. zu Heidelberg.* 1884.

diese haftet nach innen fest an der Pigmentzellenschicht, welche den hinteren Abschluß der Netzhaut bildet, früher aber der Aderhaut selbst zugerechnet wurde, da sie bei Abtrennung der Retina durchreißt, so dass ihr äußerer dunkel gefärbter Theil, wie bemerkt, an der Uvea haften bleibt. Nach vorn hin aber, wo die Netzhaut aufhört, setzt sich die Pigmentmembran, der Uvea anhaftend, über deren Ciliartheil und die hintere Fläche der Iris fort.

Vorn legt sich an die äußere Fläche der Aderhaut ein Muskel, der Ciliarmuskel (*Tensor Chorioideae, Musculus Brückianus*); von ihrer inneren Fläche dagegen erheben sich faltenförmige, durch ein Convolut von Gefäßstämmen ausgefüllte Hervorragungen, die Ciliarfortsätze (*Processus ciliares*). In *Fig. 1.* (S. 5) ist angenommen, dass der dargestellte Durchschnitt auf der linken Seite durch einen Ciliarfortsatz *c* hindurchgeht, auf der rechten Seite dagegen zwischen zwei solchen Fortsätzen, daher hier allein der Ciliarmuskel *h* in dem Schnitte sichtbar ist. Die Fasern des Ciliarmuskels entspringen von der inneren Wand des SCHLEMMschen Kanals, da wo sich deren elastischer und sehniger Theil mit einander verbinden, bei *a Fig. 1* und *a Fig. 2* (S. 7) laufen dann an der äußeren Seite der Aderhaut nach hinten, und heften sich an diese Membran. Die Fasern dieses Muskels gehören zu den sogenannten organischen, wie wir sie in den meisten nicht willkürlich bewegten Muskeln antreffen; sie sind mit längsovalen Kernen versehen und nicht quergestreift. BRÜCKE, der den Muskel entdeckte, nahm an, dass er die Aderhaut (und die mit dieser bei *g Fig. 1* engverbundene Netzhaut und Glashaut) um den Glaskörper anspanne, DONDERS dagegen, dass die Aderhaut sein fester Ansatzpunkt sei, und er im Gegentheil den elastischen Theil der inneren Wand des SCHLEMMschen Kanals verlängere und so den Ansatz der Iris nach hinten rücke. In Wahrheit verbinden sich beide Wirkungen mit einander.

Die Ciliarfortsätze sind häutige Falten der Aderhaut, welche in Richtung der Meridianlinien des Auges verlaufen, 70 bis 72 an der Zahl. Sie erheben sich in der Gegend des vorderen Endes der Netzhaut (*Fig. 1. g*), verlaufen allmählig ansteigend nach vorn, wo sie in der Gegend des äußeren Linsenrandes ihre größte Höhe erreichen, und senken sich dann schnell, indem die vorderen Ausläufer der meisten noch auf die Hinterseite der Iris übergehen. Ihre hervorstehenden scharfen Ränder sind oft von Pigment entblößt, und zeichnen sich als weiße Linien ab, wenn man die Ciliargegend durch den Glaskörper von hinten betrachtet, wie dies der in *Fig. 9* dargestellte Aequatorialschnitt des Bulbus zeigt. *Pc* sind die Ciliarfortsätze; von ihnen umgeben liegt die Linse, durch welche man die vor ihr liegende Iris erblickt. *Os* ist der Randtheil der Netzhaut. Die Ciliarfortsätze enthalten eine große Menge von Gefäßstämmen, durch ein ähnliches Stroma verbunden, wie es in der Aderhaut vorkommt.



Pc Os
Fig. 9.

Die Iris, *ab* in *Fig. 1*, *J* in *Fig. 2*, der vorderste Theil der Uvea, bildet für das Auge eine bewegliche Blende. Sie entspringt mit dem Ciliarmuskel

gemeinschaftlich an der inneren Wand des SCHLEMM'schen Kanals und zwar an der Grenze des hinteren sehnigen Theils dieser Wand, ist aber durch ein Netzwerk elastischer Fasern, welche frei durch die wässrige Feuchtigkeit verlaufen, mit dem elastischen Theile dieser inneren Wand verbunden. Man nennt diese elastischen Fasern das *Ligamentum Iridis pectinatum*, *b* Fig. 2. Von da an verläuft die Iris, sich an die vordere Fläche der Linse legend, nach innen bis zu ihrem inneren oder Pupillarrande, und ist dabei leicht nach vorn gewölbt. Sie enthält organische Muskelfasern, welche zu zwei Muskeln zusammengefaßt werden können.

1) Der Ringmuskel der Pupille (*Musculus Contractor sive Sphincter Pupillae*), umgiebt in Form eines Ringes von 2 mm Breite den Pupillarrand; er liegt vor der Pigmentschicht und hinter der Hauptmasse der zum Pupillarrande verlaufenden Gefäße und Nerven. Seine Fasern verlaufen in concentrischen Ringen, und verengern deshalb bei ihrer Zusammenziehung die Pupille.

2) Der Erweiterer der Pupille (*Musculus Dilator Pupillae*). Seine Fasern entspringen von der inneren Wand des SCHLEMM'schen Kanals und wohl auch von den Fasern des *Ligamentum pectinatum*, und verlaufen an der hinteren Seite der Iris netzförmig mit einander verbunden nach innen, wo sie sich in den Ringmuskel verlieren; doch ist die musculöse Natur der Fasern noch zweifelhaft.

Das Stroma der Iris ist Bindegewebe; hinten ist sie von der Pigmentzellenschicht, vorn von einem Epithelium bedeckt. Auch ihr Stroma enthält oft Pigmentzellen; dann ist ihre Farbe braun, sonst erscheint sie als ein trübes Medium vor dem dunklen Pigmente blau.

Das Verhalten der Gefäße der Uvea bietet vieles Eigenthümliche. Ich habe schon angeführt, daß die Gefäße den größten Theil der Masse dieses Systems ausmachen. Ihre zuführenden Arterien (*Arteriae ciliares posticae breves* für die Aderhaut und Ciliarfortsätze, *posticae longae* und *anticae* für die Iris) treten durch die Sclerotica ein, und communiciren mit den Venen nicht bloß, wie es in anderen Theilen des Körpers der Fall ist, durch ein feines Capillargefäßnetz, sondern auch durch ziemlich weite Verbindungsröhren, welche auf der Aderhaut in zierlich geordneten Bögen wedelförmig aus den Arterien entstehen, und sich wieder zu Venen (*Venae vorticosae*) sammeln. Die *Arteriae ciliares posticae breves*, etwa 20 Ästchen, durchbohren die Sclerotica an ihrem hinteren Theile, laufen, sich fort-dauernd gabelförmig spaltend, nach vorn und geben ihr Blut theils durch das Capillargefäßnetz, welches, soweit die Netzhaut reicht, an der inneren Seite der Aderhaut unter den Pigmentzellen liegt, theils durch die weiten Verbindungsäste der Vortices an die Venen ab, welche theils (*Vasa vorticosae*) am Äquator des Augapfels, theils (*Venae ciliares posticae*) am hinteren Theile durch die Sclerotica austreten. Ein großer Theil der Äste dieser Arterien läuft aber nach vorn in die Ciliarfortsätze und bildet in diesen ein Gefäßknäuel, dessen rückkehrende Äste in die vorderen Bögen der Vortices übergehen. Durch diese Einrichtung wird wohl eine schnellere Aenderung der Blutvertheilung im Auge möglich, wie sie bei den durch die Accommodation schnell veränderten Druckverhältnisse gefordert wird. Das Gefäßnetz der Iris hängt mit dem der Ciliarfortsätze zusammen, zum größten Theile empfängt es aber sein Blut aus besonderen Stämmen, die theils hinten durch die Sclerotica treten (*Art. ciliares posticae longae*) und zwischen Aderhaut und Sehnenhaut nach vorn bis zum

Ciliarmuskel verlaufen, theils auch vorn eintreten (*Art. ciliares anticae*). Sie bilden in der Iris zwei anastomosirende Gefäßkränze, den einen (*Circulus arteriosus Iridis major*) am peripherischen Rande, den anderen (*Circ. arter. minor*) nahe dem Pupillarrande. An der Stelle des letzteren ist die Iris am dicksten, und bildet auf ihrer vorderen Fläche einen Vorsprung.

Am unverletzten Auge sieht man die Iris durch die Hornhaut. Durch die Wirkung der Strahlenbrechung erscheint sie der Hornhaut näher, also mehr nach vorn gewölbt, als sie es in Wirklichkeit ist. Wenn man dagegen das Auge einer Leiche unter Wasser bringt, dessen Brechungsvermögen dem der wässrigen Feuchtigkeit ziemlich gleich ist: so fällt die Strahlenbrechung an der Hornhaut weg und man sieht die Iris in ihrer natürlichen Lage, wo sie schwach oder nur wenig gewölbt erscheint. Um am lebenden Auge eine richtige Anschauung von der Iris zu erhalten, hat J. CZERMAK¹⁾ ein Instrument angegeben unter dem Namen Orthoskop, welches im wesentlichen eine kleine Wanne mit Glaswänden ist, die an das Gesicht so angesetzt wird, daß das Auge die Hinterwand derselben bildet, und dann voll Wasser gegossen wird. Das in *Fig. 10* abgebildete Instrument hat eine untere Wand *fcb* und eine innere (der Nase zugekehrte) *gab* aus Metallblech gebildet. Beide sind am freien Rande passend ausgeschnitten, um sie an das Gesicht ansetzen zu können. Die vordere Wand *abcd* und die äußere *cdef* sind aus ebenen Glasplatten gebildet. Um den Rand des Instruments wasserdicht an das Gesicht ansetzen zu können, empfiehlt CZERMAK geknetete Brodkrume an das Gesicht anzulegen und den Rand des Instruments hineinzudrücken. Das Auge wird nun zunächst geschlossen, Wasser von 23 bis 26° R. in das Kästchen gegossen, und dann 15

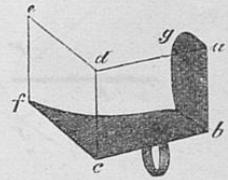


Fig. 10.

das Auge geöffnet. Die Hornhaut tritt von der Seite gesehen als eine durchsichtige, gewölbte Blase hervor, die Iris tritt als ein fast ebener Vorhang von ihr zurück.

