

Die Lehre von den Refractions- und Accommodations-Störungen des Auges : für Aerzte und Studierende dargestellt / von Rudolf Schirmer.

Contributors

Schirmer, Rudolf, 1831-1896.
Royal College of Surgeons of England

Publication/Creation

Berlin : August Hirschwald, 1866.

Persistent URL

<https://wellcomecollection.org/works/mx34rp9v>

Provider

Royal College of Surgeons

License and attribution

This material has been provided by This material has been provided by The Royal College of Surgeons of England. The original may be consulted at The Royal College of Surgeons of England. where the originals may be consulted. This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.



Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
<https://wellcomecollection.org>

Ofters

Die Lehre

von den

Refractions- und Accommodations- Störungen des Auges.

~~~~~

F ü r A e r z t e u n d S t u d i r e n d e

dargestellt

von

**Dr. Rudolf Schirmer,**

prakt. Arzt u. Privat-Docenten an der Universität Greifswald



---

Mit 40 Holzschnitten.

---

BERLIN, 1866.

Verlag von August Hirschwald.

68, Unter den Linden.

Die Lehre

von dem

Refraktions- und Accommodations-

Störungen des Auges.

Von Dr. med. et phil. Hermann von Helmholtz.

Leipzig

1861

Dr. Rudolf Schumann,

Verlag des Verlegers, Leipzig, Neudruck.

8

Dr. med. et phil. Hermann von Helmholtz.

Rechts, 1861.

Verlag von August Hirschwald.

Dr. med. et phil. Hermann von Helmholtz.



## Vorwort.

---

Die vorliegende Abhandlung ist nicht sowohl für den speciellen Augenarzt, als besonders für den praktischen Arzt bestimmt, und deshalb ist die physikalische Einleitung sehr elementar und verhältnissmässig ausführlich behandelt, weil die Unkenntniss in diesem Gebiete zumal das Verständniss der neuen Accommodationslehre so sehr hindert, ja unmöglich macht.

Ihre Entstehung verdanken diese Blätter den Vorlesungen, die ich wiederholt über dasselbe Thema gehalten habe. Hiernach bitte ich meine Arbeit zu beurtheilen. Es ist nicht meine Absicht, hier neue Untersuchungen oder neue Anschauungsweisen von mir darzulegen; ich habe mir die bescheidene Aufgabe gestellt, die Umwälzung in der Lehre von der Refraction und Accommodation des Auges, welche die bewundernswürdigen Leistungen von Donders<sup>1)</sup> hervorgerufen haben, leicht fasslich und in Kürze darzustellen. Wenn ausgezeichnete englische Ophthalmologen, wie Soelberg Wells und Z. Laurence,

---

1) s. Archiv für Ophthalmologie Bd. IV., 1; Bd. VI. 1, 2; Bd. IX 1; und „Astigmatismus und cylindrische Gläser“. Berlin, 1862.



sich bei ihren Monographien kein höheres Ziel steckten, so glaubte auch ich, mich hiermit bescheiden zu können, zumal wir in Deutschland keine derartige Schrift besitzen, während gerade in englischer Sprache das umfangreiche klassische Werk von Donders (On the anomalies of accommodation and refraction of the eye. London, 1864. 635 Seiten) erschienen ist, welches mir übrigens erst nach Vollendung meines Manuskriptes zu Gesicht kam.

Wie wenig Aerzte sich bisher mit dem Verordnen von Brillen befassen mögen und können, sondern dieserhalb an den Optiker verweisen, ist bekannt. Nach dieser Richtung hin giebt es also noch viel zu thun. Möchte meine Schrift sich zu solcher Arbeit tauglich erweisen!

Greifswald, den 2. Januar 1866.

**Der Verfasser.**

# Inhalt.

---

|                                                                 | Seite |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| I. Allgemeine physikalische Einleitung . . . . .                | 1     |
| II. Dioptrik des Auges . . . . .                                | 27    |
| III. Accommodation des Auges . . . . .                          | 32    |
| IV. Emmetropie. — Accommodationsbreite . . . . .                | 39    |
| V. Prüfung der Refraction und Accommodation des Auges . . . . . | 45    |
| Ametropie . . . . .                                             | 51    |
| VI. Myopie . . . . .                                            | 51    |
| VII. Hypermetropie . . . . .                                    | 60    |
| VIII. Astigmatismus . . . . .                                   | 69    |
| Accommodationsstörungen . . . . .                               | 87    |
| IX. Presbyopie . . . . .                                        | 91    |
| X. Accommodationsparalyse . . . . .                             | 94    |
| XI. Accommodationsspasmus . . . . .                             | 98    |
| XII. Aphakie . . . . .                                          | 100   |

---

# Inhalt

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| I. Allgemeine Begriffe                            | 1   |
| II. Begriff des Auges                             | 27  |
| III. Eintheilung des Auges                        | 32  |
| IV. Beschreibung des Auges                        | 39  |
| V. Function des Auges und Accommodation des Auges | 45  |
| VI. Metropie                                      | 47  |
| VII. Myopie                                       | 51  |
| VIII. Hypermetropie                               | 53  |
| IX. Astigmatismus                                 | 57  |
| X. Presbytie                                      | 61  |
| XI. Accommodationsparalyse                        | 64  |
| XII. Accommodationsparalyse                       | 66  |
| XIII. Aphakie                                     | 100 |



## I. Allgemeine physikalische Einleitung.

Nur mittelst des Lichtes vermag das Auge Gegenstände zu erkennen; wenn dieses nicht in das Auge dringt und die Netzhaut erregt, bleibt die Aussenwelt dunkel und unsichtbar.

