



Brillengläser und Hornhautlinsen.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doctorwürde.

Der medicinischen Facultät der Universität Kiel

vorgelegt von

August Müller,

approb. Arzt

aus M.-Gladbach.



KIEL.

Druck von L. Handorff.

1889.



Brillengläser und Hornhautlinsen.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doctorwürde.

Der medicinischen Facultät der Universität Kiel

vorgelegt von

August Müller,

approb. Arzt

aus M.-Gladbach.



KIEL.

Druck von L. Handorff.

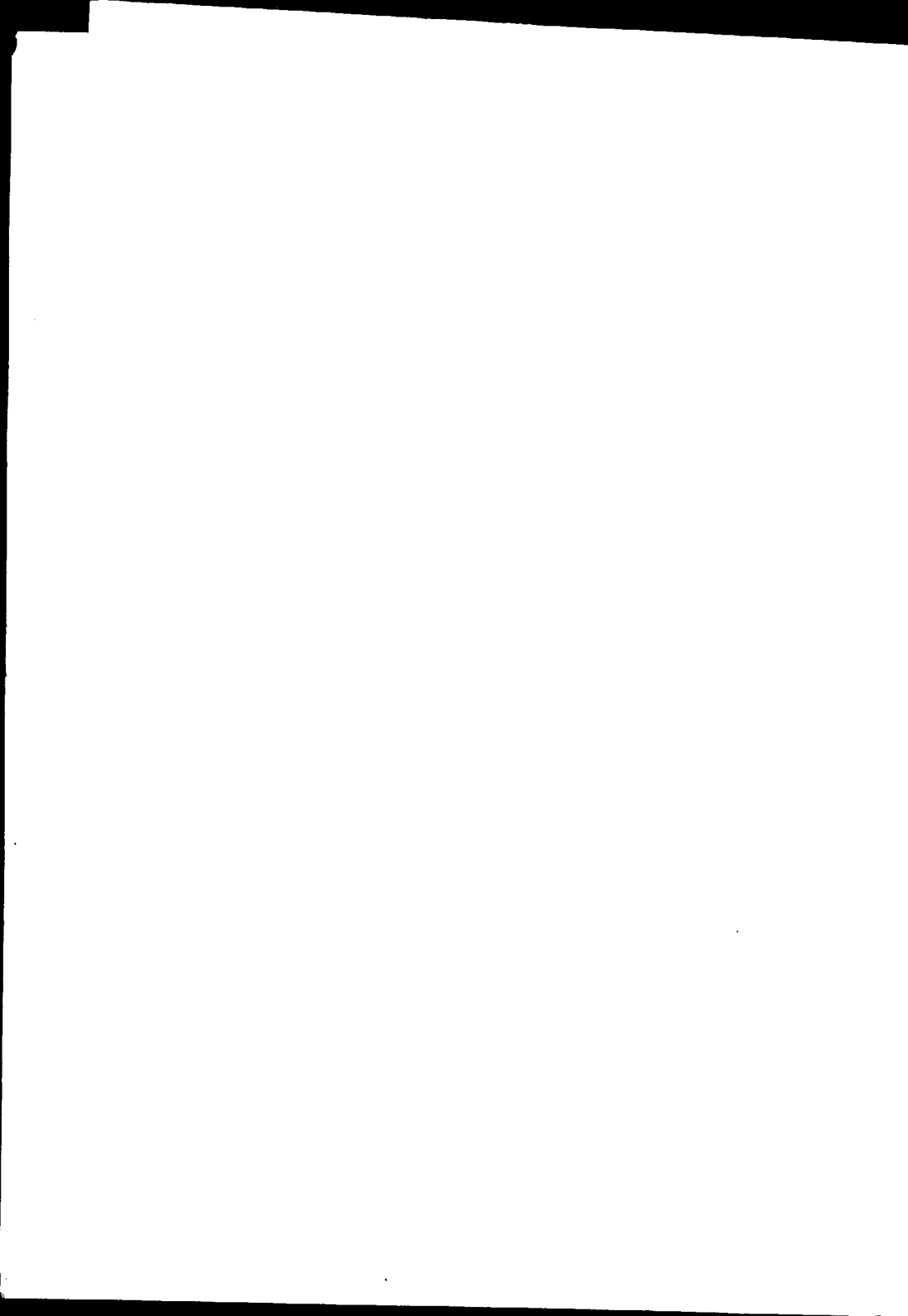
1889.

No. 54.
Rectoratsjahr 1888/89.
Referent: Völckers.
Druck genehmigt:
Dr. Werth, z. Z. Decan.

Meinen Eltern

als ein Zeichen dankbarer Gesinnung

gewidmet.



Der Wunsch, besser zu sehen, als meine Brille es gestattete, war die Veranlassung der nachfolgenden drei Aufsätze. Dem Normalsehenden mag die Zeit, die dieselben gekostet haben, vielleicht übel angewandt erscheinen. Meine Schicksalsgefährten werden mein Bestreben begreiflich finden. Ihnen soll ja auch nur der etwaige Nutzen meiner Bemühungen zu gute kommen.

I.

Periskopische Brillengläser.

Die periskopischen Brillengläser werden zur Zeit sowohl von den Augenärzten wie von den Optikern sehr stiefmütterlich behandelt. Donders kennt an ihnen fast nur Mängel. In dem grossen Handbuch der Augenheilkunde von Gräfe und Sämisch findet sich über dieselben nicht viel mehr als ihr Name. Ebenso kurz fassen sich die Handbücher der praktischen Optik. Weder Prechtel noch Littrow, noch auch der neueste Schriftsteller auf diesem Gebiete, Neumann, gibt eine rationelle Constructionsweise für dieselben an. Demgemäss schleift denn auch jeder selbständige Optiker die periskopischen Gläser so, wie es ihm am besten scheint, und die eine Werkstätte liefert ganz andere periskopische Gläser als die andere: für die Brillenbedürftigen gewiss ein grosser Uebelstand. Diese Thatsache veranlasst mich, die nachfolgende Deduction zur allgemeinen Annahme zu empfehlen.

Linse, welche keine sphärische Aberration der Randstrahlen zeigen, nennt man aplanatisch. Die Optik lehrt, dass es für jedes Verhältniss der Gegenstandsweite zur Bildweite ein bestimmtes Verhältniss der beiden Krümmungshalbmesser einer Linse zu einander gibt, bei dem die sphärische Abweichung am besten corrigirt ist, und zwar ist in diesem Falle dem weiter entfernten der beiden Factoren immer die stärker gekrümmte Fläche der Linse zugewandt.

Bei der Brille haben wir es immer mit grossen Gegenstandsweiten, also mit nahezu parallelen Strahlen zu thun, und für diese lautet das Verhältnis

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{4 - n(2n - 1)}{n(2n + 1)} \dots \dots \dots (1)$$

wo r_1 den Radius der vorderen, dem Gegenstande zugekehrtem.
 r_2 den Radius der hinteren dem Bilde resp. Auge zugekehrten Fläche,

n den Brechungsindex der zu verwendenden Glasart bezeichnet

Nehmen wir Versuchs halber eine Linse, deren Krümmungshalbmesser nach diesem Verhältnis gewählt sind und benutzen wir dieselbe als Brille, so sind wir überrascht darüber, dass dieselbe viel undeutlichere Randbilder giebt, als ein gewöhnliches Brillenglas mit beiderseits gleicher Krümmung. Da sich das obige Gesetz bei unseren Fernröhren alle Tage bewährt, so muss diese Thatsache auf den ersten Blick sehr seltsam erscheinen; eine einfache Ueberlegung zeigt uns indessen, dass zwischen dem Sehen durch Fernröhre und dem Sehen durch Brillen ein grosser Unterschied besteht.