Es könnten bei dieser Methode Zweifel übrig bleiben, ob das Bild der Iris durch die Brechung zwischen Hornhaut und Wasser einerseits, Hornhaut und wässriger Feuchtigkeit anderseits nicht noch ein wenig verändert sei, und da die Frage nach der Form und Lage der Iris für die Lehre von der Accommodation des Auges von großer Wichtigkeit ist, so will ich hier noch andere Untersuchungsmethoden beschreiben. Eine leicht auszuführende Art, um an lebenden Augen das Relief der Iris kennen zu lernen, ist die folgende. Man stelle seitlich und etwas nach vorn von dem beobachteten Auge ein Licht auf, und concentrirte durch eine Sammellinse von etwa 2 Zoll Brennweite und möglichst großer Öffnung dessen Strahlen auf einen Punkt der Hornhaut, so daß auf dieser ein Bild des Lichts entworfen wird. Die Hornhaut sieht an der starkbeleuchteten Stelle trübe aus. Der Brennpunkt auf der Hornhaut bildet nun gleichsam eine neue Lichtquelle, deren Strahlen, ohne weiter gebrochen zu werden, geradlinig auf die Iris fallen, und, wenn sie schief auffallen, Schlagschatten verschiedener Länge auf ihr entwerfen, aus denen man leicht beurtheilen kann, wie viel ihre einzelnen Theile hervorspringen oder zurückweichen. Bei der angegebenen Untersuchungsmethode findet man die Iris kurzsichtiger Augen oft so platt, daß gar kein Schlagschatten auf ihr entsteht. Bei normalen Augen dagegen sieht man nahe um die Pupille herum den dem *Circulus arteriosus minor* entsprechenden Wulst, der deutliche Schlagschatten wirft. Wenn der lichtgebende Brennpunkt etwa 1 mm vom Rande der Hornhaut absteht, verlängert sich dieser Schlagschatten meist bis zum peripherischen Rande der Iris.

Um sich an lebenden Augen von dem sehr wichtigen Umstande zu überzeugen, daß die Iris der Linse dicht anliegt, kann man dasselbe Verfahren gebrauchen, mit dem Unterschiede, daß man den Brennpunkt der Sammellinse ein wenig von der Seite her

¹⁾ J. CZERMAK, *Prager Vierteljahrsschrift für prakt. Heilkunde*. Bd. XXXII. S. 154. 1851.

auf die vordere Linsenfläche fallen läßt. Bei so starker Beleuchtung erscheint dann die Substanz der Linse weißlich trübe, und man sieht, daßs von der Iris kein Schlagschatten geworfen wird. Noch besser geschieht dies mittels

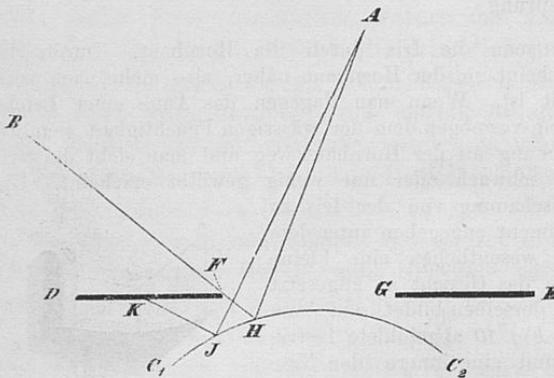


Fig. 11.

der Reflexe, welche die vordere Fläche der Linse von einfallendem Lichte giebt. Wenn in Fig. 11 $C_1 C_2$ ein convexer Kugelspiegel ist, $D E$ ein davorstehender dunkler Schirm mit einer Öffnung $F G$, das Auge des Beobachters sich in A befindet und ein Licht in B , und der am Rande der Öffnung bei F vorbeigehende Lichtstrahl $B F$ in H nach $H A$ zurückgeworfen wird, so wird das Auge von den zwischen H und C_1 gelegenen Punkten der Spiegelfläche kein zurückgeworfenes Licht erhalten können, diese werden vielmehr die dunkle Hinterseite des Schirms spiegeln müssen. So z. B. würde in der Richtung $A J$ Licht gespiegelt werden können,

welches von dem Punkte K des Schirms ausgegangen ist. Zwischen F und H wird also das Auge einen dunklen Theil der Spiegeloberfläche so oft erblicken müssen, als nicht der Rand des Schirms der spiegelnden Fläche ganz dicht anliegt. Man kann sich von der Richtigkeit des Gesagten an jeder spiegelnden convexen Fläche, z. B. eines gewölbten metallenen Knopfes, überzeugen, für welche man sich ein passendes dunkles Diaphragma mit runder Öffnung gemacht hat. Nur wenn der Rand der Öffnung dicht an der Fläche liegt, reichen die Spiegelbilder, welche sie von äußeren Gegenständen entwirft, bis an den Rand des Diaphragma. Ist dagegen zwischen letzterem und der spiegelnden Fläche ein kleiner Zwischenraum, so sieht man an dem dem Auge gegenüberliegenden Rande der Öffnung eine dunkle Linie sich zwischen die Spiegelbilder und den Rand der Öffnung einschieben.

Die Flächen der Linse reflectiren ebenfalls Licht, aber sehr wenig. Man sieht diese Reflexe¹, wenn sich das Auge in einem dunklen Zimmer befindet, in welchem nur ein Licht enthalten ist. Man stellt das Licht vor dem Auge, etwas seitlich von der nach vorn verlängerten Augenaxe, auf. Der Beobachter sieht von der andern Seite her in das Auge, so daßs seine Gesichtslinie etwa denselben Winkel mit der Augenaxe macht, wie das einfallende Licht. Neben dem bekannten hellen Reflexe der Hornhaut sieht er dann zwei andere sehr viel schwächere. Der gröfsere von beiden bildet ein aufrechtes, ziemlich verwaschenes Bild der Flamme und rührt von der vorderen Linsenfläche her, der kleinere bildet ein schärferes umgekehrtes Bildchen und wird von der hinteren Linsenfläche entworfen. Von den Augenärzten werden diese Reflexe die SANSONSchen Bildchen genannt. Wenn man die Stellung des Lichts oder des eigenen Auges verändert, während man sie beobachtet, verändert sich auch die Stellung der Bildchen, und so gelingt es leicht, das erstgenannte derselben, das der vorderen Linsenfläche, bis an jede beliebige Stelle des Randes der Pupille zu führen. Man sieht es dann stets, auch an dem dem Beobachter gegenüberliegenden Rande der Pupille, bis dicht an die Iris rücken, ohne zwischenliegende schwarze Linie. Wenigstens ist dies unter normalen Umständen ohne

¹ Entdeckt von PURKINJE. S. dessen Abhandlung: *De examine physiologico organi visus et syst. cutanei*. Vratisl. 1823. Zur Diagnose von Krankheiten benutzt von SANSON (*Leçons sur des maladies des yeux*. Paris 1837). Ihr Ursprung ist genauer bestimmt durch H. MEYER, *Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin*. 1846. Bd. V.

künstliche Erweiterung der Pupille, so viel ich gefunden habe, stets der Fall, und daraus folgt mit Bestimmtheit, daß der Pupillarrand der Iris der Linse anliegt.

Die Entfernung der Pupillenfläche von dem Scheitel der Hornhaut ist von C. KRAUSE an durchschnittenen Augen gemessen worden. Indessen ist die Verbindung der Linse mit der Sclerotica durch die Ciliarfortsätze keine so straffe, daß nicht nach der Durchschneidung beträchtliche Verschiebungen eintreten sollten.

Davon, daß die Pupillarfläche hinter einer durch den äußeren Rand der Hornhaut gelegten Ebene liegt, kann man sich am lebenden Auge überzeugen, wenn man es so von der Seite ansieht, daß die Pupille hinter dem Rande der Sclerotica zu verschwinden beginnt. Man sieht alsdann, wie in *Fig. 12*, perspectivisch vor der Pupille einen helleren Streifen, ein verzogenes Bild der Iris, und vor diesem am Rande der Hornhaut einen dunkleren Streifen, den jenseitigen über die Hornhaut greifenden Rand der Sehnenhaut. Bewegt der Beobachter sein Auge noch weiter zurück, so verschwindet ihm die Pupille und Iris ganz, und hinter dem noch sichtbaren Teile der Hornhaut erscheint nur noch der jenseitige Scleroticalrand. Da die Lichtstrahlen, welche einmal durch die Hornhaut in die wässrige Feuchtigkeit eingetreten sind, geradlinig durch diese fortgehen, so folgt daraus, daß die Iris weiter zurück liegt, als eine die äußeren Ränder der Hornhaut verbindende Linie.

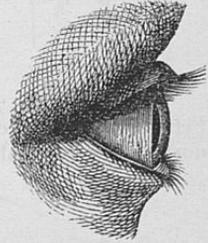


Fig. 12.

Kennt man den Krümmungsradius im Scheitel der Hornhaut, so kann man die Distanz der Pupillenfläche vom Scheitel der Hornhaut am lebenden Auge ziemlich genau bestimmen, indem man die scheinbare Lage der Iris im Verhältnis zur scheinbaren Lage eines von der Hornhaut gespiegelten Lichtpunktes bestimmt. Das Spiegelbild eines entfernten Lichtpunktes liegt ein wenig hinter der Fläche der Pupille, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man von verschiedenen Seiten das Auge ansieht, und die perspectivische Lage des Lichtpunktes zu den Rändern der Pupille sich merkt.

Ist *a b* in *Fig. 13* die Pupille, *c* der scheinbare Ort des gespiegelten Lichtpunktes, sind *d c* und *f c* zwei verschiedene Richtungen, aus denen der Beobachter nach dem Punkte *c* hinblickt, so wird dieser Punkt von *d* aus gesehen hinter dem Punkte *g* der Pupillarebene, also scheinbar näher an *a*, von *f* aus hinter dem Punkte *h* scheinbar näher an *b* liegen; wie es auch in Wirklichkeit der Fall ist. Man würde nun die Lage des Punktes *c* am einfachsten genau bestimmen können, wenn man seine scheinbare perspectivische Entfernung von den beiden Rändern der Pupille mässe, was mit dem Ophthalmometer ausführbar wäre. Aber hierbei sind die fast fortdauernden Schwankungen der Weite der Pupille hinderlich.