Jeder Körper sobald er selbstleuchtend oder beleuchtet ist, schickt von jedem seiner hellen Punkte Lichtstrahlen in gerader Linie nach allen Richtungen hin, so dass dadurch eine Strahlenkugel entsteht, deren Centrum der leuchtende Punkt ist. Unter gewöhnlichen Verhältnissen müssen also die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtstrahlen divergent sein, und desto divergent, je näher jener liegt (siehe Fig. 1); nur wenn jene

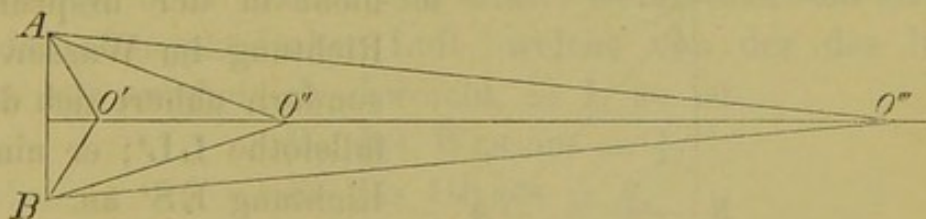


Fig. 1.

Punkte sehr fern liegen, und die bestrahlte Fläche eine verhältnissmässig kleine Ausdehnung hat, kann man die Strahlen als parallel verlaufend ansehen. So können wir dies bei den Sonnenstrahlen thun. Convergente Lichtstrahlen kommen demnach primär in der Natur nicht vor.

Alle diese Strahlen verlaufen in gerader Linie, bis sie einem Hinderniss begegnen. Stossen sie nämlich auf einen undurchsichtigen Körper, so werden sie nach bestimmten physikalischen



Gesetzen reflektirt, und dieser beleuchtete Körper wird somit dem Auge sichtbar; treffen die Lichtstrahlen aber auf einen durchsichtigen Körper, so wird zwar ein Theil derselben ebenfalls reflektirt und so auch der durchsichtige Gegenstand sichtbar gemacht, ein anderer Theil jedoch dringt hindurch und geht also von einem Medium in ein anderes über.

Die atmosphärische Luft ist ein für das Licht leicht durchgängiges Medium; gelangen nun aus dieser Lichtstrahlen in das Wasser, so weichen sie bei ihrem Uebertreten von ihrem ursprünglichen Wege ab: sie werden gebrochen. Auch die Lichtbrechung erfolgt nach bestimmten Gesetzen, die uns zunächst beschäftigen sollen.

Sobald ein Lichtstrahl aus einem dünneren in ein dichteres Medium übertritt, geht er nicht in derselben Richtung weiter, sondern in einer andern, welche von dem Einfallslothe (derjenigen Linie, welche auf der die beiden Medien trennenden Ebene in dem Einfallspunkte des Lichtstrahls senkrecht errichtet ist) weniger divergirt.

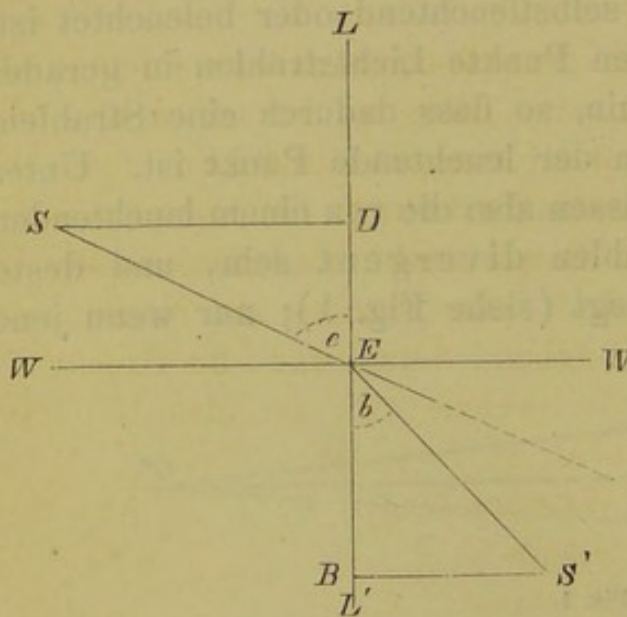


Fig. 2.

Stellt in Fig. 2 die Linie WW' einen Durchschnitt durch die Ebene dar, welche die Luft vom Wasser trennt, und SE einen Lichtstrahl, der die Luft durchdringend in E auf die Wasserfläche stösst, so geht er nicht in der ursprünglichen Richtung im Wasser weiter, sondern nähert sich dem Einfallslothe LL'; er nimmt die Richtung ES' an.

Nur wenn der Strahl senkrecht auf die Wasserfläche fällt, wie LE, geht er ungebrochen (EL') weiter. Den Winkel SEL nennt man den Einfallswinkel und L'ES' den Brechungswinkel; der einfallende Strahl, sowie das Einfallslotth und der gebrochene Strahl liegen in einer Ebene.

Natürlich findet das umgekehrte Verhältniss Statt, wenn der Lichtstrahl aus einem dichteren Medium in ein minder dichtes übergeht: dann wird derselbe so gebrochen, dass er sich vom



Einfallslothe entfernt. Also der Strahl S'E nimmt in der Luft die Richtung ES an.

Die Neigung des einfallenden Strahles zum Einfallslothe kann eine ganz beliebige sein, immerhin wird, wenn nur die beiden Medien dieselben bleiben, ein constantes Verhältniss bestehen zwischen der Grösse des Einfalls- und der des Brechungswinkels. Der Einfallswinkel (e) verhält sich nämlich stets zum Brechungswinkel (b) wie das Brechungsvermögen des zweiten Medium ( $n''$ ) zu dem des ersten ( $n'$ ). Da man trigonometrisch die Grösse eines Winkels durch seinen Sinus ausdrückt, kann man dieses Verhältniss so formuliren:

$$\sin e : \sin b = n'' : n'$$

$$\text{(d. i. nach Fig. 2: } \frac{SD}{SE} : \frac{S'B}{S'E} = n'' : n')$$

$$\text{oder } n' \cdot \sin e = n'' \cdot \sin b.$$

$$\text{oder } \frac{\sin e}{\sin b} = \frac{n''}{n'}$$

wo also der Quotient aus den beiden Sinus eine unveränderliche Grösse hat.

Von der Dichtigkeit eines durchsichtigen Körpers hängt nun die verschieden starke Kraft, das Licht zu brechen ab, oder genauer ausgedrückt: unter Brechungsvermögen eines bestimmten Medium versteht man das Verhältniss der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in diesem zu der im luftleeren Raume. So bricht Wasser stärker als Luft, Glas stärker als Wasser, und der Diamant noch stärker als Glas. Setzt man die Brechungskraft der atmosphärischen Luft, welche von der des luftleeren Raumes nur unerheblich abweicht, = 1, so ist

$$\text{die des Wassers} = \frac{4}{3},$$

$$\text{die des Glases} = \frac{3}{2},$$

$$\text{die des Diamant} = \frac{5}{2}.$$

Diese Zahlen sind die Brechungs-Exponenten oder -Indices der genannten Mittel. Demgemäss ist die Differenz zwischen Einfalls- und Brechungswinkel um so grösser, je grösser der Unterschied in der Brechungskraft der beiden sich berührenden Medien ist.

Betrachten wir diese Verhältnisse zunächst beim Glase und sehen zu, wie der Lichtstrahl, welcher aus der Luft kommend durch eine Glassplatte tritt, mittelst dieser gebrochen wird.



AC und BD seien die Durchschnitte der Begrenzungsflächen einer ebenen Glasplatte. Auf AC falle ein Lichtstrahl SE, so ist, wenn LM das Einfallslot, SEL der Einfallswinkel. Sobald der Lichtstrahl in das Glas übergeht, wird er dem Einfallslothe genähert und schreitet in der Richtung EE' weiter fort; tritt er nun in E' aus dem Glase in die Luft zurück, so muss in E' sein neuer Einfallswinkel NE'E gleich sein dem frühe-

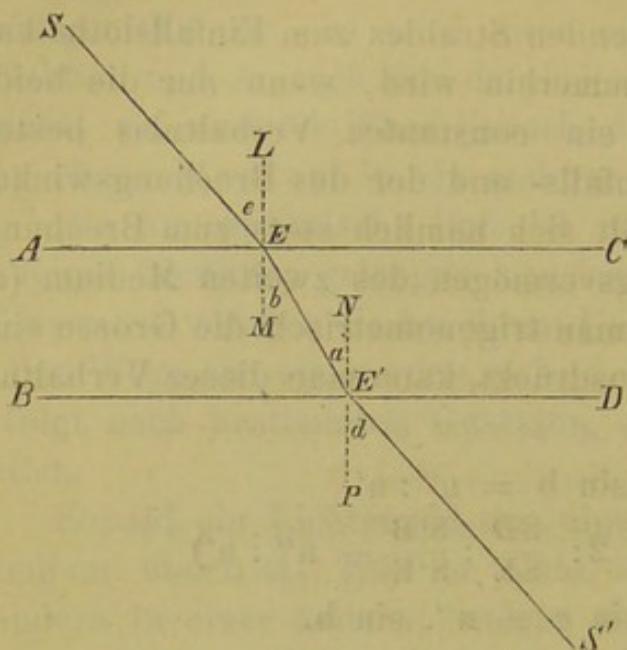


Fig. 3.

ren Brechungswinkel MEE' und sein neuer Brechungswinkel PE'S' beim Rückgange in die Luft gleich seinem früheren Einfallswinkel SEL, da ja der Brechungsexponent beim Eintritt des Lichtstrahles in das Glas ( $\frac{3}{2}$ ) der umgekehrte von dem beim Austritt aus dem Glase ( $\frac{2}{3}$ ) sein muss. Hieraus ist ersichtlich, dass der eintretende Strahl SE parallel dem austretenden S'E' sein muss, und dass der Strahl nur der Dicke der Platte entsprechend verschoben erscheint.

Bei einem Prisma — bekanntlich ein Medium, welches durch

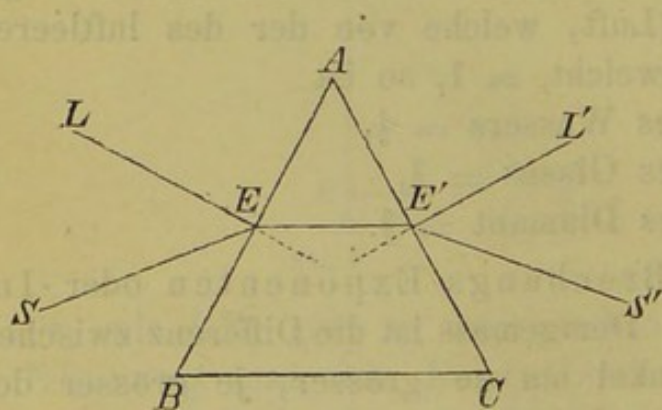


Fig. 4.