Das Sehen durch Fernröhre geschieht nur in der Axe des Instruments; durch Brillengläser dagegen muss möglichst nach allen Richtungen deutlich gesehen werden können. Setzen wir nun statt einer Linse eine einzige brechende Fläche, so ist es das erste Erfordernis, dass diese in ihrer ganzen Ausdehnung senkrecht auf der Richtung des Sehens steht. Beim Fernrohr ist diese Bedingung erfüllt, wenn die brechende Fläche als eine senkrecht auf der Axe des Instruments stehende Ebene angesehen wird; denn die Axe stellt hier die einzige Schrichtung vor. Für das Brillenglas dagegen giebt es ebensoviele Schrichtungen, wie das Auge Blickrichtungen hat; soll also die brechende Fläche des Brillenglases immer senkrecht auf der Sehaxe stehen, so muss sie eine Kugelfläche sein mit dem Drehpunkt des Auges als Mittelpunkt. Der Radius dieser Kugelfläche ergiebt sich leicht auf folgende Weise. Der Drehpunkt des Auges liegt 13,5 mm hinter der Kuppe der Hornhaut. Die hintere Fläche eines Brillenglases muss notwendigerweise etwa 15 mm von dem höchsten Punkt der Hornhaut entfernt sein. Der Abstand der brechenden Fläche vom Drehpunkt des Auges ist demnach $13,5 + 15 = 28,5$ oder rund 30 mm, welche Zahl den gesuchten Radius angiebt. Auf diese kugelförmig gestaltete brechende Fläche müssen wir offenbar die aplanatische Linse unseres obigen Beispiels

einrichten, um ein von sphärischer Abweichung freies, sogenanntes periskopisches Brillenglas zu bekommen.

Denken wir uns die aplanatische Linse senkrecht auf ihre optische Axe durchschnitten, so kann die Schnittfläche als die brechende Fläche dieser Linse gelten. Wir haben dann zwei plansphärische Linsen, welche mit ihren ebenen Flächen einander zugekehrt sind. Nehmen wir nun an, wir besäßen das theoretisch beste Brillenglas von derselben Brechkraft, so ist nach unserer obigen Auseinandersetzung die die brechende Ebene darstellende Fläche hier eine Kugelfläche von 30 mm Radius. Die den beiden Teilen der einfach aplanatischen Linse entsprechenden Componenten des periskopischen Brillenglases sind also eine vordere Concav-sphärische und eine hintere Convex-sphärische Linse, welche in ihrer Brechkraft den Teilen der ersteren Linse gleich sind. Wir setzen demgemäss in Gleichung

$$\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{0,030} \quad \text{und} \quad \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{r_2} + \frac{1}{0,030} \quad \text{oder}$$

$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{0,030} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{1}{r_2} = \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{0,030} \quad \dots \dots \dots (3)$$

wo mit ρ die Radien der aplanatischen Linse, mit r die entsprechenden Radien des periskopischen Brillenglases bezeichnet sind.

Es bleibt uns nun nur noch übrig, allgemeine Werte für ρ_1 und ρ_2 zu suchen. Wenn wir mit D die Brechkraft einer Linse, in Dioptrien ausgedrückt, bezeichnen, so ist

$$D = \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \quad \dots \dots \dots (4)$$

Die Gleichung (1) ergibt die Zahl c , mit der wir ρ_1 multipliciren müssen um den Wert von ρ_2 zu bekommen, also

$$\rho_2 = c \cdot \rho_1 \quad \dots \dots \dots (5)$$

demnach ist $D = (n - 1) \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{c \cdot \rho_1} \right)$.

$$\frac{1}{\rho_1} = \frac{D \cdot c}{(c + 1)(n - 1)} \quad \dots \dots \dots (6)$$

Auf ähnliche Weise ergibt sich:

$$\frac{1}{\rho_2} = \frac{D}{(c + 1)(n - 1)} \quad \dots \dots \dots (7)$$

Setzen wir diese Werte in die Gleichungen (2) und (3) ein, so erhalten wir:

$$\frac{1}{r_1} = \frac{D \cdot c}{(c + 1)(n - 1)} + \frac{1}{0,030} \dots \dots \dots (8)$$

$$\frac{1}{r_2} = \frac{D}{(c + 1)(n - 1)} - \frac{1}{0,030} \dots \dots \dots (9)$$

Hierdurch ist also das gesuchte beste Brillenglas vollständig bestimmt.

Berechnen wir beispielsweise eine Zerstreuungsbrille von $-14,0$ D. und eine Staarbrille von $+10,0$ D. aus gewöhnlichem Silicat Crown vom Brechungsindex $n = 1,5175$, so müssen wir zuerst nach Gleichung (1) das Verhältnis der Radien zu einander für diese Glasart feststellen:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{4 - 1,5175(2 \cdot 1,5175 - 1)}{1,5175(2 \cdot 1,5175 + 1)} = \frac{1}{6,67815}$$

Also ist $c = 6,67815$, für den Radius der ersten Fläche lautet nun Gleichung (8)

$$\frac{1}{r_1} = -\frac{14 \cdot 6,67815}{7,67815 \cdot 0,5175} + \frac{1}{0,030}$$

$$r_1 = + 0,1020 \text{ m.}$$

Gleichung (9) lautet:

$$\frac{1}{r_2} = \frac{14}{7,67815 \cdot 0,5175} - \frac{1}{0,030}$$

$$r_2 = - 0,0273 \text{ m.}$$

Für die Staarbrille haben wir

$$\frac{1}{r_1} = \frac{10 \cdot 6,67815}{7,67815 \cdot 0,5175} + \frac{1}{0,030}$$

$$r_1 = + 0,019944 \text{ m}$$

$$\frac{1}{r_2} = \frac{10}{7,67815 \cdot 0,5175} - \frac{1}{0,030}$$

$$r_2 = - 0,032329 \text{ m.}$$

Die gewöhnlichen biconvexen und biconcaven Brillengläser liefern besonders bei kurzer Brennweite am Rande stark verzerrte Bilder: da hierdurch das brauchbare Gesichtsfeld ausserordentlich beschränkt wird, so haben sich die Optiker schon lange bemüht, eine Form zu finden, die mit diesem Fehler nicht behaftet ist. Der erste Vorschlag in dieser Richtung ging dahin, die Brillengläser kleiner zu machen. Damit ist aber offenbar gar nichts gewonnen. Huygens (1629 — 1695) empfahl die Krümmungshalbmesser der Gläser wie

6 : 1 zu nehmen, weil sich dieses Verhältniß der Radien bei den Fernrohrobjectiven am besten bewährt hatte. Aus unserer obigen Darstellung folgt, dass dieses Verfahren das Gegenteil von dem leistet, was wir beabsichtigen. Galland von Cherveux¹⁾ schlug sogar Gläser vor, welche aus zwei Segmenten eines Cylinders mit sich durchkreuzender Axe bestehen sollten, im wesentlichen also Astigmatismusbrillen. Dieselben wurden in der That angefertigt, bewiesen aber natürlich nur, dass sie für den in Rede stehenden Zweck noch viel weniger leisteten, als die gewöhnlichen biconvexen und biconcaven Gläser. Erst Wollaston (1804) hob hervor, dass die Blickrichtung überall senkrecht auf die brechende Fläche fallen, diese also eine Kugelfläche sein müsse. Für derartige Gläser schlug er den Namen periskopische Brillen vor, weil sie gestatteten, bei derselben Kopfhaltung nach allen Richtungen hin die Gegenstände genau zu erkennen. Die Vorzüge dieser neuen Form vor der alten bewies er durch viele Versuche an Kurz- und Weitsichtigen; besonders stark traten dieselben, wie er sagt, bei hohen Graden von Refraktionsanomalien hervor. Er giebt jedoch keine Methode der Berechnung der günstigsten Form an, sondern beschränkt sich darauf, die astronomische Werkstätte von P. und J. Dollond als Verfertigerin der periskopischen Brillen zu empfehlen; dieselbe hatte ein Patent auf den alleinigen Verkauf derselben.