Ich fand es deshalb vorteilhafter, etwas anders zu verfahren. Es seien andern betreffenden Auge die elliptischen Axen der Hornhaut gemessen worden, und die Lage der Gesichtslinie zu ihnen bekannt. Steht dann vor dem Auge ein Licht, dessen Stellung in Bezug auf die Gesichtslinie ebenfalls bekannt ist, so läßt sich aus den bekannten Gesetzen der kugligen spiegelnden Flächen leicht der scheinbare Ort des von der Hornhaut entworfenen Spiegelbildes berechnen. Wir nehmen also im folgenden die Lage dieses Spiegelbildes immer als bekannt an. Sucht man nun eine solche Stellung des Lichts, des Fixationspunktes und des Ophthalmometers, daß man von den durch letzteres erblickten Doppelbildern des Lichtpunktes auf der Hornhaut gleichzeitig das eine mit dem einen Rande der Pupille, das andere mit dem andern zum Decken bringen kann: so folgt daraus, daß von dem Orte des Ophthalmometers aus gesehen der gespiegelte Lichtpunkt

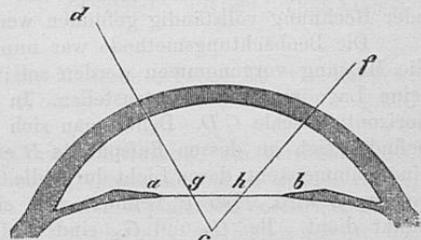


Fig. 13.

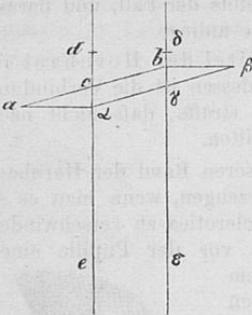


Fig. 14.

perspectivisch hinter dem Mittelpunkte der Pupille liegt. Es seien in Fig. 14 die beiden Linien $e d$ und $\epsilon \delta$ parallel der Fernrohraxe des Ophthalmometers, $a b$ und $\alpha \beta$ die beiden Doppelbilder des horizontalen Durchschnitts der Pupille. Wir nehmen an, daß der Mittelpunkt der Pupille, das Licht, die Axe des Fernrohrs, die Gesichtslinie des beobachteten Auges alle in derselben Horizontalebene liegen. Nach der oben in §. 2 gegebenen Theorie dieses Instruments müssen alle Verbindungslinien entsprechender Punkte der beiden Doppelbilder gleich lang und senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs, die beiden Doppelbilder selbst aber congruent sein. Danach ist also $a a$ gleich und parallel $b \beta$, und $a b$ gleich und parallel $\alpha \beta$. Es seien nun d und δ die entsprechenden Doppelbilder des Lichtpunktes, und es sei eine solche Stellung des Auges gefunden, bei der d von α gedeckt wird und δ von γ , d. h. wo die der Fernrohraxe parallele Linie $d e$ durch α und $\delta \epsilon$ durch b geht. Da $d \delta$, $a a$ und $b \beta$ normal zu den Parallelen $d e$ und $\delta \epsilon$ sind, ist

$$\begin{aligned} d \delta : b \beta &= \alpha \gamma : \gamma \beta, \\ d \delta : a a &= c b : a c. \end{aligned}$$

Da nun aber die Entfernungen entsprechender Punkte der Doppelbilder gleich sind, ist

$$d \delta = a a = b \beta,$$

folglich auch

$$\begin{aligned} \alpha \gamma &= \gamma \beta \text{ und} \\ c b &= a c. \end{aligned}$$

Die Punkte c und γ , hinter welchen die Lichtpunkte d und δ perspectivisch erscheinen, sind also die Mittelpunkte der Pupillen.

Es ist nun leicht, durch passende Abmessungen zu ermitteln, welchen Winkel die Linie $e d$ oder die Axe des Fernrohrs mit der Gesichtslinie des beobachteten Auges macht. Dann ist die Lage der Linie $e d$ im Horizontalschnitt des Auges gegeben durch einen Punkt (Lichtbild auf der Hornhaut) und den Winkel, den sie mit einer anderen Linie von bekannter Richtung, der Gesichtslinie, bildet. In dieser Linie $e d$ liegt auch der Mittelpunkt der Pupille.

Dann braucht man nur noch eine zweite Beobachtung derselben Art zu machen, wobei man von einer anderen Richtung her in das beobachtete Auge sieht. Man bekommt dann eine zweite gerade Linie von bekannter Lage, in welcher der Mittelpunkt der Pupille liegt. Dieser muß also dort liegen, wo die beiden betreffenden Linien sich schneiden, und seine Entfernung von der Hornhaut kann endlich durch Construction oder Rechnung vollständig gefunden werden.

18 Die Beobachtungsmethode war nun folgende: A (Fig. 15) ist das Auge, an welchem die Messung vorgenommen werden soll; es sieht durch die Öffnung eines Schirms, um seine Lage annähernd festzustellen. In einiger Entfernung von ihm befindet sich eine horizontale Scale $C D$. Denkt man sich vom Auge A ein Loth auf die Scale gefällt, so befindet sich an dessen Fußpunkte B ein Schirm mit einer kleinen Öffnung, hinter der eine Flamme steht, deren Licht durch die Öffnung auf das Auge fällt, und von der Hornhaut gespiegelt wird. Bei F befindet sich ein verschiebbares Zeichen, welches als Gesichtspunkt dient. Bei G_1 und G_2 sind die Stellungen angedeutet, die man dem Ophthalmometer nach einander giebt, beide gleichweit von B entfernt. Für die drei Füße des Fernrohrs macht man Marken auf dem Tische, da die Stellung des Fernrohrs während des Versuchs gewechselt wird. Das Auge A wird nun angewiesen, fortdauernd nach dem Zeichen F hinzusehen und allen Bewegungen desselben zu folgen. Der Beobachter, welcher zuerst von G_1 aus beobachten möge, dreht die Glasplatten des Ophthalmometers so weit, bis von den Doppelbildern des hellen Pünktchens auf der Hornhaut das eine mit dem einen Pupillarrande zusammentrifft. Trifft dann das andere nicht

gleichzeitig auf den anderen Rand, so verschiebt er das Zeichen *F* so lange an der Scale, bis dies der Fall ist, und merkt den Theilstrich der Scale, wo *F* steht. Dasselbe Verfahren wird wiederholt bei der zweiten Stellung des Ophthalmometers in *G*₂.

Die Länge *AB* ist in Scalenthellen zu messen; daraus ist der Winkel *FAB* zu finden.

$$\frac{FB}{AB} = \text{tang. } \angle FAB.$$

Ist *AH* die große Axe des Hornhautellipsoides und der Winkel *FAH* schon bekannt, so ergibt sich daraus *BAH*, welchen Winkel man braucht, um die Lage des Spiegelbildes der Hornhaut zu bestimmen. Eben so bestimmt man den Winkel *G₁AH*, welcher die Richtung bestimmt, in welcher der Beobachter in das Auge gesehen hat. Der Mittelpunkt der scheinbaren Pupille (d. h. wie diese durch die Hornhaut erscheint) liegt dann also in einer mit *G₁A* parallelen Linie, welche durch den scheinbaren Ort des Hornhautbildchens gelegt ist.

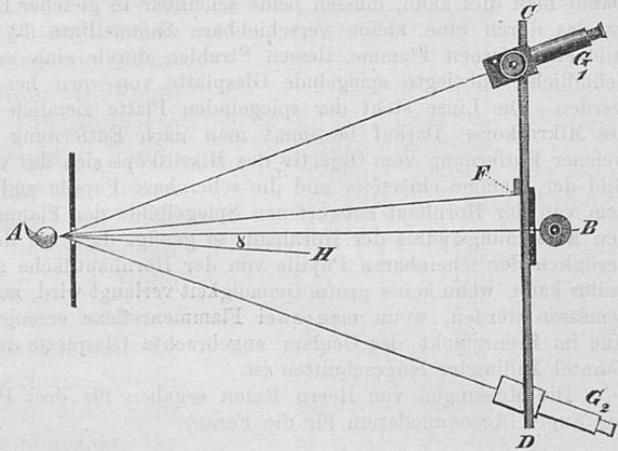


Fig. 15.

Wie aus der scheinbaren Lage des Mittelpunktes der Pupille seine wirkliche Lage berechnet werden kann, wird sich in § 9 und 10 ergeben¹.

Die Resultate für die drei Augen, für deren Hornhäute ich die Abmessungen mit dem Ophthalmometer bestimmt habe, waren folgende:

	O. H.	B. P.	J. H.	
Abstand der Pupillarebene vom Scheitel der Hornhaut	scheinbar	3,485	3,042	3,151
	wirklich	4,024	3,597	3,739
Abstand des Mittelpunktes der Pupille von der Hornhautaxe nach der Nasenseite	scheinbar	0,037	0,389	0,355
	wirklich	0,032	0,333	0,304

Die Bestimmungen von KNAPP² nach derselben Methode ergaben für vier Augen: ⁿ 3,692; 3,707; 3,477; 3,579 mm. ADAMÜCK und WOINOW³ fanden 3,998; 3,237; 2,900 und 3,633 mm.

DONDERS⁴ construirte für diese Messung das Cornealmikroskop, ein verschiebbares, schwach vergrößerndes Mikroskop, dessen Verschiebung genau abgelesen werden kann, und welches man zuerst auf die (nöthigenfalls mit Kalomel bepuderte) Vorderfläche der Hornhaut, dann auf den Pupillarrand einstellt. Die Verschiebung ergibt zunächst die scheinbare Tiefe der Kammer, aus der die wahre zu berechnen ist.

¹ H. HELMHOLTZ, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie*. I. (2) S. 31. 1854.

² H. KNAPP, *Krümmung der Hornhaut*. Heidelberg 1859. p. 30. — *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* VI. (2) S. 1. 1860.

³ E. ADAMÜCK und M. WOINOW, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie*. XVI. (1) S. 144. 1870.

⁴ F. C. DONDERS, 1872 dem Londoner Ophthalmologischen Congress mitgetheilt. *Zehender's Monatsblätter für Augenheilkunde*. 1872. p. 300.