zwei gegen einander geneigte Ebenen begrenzt wird — unterscheidet man als Kante diejenige Linie, in welcher sich die beiden convergirenden Ebenen schneiden, und als Basis die der Kante gegenüberliegende Ebene.

Fällt auf ein Glasprisma, dessen Durchschnitt in Fig. 4 dargestellt ist, ein Lichtstrahl SE auf die Prismasfläche AB, so muss derselbe, weil er aus der Luft in ein stärker brechendes Medium übergeht, nach



seiner Brechung einen kleineren Winkel mit dem Einfallslothe  $LE$  bilden und im Glase die Richtung  $EE'$  annehmen, bis er in  $E'$  die andere Begrenzungsfläche des Prisma trifft und hier beim Uebergange in die Luft eine zweite Brechung erfährt. Da der Strahl hier aus einem dichteren Medium in ein minder dichtes übertritt, muss er sich vom Einfallslothe  $L'E'$  wieder entfernen und beim Austritt aus dem Prisma sich dessen Basis wieder nähern. Dieser Lichtstrahl macht also den Weg  $SEE'S'$ , d. h. durch ein Prisma wird das Licht nach der Basis hin gebrochen.

Es leuchtet von selbst ein, dass in Folge dieser Brechung der Strahl um so stärker von seinem ursprünglichen Wege abgelenkt wird, je grösser der Kantenwinkel  $BAC$  des Prisma ist.

Haben die brechenden Medien aber nicht eine ebene Trennungsfläche, sondern eine sphärische, so gilt im Allgemeinen die Regel, dass das von einem und demselben Punkte ausstrahlende Licht (homocentrisches) durch jene in der Art gebrochen wird, dass es homocentrisch bleibt, d. h. dass die gebrochenen Lichtstrahlen sich in ihren Verlängerungen wieder in einem gemeinschaftlichen Punkte hinter oder vor der sphärischen Fläche schneiden, und wäre es auch erst in unendlicher Ferne, nämlich bei entstandenem Parallelismus der Lichtstrahlen.

Die mathematische Beweisführung hierfür können wir uns nicht ersparen, da wir dabei grade die Formeln entwickeln werden, die wir bei Besprechung der Glaslinsen öfter gebrauchen müssen. Wir bewegen uns hierbei aber in der durchaus elementaren Mathematik.

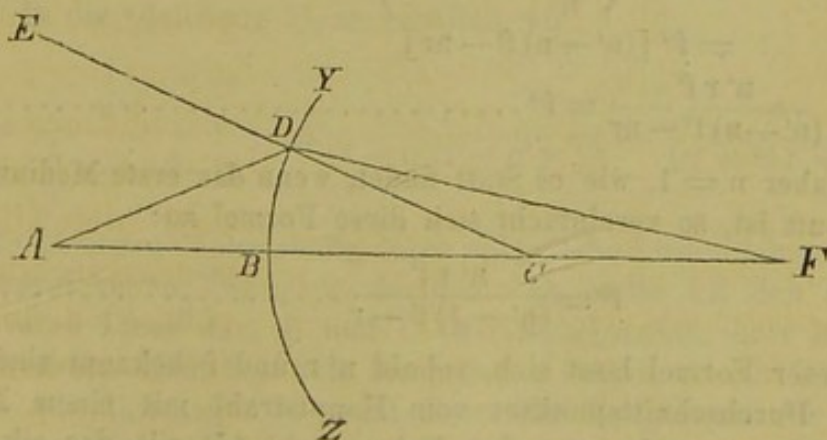


Fig. 5.

Es sei  $YZ$  der Durchschnitt der Kugeloberfläche einer lichtbrechenden



Substanz, vor ihr liege ein schwächer brechendes Medium, für unsern Zweck die atmosphärische Luft. Gehen nun von einem in der Luft befindlichen Punkte A Lichtstrahlen aus, so wird der, welcher gerade auf den Mittelpunkt der Kugelfläche (C) hingeht, ungebrochen eindringen als Hauptstrahl, weil AC dann zugleich auch Einfallslot ist, also Einfalls- und Brechungswinkel  $= 0$ . Zieht man ferner bei verhältnissmässig kleinem Bogen BD den Nebenstrahl AD, welcher gebrochen als DF weitergeht, und nennt den Brechungsexponenten des vor der Kugelfläche befindlichen Medium  $n$  und den des andern  $n'$ , so ist:

$$\sin CDF : \sin ADE = n : n' \dots\dots\dots 1)$$

Da sich in jedem geradlinigen Dreieck die Winkel, wie die gegenüberliegenden Seiten verhalten, so lassen sich für die Dreiecke CAD und CDF folgende Proportionen aufstellen:

$$\sin ADC : \sin DCA = AC : AD$$

$$\sin DCF : \sin CDF = DF : CF$$

Multiplicirt man diese drei Proportionen mit einander und setzt für  $\sin ADC$  den gleichwerthigen  $\sin ADE$  und für  $\sin DCA$  den gleichwerthigen  $\sin DCF$ , so erhält man

$$\sin CDF \cdot \sin ADE \cdot \sin DCF : \sin ADE \cdot \sin DCF \cdot \sin CDF = n \cdot AC \cdot DF : n' \cdot AD \cdot CF$$

also  $n \cdot AC \cdot DF = n' \cdot AD \cdot CF$ .

Nennt man die auf dieselbe Einheit bezogenen Maasszahlen von  $AB = f'$  (Entfernung des leuchtenden Punktes von der Kugelfläche), von  $CB = r$  (Krümmungsradius der Kugel), von  $BF = f''$  (Vereinigungsweite der Lichtstrahlen) und setzt, was man ohne erheblichen Fehler thun kann,  $AB = AD$  und  $BF = DF$ , so erhält man nach obiger Gleichung:

$$n f'' (f' + r) = n' f' (f'' - r)$$

$$f' + r = \frac{n' f' f''}{n f''} - \frac{n' r f'}{n f''}$$

$$f' + r - \frac{n' f'}{n} = - \frac{n' r f'}{n f''}$$

$$n' r f' = n f'' \left( \frac{n' f'}{n} - f' - r \right)$$

$$= f'' [(n' - n) f' - nr]$$

$$\frac{n' r f'}{(n' - n) f' - nr} = f'' \dots\dots\dots 2a)$$

Ist nun aber  $n = 1$ , wie es Statt findet, wenn das erste Medium die atmosphärische Luft ist, so vereinfacht sich diese Formel zu:

$$f'' = \frac{n' r f'}{(n' - 1) f' - r} \dots\dots\dots 2)$$

Nach dieser Formel lässt sich, sobald  $n' r$  und  $f'$  bekannt sind, die Entfernung des Durchschnittspunktes vom Hauptstrahl mit einem Nebenstrahl berechnen. Was nun aber von dem Nebenstrahl AD gilt, das gilt von jedem andern, der von A ausgeht, sobald seine Divergenz vom Hauptstrahl nur nicht zu bedeutend ist. F ist also der gemeinsame Durchschnittspunkt der von A ausgehenden, durch das sphärisch begränzte Medium gebrochenen Lichtstrahlen.



Bleibt  $n' - 1$  eine bestimmte positive Grösse und ebenso  $r$ , so kann man aus der allgemein gültigen Formel 2) sehen, wie sich  $f''$  ändern muss, sobald der Werth von  $f'$  wechselt. Nach den vorigen Annahmen fiel also der Vereinigungspunkt  $F$  in endliche Ferne hinter  $YZ$ ; setzt man aber  $(n' - 1)f' - r = 0$  oder, was dasselbe ist,  $f' = \frac{r}{n' - 1}$  so wird  $f'' = \frac{n' r f'}{0} = \infty$  d. h. der gebrochene Strahl geht dem Hauptstrahl parallel. Ist ferner  $(n' - 1)f' - r < 0$  oder  $f' < \frac{r}{n' - 1}$ , so wird der Werth von  $f''$  negativ, d. h. der Nebenstrahl schneidet den Hauptstrahl nicht hinter der brechenden Fläche, sondern ideell vor derselben. Befindet sich der leuchtende Punkt sehr fern, so dass man  $f' = \infty$  setzen kann, so vereinfacht sich die Formel 2) noch mehr.

Dividirt man Zähler und Nenner von  $\frac{n' r f'}{(n' - 1)f' - r}$  durch  $f'$ , so erhält man  $\frac{n' r}{(n' - 1) - \frac{r}{f'}} = \frac{n' r}{(n' - 1) - \frac{r}{\infty}}$  also  $f'' = \frac{n' r}{n' - 1}$ , sobald Nebenstrahl und Hauptstrahl parallel auffallen.