Noch auf andere Weise hat man versucht, die Brillengläser von der sphärischen Abweichung zu befreien. Der Optiker Hunter (1875) in New-York²⁾ nimmt zwei planconvexe Gläser von der halben erforderlichen Brennweite und kehrt sie mit ihren convexen Flächen gegen einander. Einen ähnlichen Vorschlag machte Zehender auf der ophthalmologischen Versammlung in Heidelberg 1885; er verband in derselben Weise wie Hunter ein schwächeres und ein stärkeres Planconvexglas, deren Brechkräfte sich wie 2 : 3 verhielten; er sagt indessen, dass eine solche Combination nicht viel mehr als die Hälfte der sphärischen Aberration corrigire. Beide Verbesserungen waren hauptsächlich für Staarbrillen gemeint. Zur Beurtheilung dieser Probleme ist zu sagen, dass solche Combinationen höchstens aplanatisch, keinesfalls aber periskopisch sein können. Ausserdem ist es sehr misslich, zu einer Brille eine

¹⁾ s. Gehler's physicalisches Wörterbuch Bd. IV. S. 1409.

²⁾ Noyes, Improvements in spectacle frames. Trans. of the Amer. Ophth. soc. XI. ann. meeting pag. 356.

Combination von zwei Linsen zu wählen, vor allem, wenn dieselben nicht mit einander verkittet werden können.

Was nun die Brauchbarkeit der periskopischen Gläser angeht, so stelle, wie oben angeführt, schon Wollaston ihre bedeutenden Vorzüge vor gleichseitigen biconvexen oder biconcaven Gläsern durch zahlreiche Versuche fest. Ihre optischen Vorzüge sind denn auch bis jetzt noch nicht angezweifelt worden, dagegen sagt Donders sie hätten vor den gleichseitigen biconvexen oder biconcaven Gläsern den Nachteil grösserer Schwere. Untersuchen wir daraufhin die periskopischen Gläser. Die Dicke v einer Linse berechnet sich aus der halben Oeffnung e und den Krümmungsradien r_1 und r_2 derselben in folgender Weise:

$$v = \frac{e^2}{2} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \dots \dots \dots (10)$$

aus Gleichung (4) folgt:

$$\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{D}{n-1};$$

eingesetzt in Gleichung (10) ergibt:

$$v = \frac{e^2}{2} \cdot \frac{D}{n-1} \dots \dots \dots (11)$$

Die Dicke einer Linse ist also, wenn Oeffnung und Brechungsindex gegeben, nur von der Brechkraft abhängig; das Verhältnis der Radien ist bei gleicher Brechkraft für das Volumen derselben völlig gleichgültig. Es können also unmöglich die periskopischen Gläser an sich schwerer sein als die gleichseitigen. Die Optiker haben indessen die Gewohnheit, die zerstreuen periskopischen Gläser am Rande gerade (cylindrisch) abzuschleifen und die Fassung in eine Einkerbung dieses Randes einzusetzen (Fig. 1), während sie gewöhnlich bei den gleichseitigen Gläsern der Fassung die entsprechende Höhlung geben und das Glas am Rande für diese Höhlung spitz zuschleifen (Fig. 2). Bei dem letzteren Verfahren fallen gerade die schwersten Teile des Glases weg, welche im ersten Falle erhalten werden. Infolgedessen sehen die meisten periskopischen Brillen im Vergleich mit den andern plump aus, sie sind auch in der That etwas schwerer. Da das oben angegebene Verfahren indessen gar nicht durch die Form der periskopischen Gläser bedingt ist, so empfiehlt es sich, dasselbe zu verlassen. Der Vorteil, den es bietet, und der darin besteht, bei gleichem Durchmesser des Glases das Gesichtsfeld möglichst gross zu machen, lässt sich auch auf andere Weise erreichen. Da

nämlich die Blicklinie schief, d. h. in einem Winkel gegen die optische Axe, durch die Randteile des Glases hindurchgeht, so kann man, ohne das Gesichtsfeld zu verkleinern, den Rand in der Richtung der Blicklinie von vorn nach hinten schief abschleifen (Fig. 3); bei

Fig. 2



Fig. 1.

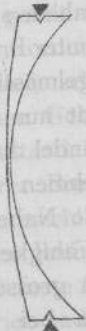


Fig. 3.



dem auf Seite 8 berechneten periskopischen Glase von $-14,0$ darf diesbezüglichen Berechnungen zufolge, bei einer Oeffnung von 40 mm der Durchmesser der hinteren Fläche ca. 6 mm kleiner werden als der der vorderen. Dadurch entsteht am Rande der vorderen Fläche des Glases eine scharfe Kante, an der die Fassung bequem angreifen kann. Dieses Verfahren genügt vollständig, um eine periskopische Brille ebenso leicht herzustellen wie eine andere mit gleichseitigen Gläsern.

Donders hebt ferner hervor, dass unter gewissen Umständen die periskopischen Gläser durch Reflexion an der concaven Seite störend auf das Sehen einwirken. Dies ist indessen keine ausschliessliche Eigenschaft der periskopischen Gläser, sondern, wie ich aus eigener Erfahrung weiss, spiegeln unter denselben Umständen auch starke Biconcavgläser, während z. B. bei einem periskopischen Glase von $-14,0$ die Krümmung der concaven Fläche zu stark ist, als dass eine Spiegelung der Aussenwelt stattfinden könnte.

Noch einen dritten Vorwurf macht Donders den periskopischen Gläsern und dieser lässt sich allerdings nicht abweisen. Dieselben sind nämlich teurer als die entsprechenden gleichseitigen Brillengläser. Dieser Preisunterschied würde sich nur durch Einführung allgemeinen Gebrauchs der periskopischen Gläser anstatt der gleichseitigen verringern lassen. Dies herbeizuführen, liegt in den Händen

der Augenärzte, welche allein durch ihre Empfehlung die Vorurteile gegen die periskopischen Gläser zerstreuen können.

Dass, auch wenn man von den optischen Vorzügen unserer Gläser absieht, ein solcher Wunsch seine Berechtigung hat, beweist ein im Octoberhefte der Zehender'schen Monatshefte von 1888 erschienener Aufsatz dieses Autors. Zehender führt aus, dass bei schrägem Durchfall der Lichtstrahlen sphärische Linsen ebenso wirken wie Cylinderlinsen von bestimmter Brechkraft. Dieser schräge Einfall der Lichtstrahlen findet regelmässig statt bei Nahearbeit mit Brillen. Höchst wahrscheinlich hat nun die Linse die Fähigkeit, ein solches astigmatisches Strahlenbündel durch Linsenastigmatismus zu corrigiren. Da man nun annehmen muss, dass ein solcher Linsenastigmatismus durch anhaltende Nahearbeit stationär werden kann, so muss den Brillengläsern die Fähigkeit zugeschrieben werden, Astigmatismus zu erzeugen. Diesen grossen Nachteil haben nur die gleichseitigen Brillengläser; denn bei unseren periskopischen Gläsern ist die brechende Fläche derart eingerichtet, dass die einfallenden Strahlen möglichst senkrecht auf dieselbe treffen. Es können also wohl die gleichseitigen, nicht aber die periskopischen Brillengläser Astigmatismus erzeugen.

Nach allem diesem hat man einiges Recht zu hoffen, dass die periskopischen Gläser besonders für stärkere Nummern, für die sie derzeit fast ausser Gebrauch sind, allgemein eingeführt werden. Was die Brillenträger anbetrifft, so wird bei diesen ein einziger Versuch die Vorurteile gegen dieselben zum Schwinden bringen.

II.

Achromatische Brillengläser.

Die periskopischen Gläser corrigiren nicht nur die sphärische Aberration, auch die Farbenzerstreuung ist, wie der Vergleich lehrt, um ein gewisses bei denselben geringer, als bei den gleichseitigen Brillengläsern. Es beruht dies darauf, dass die einfallenden Strahlen bei ersteren nicht so schief auf das Glas treffen, wie bei den letzteren. Bei stärkeren Nummern ist dieser Vorteil indessen so gering, dass

selbst trotz vollständiger sphärischer Correction die Randbilder infolge der Farbenzerstreuung sehr undeutlich werden.