Eine etwas abweichende Methode ist von den Herren MANDELSTAMM und SCHOELER¹ im Berliner Physikalischen Laboratorium ausgeführt, und später von Herrn REICH² angewendet und vollständiger beschrieben. Dabei sucht man das Mikroskop gleichzeitig auf den Rand der Pupille und ein von der Cornea entworfenes Spiegelbild einzustellen. Damit man dies kann, müssen beide scheinbar in gleicher Ebene liegen. Das Cornealbild ist das durch eine kleine verschiebbare Sammellinse ($3\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite) entworfene Bild einer fernen Flamme, dessen Strahlen durch eine zwischen Mikroskop und Auge befindliche unbelegte spiegelnde Glasplatte von vorn her auf die Hornhaut geworfen werden. Die Linse steht der spiegelnden Platte ziemlich nahe seitwärts von der Axe des Mikroskops. Darauf bestimmt man nach Entfernung des beobachteten Auges, in welcher Entfernung vom Objectiv des Mikroskops sich das von der Linse projectirte reelle Bild der Flamme einerseits und die scheinbare Pupille andererseits befanden, welche mit dem von der Hornhaut entworfenen Spiegelbilde der Flamme zusammenfiel. Kennt man den Krümmungsradius der Hornhaut, so genügt dies, um den Abstand des Spiegelbildes, bezüglich der scheinbaren Pupille von der Hornhautfläche zu berechnen. Der Hornhautradius kann, wenn keine große Genauigkeit verlangt wird, auch mit dem Cornealmikroskop gemessen werden, wenn man zwei Flammenreflexe erzeugt, und deren Abstand durch eine im Brennpunkt des Oculars angebrachte Glasplatte misst, auf die eine Scala von Zehntel Millimeter eingeschnitten ist.

Die Messungen von Herrn REICH ergaben für drei Personen im Ruhezustand des des Auges (Accommodation für die Ferne):

Wirkliche Tiefe der vorderen Kammer in Millimeter.

	Ophthalmometer	Mikroskop
H. H.	3,6696	3,639
H. G.	3,636	3,708
H. S.	—	3,6516

Herr REICH fand, daß Wiederholung der Messungen dieser Tiefe mit dem Mikroskop bessere Übereinstimmung ergab, als mit dem Ophthalmometer. In der That könnten Schwankungen in der Weite der Pupille einen nachtheiligen Einfluß bei der letzteren Messung haben, wenn dabei auch der Mittelpunkt der Pupille seine Lage ändern sollte.

19 Daß die Iris der Linse anliege und nach vorn gewölbt sei, ist von den Anatomen vielfach bestritten worden. Die älteren Anatomen nahmen es an, bis namentlich PETIT, auf Grund seiner Untersuchungen an gefrorenen Augen, das Gegentheil behauptete und zwischen Iris und Linse die sogenannte hintere Augenkammer annahm. In gefrorenen Augen findet man bald dünne Eisblätter zwischen Iris und Linse, bald nicht. Der Meinung von PETIT folgten fast alle späteren Anatomen, bis in der neuesten Zeit STELLWAG VON CARION und CRAMER sich wieder für die enge Anlagerung der Iris an die Linse erklärten. Ich selbst fand es möglich, in der oben beschriebenen Weise directe Beobachtungen dafür zu liefern, welche mir keinen Zweifel übrig zu lassen scheinen.

§ 4. Die Netzhaut.

Die Netzhaut (*Retina*) ist eine flächenförmige Ausbreitung von Nervenmasse, im Hintergrunde des Auges zwischen Aderhaut und Glaskörper gelegen. Sie ist frisch ziemlich durchsichtig, an toten Augen weißlich trübe.

¹ L. MANDELSTAMM u. H. SCHOELER, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XVIII. (1) S. 155. 1872.

² M. REICH, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XX. (1) S. 207. 1874.

Im Hintergrunde des Auges ist sie am dicksten (0,22 mm); man bemerkt hier etwas nach der Nasenseite zu die weiße Eintrittsstelle des Sehnerven (*d* in *Fig. 1*, S. 3) und etwas nach der Schläfenseite hinüber (bei *p*) einen gelben Fleck (*Macula lutea Retinae*), die Stelle des deutlichsten Sehens. Nach vorn zu wird die Netzhaut dünner (am vorderen Rande 0,09 mm) und endet da, wo die Ciliarfortsätze beginnen, mit einem gezackten Rande (*Ora serrata Retinae*), wenigstens hören hier ihre nervösen Elemente auf. Sie ist an dieser Stelle eng verbunden mit der Aderhaut und Glashaut (der Hülle des Glaskörpers), und die membranösen Gebilde, welche hier ihre anatomische Fortsetzung bilden (*Pars ciliaris Retinae* und *Zonula Zinnii*), haben eine ganz andere Structur und physiologische Bedeutung.

Die Netzhaut besteht theils aus den gewöhnlichen mikroskopischen Bestandtheilen des Nervensystems, Nervenfasern, Ganglienkörpern, Kernen, theils aus eigenthümlichen, den Stäbchen (*Bacilli*) und Zapfen (*Coni*). *Fig. 16* stellt einen vergrößerten Durchschnitt der Netzhaut des Menschen dar, entworfen von MAX SCHULTZE, in den Dimensionen geändert von SCHWALBE. Die Reihe der Schichten, von der vorderen am Glaskörper anliegenden Schicht beginnend, ist die folgende:

- 1) *Membrana limitans interna*, eine glashelle elastische Haut.
- 2) Nervenfaserschicht, Fortsetzung der Fasern des Sehnerven, die sich von dessen Eintrittsstelle radial über die ganze Netzhaut ausbreiten mit Ausnahme des gelben Flecks, den sie umgehen. In der Umgebung des Nervenstamms ist diese Schicht daher am dicksten (0,2 mm), nach den Grenzen der Netzhaut hin viel dünner. Es sind in Bündel zusammengefasste blasse marklose Fasern von sehr verschiedener Dicke (0,0005 bis 0,003 und 0,005 mm), im frischen Zustande mit parallelen, glatten Rändern, nach Einwirkung von Reagentien treiben sie an einzelnen Stellen varicos auf.
- 3) Die Ganglienzellenschicht: *Fig. 17* zeigt in *A* zwei solche Zellen aus der frischen Netzhaut des Rindes, *B* aus dem gelben Fleck des Menschen. Sie haben große Kerne mit Kernkörperchen, um diese einen feinkörnigen weichen, in Wasser nicht zerfließenden Markgehalt. Sie zeigen regelmäsig

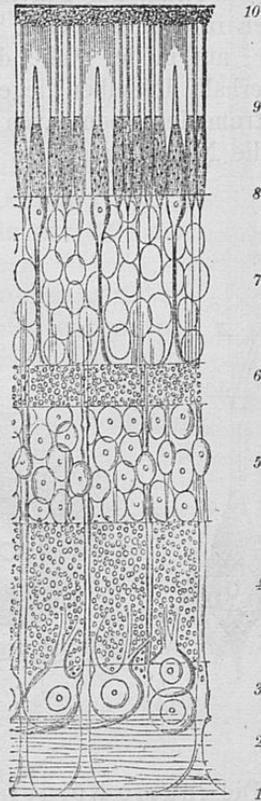


Fig. 16.

je einen in eine Faser der vorigen Schicht übergehenden Fortsatz (*a, a*), und einen oder auch (namentlich die größeren Zellen) mehrere, sich zum Theil verästelnde Fortsätze *b*, welche in die folgenden Schichten eintreten. Beim Menschen beträgt der Durchmesser der Zellen zwischen 0,01 und 0,03 mm; sie liegen in dem größeren Theile der Netzhaut in einfacher Schicht neben einander; nur in der Nähe des gelben Flecks drängen sie sich zusammen, und innerhalb desselben liegen bis 8 oder 10 Schichten übereinander, während das Centrum desselben davon frei bleibt, und deshalb als eine vertiefte dünne Stelle, die Netzhautgrube (*fovea centralis*), erscheint.

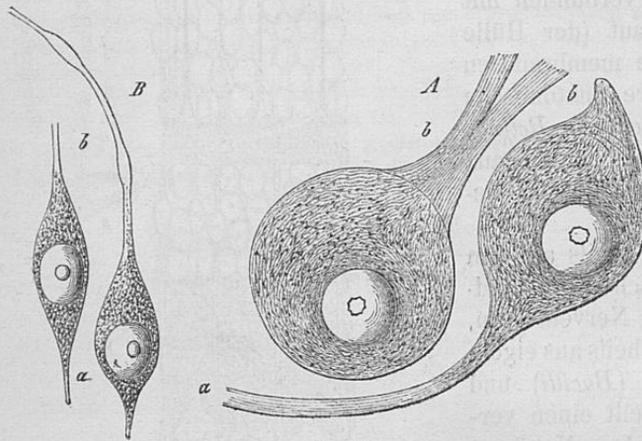


Fig. 17.

4) Die innere granulirte Schicht, eine schwer zu entwirrende Masse einer feinkörnigen Grundsubstanz, durchzogen von feinsten blassen Nervenfasern, die wohl aus den Fortsetzungen der Ganglienzellen hervorgehen, und sehr feiner bindgewebiger und elastischer Stützfasern, welche sich überhaupt zwischen allen andern Elementen der Netzhaut von der inneren zur äußeren *Membrana limitans* hinziehen.

5) Die innere Körnerschicht (äußere Nervenzellen HENLE), der Ganglienzellen ähnlich; nur sind diese Körner viel kleiner, umschließen ziemlich eng ihren Kern. Auch diese senden je einen sehr feinen Fortsatz central, d. h. in die vorausgehende Schicht, dagegen mehrere, theilweis verästelte peripher ab. Außer den Körnern, die den Nervenzellen entsprechen, finden sich noch Kerne des Stützfasersystems in dieser Schicht vor.

6) Die äußere granulirte Schicht von sehr räthselhafter Structur; platte vielstrahlige Zellen mit Kernen liegen der Fläche der Netzhaut parallel, zwischen ihren Rändern bleiben Öffnungen; feinste Nervenfasern scheinen ebenfalls der Fläche parallel zu ziehen; daneben ein engmaschiges Netzwerk scharfer gezeichneter Fasern.

7) Die äußere Körnerschicht.

8) Die *Membrana limitans externa*.