Auch wenn die brechende Fläche eben ist, und demnach  $r = \infty$ , behält die Formel 2) ihre Richtigkeit:

$$f'' = \frac{n' f' r}{(n' - 1)f' - r} = \frac{n' f'}{(n' - 1)\frac{f'}{r} - \frac{r}{r}} = \frac{n' f'}{(n' - 1)0 - 1} = \frac{n' f'}{-1} = -n' f'$$

Ist die brechende Substanz mit einer concaven statt convexen Fläche versehen, so braucht man in der allgemeinen Formel nur  $r$  negativ zu setzen  $f'' = \frac{-n' f' r}{(n' - 1)f' + r}$ , wo dann  $f''$  negativ wird, d. h. vor der brechenden Fläche liegt. Auch hier ist die Werthsveränderung von  $f''$  abhängig von der von  $f'$ , ganz analog dem Falle, wo  $r$  positiv ist.

Dringen die Lichtstrahlen aus dem brechenden Medium in die Luft, so ist natürlich das Brechungsverhältniss das umgekehrte, also  $\frac{1}{n'}$ . Setzen wir dies statt  $n'$  in die Gleichung 2), so erhalten wir

$$f'' = \frac{\frac{1}{n'} f' r}{\left(\frac{1}{n'} - 1\right) f' - r} = \frac{f' r}{(1 - n') f' - n' r} = - \frac{f' r}{(n' - 1) f' + n' r}$$

Auch die Lichtstrahlenbrechung durch sphärische Linsen können wir durch Hülfe der entwickelten Formel 2) darthun. Es stelle  $YZ$  den Durchschnitt einer biconvexen Linse dar,  $C$  und  $C'$  die Mittelpunkte ihrer Kugelflächen,  $OP$  die Linsenaxe. Fällt von dem leuchtenden Punkte  $A$  ein Lichtstrahl auf die Linse in der Richtung  $AC$ , so ist dieser der Hauptstrahl für die vordere Kugelfläche; der Nebenstrahl  $AD$  würde dann, wenn man zunächst von der hintern Fläche der Linse absieht und sich das brechende Medium fortgesetzt vorstellt, den Hauptstrahl in irgend einem Punkte ( $F$ ) schneiden, oder ihm parallel gehen. Ersteres sei der Fall. Zieht man von  $F$  aus eine Gerade



nach  $C'$ , welche in  $E$  die vordere Linsenfläche schneidet, so ist dies für die hintere Linsenfläche die Richtung des Hauptstrahls. Der Strahl  $AE$  wird also

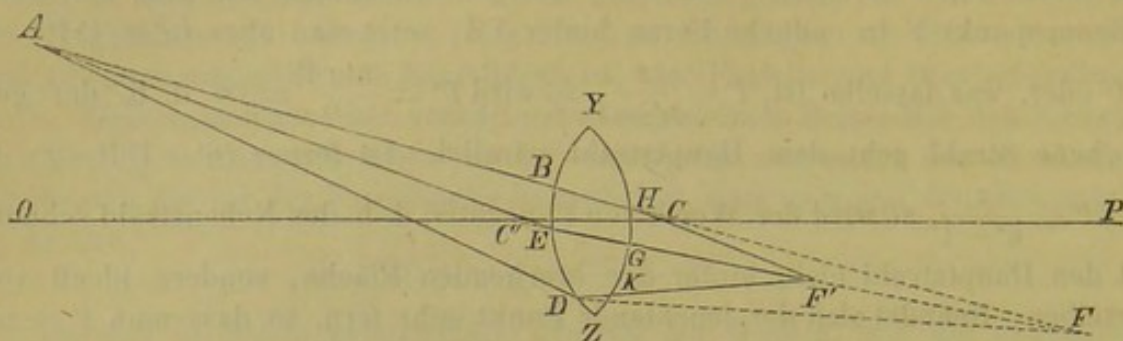


Fig. 6.

nur durch die vordere Linsenfläche gebrochen und geht durch die hintere ungebogen hindurch. Die Entfernung des Punktes  $F$  von der vordern Linsenfläche ist bestimmt durch die Formel  $f' = \frac{n' r f'}{(n' - 1) f' - r}$  und ist positiv. Alle von  $A$  ausgehenden, durch die vordere Linsenfläche gebrochenen Strahlen haben eine solche Richtung erhalten, dass sie convergirend einem gemeinsamen Punkte  $F$  zueilen. In dieser Richtung stossen sie auf die hintere Linsenfläche. Ihr ideeller Ausgangspunkt  $F$  liegt also hinter der sphärischen Fläche, und seine Entfernung ( $f'$ ) ist daher negativ zu setzen. Ohne erheblichen Fehler kann man  $BF = DF = EF = f'$  und  $BH = EG = DK = d$  (Dicke der Linse) setzen. Die durch die vordere Linsenfläche gebrochenen und auf die hintere auffallenden Lichtstrahlen erleiden durch letztere eine neue Brechung, nach welcher sie entweder parallel werden, oder sich in einem gemeinschaftlichen Punkte ( $F'$ ) schneiden. Letzteres sei der Fall. Dann ist, wenn man  $F'G = \varphi$  und den Halbmesser der hintern Linsenfläche  $= r'$  setzt,

$$\varphi = \frac{\frac{1}{n'}(-r')[-(f'' - d)]}{-\left(\frac{1}{n'} - 1\right)(f'' - d) - (-r')}$$

Zähler und Nenner mit  $n'$  multiplicirt:

$$= \frac{r'(f'' - d)}{-(1 - n')(f'' - d) + n'r'} = \frac{r'(f'' - d)}{(n' - 1)(f'' - d) + n'r'}$$

Substituirt man für  $f''$  den Werth  $\frac{n' r f'}{(n' - 1) f' - r}$  so erhält man

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{r' \left[ \frac{n' f' r}{(n' - 1) f' - r} - d \right]}{(n' - 1) \left[ \frac{n' f' r}{(n' - 1) f' - r} - d \right] + n' r'} \\ &= \frac{\frac{n' f' r r'}{(n' - 1) f' - r} - r' d}{\frac{(n' - 1) n' r f'}{(n' - 1) f' - r} - (n' - 1) d + n' r'} \end{aligned}$$



$$\varphi = \frac{n' f' r r' - (n' - 1) f' r' d + r r' d}{(n' - 1) n' f' r - (n' - 1) f' (n' - 1) d + (n' - 1) r d + (n' - 1) f' n' r' - r n' r'}$$

$$= \frac{n' f' r r' - (n' - 1) f' r' d + r r' d}{n' (n' - 1) f' (r + r') - n' r r' + (n' - 1) r d - (n' - 1)^2 f' d} \dots\dots\dots 3)$$

Diese für biconvexe Linsen entwickelte Formel gilt auch für Linsen mit concaven Flächen, nur muss dem entsprechend  $r$  negativ, oder positiv, oder auch bei einer ebenen Fläche  $= \infty$  gesetzt werden.

Setzt man  $f' = \infty$ , so dass  $\varphi$  die Hauptbrennweite wird, so wandelt sich die Formel 3), wenn man Zähler und Nenner durch  $f'$  dividirt, um in

$$\varphi = \frac{n' r r' - (n' - 1) r' d}{n' (n' - 1) (r + r') - (n' - 1)^2 d}$$

$$= \frac{r' [n' r - (n' - 1) d]}{(n' - 1) [n' r + n' r' - (n' - 1) d]} = F \dots\dots\dots 4)$$

Vernachlässigt man ferner die Dicke der Linse, indem man sie sehr gering annimmt und  $d = 0$  setzt, wird die Gleichung 3) noch einfacher, nämlich

$$\varphi = \frac{n' f' r r'}{n' (n' - 1) f' (r + r') - n' r r'}$$

und unter gleicher Annahme wird aus Gleichung 4):

$$F = \frac{n' r r'}{(n' - 1) (n' r + n' r')} = \frac{r r'}{(n' - 1) (r + r')}$$

oder  $\frac{1}{\varphi} = \frac{n' (n' - 1) f' (r + r') - n' r r'}{n' f' r r'}$

$$= \frac{(n' - 1) (r + r')}{r r'} - \frac{1}{f'}$$

und  $\frac{1}{F} = \frac{(n' - 1) (r + r')}{r r'}$

$$= (n' - 1) \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right) \dots\dots\dots 5)$$

Demnach auch  $\frac{1}{\varphi} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f'}$

oder  $\frac{1}{F} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\varphi} \dots\dots\dots 6)$

ferner  $\frac{1}{F} = \frac{1}{\varphi f'} + \frac{1}{f' \varphi}$

$$= \frac{\varphi + f'}{\varphi f'}$$

$$F = \frac{\varphi f'}{\varphi + f'} = \frac{f' \varphi}{f' + \varphi} \dots\dots\dots 7)$$

Diese beiden letzten Gleichungen behalten auch für negative Linsen ihre Richtigkeit, nur ist zu beachten, dass dann  $\varphi$  vor die Linse fällt, also negativ wird. Für diesen Fall ist demnach zu schreiben:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{\varphi} \dots\dots\dots 6a)$$