Es liegt deshalb der Gedanke sehr nahe, eine Crownglas- und eine Flintglaslinse derart zu verbinden, dass eine achromatische Combination von der verlangten Brechkraft entsteht, ein Verfahren, das bekanntlich bei Fernröhren und Mikroskopen seit anderthalb Jahrhunderten allgemein geübt wird. Versuche in dieser Hinsicht³⁾ sind auch schon gemacht worden; dieselben ergaben, dass das Sehen durch achromatische Brillen sehr viel angenehmer ist, als durch andere. Dem allgemeinen Gebrauch derselben stand aber bis vor wenigen Jahren der Umstand entgegen, dass die üblichen Flint- und Crowngläser in ihrer Brech- und Zerstreungskraft sich zu wenig von einander unterschieden und dass infolgedessen solche Combinationen bei kurzer Brennweite zu schwer wurden.

Im Jahre 1886 eröffnete das Glastechnische Laboratorium in Jena seinen Geschäftsbetrieb und bot in seinem Productionsverzeichnis Glassorten von wesentlich neuer Zusammensetzung an, die geeignet erscheinen, dem Problem der achromatischen Brillen Leben zu geben. Es finden sich dort Gläser, welche sich ganz ausserordentlich in ihrer Zertrennungskraft von einander unterscheiden und dabei ungewöhnlich hohe Brechkraft haben. Es ist klar, dass sich vermittelst dieser Gläser erheblicher leichtere achromatische Combinationen herstellen lassen, als es bisher möglich war. Nimmt man dazu, dass vollständige Achromasie für Brillengläser nicht erforderlich ist, und dass durch die oben⁴⁾ empfohlene Art, den Rand der Brillengläser abzuschleifen, gerade die schwersten Teile ohne optischen Verlust in Wegfall kommen, so ist es höchst wahrscheinlich, dass auch für kurze Brennweiten hinreichend achromatische Linsen herzustellen sind, die sich in Gewicht und Volumen nicht wesentlich von einfachen Brillengläsern derselben Brennweite unterscheiden. Sicherheit kann darüber natürlich nur der Versuch geben. Zu diesem Zweck wurden Versuchsgläser von $\sim 14,0$ nach der unten angegebenen Berechnung bei einer optischen Werkstätte bestellt. Dieselben konnten aber leider bis zum Abschluss der gegenwärtigen Arbeit nicht fertig gestellt werden und so müssen wir uns vorläufig mit der oben begründeten grössten Wahrscheinlichkeit begnügen.

3) s. Neumann, die Brillen, S. 92 f.

4) s. S. 11.

Das Ergebnis der Versuche ist seiner Zeit an anderer Stelle zu veröffentlichen.

Die Bedingung der Achromasie eines Systems von zwei Linsen ist gegeben in dem Verhältnis:

$$\frac{d_1}{d_2} = - \frac{v_1}{v_2} \text{ oder:}$$

$$\frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} = 0 \quad \dots \dots \dots (12)$$

d_1 bezeichnet die Brechkraft der Crownlinse in Dioptrien,

v_1 den reciproken Wert der relativen Dispersion ⁵⁾

d_2 und v_2 bezeichnen die entsprechenden Werte der Flintlinse.

Wie schon oben bemerkt, haben wir für unseren Zweck vollständige Achromasie nicht nöthig. Versuche, die ich an mir und anderen angestellt habe, haben ergeben, dass die Farbenzerstreuung einer Linse von $-4,0$ D. bei einem Durchmesser von 40 mm selbst in den äussersten Randteilen des Glases dem Auge kaum bemerkbar ist und die Schärfe der Bilder in keiner Weise beeinträchtigt.

Wir können demgemäss in Gleichung (12) auf der rechten Seite anstatt der Null einen endlichen Wert w einsetzen, der bestimmt ist durch das Verhältnis von d_w zu v_w bei dem zu obigen Versuchen verwandten Glase, also

$$w = \frac{d_w}{v_w} = \frac{4}{56,0} = \frac{1}{14}$$

demnach formt sich Gleichung (12) um in:

$$\frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} = \frac{1}{14} \quad \dots \dots \dots (13)$$

Wenn wir mit D die Gesamtbrechkraft der Combination unserer beiden Linsen bezeichnen, so gilt die Gleichung

$$D = d_1 + d_2 \quad \dots \dots \dots (14)$$

Aus (13) und (14) ergeben sich für d_1 und d_2 folgende Werte:

$$d_1 = \pm \left(D - \frac{v_2}{14} \right) \frac{v_1}{v_1 - v_2} \quad \dots \dots \dots (15)$$

$$d_2 = \mp \left(D - \frac{v_1}{14} \right) \frac{v_2}{v_1 - v_2} \quad \dots \dots \dots (16)$$

in denen das obere Vorzeichen für sammelnde, das untere für zerstreue Linsensysteme gilt.

Es handelt sich nun darum, die Krümmungsverhältnisse der

5) s. Productionsverzeichnis des Glastechn. Laboratoriums in Jena. S. 7.

Combination derart zu bestimmen, dass die sphärische Abweichung derselben möglichst gering wird. Für die Berechnung aplanatischer Fernrohrobjective aus zwei Linsen gab Herschel eine Regel ⁶⁾ an, die wir für unseren Zweck, der nicht so genaue Werte erfordert, bequemer folgendermaassen ausdrücken können:

Setzt man die Gesamtbrennweite des Systems, $= 1$, so muss die Länge des Krümmungshalbmessers für die vordere Fläche der Crown Glaslinse $= 0,672$ gemacht werden; nimmt man dann die Radien der beiden mittleren Flächen einander gleich, so sind die Krümmungsverhältnisse des Systems vollständig bestimmt. Wenn wir dasselbe nun in der oben ⁷⁾ angegebenen Weise auf die brechende Fläche des Brillenglases reduciren, so ist unser System achromatisch, aplanatisch und periskopisch. Die Radien ergeben sich demnach folgendermassen:

Der Radius r_1 der vorderen Fläche der Crown Glaslinse ergibt sich aus:

$$\frac{1}{r_1} = \frac{D}{0,672} + \frac{1}{0,030} \dots \dots \dots (17)$$

Den Radius r_2 der hinteren Fläche der Crown Glaslinse bestimmen wir nach Gleichung (4)

$$\frac{1}{r_2} = \frac{d_1}{n_1 - 1} - \frac{1}{r_1} \dots \dots \dots (18)$$

Nach unserer Annahme ist der Radius r_3 der vorderen Flintglasfläche

$$r_3 = -r_2 \dots \dots \dots (19)$$

Der Radius r_4 der hinteren Flintglasfläche bestimmt sich wieder nach Gleichung (4):

$$\frac{1}{r_4} = \frac{d_2}{n_2 - 1} - \frac{1}{r_3} \dots \dots \dots (20)$$

Es fragt sich nun, welche von den Glassorten des Glastechnischen Laboratoriums am geeignetsten für eine achromatische Brille sind. Der massgebende Gesichtspunkt hierfür ist die Dicke der Combination. Nach Gleichung (11) ist für die Crownlinse

$$v_1 = \frac{e^2}{2} \cdot \frac{1 - d_1}{n_1 - 1}$$

⁶⁾ s. Littrow, Dioptrik, S. 89 ff.

⁷⁾ s. S. 7.