9) Stäbchen und Zapfen. Fig. 18 zeigt neben einander ein Stäbchen und einen Zapfen vom Menschen nach MAX SCHULTZE. *ll* bezeichnet die Stellen, wo sie in die *Limitans externa* eingefügt sind. Sie stehen auf der

äusseren, nach der *Uvea* gekehrten Fläche dieser Membran palissadenförmig nebeneinander gedrängt, so daß sie von der Fläche gesehen ein regelmässiges Mosaik bilden. Die Zapfen haben ein dickeres Innenglied, als die Stäbchen, und ein kürzeres Aufsenglied. In der Netzhautgrube finden sich nur Zapfen, aber von etwas geringerem Durchmesser (0,003 mm) und länger (bis zu 0,06 und 0,1 mm), überhaupt den Stäbchen ähnlicher, während die Dicke ihrer Innenglieder in andern Theilen der Netzhaut bis zu 0,0045 und 0,0067 mm wächst, ihre Länge nur 0,032 bis 0,036 mm beträgt. Die Stäbchen sind etwa 0,002 dick und in der Mitte der Netzhaut 0,06 mm lang, am Rande nur 0,04 mm. Die Form des Mosaiks ist nach MAX SCHULTZE in *Fig. 19* aus der Umgebung des gelben Flecks, in *Fig. 20* von einer peripherischen Stelle der Netzhaut dargestellt. Die Zapfen entsprechen den breiteren weissen Stellen; der kleine Kreis in der Mitte derselben entspricht dem dünnen Aufsengliede.

Stäbchen und Zapfen zerfallen, ein jedes in zwei verschiedenartige Hälften, das Innenglied und das Aufsenglied. Die Aufsenglieder bestehen aus einer sehr durchsichtigen, übrigens doppeltbrechenden Substanz, die in ihren Reactionen dem Nervenmark ähnlich erscheint. Frisch erscheinen sie mit feiner Längsstreifung, was von einer Canellirung ihrer Oberfläche herzurühren scheint. Dagegen haben sie die Neigung in eine Reihe von feinen Querscheibchen zu zerfallen, wie dies am Aufsengliede des Zapfens,

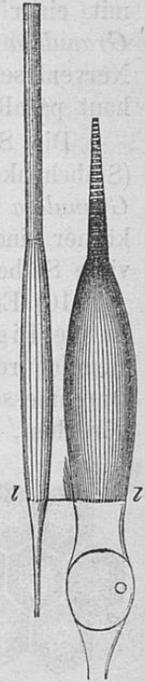


Fig. 18.

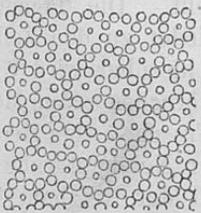


Fig. 19.

Fig. 18, angedeutet ist. MAX SCHULTZE sah eine entsprechende äusserst feine Querstreifung, „haarscharf, wie in Kupfer gestochen“ auch an frischen Objecten. Bei Meerschweinchen fand er die Abstände je zweier Querlinien gleich 0,00087 mm und etwa 16 Plättchen in der Länge des Aufsengliedes.

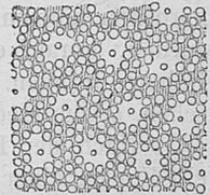


Fig. 20.

Die Aufsenglieder der Stäbchen enthalten ein rothes, durch Licht zerstörbares Pigment, den Sehpurpur, über dessen näheres Verhalten wir im § 18 weiter berichten werden.

Die Innenglieder erscheinen frisch blafs und feinkörnig; durch Reagentien treten eigenthümliche Körper (Opticus-Ellipsoide, KRAUSE; Fadenapparat, M. SCHULTZE) beim Menschen am äusseren Ende hervor. Bei Vögeln, Reptilien und Amphibien liegen in ihrem hinteren Ende gelb und roth gefärbte Öltröpfchen.

Nach innen hin, aber an der andern Seite der *Limitans externa* liegend, schliesst sich an jedes Zapfeninnenglied ein Zapfenkorn (*Fig. 16* zwischen 8 und 6) an, von dem eine Faser, die Zapfenfaser, durch die äussere Körnerschicht bis zur Grenze der äussern granulirten Schicht läuft, um hier

mit einer kegelförmigen Anschwellung zu endigen. Von der gegen die *Granulosa externa* gekehrten Basis des Kegels gehen feine Fäserchen, feinen Nervenfasern in den Reactionen ähnlich, ab, die sich der Fläche der Netzhaut parallel in die genannte Schicht einsenken.

Die Stäbchen gehen spitz in feinere Fasern über, welche je ein Korn (Stäbchenkorn) in ihrem Verlauf enthalten, und bilden schliesslich an der *Granulosa externa* ein kleinere kolbenförmige Anschwellung. Die Stäbchenkörner sind quergestreift und liegen an denjenigen Stellen der Netzhaut, wo viele Stäbchen vorkommen, in vielen Lagen über einander.

10) Endlich die letzte Schicht der Netzhaut, die an die Aderhaut stößt, ist die Pigmentschicht. Von der äusseren Fläche her gesehen, zeigt sie ziemlich regelmässig sechseckig abgegrenzte Zellen von 0,012 bis 0,018 mm Durchmesser (*Fig. 21a*). Sie enthalten im Inhalt längliche schwarze Pigmentkörnchen, die wie kleine nadelförmige Krystalle aussehen. *Fig. 21 b* zeigt

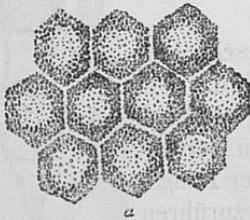


Fig. 21.

in einer Seitenansicht der Pigmentzellen die grosse Zahl feiner Ausläufer, welche sich in die Zwischenräume zwischen die Stäbchen hineinziehen, mindestens bis zur Grenze zwischen Aufsglied

und Innenglied. Eine Zelle, an welcher Aufsglieder von Stäbchen zwischen diesen Ausläufern festhängen, ist in *Fig. 21 c* dargestellt. Die Pigmentkörnchen können in die Fortsätze hineinwandern, und wieder zu den Zellen zurück, worauf ebenfalls das Licht Einfluss hat. Auch hierüber wird § 18 Näheres bringen. *Fig. 22* zeigt nach FRISCH die Pigmentkörnchen *a* vom Menschen, *b* vom Meerschweinchen, *c* von der Taube, *d* vom Frosch, *e* vom Hecht.

Nach der Beobachtung von BOLL entspricht in der Netzhautgrube je ein Zapfen einer Pigmentzelle, während gegen den Rand der Netzhaut hin bis zu 15 Stäbchen auf einer Pigmentzelle befestigt sind, und die Zellen Sechsecke bilden, die in meridionaler Richtung etwas verlängert sind.

21 Der gelbe Fleck, für das Sehen der wichtigste Theil der ganzen Netzhaut, unterscheidet sich von den übrigen Theilen durch seine gelbe Farbe, welche von einem alle Theile mit Ausnahme der Stäbchenschicht durchdringenden Pigmente herrührt. Ihm fehlt die Nervenfaserschicht, und in der Stäbchenschicht finden sich nur Zapfen. In seiner Mitte befindet sich eine sehr durchsichtige vertiefte Stelle, die schon erwähnte Netzhautgrube (*Fovea centralis*), welche leicht einreißt und daher früher für eine Öffnung gehalten wurde. Die Nervenzellenschicht ist am Umfang des gelben Flecks stärker als in sämtlichen übrigen Theilen der Netzhaut, in der *Fovea centralis* wird sie aber wieder dünner, und enthält nur wenige Lagen von Zellen über einander; die granulöse Schicht fehlt vielleicht in der Mitte ganz. Die

innere Körnerschicht und Zwischenkörnerschicht nehmen gegen den gelben Fleck hin bedeutend zu, während die äußere Körnerschicht dünner wird. In der Netzhautgrube verdünnt sich nach H. MÜLLER auch die innere Körnerschicht. Nach REMAK und KÖLLIKER fehlen in der *Fovea centralis*

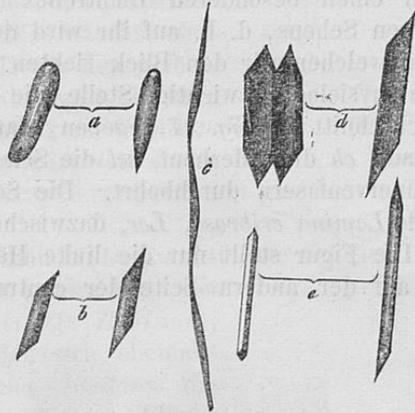


Fig. 22.

alle Schichten außer den Nervenzellen und Zapfen. Zwischen letzteren und der Aderhaut soll nach REMAK hier eine intensiv gelbe glashelle Substanz liegen.

Fig. 23 zeigt einen Durchschnitt der Netzhautgrube nach HENLE; *b* sind

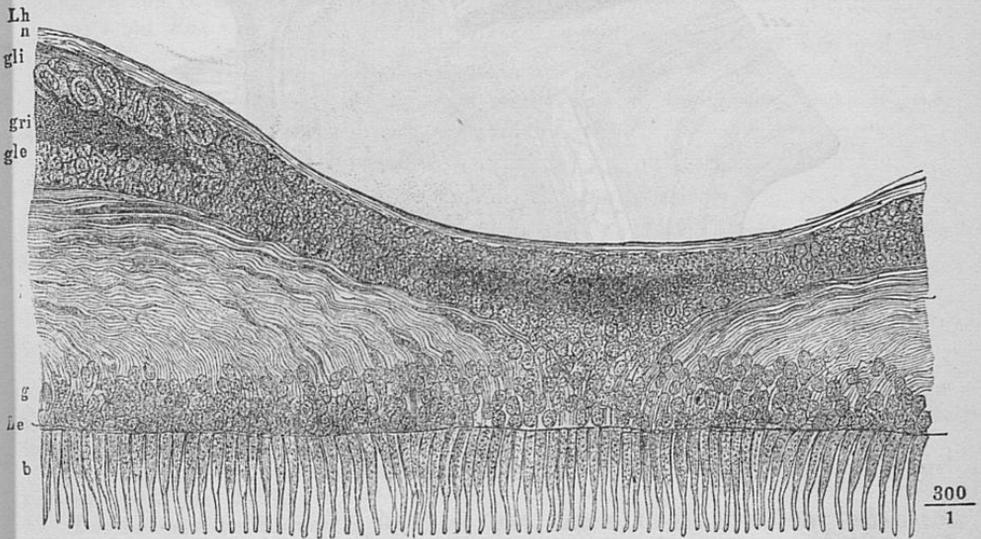


Fig. 23.

die Zapfen, *Le* die *Limitans externa*, *g* die Zapfenkörner, deren ganz schräg verlaufende Fasern *f* die Verbindung mit den zur Seite gelagerten

Körnern und Ganglienzellen der vorderen Schichten herstellen. Weiter ist *gle* die äußere gangliöse Schicht, *gri* die innere granulierte, *gli* die innere gangliöse, *n* die Nervenfaserschicht, *Lh* die *Limitans hyaloidea* oder *interna*.