und nach der eben bewerkstelligten Umwandlung

$$F = \frac{\varphi f'}{\varphi - f'} \dots\dots\dots 7a)$$



Aus obiger mathematischer Deduktion geht also hervor, dass sphärische Linsen (bekanntlich brechende Medien, die auf beiden Seiten durch einen Theil einer Kugeloberfläche in der Art begränzt werden, dass der Abstand ihrer Flächen kleiner ist, als ihre Krümmungsradien) die optische Wirkung haben, dass homocentrisches Licht durch sie gebrochen homocentrisch bleibt. Es wird durch die Linsen nur die vorhandene Divergenz der von einem Punkte vor der Linse ausgehenden Lichtstrahlen in einer gleichmässigen Weise verringert (resp. zur Convergenz umgewandelt) oder noch vermehrt.

Abstrahiren wir von dem oben geführten mathematischen Beweise, so können wir uns auch die Wirkungsweise der Linsen zunächst an einer plan-convexen Linse, wo also der Radius der ebenen Fläche  $= \infty$  ist, veranschaulichen. Eine solche Linse kann man sich als Kugelabschnitt vorstellen, entstanden vermittelt einer beliebig durch eine Kugel gelegten Ebene. Die im Mittelpunkt dieser Ebene errichtete Senkrechte ist die Axe der Linse.

Denken wir uns diese Linse auf ihrer planen Fläche aufliegend und dann durch vielfache senkrechte Schnitte, die sämmtlich als Kreisdurchmesser sich im Centrum der convexen Fläche kreuzen, in möglichst viele, schmale, keilförmige Stückchen zerlegt, so lässt sich ein einzelnes solcher Stückchen anschauen als zusammengesetzt aus unzählig vielen kleinen Prismen, denen die Kante fehlt, deren Brechungswinkel aber in gleichmässiger Weise wächst, je ferner er dem Centrum liegt, während im Centrum selbst der Brechungswinkel des Prisma so klein geworden ist, dass die beiden Ebenen als parallel anzusehen sind, und an dieser Stelle keine prismatische Ablenkung des Lichtes Statt findet.

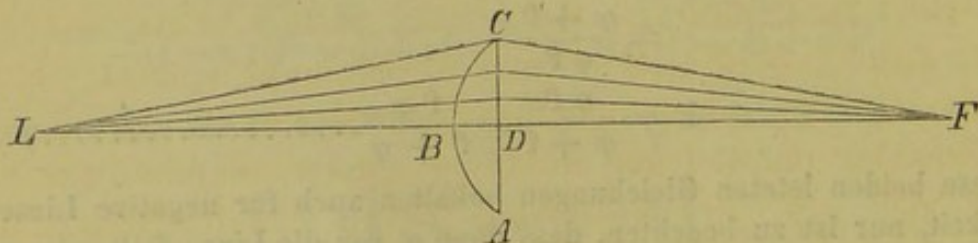


Fig. 7.

Daher geschieht es, dass die von L (Fig. 7) ausgehenden Strahlen bei ihrem Durchtritt durch BCD so gebrochen werden, dass sie sich wieder in einem Punkte (F), der auf der verlängerten



BD liegt, vereinigen. Fallen von L aus Strahlen auch auf ABD, den Keil, welcher BED grade gegenüber liegt, so werden diese nach ihrer Brechung ebenfalls in F sämtlich vereinigt. Da ganz dasselbe Statt findet bei allen kleinen Keilen, die um BD als ihre Axe radienartig gruppirt die ganze Linse zusammensetzen, so muss der ganze von L ausgehende Lichtkegel, welcher die Linse passirt, hinter derselben in F wieder punktförmig concentrirt werden. Der in der Richtung der Axe die Linse durchdringende, ungebrochene Strahl heisst der Axenstrahl (LF).

Durch diese Linse werden also die divergirenden Strahlen des homocentrischen Lichtes gesammelt. Die Brechkraft einer plan-convexen Linse muss um so grösser sein, je stärker convex sie ist, oder mit anderen Worten, je kleiner der Radius der sie begränzenden Kugelfläche ist, weil dann die Kantenwinkel der Prismen vom Centrum nach der Peripherie viel schneller wachsen und eine bedeutendere Grösse erlangen.

Der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen, welcher hinter der Linse auf deren Axe liegt (F), wird Brennpunkt oder Focus genannt und der Abstand desselben von der Linse Brennweite oder Focaldistanz.

Da nun die Brechkraft einer und derselben Linse dieselbe bleibt, mag der leuchtende Punkt ferner oder näher von ihr liegen, und da, wie schon oben erwähnt ist, die Lichtstrahlen eines nahen leuchtenden Punktes divergenter auf die Linse fallen, als die eines fernen Punktes, so muss auch der Strahlenkegel nach der Brechung im ersteren Falle minder convergent sein, als im letzteren, oder was dasselbe sagt: Bei einer und derselben Linse rückt der Brennpunkt um so weiter hinaus, je mehr sich der leuchtende Punkt nähert. Es giebt also bei einer Linse unzählig viele Brennpunkte. Wenn man aber von einem Hauptbrennpunkte oder schlechtweg Brennpunkt spricht, versteht man darunter den einem unendlich fernen Punkte (der demnach seine Strahlen parallel auf die Linse sendet) zugehörigen Focus. Nähert sich aus der unendlichen Ferne der leuchtende Punkt immer mehr, so entfernt sich dem entsprechend der Focus, bis er in die unendliche Ferne fällt, sobald jener vor der Linse die Distanz des Hauptbrennpunktes einnimmt; rückt der leuchtende Punkt der Linse endlich noch näher, so bleiben die austretenden



Strahlen, wenn auch minder, divergent und ihr ideeller Focus liegt vor der Linse.

Man erkennt hieraus die gegenseitige Abhängigkeit der Lage des leuchtenden Punktes und seines zugehörigen Focus. Beide nennt man daher conjugirte Vereinigungspunkte.

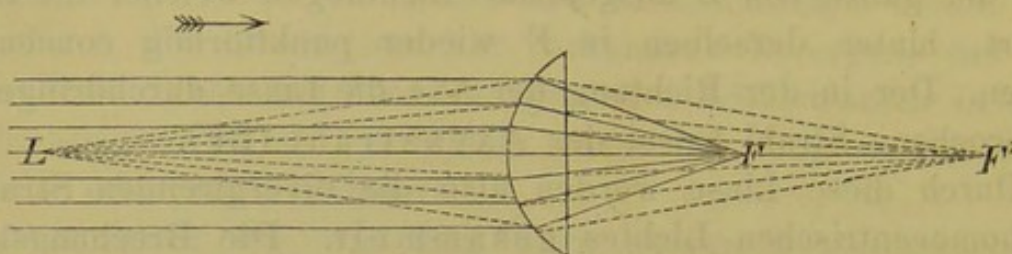


Fig. 8.

In Fig. 8 ist F Hauptfocus, F' Focus für L.

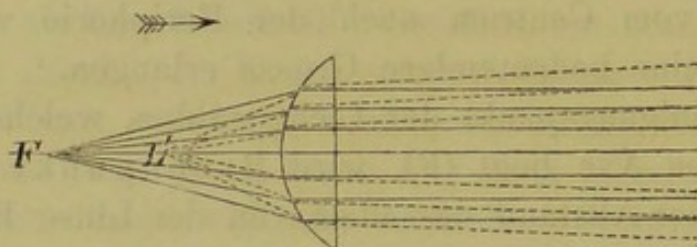


Fig. 9.

In Fig. 9 F vorderer Focus und von dort ausgehende Strahlen, L in der Brennweite gelegener leuchtender Punkt.

Legt man zwei plan-convexe Linsen mit ihren ebenen Flächen so aneinander, dass ihre Axen zusammenfallen, so erhält man eine biconvexe Linse, deren Brechkraft natürlich gleich der Summe der Kraft von beiden plan-convexen Linsen ist. Demgemäss ist die Hauptfocaldistanz bei biconvexen Linsen mit gleichen Krümmungsradien halb so gross, wie bei der gleichgekrümmten plan-convexen. Nun giebt es aber auch Biconvexlinsen mit ungleichen Krümmungsradien. Für alle diese Linsen lässt sich die Entfernung ihres Hauptbrennpunktes leicht nach der oben entwickelten Formel 5)

$$\frac{1}{F} = (n' - 1) \cdot \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$$

berechnen, wobei nur zu bedenken ist, dass hierbei der, wenn auch unbedeutenden, Dicke der Linse nicht Rechnung getragen wird, und dass man ferner absieht von der sphärischen und der chromatischen Aberration der Lichtstrahlen.