Für die Flintlinse

$$v_2 = \frac{e^2}{2} \cdot \frac{1}{n_2 - 1} + d_2$$

Beide Gleichungen unter Vernachlässigung der Vorzeichen vor d_1 und d_2 addirt, ergibt, wenn wir

$$d_1 = D \frac{v_1}{v_1 - v_2}, \quad d_2 = D \frac{v_2}{v_1 - v_2}$$

setzen:

$$v_1 + v_2 = D \cdot \frac{e^2}{2} \cdot \frac{1}{v_1 - v_2} \left[\frac{v_1}{n_1 - 1} + \frac{v_2}{n_2 - 1} \right] \dots \dots (21)$$

$V = v_1 + v_2$ ist also um so kleiner, je kleiner

$$\frac{1}{v_1 - v_2} \left[\frac{v_1}{n_1 - 1} + \frac{v_2}{n_2 - 1} \right] \text{ ist.}$$

Durch Bestimmung dieses Wertes für verschiedene Glassorten lässt sich also der Grad der Günstigkeit derselben für unseren Zweck übersehen: Im Folgenden ist dies für das schwerste Silicat-Flintglas 44 S. 57. in Verbindung mit den in Betracht kommenden Crown-gläsern ausgeführt

| | |
|------------------------|---------|
| 1 O. 225. und 44 S. 57 | 3,1041 |
| 2 S. 40. " " " | 2,96822 |
| 3 S. 30. " " " | 2,93626 |
| 4 S. 15. " " " | 2,90315 |
| 5 O. 144. " " " | 3,29345 |
| 9 O. 138. " " " | 3,33056 |
| 12 O. 227. " " " | 3,28463 |
| 16 O. 211. " " " | 3,19577 |
| 20 O. 202. " " " | 3,14607 |

In dieser Tabelle ist die Combination um so günstiger, je kleiner der zugehörige Zahlenwert ist.

Berechnen wir jetzt beispielsweise eine achromatische Zerstreuungsbille von $-14,0$ D, und eine ebensolche Staarbrille von $+10,0$ D. Benutzen wir dazu das Crownglas S. 30. und das Flintglas S. 57.

Nach Gleichung (15) erhalten wir für die Crownlinse

$$d_1 = - \left(14 - \frac{19,7}{14} \right) \frac{65,2}{65,2 - 19,7}$$

$$d_1 = -18,0$$

Also für die Flintlinse

$$d_2 = +4,0.$$

Für die Radien haben wir:

$$\frac{1}{r_1} = \frac{-14}{0,672} + \frac{1}{0,030}$$

$$r_1 = +0,080 \text{ m.}$$

$$\frac{1}{r_2} = \frac{-18}{0,576} - \frac{1}{0,080}$$

$$r_2 = -0,022857 \text{ m.}$$

$$r_3 = +0,022857 \text{ m.}$$

$$\frac{1}{r_4} = \frac{4}{0,9626} - \frac{1}{0,022857}$$

$$r_4 = -0,025256 \text{ m.}$$

Für die Starbrille von $+10,0$ lauten die entsprechenden Werte:

$$d_1 = +12,3 \text{ D.}$$

$$d_2 = -2,3 \text{ D.}$$

$$r_1 = +0,020741 \text{ m}$$

$$r_2 = -0,037231 \text{ m}$$

$$r_3 = +0,037231 \text{ m}$$

$$r_4 = -0,0341896 \text{ m.}$$

Für die Beurteilung der praktischen Verwendbarkeit dieser achromatischen Brillengläser ist zu bemerken, dass der in Gleichung (21) gegebene Ausdruck für die Dicke der Combination nicht für die Berechnung des wirklichen späteren Brillenglases verwertet werden darf. Die obige Formel wurde nämlich der Einfachheit der Rechnung wegen für ein vollständig achromatisches Linsensystem bestimmt. Ferner wurde oben schon bemerkt, dass die schwersten Teile der Crownlinse wegfallen, wenn der Rand in der von uns ⁸⁾ empfohlenen Weise für die Fassung zugeschliffen wird. Nehmen wir die gewöhnliche Oeffnung eines Brillenglases gleich 40 mm an, so hat in unserem Falle die Vorderfläche der Crownlinse 40 mm im Durchmesser, die hintere Fläche derselben dagegen nur 34 mm;

⁸⁾ s. S. 11.

natürlicherweise braucht nun auch die Flintglaslinse, die auf letztere aufge kittet werden soll, nur 34 mm Durchmesser zu haben, ein Umstand, der das Gewicht der Combination nicht unerheblich verringert.

Der Vollständigkeit wegen folgt das Referat des Jahresberichtes der gesamten Medicin von 1877 über einen Aufsatz von Javal: »Da die bei den Optikern käuflichen Brillengläser nicht achromatisch sind, rät der Verfasser, die schwachen Convexgläser aus Flintglas und die starken Concavgläser aus gewöhnlichem Crown Glas herzustellen. Für die übrigen Brillengläser müsste eine vollständige Scala achromatischer Gläser verschiedenen Grades angefertigt werden.« Soviel hieraus ersichtlich ist (das Original war mir leider nicht zugänglich), will Javal nur Gläser von mittlerer Brechkraft achromatisch machen. Wie die Erfahrung lehrt, ist aber für diese Gläser Achromasie viel weniger erforderlich als für starke Concavgläser, denn diese zerstreuen das Licht so stark, dass die Randbilder nicht nur gelbe und blaue Ränder, sondern alle Farben des Spectrums deutlich unterscheidbar zeigen, auch wenn sie aus Crown Glas angefertigt sind. Uebrigens gab es im Jahre 1877, in dem Javal seinen Aufsatz schrieb, noch keine Glassorten, die auch nur annähernd so günstige Aussichten für die Herstellung achromatischer Brillengläser geboten hätten, wie die neuen Crown- und Flintgläser des Glastechnischen Laboratoriums in Jena.

Herr Professor Dr. Abbe, der eine Leiter dieses Institutes, veranlasste auf meine Bitte hin seinen Assistenten, Herrn Dr. Czapski, mich durch Angabe und Mitteilung von Litteratur in freundlichster Weise zu unterstützen. Ich bin dafür diesen beiden Herren grossen Dank schuldig.

III.

Hornhautlinsen.

Periskopische und achromatische Linsen sind gewiss erheblich vollkommnere Correctionsmittel von Refractionsanomalien, als die üblichen gleichseitigen Brillengläser. Trotzdem erfüllen dieselben

bei weitem nicht alle Wünsche derer, die zum Brillentragen verurteilt sind. Bei weitem die meisten derselben schätzen im Gegenteil die optischen Fehler ihrer Brille gering gegen die vielen ihr anhängenden Unbequemlichkeiten und Nachteile, von denen ein Normalsehender keine Vorstellung hat. Giebt es nun nicht vielleicht ein Mittel, Refractionsanomalien zu corrigiren, das diese Schäden vermeidet? —

Wenn man der einen Seite einer Linse dieselbe Form giebt, die die Vorderfläche des Augapfels hat, so muss diese Linse, wenn sie auf den Augapfel gebracht wird, dort fest haften, denn sie wird einmal durch Adhäsion, vor allem aber durch die Capillarattraction, die durch Ansammlung von Thränenflüssigkeit zwischen dieser Linse und dem Auge entsteht, festgehalten. Wenn ich der vorderen Fläche dieser Linse dann eine entsprechende Krümmung gebe, so ist klar, dass ich auch auf diese Weise eine Refraktionsanomalie corrigiren kann. Ein solches Correctionsmittel würde offenbar unseren Wunsch erfüllen, denn von allen den Eigenschaften, welche uns die Brille so lästig machen, ist dasselbe vollständig frei. Es würde aber auch optisch viel vollkommener sein, als die beste Brille, denn demselben würde nicht nur jede sphärische und chromatische Aberration fehlen — die Randstrahlen werden ja durch die Iris abgeblendet —; es würde auch nicht die mit einer Brille unvermeidlich verknüpfte Beschränkung des Gesichtsfeldes, noch die Verschiebung der Randbilder zeigen. Für Kurzsichtige würde eine solche Linse noch den Vorzug haben, dass sie grössere Netzhautbilder entwirft als eine gleichwertige Brille, also die Sehschärfe erhöht. Auch für die Correction des regelmässigen Astigmatismus würden solche Linsen sehr geeignet sein, denn dieselben würden die unregelmässig gekrümmte Hornhaut aus dem optischen System ausschalten und eine regelmässig brechende Kugelfläche an deren Stelle setzen. Mit einem Worte: wir könnten auf diese Weise dem abnormen Auge eine neue Hornhaut geben von derartiger Brechkraft, dass nun die Bilder an der richtigen Stelle entworfen werden.