21 Auch bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel markirt sich die Netzhautgrube durch einen besonderen Lichtreflex (s. § 16). Sie enthält den Punkt des directen Sehens, d. h. auf ihr wird der Punkt des Gesichtsfeldes abgebildet, auf welchen wir den Blick richten.

n Für eine andere physiologisch wichtige Stelle, die Eintrittsstelle des Sehnerven ist ein Durchschnitt in *Fig. 24* gegeben; darin sind *oo* die Faserbündel, *r* die Netzhaut, *ch* die Aderhaut, *sc* die Sclerotica, alle drei in der Mitte durch die Sehnervenfasern durchbohrt. Die Sehnervenhaut schiebt eine durchlöcherichte Lamelle *Lamina cribrosa*, *Lcr*, dazwischen. *Vc* ist die centrale Vene des Nerven. Die Figur stellt nur die linke Hälfte des Durchschnitts dar. Sie ist also auf der andern Seite der centralen Vene symmetrisch zu ergänzen.

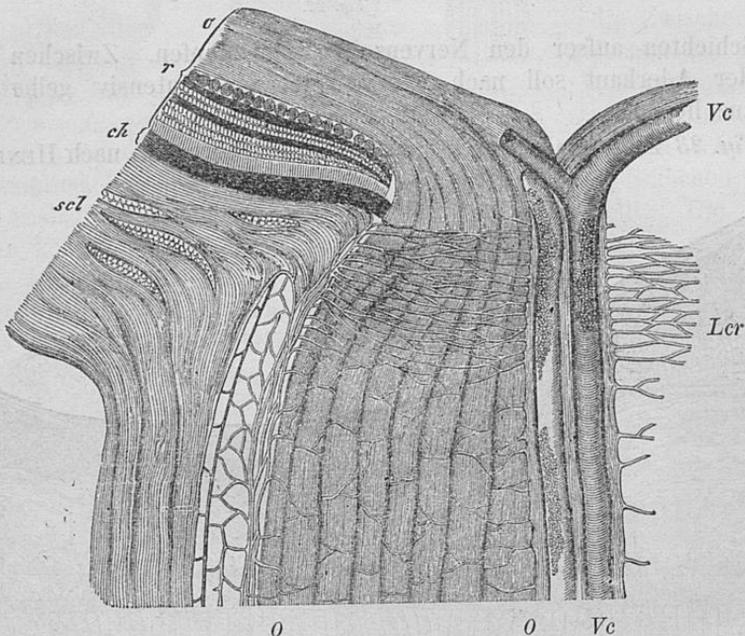


Fig. 24.

21 Die Gefäße der Netzhaut treten in der Mitte des Sehnerven in das Auge (*Arteria und Vena centralis Retinae*), und verästeln sich von da aus baumförmig nach allen Richtungen. Anfangs liegen sie nahe unter der *Membrana limitans interna*, in der Schicht der Sehnervenfasern, später dringen sie auch in

die der Nervenzellen und in die feingranulirte Schicht ein, und verästeln sich ²² in diesen beiden Schichten in ein weitmaschiges Capillargefäßnetz. Die Lage und Form dieses Gefäßbaums ist für gewisse optische Erscheinungen wichtig¹; ich gebe deshalb in *Fig. 25* eine Abbildung desselben, welche von DONDERS nach einem Injectionspräparate gefertigt worden ist. Die Arterien sind hell, die Venen dunkel. In den gelben Fleck treten keine stärkeren Gefäße, in die Netzhautgrube auch keine Capillargefäße ein. Die letztere ist von einem Kranz von Endschlingen capillarer Gefäße umgeben.

An dem vorderen Rande (*Ora serrata*) geht die Netzhaut in eine Lage von Zellen über (*Pars ciliaris Retinae*), welche zugleich mit der sich ebenfalls fortsetzenden *Membrana limitans* die Ciliarfortsätze und die hintere Fläche der Iris, wo sie in Pigmentzellen überzugehen scheinen, überziehen, und diesen Theilen fest anhaften.

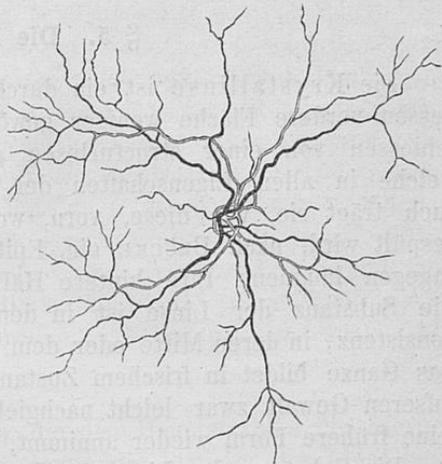


Fig. 25.

Da die Größenverhältnisse der Netzhaut und ihrer Elemente für sehr viele optische Erscheinungen von großer Wichtigkeit sind, gebe ich hier eine Zusammenstellung darauf bezüglicher Messungen älterer Beobachter, auf Millimeter reducirt. Ich bezeichne die Messungen von C. KRAUSE mit *Kr.*, von E. H. WEBER mit *W.*, von BRÜCKE mit *B.*, von KÖLLIKER mit *Ko.*, von VINTSCHGAU mit *V.*

Durchmesser der Eintrittsstelle des Sehnerven *Kr.* 2,7 und 2,14. *W.* 2,09 und 1,71.

Durchmesser des Gefäßstrangs darin *W.* 0,704 und 0,63.

Entfernung der Mitte des Sehnerven von der Mitte des gelben Flecks *W.* 3,8. *Kr.* 3,28 und 3,6. Vom inneren Ende des gelben Flecks *Ko.* 2,25 bis 2,7.

Horizontaler Durchmesser des gelben Flecks *Kr.* 2,25. *W.* 0,76. *Ko.* 3,24.

Verticaler desgl. *Ko.* 0,81.

Durchmesser der Netzhautgrube *Ko.* 0,18 bis 0,225.

Entfernung der *Ora serrata* vom Rande der Iris an der Nasenseite *B.* 6, an der Schläfenseite 7.

Dicke der Netzhaut am Umfang des Sehnerven *Ko.* 0,22.

Desgl. an der hinteren Seite des Augapfels *Kr.* 0,164. *Ko.* 0,135.

Desgl. am Äquator *Kr.* 0,084.

Desgl. am vorderen Rande *Ko.* 0,09.

Dicke der Schichten im gelben Flecke. *Ko.*: Nervenzellen 0,101 bis 0,117; feinkörnige Schicht 0,045; innere Körnerschicht 0,058; Zwischenkörnerschicht 0,086; äußere Körnerschicht 0,058; Zapfen 0,067.

Durchmesser der Nervenzellen *B.* 0,01 bis 0,02. *Ko.* 0,009 bis 0,036, in der Regel zwischen 0,013 und 0,022.

Durchmesser der Körner *B.* 0,006 bis 0,008. *Ko.* 0,004 bis 0,009. Der Zapfenkern *V.* 0,0068.

Durchmesser der Stäbchen *B.* und *Ko.* 0,0018. *V.* 0,0010.

¹ S. unten § 15.

Länge der Stäbchen *B.* 0,027 bis 0,030. *Ko.* 0,063 bis 0,081.

Durchmesser der Zapfen *Ko.* 0,0045 bis 0,0067. *V.* 0,0034 bis 0,0068. Im gelben Flecke *Ko.* 0,0045 bis 0,0054.

Länge der Zapfen *V.* 0,015 bis 0,020.

23

§ 5. Die Krystalllinse.

Die Krystalllinse ist ein durchsichtiger, farbloser, biconvexer Körper, dessen vordere Fläche weniger gewölbt ist als die hintere. Sie wird umschlossen von einer structurlosen glashellen Membran (Linsenkapsel), welche in allen Eigenschaften der DESCHEMETSchen Membran entspricht; auch trägt sie, wie diese, vorn, wo sie von der wässrigen Feuchtigkeit bespült wird, nach BRÜCKE ein Epithelium, welches HENLE und KÖLLIKER dagegen läugnen. Ihre hintere Hälfte ist mit der Glashaut verwachsen. Die Substanz der Linse ist in den äußeren Schichten von gallertartiger Consistenz, in deren Mitte oder dem Kerne der Linse dagegen consistenter. Das Ganze bildet in frischem Zustande einen elastischen Körper, der jeder äußeren Gewalt zwar leicht nachgiebt, aber auch schnell und vollkommen seine frühere Form wieder annimmt.

Die Substanz der Linse ist doppeltbrechend. Wenn man sie zwischen zwei gekreuzten NICOLSchen Prismen betrachtet, sieht man das schwarze Kreuz mit farbigen Ringen, welches senkrecht zur optischen Axe geschnittene einaxige Krystalle zeigen.

Die Masse der Linse besteht aus einem eigenthümlichen Proteinkörper, dem Globulin oder Krystallin. Ihre mikroskopischen Elementartheile sind Fasern von sechsseitigem Querschnitt, 0,0056 bis 0,0112 mm breit, 0,002 bis 0,0038 mm dick, im Kerne fester und schmaler als in den äußeren Schichten. Ihre breitere Fläche liegt der Oberfläche der Linse parallel, daher die Linse auch leicht in dieser Richtung in zwiebelartig über einander liegende Schichten spaltet. *Fig. 26* zeigt die Querschnitte der Fasern in ihrer Zusammenlagerung, *Fig. 27* zeigt



Fig. 26.