In dieser Formel ist für uns, da wir es mit gläsernen Linsen zu thun haben,  $n' = \frac{2}{3}$ ;  $r$  und  $r'$  bedeuten die Länge der Krümmungsradien in Zollen<sup>1)</sup> ausgedrückt.

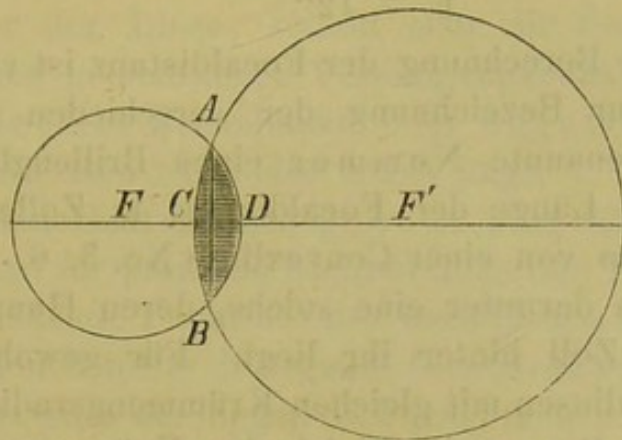


Fig. 10.

Haben wir z. B. wie in Fig. 10, eine biconvexe Linse, deren einer Krümmungsradius 6'', der andere 12'' Länge hat, so ist

$$\begin{aligned}\frac{1}{F} &= \left(\frac{3}{2} - 1\right) \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{12}\right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{8} \\ F &= 8''\end{aligned}$$

Sind die Radien beider convexen Flächen der Linse gleich

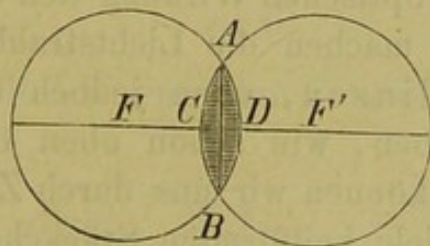


Fig. 11.

gross, wie in Fig. 11 z. B. gleich 6 Zoll, so findet man

$$\begin{aligned}\frac{1}{F} &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{6}\right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{6} \\ F &= 6''\end{aligned}$$

Endlich bei einer plan-convexen Linse, wo der eine Radius

1) Die bei uns fast ausschliesslich gebräuchlichen Rathenower Gläser haben den rheinischen Zoll als Maassstab.



$= \infty$  ist, sei der andere  $= 6''$ . Wir haben dann nach der Formel

$$\begin{aligned}\frac{1}{F} &= \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{\infty} \right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1}{6} + 0 \right) = \frac{1}{12} \\ F &= 12''\end{aligned}$$

Eine solche Berechnung der Focaldistanz ist von Wichtigkeit, weil dieselbe zur Bezeichnung der verschiedenen starken Linsen dient. Die sogenannte Nummer eines Brillenglases ist nichts anderes, als die Länge der Focaldistanz in Zollen ausgedrückt. Spricht man also von einer Convexlinse No. 3, 6, 12, 20 u. s. w., so versteht man darunter eine solche, deren Hauptbrennpunkt 3, 6, 12 resp. 20 Zoll hinter ihr liegt. Für gewöhnlich hat man freilich Biconvexlinsen mit gleichen Krümmungsradien in Gebrauch, bei welchen die Brennweite gleich dem Krümmungsradius ist, wo also durch die Nummer beides ausgedrückt wird.

Wie wir gesehn, ist die Stärke einer Linse um so grösser, je kürzer ihre Brennweite ist, mithin verhält sich jene umgekehrt wie die Brennweite. Wollen wir demnach die Stärke einer Linse ausdrücken, so muss dies durch den umgekehrten (reciproken) Werth ihrer Brennweite geschehen. Die Stärke einer Convexlinse No. 6, 12, 20, 36 . . . . ist also  $\frac{1}{6}$ ,  $\frac{1}{12}$ ,  $\frac{1}{20}$ ,  $\frac{1}{36}$  . . . .

Concavlin sen, die von concaven Kugelflächen begränzt werden, sind in ihrer optischen Wirkung den Convexlinsen gerade entgegengesetzt. Sie machen die Lichtstrahlen divergenter, sie sind Zerstreuungslinsen, ohne jedoch die Homocentricität der Strahlen aufzuheben, wie schon oben bemerkt ward. Wie bei den Convexlinsen können wir uns durch Zerlegung einer plan-concaven Linse in viele keilförmige Stückchen die Wirkung der letzteren verdeutlichen. Denkt man sich einen solchen kleinen Keil auch hier in unzählig viele kleine Prismen zerlegt, so sieht man zunächst, dass, entgegengesetzt den Convexlinsen, die Kanten der Prismen nach dem Centrum der Linse sehen, und dass der dickste Theil des keilförmigen Stückes (hier der periphere Theil der Linse) aus den stärksten Prismen zusammengesetzt ist, während der dünnere centrale Theil die schwächsten enthält. Die plan-concave Linse als Ganzes lässt demnach in ihrer Mitte den Axenstrahl eines Strahlenkegels ungebrochen hindurch, während die andern Strahlen, je näher der Linsenperipherie sie auffallen,



um so stärker nach der Peripherie hin abgelenkt werden, also die Randstrahlen stärker als die Centralstrahlen.

Die durch eine Concavlinse hindurchtretenden Strahlen werden sich demnach nicht hinter der Linse schneiden, aber wohl findet man vor der Linse, sobald man die Strahlen rückwärts verlängert, einen gemeinsamen Vereinigungspunkt ihrer aller. Es ist dies ein ideeller Brennpunkt, oder negativer, weil er auf der entgegengesetzten Seite der Linse liegt.

Wie bei den Convexlinsen giebt es auch hier unzählig viele Brennpunkte und für parallele Lichtstrahlen den Hauptbrennpunkt. Rückt der leuchtende Punkt aus der unendlichen Ferne heran und sendet dann an sich schon divergente Lichtstrahlen auf die Concavlinse, so nähert sich der negative Focus immer mehr der Linse, weil divergente Strahlen durch dieselbe Zerstreuungslinse zu grösserer Divergenz gebracht werden müssen, als parallele. Und je grösser die Divergenz der gebrochenen Strahlen wird, desto kleiner muss ihre negative Brennweite werden.

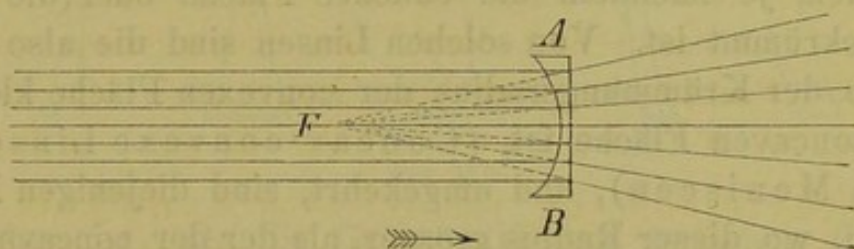


Fig. 12.

In Fig. 12 stellt AB eine Plan-Concavlinse mit ihrem ideellen Brennpunkt F dar.

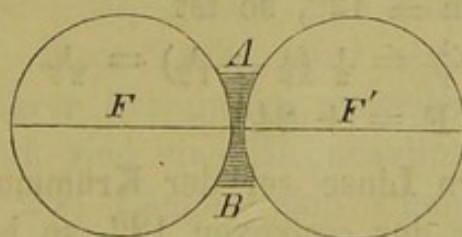


Fig. 13.

Häufiger findet man Biconcavgläser, die gleiche Krümmungsradien haben (Fig. 13), seltener solche mit ungleichen Krümmungsradien (Fig. 14).

Die Berechnung der Haupt-Focaldistanz bei Concavlinsen geschieht ebenso wie bei Convexlinsen, nach der Formel

$$\frac{1}{F} = \left(\frac{3}{2} - 1\right) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$$



nur ist hier im Gegensatz zu den Sammellinsen der gefundene Werth ein negativer, da  $r$  und  $r'$  negativ sind.

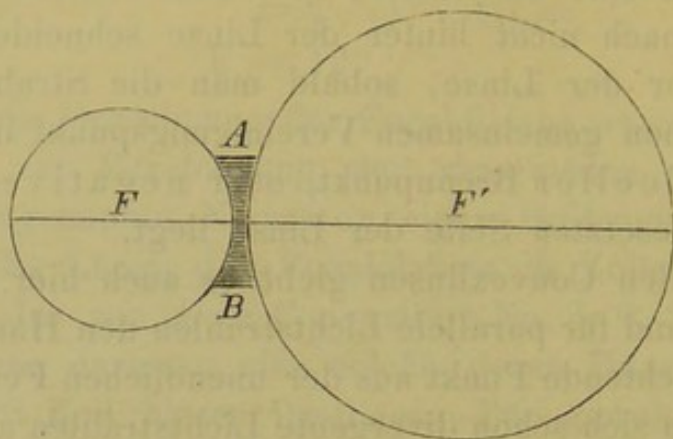


Fig. 14.

Nun giebt es aber auch Linsen, welche auf der einen Seite von einer concaven, auf der andern von einer convexen Fläche begränzt werden, und welche Zerstreuungs- oder Sammellinsen sein können, je nachdem die concave Fläche oder die convexe stärker gekrümmt ist. Von solchen Linsen sind die also Sammellinsen, wo der Krümmungsradius der convexen Fläche kleiner als der der concaven Fläche ist, (Concav-convexe Linsen oder positive Menisken), und umgekehrt, sind diejenigen Zerstreuungslinsen, wo dieser Radius grösser, als der der concaven Fläche ist (Convex-concave Linsen oder negative Menisken). Auch bei diesen Linsen lässt sich leicht die Hauptbrennweite berechnen: Es sei der Krümmungsradius der convexen Fläche =  $6''$ , der der concaven =  $12''$ , so ist