Dass eine derart dem Auge aufliegende Glaslinse irgend welchen Schaden anrichten sollte, ist von vornherein wenig wahrscheinlich. Wenn ein künstliches Auge ohne irgendwelche Reizerscheinungen unter den Lidern getragen werden kann, so werden wir das von unserer Linse mit noch viel grösserem Rechte erwarten können. Da dieselbe überall glatt abgeschliffen ist, so kann sie die

Nervenendigungen schwerlich reizen, wird also die Empfindung eines Fremdkörpers kaum machen können. Auch bei irgendwelchen Läsionen der Gegend des Auges würde eine solche Linse weniger Gefahren bieten, als eine Brille; einmal weil dieselbe eine viel geschütztere Lage einnimmt als die letztere, dann aber wird sie auch einer auf sie treffenden Gewalt mehr Widerstand leisten, weil der letzteren von innen her ein der Grösse ihrer Kraft entsprechender Gegendruck entgegenwirkt. Falls man fürchtet, dass eine solche Linse infolge von Spannungen innerhalb des Glases ohne äusseren Anlass von selbst zerspringen könnte, was übrigens bei gutem Glase und sorgfältiger Schleifung ausgeschlossen, so steht Bergkrystall zur Verfügung als ein Material, das über diesen Verdacht erhaben ist.

Wie man sieht, lassen sich Gründe gegen die Vorzüglichkeit der »Hornhautlinsen« durch die blosser Ueberlegung nicht auffinden. Ich beschloss deshalb, durch den Versuch festzustellen, wieviel von meinen Hoffnungen sich verwirklichen würde.

Da ich anfangs keinen Weg sah, wie ich eine der Vorderfläche des Auges entsprechende Schleifschale herstellen könnte, liess ich mir von dem Optiker Himmler in Berlin eine Linse schleifen, hinten mit einer grösseren Krümmung von 12 mm Radius für die Conjunctiva und einer kleineren von 8 mm Radius für die Cornea; die vordere Fläche wurde mit einem Radius von 10 mm abgeschliffen. Die ganze Linse hatte 20 mm Durchmesser. Nach Anästhesirung mittelst Cocainlösung setzte ich die Linse ins Auge. Der Erfolg war ganz nach Erwarten. Meine Myopie von $-14,0$ war bis auf eine halbe Dioptrie korrigirt, dabei erschienen aber die Gegenstände grösser als durch die Brille. Ich behielt die Linse nur kurze Zeit im Auge und bemerkte während dieser Zeit keine unangenehmen Empfindungen. Den kleinen Uebelstand, dass eine zwischen meiner Linse und der Hornhaut befindliche Luftblase das Sehen behinderte, lernte ich bald durch Einsetzen der Linse unter Wasser vermeiden. Bei meinen späteren Versuchen setzte ich die Linsen immer ohne Cocain ein. Abgesehen von dem geringen Schmerz, den ungeschickte Ausführung hierbei verursacht, wird die Anwesenheit des Glases nicht mehr empfunden, sobald es unter die Lider geschlüpft ist.

Da es indessen offenbar viel vortheilhafter ist, wenn die hintere Fläche der Linse der Gestalt des Augapfels vollständig entspricht, so versuchte ich einen Gipsabguss vom Auge eines

lebenden Menschen zu gewinnen; nach diesem Gipsabguss sollte ein galvanoplastischer Abdruck gemacht werden, der als Schleifschale dienen sollte. Zwei Versuche in dieser Richtung scheiterten an Nebenumständen; dieselben zeigten indessen, dass sich ein solcher Gipsabguss ohne erhebliche Schwierigkeiten nehmen lässt und dass die Gipsmasse dem Auge keinen Schaden bringt, wenn man nur wartet, bis dieselbe vollständig trocken ist und dafür sorgt, dass bei der Abnahme keine Gipsteilchen im Auge bleiben. Für die Reproduction auf galvanoplastischem Wege wäre ein Abguss aus mit Graphit gemischtem Wachs günstiger als ein Gipsabguss.

Nachdem diese Versuche misslungen waren, nahm ich Abgüsse von einem künstlichen Auge und schickte dieselben dem Optiker ein. Da die künstlichen Augen nach Augenmaass gemacht werden, so ist dieses Verfahren sehr ungenau. Der Optiker bestimmte indessen die Radien der Abgüsse auf 7,5 und 14 mm, Maasse, die mit denjenigen der vorderen Augenfläche sehr nahe übereinstimmen; allerdings waren die Flächen nicht genau kugelförmig. Es gelang aber, mit dem nach den Abgüssen angefertigten galvanoplastischen Abdruck die hintere Fläche der Linsen zu schleifen.

Die Versuche, die ich mit denselben anstellte, ergaben folgendes. Sind die Linsen eingelegt, so habe ich ganz schwach die Empfindung, dass sich etwas auf dem Auge befindet; jedoch ist diese Empfindung in keiner Weise unangenehm. Allmählich, etwa eine Viertelstunde nach dem Einlegen, stellt sich ein Gefühl von Druck und Brennen ein, das jedoch nicht bestimmt localisirt ist. Nach einer weiteren Viertelstunde ist diese Empfindung so quälend geworden, dass ich die Linsen wegnehmen muss. Mit der Entfernung derselben hören diese heftigen Erscheinungen sofort auf, und kurze Zeit nachher kann ich mit dem Auge wieder arbeiten.

Anfangs glaubte ich, diese Reihe von Erscheinungen sei dadurch veranlasst, dass die Linse eine zu schwache Krümmung habe und deshalb auf die Mitte der Cornea einen Druck ausübe. Ich liess deshalb kleinere Radien einschleifen, auch sonst die Linsen in der verschiedensten Weise umformen. Ein Glas, das länger als eine halbe Stunde vertragen wird, habe ich auf diese Weise jedoch nicht erhalten; die Linsen werden aber je nach ihrer Form verschieden gut vertragen. Dicke und grosse Linsen werden schlechter vertragen als kleine und dünne. Die Form des Randes ist ferner sehr wesentlich: bei einem Glase mit abgerundetem Rand

sind die Erscheinungen bedeutend weniger heftig, als bei demselben Glase mit scharfem Rand. Die heftigsten Reizerscheinungen machte eine Linse, die in der für die Hornhaut bestimmten Höhlung einen Radius von 7,0 mm, bis zu 11 mm Oeffnung eingeschliffen, hatte, bei der also eine Berührung der Cornea ausgeschlossen war.

Die optischen Erscheinungen sind bei verschiedenen Linsen verschieden. Bei allen erscheinen die Gegenstände grösser, dagegen tritt keine bemerkbare Erhöhung der Sehschärfe ein. Die Bilder sind natürlich weder verzerrt noch farbig umsäumt; auch behindern die Linsen in keiner Weise die freie Bewegung des Auges. Bei Gläsern, die in der für die Hornhaut bestimmten Krümmung einen kleineren Radius haben als 7,5 mm, tritt ein seltsames Phänomen auf. Es stellt sich nämlich eine ganz allmählich immer mehr zunehmende Verschleierung des Gesichtsfeldes ein, die Gegenstände erscheinen wie in Nebel gehüllt. Bei der oben an letzter Stelle erwähnten Linse war diese Verschleierung am Ende des Versuchs so stark, dass infolge davon die Sehschärfe erheblich herabgesetzt war. Hat der Nebel eine gewisse Intensität erreicht, so wird um Lichtpunkte und Flammen in geringer Entfernung von denselben ein Regenbogen sichtbar, dessen blauer Teil dem Lichte zunächst erscheint. Derselbe nimmt ebenso allmählich wie die Verschleierung des Gesichtsfeldes an Deutlichkeit zu. Diese Erscheinungen verschwinden nicht sofort nach Herausnahme der Linsen, sondern sie nehmen ebenso allmählich, wie sie gekommen sind, an Intensität ab und sind eine halbe Stunde nach Herausnahme der Linse nicht mehr bemerkbar.