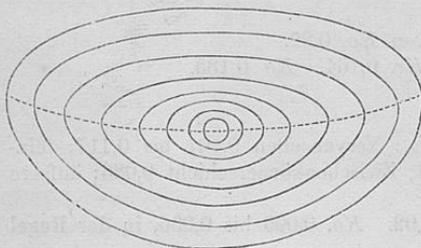


Fig. 27.

Die Fasern haben im Allgemeinen in jeder einzelnen Schicht die Richtung von der Axe der Linse nach ihrer Peripherie hin. Nur in den der Axe näheren Theilen bilden sie, indem sie mit kernhaltigen geschwollenen Enden aneinanderstossen, eigenthümliche sternförmige Figuren, wie eine solche aus den äußeren Linsenschichten in *Fig. 28* abgebildet ist. In den Kernschichten hat der Stern nur drei Strahlen, welche mit einander Winkel von 120° machen. Die Sterne der hinteren und vorderen Fläche sind um 60° gegen einander gedreht. In den äußeren Schichten spalten sich dagegen

die drei Hauptstrahlen der Sterne vielfach in Nebenstrahlen, so dafs viel verwickeltere und unregelmäßigere Figuren entstehen.

Dicht unter der Kapsel liegt statt der Fasern eine Zellschicht, welche nach dem Tode zerfließt und dann den *Liquor Morgagnii* bildet. Ähnliche Zellen verbinden nach BRÜCKE auch die Faserenden in den Strahlen der Sterne wenigstens in den äußeren Schichten, während BOWMAN und KÖLLIKER hier eine structurlose Substanz annehmen. Letzterer erklärt auch die zellenähnlichen Gebilde an der hinteren Linsenfläche für geschwollene und sich gegenseitig abplattende Enden der Linsenfaser, welche sich hier an die Kapsel heften.

In jeder Hälfte der Linse existiren also drei durch die Axe gehende Ebenen, die den Hauptstrahlen der Sterne entsprechen (*central planes*, BOWMAN), in denen die Structur der Linse abweichend ist; in den oberflächlichen Schichten theilen sich diese Flächen noch weiter. Es hängen damit wahrscheinlich gewisse Unregelmäßigkeiten in der Brechung der Lichtstrahlen zusammen.

THOMAS¹ hat eigenthümliche Figuren beschrieben, welche die Faserenden auf Durchschnittsflächen getrockneter Linsen bilden, und welche meist aus zwei Systemen concentrischer Kreise bestehen. Diese sind von CZERMAK² aus dem Faserverlauf der Linse erklärt worden.

Da die Dimensionen der Krystalllinse sich bei der Accommodation des Auges ändern, verschiebe ich die Angaben über ihre Gröfse und die Methoden sie zu messen auf § 10.

§ 6. Wässrige Feuchtigkeit und Glaskörper.

Die wässrige Feuchtigkeit (*Humor aqueus*) füllt den Raum zwischen der Hornhaut, Iris und Linse aus. Den Raum, welcher zwischen der hinteren Fläche der Hornhaut, der vorderen Fläche der Iris und der Pupillarebene liegt, nennt man die vordere Augenkammer. Den Raum dagegen, den man zwischen der Pupillarebene, der hinteren Fläche der Iris und der vorderen Fläche der Linse vorhanden glaubte, nannte man hintere Augenkammer; indessen ist dies in der That im normalen Zustande nur eine capillare Spalte, indem die hintere Fläche der vorderen der Linse dicht anliegt. Nur bei starker künstlicher Erweiterung der Pupille durch *Belladonna* scheint sich die Iris von der Linse zu entfernen.

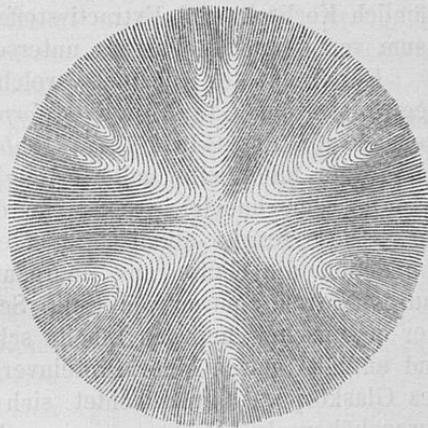


Fig. 28.

¹ THOMAS, *Prager medic. Vierteljahrsschr.* 1854. Bd. I. Aufserord. Beilage. S. 1.
² J. CZERMAK. *Zeitschrift für wissenschaft. Zoologie.* Bd. 7, S. 185. 1885. Die neuesten Untersuchungen über die Structur der Linse finden sich in: OTTO BECKER, *Zur Anatomie der gesunden und kranken Linse*, Wiesbaden. 1883.

Die wässrige Feuchtigkeit füllt also die vordere Augenkammer. Sie ist klar, farblos und besteht aus Wasser, welches etwa 2 Proc. fester Stoffe, nämlich Kochsalz und Extractivstoffe, enthält. Sein Brechungsverhältniß ist kaum von dem des Wassers unterschieden.

Der Raum des Augapfels, welcher zwischen der Linse und der Netzhaut liegt, ist vom Glaskörper (*Corpus vitreum*, *Humor vitreus*) ausgefüllt, welcher von der Glashaut (*Membrana hyaloidea*) umschlossen wird. Der Glaskörper bildet eine gallertartige Masse von wenig Zusammenhang. Wenn man ihn zerschneidet, tropft eine dünne, nicht Faden ziehende Flüssigkeit aus. Diese reagirt alkalisch, und enthält 1,69 bis 1,98 Proc. feste Theile, von denen die Hälfte aus unorganischen Stoffen (Kochsalz, wenig kohlen-saures Natron, Spuren von Kalk, Schwefelsäure und Phosphorsäure) besteht. Der organische Theil des Inhalts scheint hauptsächlich Schleimstoff zu sein, und enthält Spuren einer Proteinverbindung. Auch das Brechungsverhältniß des Glaskörpers unterscheidet sich kaum von dem des Wassers, ist aber etwas höher als das der wässrigen Feuchtigkeit.

Bei Embryonen hat der Glaskörper einen zelligen Bau, später aber findet man von den Zellen nur einzelne Reste, Membranen, Körnerchen, körnige Massen, welche sich in der Flüssigkeit, wenn auch nicht ganz frei, bewegen. Seine Consistenz verdankt der Glaskörper wahrscheinlich einer geringen Menge einer stark aufgequollenen organischen Substanz (Schleimstoff oder Faserstoff). Geringe Mengen Faserstoff, welche sich aus hydropischen Flüssigkeiten abscheiden, geben oft ähnliche leicht bewegliche Gallerten, aus denen die Flüssigkeit ausläuft, wenn man den Zusammenhang des Gerinnsels mechanisch zerstört. Läßt man den Glaskörper in Reagentien, welche den Schleimstoff niederschlagen, z. B. in Lösungen von essigsäurem Bleioxyd oder Chromsäure erhärten, so findet man auf Durchschnitten zuweilen regelmässige Streifungen, von denen es aber noch höchst zweifelhaft ist, ob sie Membranen entsprechen, welche sich durch den Glaskörper hinziehen.

HANNOVER nimmt auf Grund dieser Streifungen an, daß im menschlichen Glaskörper ebene Membranen vorkommen, und sich alle in einer Linie schneiden, die von der Eintrittsstelle des Sehnerven nach der hinteren Fläche der Linse hinübergeht, und daß die Membranen sich von dieser Linie nach dem äußeren Umfang des Glaskörpers hinüberziehen und dort ansetzen, so daß der Bau des Glaskörpers ähnlich dem einer Apfelsine sein würde.

Bei den entoptischen Erscheinungen werde ich die Schlüsse besprechen, welche man daraus auf die Structur des Glaskörpers ziehen kann.

Die Glashaut ist eine sehr feine, glashelle, structurlose Membran, welche im hinteren Theile des Auges der *Membrana limitans interna* der Netzhaut anliegt, und ihr im Leben überall¹, nach dem Tode nur an der Eintrittsstelle des Sehnerven und an der *Ora serrata* fest anhaftet. Von der *Ora*

¹ M. DE VINTSCHGAU in *Sitzber. d. Wiener Akad.* XI. 943. 1853 u. A. BUROW in *J. Müller's Archiv.* 1840.

serrata setzt sie sich, dünner geworden, fort bis zur hinteren Fläche der Linsenkapsel, mit der sie verschmilzt (*Fig. 1. k*), während sich zwischen sie und den Ciliartheil der Netzhaut noch eine andere Membran einschiebt, die *Zonula Zinnii* (*Ligamentum suspensorium lentis*), welche von manchen Anatomen als ein vorderes Blatt der Glashaut bezeichnet wird.

Die Zonula ist wie eine Halskrause gefaltet, so daß sie der Oberfläche der Ciliarfortsätze folgt. Der vordere oder äußere Rand ihrer Falten liegt fest mit der *Membrana limitans* verbunden in der Tiefe zwischen den Falten der Ciliarfortsätze, der hintere oder innere Rand ihrer Falten, welcher den Gipfeln der Ciliarfortsätze entspricht, nähert sich der Glashaut.

In *Fig. 1* ist die Zonula durch die Linie *e* bezeichnet. Rechts fällt sie zwischen zwei Ciliarfortsätze, links zieht sie über den Gipfel eines solchen Fortsatzes hin. In dieser Weise gelangt sie zum Rande der Linse, und setzt sich in einer gewellten Linie an deren Kapsel fest. In *Fig. 29* ist nach BRÜCKE ein Quadrant der Linse, projicirt auf eine durch die Axe *ab* der Linse gelegte Ebene, dargestellt. Die Ansatzlinie der Glashaut ist mit *cd* bezeichnet. Davor sieht man die gezackte Ansatzlinie der

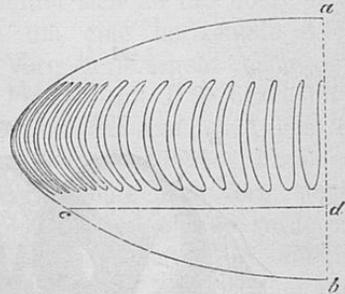


Fig. 29.

Zonula. Nach HENLE würde die gewellte Linie fast ganz auf die vordere Seite der Linse hinüberriesen.