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{6} - \frac{1}{12} \right) = \frac{1}{24}$$

$$F = + 24''$$

Bei einer andern Linse sei der Krümmungsradius der concaven Fläche  $6''$ , der der convexen  $12''$ , so ist

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{2} \left( -\frac{1}{6} + \frac{1}{12} \right) = -\frac{1}{24}$$

$$F = - 24''$$

Fig. 15 A zeigt die verschiedenen Arten von Sammellinsen im Durchschnitt, welche alle das gemein haben, dass sie im Centrum dicker, an der Peripherie dünner sind. Fig. 15 B stellt die Durchschnitte der verschiedenen Arten von Zerstreuungslinsen dar, welche dadurch charakterisirt sind, dass ihr Centrum dünner,



ihre Peripherie dicker ist, mit Ausnahme des Meniscus e. Ob-  
schon nämlich bei diesem die concave Fläche stärker gewölbt ist,

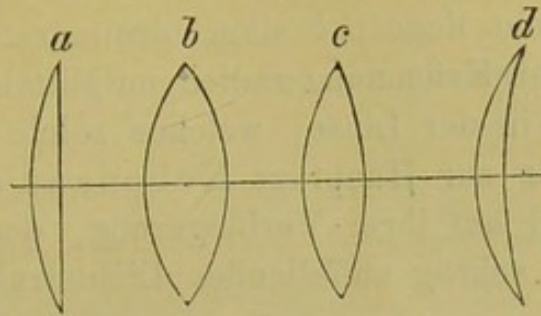


Fig. 15 A.

als die convexe, liegt dennoch der Mittelpunkt der ersteren hinter  
dem der convexen Fläche, indem hier die Dicke der Linse be-

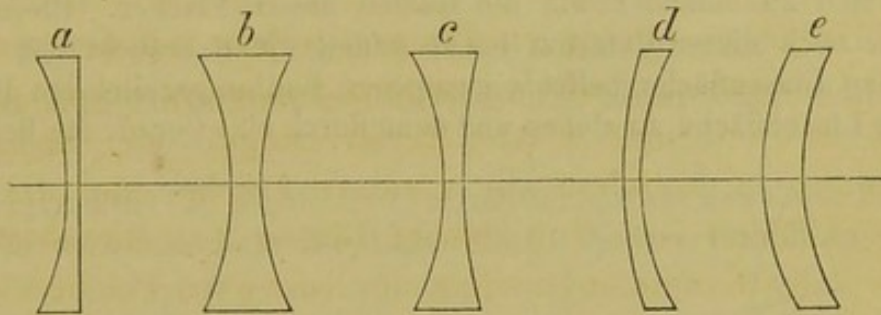


Fig. 15 B.

trächtlicher ist, als die Grössendifferenz zwischen den beiden  
Radien.

Die Nummer der Concavgläser richtet sich auch nach der  
Entfernung ihres negativen Hauptbrennpunktes, z. B. Concavlinse  
No. 20, oder kurz  $-20$ , heisst eine Linse von  $20''$  negativer  
Hauptbrennweite. Ihre Stärke wird ebenfalls durch den um-  
gekehrten Werth ihrer Brennweite ausgedrückt, also hier durch  
 $-\frac{1}{20}$ . Gleich stark sind eine Biconcavlinse mit gleichen Krüm-  
mungsradien von  $20''$  Länge, eine Planconcavlinse mit dem  
Krümmungsradius von  $10''$ , ferner eine Convexconcavlinse mit  
einem Krümmungsradius der concaven Fläche von  $5''$  und einem  
der convexen Fläche von  $10''$  Länge.

Bisher haben wir nur von leuchtenden Punkten, welche auf  
der verlängerten Linsenaxe gelegen sind, die Strahlenbrechung  
betrachtet, aber noch nicht von solchen Punkten, welche neben  
dieser Axe liegen, die also ihren Strahlenkegel schräg auf die  
Linse senden. Wir finden hier eine genaue Analogie mit dem



Obigen. Auch von diesem schräg auffallenden Strahlenkegel geht ein Strahl so gut wie ungebrochen durch die Linse hindurch, nämlich derjenige, welcher das optische Linsencentrum trifft.

Dieses Centrum liegt bei allen biconvexen und biconcaven Linsen mit gleichen Krümmungsradien im Mittelpunkt der Linsenaxe.<sup>1)</sup> Der Weg in der Linse, welchen solch ein Strahl macht, wird im Gegensatz zur Hauptaxe Nebenaxe oder sekundäre Axe genannt, und auf ihrer Verlängerung, dem ungebrochenen Centralstrahl des schräg auffallenden Lichtstrahls, kommen alle

1) Bei den verschiedenen Arten von Sammel- und Zerstreuungslinsen ist die Lage des optischen Linsencentrum eine verschiedene. Dasselbe liegt nämlich auf der Linsenaxe, und seine Abstände von den beiden Linsenflächen verhalten sich zu einander wie die Radien dieser Flächen. Hiernach lässt sich geometrisch dieses Centrum leicht finden. Man braucht nur zu einem für die eine Linsenfläche beliebig gezogenen Radius parallel den Radius für die andere Linsenfläche zu ziehen und dann durch eine Gerade die Berührungs-

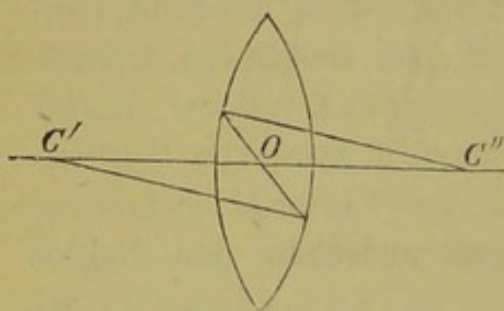


Fig. 16.

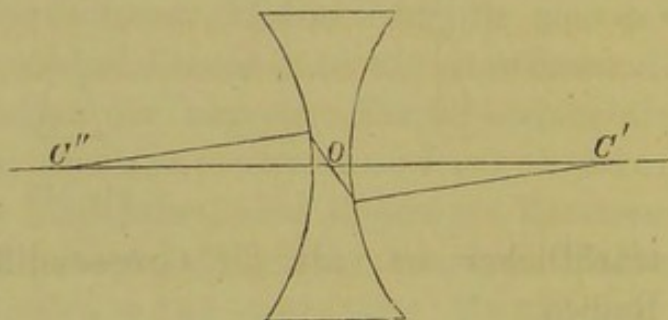


Fig. 17.

punkte dieser beiden Radien mit den ihnen zugehörigen Kreisbogen mit einander zu verbinden, so ist der Durchschnittspunkt dieser Verbindenden mit der Linsenaxe das gesuchte Centrum. Fig. 16 und 17 zeigen, dass Linsen

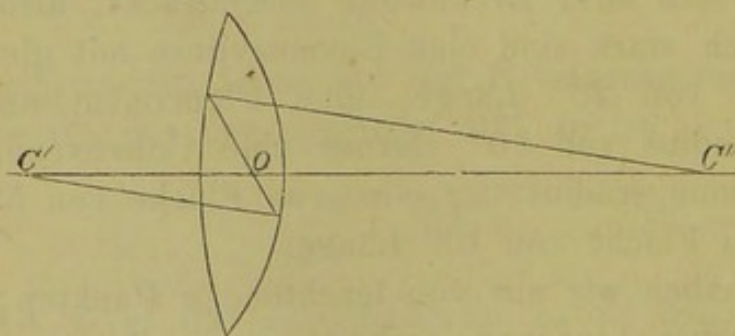


Fig. 18.

mit gleichen Krümmungsradien ihr optisches Centrum gerade in der Mitte zwischen ihren beiden Flächen liegen haben, während bei Linsen mit ungleichen



seine andern Strahlen zur punktförmigen Vereinigung. Ist demnach der Weg eines gebrochenen Strahles hinter der Linse bekannt, so muss der Durchschnittspunkt dieses mit dem Axenstrahl der Sammelpunkt für den ganzen Lichtkegel sein: Geometrisch lässt sich immer der Gang eines gebrochenen Strahles darstellen.

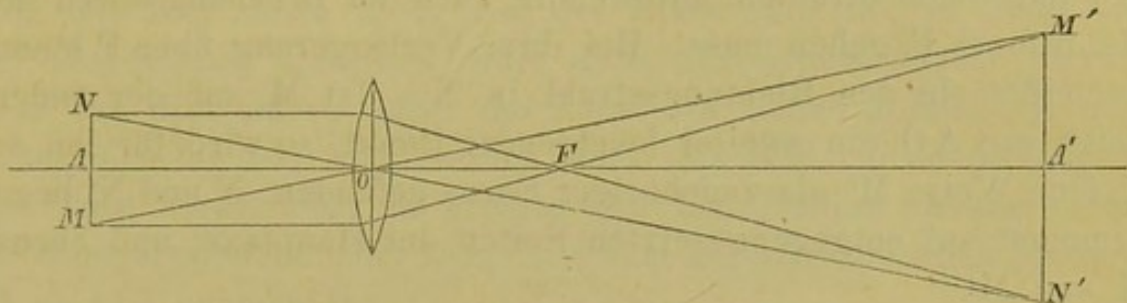


Fig. 21.

In Fig. 21, wo O der optische Mittelpunkt der Linse sei, F deren Hauptbrennpunkt und AF die Hauptaxe, stellt N neben

Krümmungsradien (Fig. 18), dieses Centrum der stärker gewölbten Fläche näher, aber auch noch innerhalb der Linse liegt. Anders verhält es sich bei den

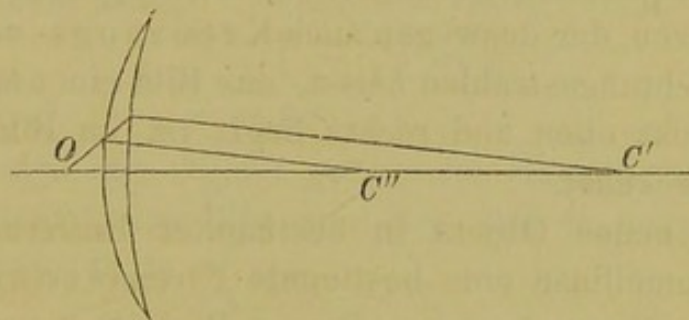


Fig. 19.

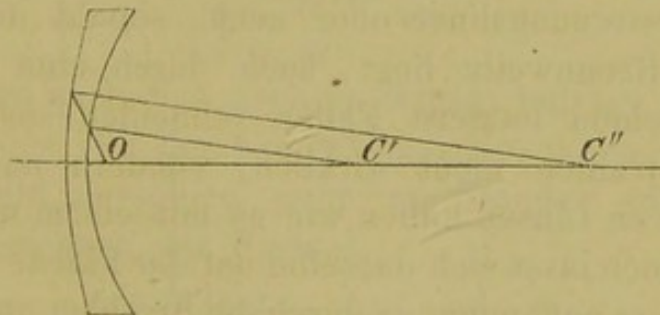


Fig. 20

Meniscen. Da liegen nämlich die optischen Centra ausserhalb der Linse und zwar bei den positiven Meniscen vor der convexen Fläche, bei den negativen hinter der concaven, wie es die Fig. 19 und 20 zeigen.



letzterer einen leuchtenden Punkt dar. Dann ist  $NON'$  eine Nebenaxe der Linse, mit welcher der ungebrochene Richtungsstrahl zusammenfällt, auf dem der Sammelpunkt aller von  $N$  ausgehenden Lichtstrahlen liegt. Um diesen Punkt zu finden, ziehe man von  $N$  aus eine Parallele zu  $AO$ , die, wie alle mit der Hauptaxe parallelen Strahlen, nothwendig nach der Brechung durch den Hauptfocus  $F$  gehen muss. Bei ihrer Verlängerung über  $F$  hinaus schneidet sie den Richtungsstrahl in  $N'$ . Ist  $M$  auf der andern Seite von  $AO$  ein zweiter leuchtender Punkt, so wird für ihn auf gleiche Weise  $M'$  als zugehöriger Focus gefunden,  $N$  und  $N'$  liegen demnach auf entgegengesetzten Seiten der Hauptaxe, und ebenso  $M$  und  $M'$ .