Die äusserlich sichtbaren Veränderungen des Auges während der Versuche sind nach den Angaben des Herrn Professor Völk ers, der so freundlich war, mich daraufhin zu untersuchen, folgende: Starke Injection der Conjunctiva, verstärkte Thränensecretion; starke Injection der episcleralen Gefässe und des Limbus. Der Augenhintergrund ist normal; auch bei Druck auf das Auge zeigt sich kein Arterienpuls; ebensowenig ist der Tonus des Augapfels vermehrt. Bei der oben schon angeführten Linse mit der auf 11 mm Oeffnung eingeschliffenen Hornhautkrümmung von 7 mm Radius zeigte sich eine merkwürdige Erscheinung, die bei allen anderen Versuchen fehlte. Die Hornhaut war getrübt und bei focaler Beleuchtung zeigten sich Substanzverlusten ähnlich sehende Rauigkeiten. Eine halbe Stunde nach Herausnahme der Linse

waren jedoch sowohl die anscheinenden Substanzverluste bis auf eine geringe Spur verschwunden, als auch das Gesichtsfeld, das bei diesem Versuch viel mehr als gewöhnlich verschleiert war, wieder vollständig klar.

Was nun die Ursache aller dieser Erscheinungen angeht, so ist klar, dass meine erste Meinung, dieselben seien durch den Druck des Glases auf die Kuppe der Hornhaut hervorgerufen zu sein, nicht aufhört. Die Verschleierung des Gesichtsfeldes und das Eintreten von Regenbogen um beleuchtete Stellen liessen vermuten, es handle sich um ein akutes Glaucom; dem widerspricht aber der oben aufgeführte Befund, der nichts berichtet, was auf eine Drucksteigerung im Inneren des Augapfels bezogen werden könnte. Die Injection der episcleralen Gefässe und des Limbus deutet indessen darauf hin, dass nicht nur die Conjunctiva gereizt wird. Auf die wahre Ursache führt uns vielleicht die bei dem zuletzt angeführten Versuche eingetretene Affection der Hornhaut. Es lag hier offenbar eine Ernährungsstörung im Hornhautgewebe vor, so geringen Grades, dass sie sich in kurzer Zeit wiederherstellen konnte. Die damit einhergehende Trübung der Hornhaut bewirkte die Verschleierung des Gesichtsfeldes und die Entstehung der Regenbogen. Da dieses letztere in geringem Grade bei allen Versuchen eintrat, die mit Linsen von starker Krümmung der Hornhautaushöhlung vorgenommen wurden, so ist wahrscheinlich auch in diesen Fällen eine Trübung der Hornhaut eingetreten, jedoch so schwach, dass sie makroskopisch nicht sichtbar war. Es fragt sich nur, wodurch die Ernährungsstörung in der Hornhaut bedingt war. Wenn man sich das Verhalten der Flüssigkeitsschicht zwischen der Linse und der Hornhaut überlegt, so ist klar, dass das Wasser, dem Gesetze der Schwere folgend, am unteren Rande des Glases allmählig absickert. Es fliesst aber am oberen Rande wahrscheinlich nichts zu. Denn einmal war bei fast allen Versuchen der Rand der Linse scharf zugeschliffen; derselbe presste sich also in die Conjunctiva hinein. Ausserdem übt auch noch das obere Augenlid einen Druck auf die Linse aus. Infolgedessen wird dieselbe während der Versuche immer stärker auf das Auge aufgedrückt. Da bei den in Rede stehenden Versuchslinsen eine Berührung der Hornhaut ausgeschlossen war, so trifft dieser Druck allein die um den Rand der Cornea sich ansetzende Gewebsschicht. Da aber in dieser die ernährenden Gefässe für die Hornhaut verlaufen, so werden diese zugedrückt. Es leuchtet

also ein, dass in der Cornea sehr bald eine Ernährungsstörung eintreten muss. Für meine Ansicht, dass der mangelnde Zufluss der Thränenflüssigkeit die letzte Ursache aller beschriebenen Reizerscheinungen sei, sprechen zwei Versuche, die mit Gläsern angestellt wurden, deren Rand rund abgeschliffen war. Die unangenehmen Empfindungen, die bei den anderen Versuchen so sehr hervortraten, waren in diesen Fällen kaum nennenswert; auch die objectiven Erscheinungen waren nur sehr wenig ausgeprägt. Ausserdem konnte man deutlich bemerken, wie bei jedem Lidschlag eine deutliche Verrückung des Glases eintrat. Hierbei muss, um den Zwischenraum zwischen letzterem und der Hornhaut anzufüllen, eine gewisse Menge Thränenflüssigkeit jedesmal zufließen. Offenbar bildet sich zwischen dem oberen Rand dieser abgerundeten Gläser und den beiden Blättern der Conjunctiva gleichsam ein Reservoir von Flüssigkeit, aus dem der Verlust, der durch den Abfluss am unteren Rande entsteht, jederzeit ersetzt werden kann.

Ob die Hornhautlinsen jemals das leisten werden, was ich anfänglich hoffte, nämlich dass sie die Brillen ersetzen würden, das ist sehr fraglich. Die Ergebnisse meiner Versuche sind jedenfalls einer allzu hoffnungsvollen Betrachtung der Sache durchaus ungünstig. Soviel geht aus den obigen Ausführungen hervor, dass, falls eine solche Linse vom Auge überhaupt auf die Dauer ertragen werden soll, die Haftfläche derselben eine möglichst genaue Wiedergabe der Gestalt des Auges sein muss; dieselbe muss zugleich so lose aufliegen, dass die Circulation der Thränenflüssigkeit dadurch nicht behindert wird.

Wenn ich noch kurz auf die Berechnung der Radien von Hornhautlinsen eingehen darf, so bietet diese eigentümliche Schwierigkeiten. Da die Linse mit ihrer hinteren Fläche an Thränenflüssigkeit grenzt, so ist die hintere Brennweite derselben grösser als die vordere für Luft bestimmte, ihre Brechkraft für Luft berechnet, muss also grösser sein als die einer Brille, wenn sie eine ebenso grosse Wirkung entfalten soll, wie letztere. Die Grösse der Brennweiten einer Linse verhält sich in verschiedenen Medien wie die Brechungsindices der letzteren, also

$$\frac{f}{f_1} = \frac{n}{n_1} \text{ oder} \\ \frac{d}{d_1} = \frac{n_1}{n} \dots \dots \dots (22)$$

In unserem Falle also

$$\frac{d}{d_1} = \frac{1,33}{1}.$$

$$d = 1,33 d_1, \dots \dots \dots (23)$$

Darnach lautet Gleichung (4) für Hornhautlinsen:

$$d = 1,33 (n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \dots \dots \dots (24)$$

Eine Myopie von $-14,0$ verlangt also zu ihrer Correction eine Hornhautlinse von

$$d = -1,33 \cdot 14 = -18,62.$$

Die zur Wirkung kommende Brechkraft hängt indessen noch von einem anderen Umstand ab. Wenn die hintere Fläche der Linse genau ebenso gekrümmt ist, wie die vordere Fläche der Hornhaut, so wird sie in der That die Strahlen so brechen, wie es die Gleichung (24) angiebt. Hat dagegen die hintere Fläche der Linse eine etwas andere Krümmung als die Cornea, so gebe ich durch das Einlegen des Glases dem Auge eine neue Cornea, denn der Brechungsindex der zwischen Linse und Auge befindlichen Flüssigkeit ist ja gleich dem der Hornhaut. Je nachdem der Radius der hinteren Fläche der Hornhautlinse grösser oder kleiner ist als der der Cornea, verringert oder erhöht das Glas die Refraction des Auges; im ersten Falle wird das Auge weitsichtiger im zweiten Falle kurzsichtiger, als es in Wirklichkeit ist. Dadurch wird bei der ersten Annahme die Wirkung der Linse gesteigert, während sie bei der letzteren Annahme geringer ist, als sie gemäss Gleichung (24) sein sollte.