Der spaltenförmige Raum zwischen der Zonula und Glashaut wird *Canalis Petiti* genannt. Wenn man ihn aufbläst, nachdem man die Zonula von vorn frei gelegt hat, treten die eingestülpten Falten der Zonula gewölbt heraus, und das Ganze bekommt das Ansehn einer ionischen Eierleiste; daher nannte ihn sein Entdecker PETIT auch *Canal godronné*. Bei stärkerem Blasen zerreißen die hervorgestülpten Theile der Membran, und es bleiben nur die vorderen Faltenränder wegen ihrer größeren Festigkeit als Stränge stehen, welche die Linse an den Glaskörper anheften. Diese vorderen Faltenränder sind übrigens fest verbunden mit dem Ciliartheile der Netzhaut, der in der Tiefe zwischen den Ciliarfortsätzen hinzieht, und letzterer haftet wieder der Pigmentschicht fest an. Hier finden sich auch Faserzüge vor, welche nach BRÜCKE aus den Fasern herstammen, zwischen welche die Nervenzellen der Netzhaut eingebettet sind. Diese drängen sich in der *Ora serrata* an den Stellen zusammen, die den Zwischenräumen je zweier Ciliarfortsätze entsprechen, und ziehen im Grunde dieser Zwischenräume nach vorn. Die Zonula selbst erklärt BRÜCKE für eine structurlose Membran, während HENLE und KÖLLIKER sie selbst für faserig erklären. Gegen Reagentien sind die Zonula und ihre Fasern so resistent wie elastisches Gewebe.

Die Zonula sichert die Stellung der Linse, indem sie diese an den Ciliarkörper heftet, und kann auch, wenn sie gespannt ist, auf den Aqua-

torialrand der Linse einen Zug ausüben, welcher die Äquatorialdurchmesser der Linse verlängert, ihre Dicke in der Axe verringert, und ihre Flächen abplattet.

§ 7. Umgebung des Auges.

Der Augapfel liegt, in lockeres Fettzellgewebe eingebettet, in der knöchernen Augenhöhle (*Orbita*). Diese hat eine nahehin kegelförmige Gestalt. Die Grundfläche des Kegels ist die vordere Öffnung der Orbita in der Gesichtsfläche, die Spitze des Kegels liegt nach hinten und etwas nach einwärts. In *Fig. 30* ist die Lage der Augen in den beiden Augenhöhlen

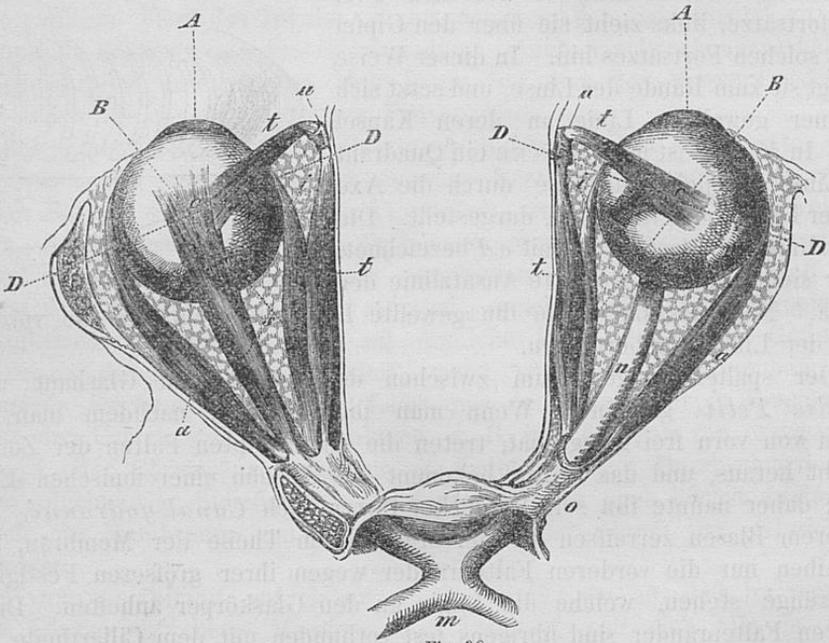


Fig. 30.

dargestellt. Aus der hinteren Seite des Augapfels rechts sieht man den Sehnerven *n* hervortreten, welcher durch ein in der Spitze der Augenhöhle gelegenes Loch *o* (*Foramen opticum*) in die Schädelhöhle eintritt, um sich hier bei *m* im *Chiasma nervorum optico-rum* mit dem der anderen Seite zu vereinigen und zu kreuzen. Die Fortsetzungen der Sehnerven vom Chiasma bis zum Gehirn nennt man die *Tractus optici*. Die Fasern eines jeden *Tractus opticus* gehen theils in den Sehnerven derselben, theils in den der entgegengesetzten Seite über, ein kleiner Theil auch durch den *Tractus opticus* der anderen Seite nach dem Gehirne zurück. Auch wollen einige Beobachter Fasern gefunden haben, welche von dem einen Sehnerven durch das Chiasma in den anderen übergehen.

In der Augenhöhle liegen ferner sechs zur Bewegung des Augapfels 28 bestimmte Muskeln, nämlich

- 1) der innere gerade *i* und
- 2) der äußere gerade *a*. Beide entspringen am Umfange des *Foramen opticum* in der Spitze der Augenhöhle, und setzen sich an die innere und äußere Seite des Augapfels. Sie drehen ihn um seine verticale Axe.
- 3) Der obere gerade in *Fig. 30*-rechts weggenommen, um den Sehnerven zu zeigen, links mit *s* bezeichnet, und
- 4) der untere gerade, welcher ebenso auf der unteren Seite der Orbita liegt, wie der obere hier auf der oberen sichtbar ist. Sie entspringen ebenfalls vom Umfange des *Foramen opticum* und heften sich an die obere und untere Seite des Augapfels. Sie drehen ihn um eine horizontale Axe, welche von der Nasenseite und etwas nach vorn herübergeht nach der Schläfenseite und etwas nach hinten, und in *Fig. 30* mit *DD* bezeichnet ist. Diese Axe bildet einen Winkel von etwa 70° mit der Axe des Auges *A*.
- 5) Der obere schiefe Muskel *t* entspringt vom Rande des *Foramen opticum*, läuft an der inneren oberen Seite der Augenhöhle nach vorn, seine Sehne geht durch eine kleine Schleife *u* (*trochlea*), die am oberen vorderen Rande der Augenhöhle befestigt ist, biegt hier um und heftet sich an die obere Seite des Augapfels, bei *C*. Der Muskel übt einen Zug in Richtung seiner Sehne aus.

6) Der untere schiefe Muskel, in der Figur nicht sichtbar, entspringt vom inneren vorderen Umfange der Augenhöhle, läuft unter dem Augapfel nach der Schläfenseite herüber und befestigt sich am äußeren hinteren Umfange des Augapfels. Die Drehungsaxe *BB* für die schiefen Augenmuskeln läuft ebenfalls horizontal von aussen und vorn nach innen und hinten, und macht mit der Drehungsaxe des oberen und unteren geraden Muskels einen Winkel von etwa 75° , mit der Axe des Auges einen von 35° .

Durch verschiedenartig combinirte Wirkung dieser sechs Muskeln kann die Augenaxe nach jeder beliebigen Richtung gewendet, und auch der Aug- 29 apfel um die Augenaxe gedreht werden. Wenn wir hier für je zwei Muskeln eines Paares eine gemeinschaftliche Drehungsaxe angenommen haben, so scheint diese Annahme wenigstens vorläufig als erste Annäherung erlaubt zu sein, da sie die Uebersicht der Bewegungen, welche die Augenmuskeln auszuführen haben, sehr vereinfacht.

Nach vorn ist der Augapfel geschützt durch zwei Deckplatten, die Augenlider (*Palpebrae*). Jedes von ihnen schließt ein Knorpelblättchen ein, welches auf der äußeren Seite von der äußeren Haut überzogen ist, auf der inneren von einer Schleimhaut, die von dort auf den Augapfel übergeht, Bindehaut des Auges (*Conjunctiva*). Sie ist an die weiße Sehnenhaut des Augapfels locker angeheftet, nur am Rande der Hornhaut verschmilzt sie fest mit ihr. Die Oberfläche der Bindehaut und die vordere Fläche der Hornhaut werden von drei verschiedenen Secreten fortdauernd befeuchtet. Diese sind 1) das Secret der MEIBOM'schen Drüsen, welche an

der inneren Fläche der Augenlider unter der Bindehaut liegen. Ihre Ausführungsgänge öffnen sich längs der hinteren Kante der Augenlidränder. Dieses fettige Secret haftet meistens wohl nur an den Rändern der Lider, und verhindert das Ueberfließen der wässrigen Thränen; es kann sich aber auch in öligen Tropfen über die Hornhaut verbreiten, namentlich bei starken Bewegungen der Lider. 2) Der Schleim der Schleimdrüsen der Bindehaut, welche am zahlreichsten am Rande der Falten zwischen den Lidern und dem Augapfel sich vorfinden. 3) Die Thränenflüssigkeit, abgesondert von den Thränenrüsen, von denen je zwei auf jeder Seite im oberen äußeren Theile der Augenhöhle liegen. Sie ergießen ihr wässriges Secret, welches nur etwa 1 Proc. feste Substanzen enthält, durch 7 bis 10 feine Ausführungsgänge oberhalb des äußeren Augenwinkels zwischen das obere Lid und den Augapfel. Von hier verbreitet es sich über die ganze Conjunctiva, und wird am inneren Augenwinkel durch zwei feine Öffnungen, die Thränenpunkte, aufgenommen, die Mündungen der beiden Thränenkanälchen, welche es in einen weiteren Kanal, *Ductus nasolacrymalis*, und endlich in die Nase führen.

Die Bindehaut des Auges ist außerordentlich empfindlich. Jede leiseste Berührung eines fremden Körpers erregt Schmerz und eine unwillkürliche Bewegung der Augenlider, das Blinzeln. Dadurch und durch die fort-dauernd über die Bindehaut hinsickernde Thränenfeuchtigkeit wird die vordere Fläche der Hornhaut stets rein und glänzend erhalten, was ein nothwendiges Erforderniß für deutliches Sehen ist. Größere in der Luft schwebende Staubtheilchen, Insecten u. s. w. werden außerdem durch die Wimpern abgefangen.