Als diese Arbeit fertig war, wurde mir ein Aufsatz von A. E. Fick über eine „Contactbrille“ durch ein Referat in Zehender's Monatsblättern bekannt. Die Contactbrille ist dem Wesen nach dasselbe, was die Hornhautlinsen sind. Fick will jedoch seine Gläser nur zur Correction des unregelmässigen Astigmatismus anwenden. Auffallend ist, dass er, nach den Angaben des Referats zu urtheilen, von den oben beschriebenen Schwierigkeiten nichts gesehen hat. Er versuchte seine Gläser zuerst bei Kaninchen und bemerkte erst nach 6—8 Stunden (!) Trübung des Wassers, das sich zwischen Glas und Auge befand, die Hornhaut war leicht getrübt, das Epithel derselben nicht ganz glatt und die Bindehaut mässig injicirt. Aber auch diese geringen Reizerscheinungen hat er dadurch vermieden, dass er anstatt Wasser 2 % sterilisirte

Traubenzuckerlösung zwischen Glas und Auge brachte. Bei den Versuchen, die er später bei mehreren Astigmatikern anstellte, hat Fick anscheinend ebenso wenig Reizerscheinungen gesehen. Ich bedaure sehr, die genannte Arbeit nicht früher im Original gekannt zu haben, da dieselbe mich aller Wahrscheinlichkeit nach bei meinen Versuchen wesentlich hätte unterstützen können.

Zum Schluss bleibt mir noch die angenehme Pflicht, meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Völckers für die freundliche Hilfe, die er mir bei meinen Versuchen gewährte, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Literatur:

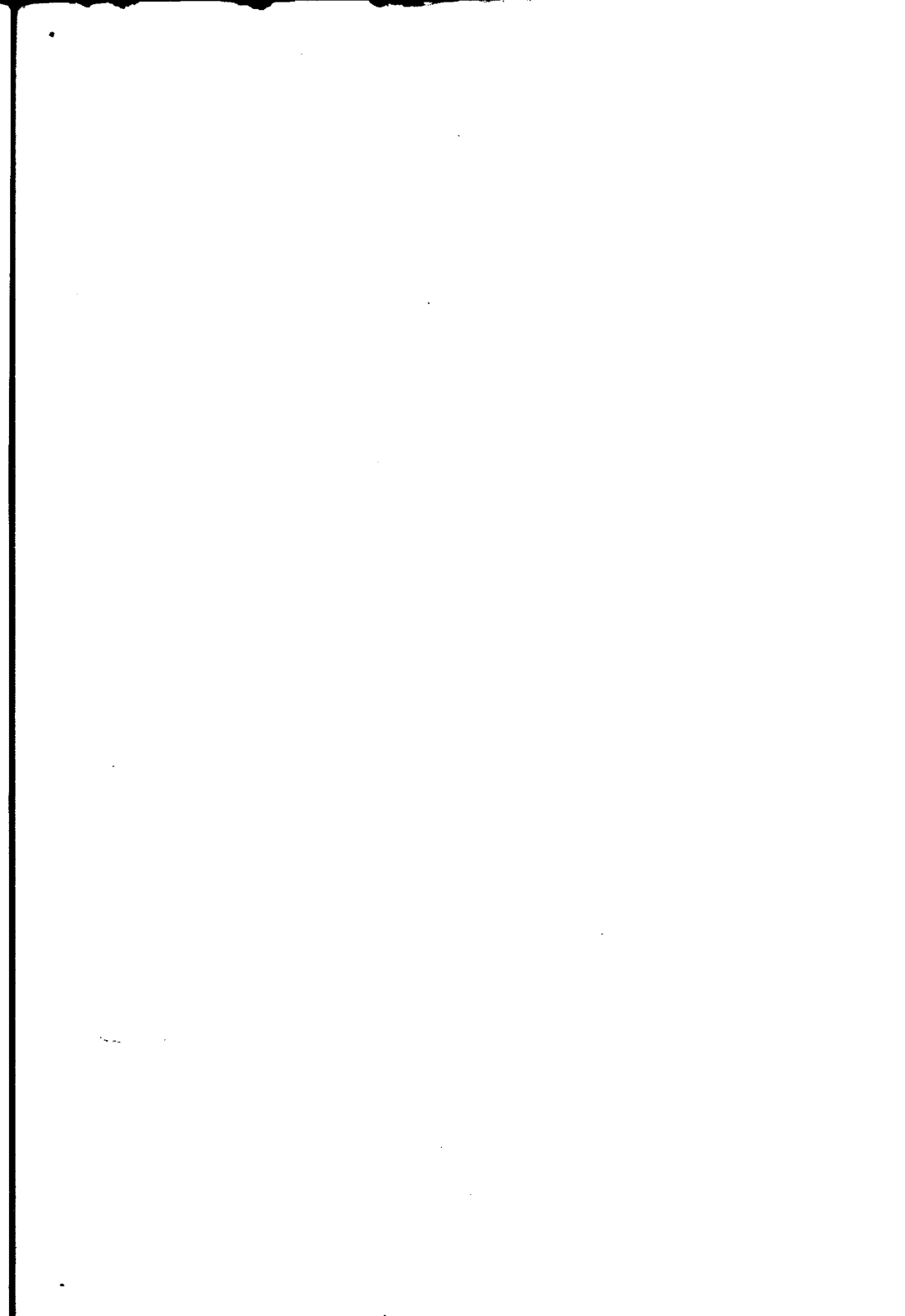
- Abbe, Ueber Verbesserungen des Mikroskopes mit Hilfe neuer Arten optischen Glases. (Sitzungsberichte der medicin.-naturw. Gesellschaft zu Jena. Sitzung vom 9. Juli 1886.)
- Czapski, Mitteilungen über das glastechnische Laboratorium in Jena und die von ihm hergestellten neuen optischen Gläser. (Zeitschrift für Instrumentenkunde 1886, September und October.)
- Donders, die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Wien 1866.
- Ferraris, die Fundamenteigenschaften der dioptrischen Instrumente. Deutsch von Lippich. Leipzig 1879.
- Fick, eine Contactbrille. (Archiv für Augenheilkunde XVIII. Heft 3. Seite 279.)
- Gehler's physicalisches Wörterbuch Artikel: Linse Bd VI. 1832.
- Javal, les verres de lunettes achromatiques. Gaz. méd. de Paris. 1877. No. 16.
- Littrow, Dioptrik oder Anleitung zur Verfertigung der Fernröhre. Wien, 1830.
- Neumann, die Brillen, das dioptrische Fernrohr und Mikroskop. Wien, 1887.
- Noyes, Improvements in Spectacle Frames (Transact. of the American Ophthalmol. soc. XI. ann. meeting 1875, pag. 356).
- Prechtl, Praktische Dioptrik, Wien 1828.
- Wollaston, On an Improvement in the Form of Spectacle Glasses. (Nicholson's Journal VII. 1804, pag. 143); auch in Philosophical Magazine Vol. XVII.
- v. Zehender, über aplanatische Brillengläser. (Bericht über die 17. Versammlung der Ophthalmol. Ges. Heidelberg, 1885. Red. von Donders, Hess und Zehender.
- Zwei Bemerkungen zur Brillenfrage (Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde. XXVI. Jahrg. 1888, October, S. 393 ff.).



Thesen.

1. Die periskopischen Brillengläser sind den gewöhnlichen beiderseits gleichgekrümmten unter allen Umständen vorzuziehen.
 2. Das Lungenödem ist nicht eine Ursache, sondern lediglich ein Anzeichen des eintretenden Todes.
 3. Vom allgemein-pathologischen Standpunkt aus betrachtet, ist die Entzündung ein nur im Bindegewebe verlaufender und für dieses charakteristischer Vorgang; die spezifischen Gewebszellen spielen bei derselben immer nur eine passive Rolle.
 4. Es ist ein dringendes Bedürfnis, dass das Apothekerwesen verstaatlicht wird.
-





1898