Da man sich eine helle Fläche aus unzählig vielen leuchtenden Punkten zusammengesetzt vorstellen kann, die ebenso viele Strahlenkegel aussenden, so werden durch eine Sammellinse alle diese Kegele im Focus wieder punktförmig vereinigt, und es entsteht von jenem Objekt gleichsam ein mosaikartiges Bild, da die einzelnen Bildpunkte eine gleiche Lage zu einander haben, wie die entsprechenden Objektpunkte zu einander. Nur ist, wie Fig. 21 zeigt, da die Richtungsstrahlen sich im optischen Mittelpunkt der Linse kreuzen, der deswegen auch Kreuzungs- oder Knotenpunkt der Richtungsstrahlen heisst, das Bild ein umgekehrtes; was beim Objekt oben und rechts liegt, ist im Bilde unten und links, und umgekehrt.

Für ein ebenes Objekt in bestimmter Entfernung giebt es hinter der Sammellinse eine bestimmte Focalebene, in welcher dessen Bild zu liegen kommt. Dieses Bild ist ein wirkliches, reelles im Gegensatz zum virtuellen oder ideellen, welches durch eine Zerstreuungslinse oder auch, sobald der Gegenstand innerhalb der Brennweite liegt, auch durch eine positive Linse entsteht; in beiden letztern Fällen schneiden sich nämlich die gebrochenen Strahlen nicht wirklich, sondern nur in der Idee. Bei den positiven Linsen haben wir es mit einem wirklichen Luftbilde zu thun, doch lässt sich dasselbe auf der Fläche eines undurchsichtigen Körpers auffangen, wodurch die Strahlen nach ihrer Kreuzung an einem weiteren Fortschreiten gehindert und nun reflektirt werden. Somit kann das Luftbild nach den verschiedensten Richtungen hin sichtbar gemacht werden. Die bekannte Camera obscura



zeigt dies deutlich, welche Joh. Bapt. Porta zuerst construirte und in seiner *Magia naturalis* 1560 beschrieb.

Was nun von der Lage des Focus eines einzelnen Lichtkegels gilt, gilt ebenso auch von der Lage der ganzen Focalebene. Recapituliren wir dies kurz, so sehen wir, dass bei Sammellinsen sich das Bild desto mehr von der Linse entfernt, je mehr sich der Gegenstand derselben, oder diese sich jenem nähern, ferner dass das Bild um so näher der Linse zu liegen kommt, je convexer dieselbe ist, und endlich dass das Bild um so dichter an die Linse heranrückt, je grösser der Unterschied zwischen dem Brechungsexponenten der Linse und dem des angränzenden Medium ist — und umgekehrt.

Kennen wir in einem gegebenen Falle die Hauptbrennweite der Linse und die Entfernung des Objectes vom optischen Centrum der Linse, so lässt sich leicht nach Formel 6)

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f}$$

die Entfernung des zugehörigen Bildes berechnen.

Befindet sich z. B. 24'' vor einer Convexlinse No. 6 ein Object, so liegt sein Bild 8'' hinter der Linse, denn

$$\begin{aligned} \frac{1}{\varphi} &= \frac{1}{6} - \frac{1}{24} = \frac{1}{8} \\ \varphi &= 8'' \end{aligned}$$

Befindet sich das Object gerade im Hauptbrennpunkt dieser Linse, so entsteht das Bild von ihm erst in unendlicher Ferne hinter der Linse, da ja

$$\begin{aligned} \frac{1}{\varphi} &= \frac{1}{6} - \frac{1}{6} \\ \frac{1}{\varphi} &= 0 = \frac{1}{\infty} \\ \varphi &= \infty \end{aligned}$$

Endlich, um auch dies noch zu zeigen, beträgt die Entfernung des Gegenstandes von der Convexlinse No. 6 nur 3'', so kommt kein reelles Bild desselben mehr zu Stande, sondern nur ein ideelles, welches nach der Formel

$$\begin{aligned} \frac{1}{\varphi} &= \frac{1}{6} - \frac{1}{3} = -\frac{1}{6} \\ \varphi &= -6'' \end{aligned}$$

6 Zoll vor der Linse, also im vorderen Brennpunkte liegt. Im letzten Falle bleibt das ideelle Bild aufrecht, und man sieht das Object wie durch eine Loupe.



Nachdem dies bekannt ist, lässt sich auch die jedesmalige Grösse des Bildes berechnen, wenn man bedenkt, dass, da  $MNO$  und  $M'N'O$  (Fig. 21) ähnliche Dreiecke sind, sich die Grösse des Bildes zu der des Objectes verhalten muss, wie die Entfernung des Bildes zu der des Objectes vom optischen Mittelpunkt der Linse, also

$$MN : M'N' = AO : A'O$$

$$M'N' = \frac{MN \cdot A'O}{AO}$$

Machen wir uns diese Formel wieder durch einige Beispiele geläufig. Befindet sich ein Object 20'' vor einer Convexlinse No. 10, so liegt dessen Bild ebenfalls 20'' hinter der Linse, und die Grösse des Bildes muss auch gleich der des Gegenstandes sein, weil

$$M'N' = \frac{MN \cdot 20}{20} = MN$$

Liegt bei gleichen Verhältnissen der Gegenstand 30'' vor der Linse, so ist sein Bild 15'' hinter der Linse gelegen und halb so gross wie jener, da

$$M'N' = \frac{MN \cdot 15}{30} = \frac{MN}{2}$$

Ist das Object  $12\frac{1}{2}''$  von der Linse entfernt, so liegt sein Bild 50'' hinter der Linse, und seine Grösse ist das Vierfache von der des Objectes, denn

$$M'N' = \frac{MN \cdot 50}{12\frac{1}{2}} = 4 MN.$$

Hieraus sehen wir, dass, wenn der abzubildende Gegenstand um das Doppelte der Hauptbrennweite von der Sammellinse entfernt ist, sein Bild dieselbe Grösse, wie er, besitzt, und dass dieses, wenn jener näher heranrückt, wächst, aber kleiner wird, wenn sich jener mehr entfernt.

Hat man es mit einem zusammengesetzten dioptrischen Apparat, mit verschiedenen Medien und mehreren brechenden Kugelflächen, die centrirt sind (d. h. deren Axen sämmtlich in eine Gerade zusammenfallen), zu thun, so ist die Verfolgung des Strahlenganges durch ein solches System sehr mühsam und verwickelt, wenn man dabei Schritt für Schritt zu Werke gehen will. Sehr vereinfacht wird die Berechnung des schliesslichen Effectes sämmtlicher bre-



chender Medien, sobald man drei Paare von Cardinalpunkten auf der Axe des Systems zu Hülfe nimmt, wie es zuerst Gauss in seinen „Dioptrischen Untersuchungen, Göttingen 1841“ gelehrt hat.

Das eine Paar derselben haben wir schon kennen gelernt, den ersten und zweiten Hauptbrennpunkt. Dieselben haben hier die Bedeutung, dass Strahlen, die durch den ersten Brennpunkt gehen, nach ihrer letzten Brechung parallel der Axe verlaufen, und dass Strahlen, die vor der Brechung parallel der Axe sind, nach der Brechung im letzten Mittel sich im zweiten Brennpunkt kreuzen.

Die beiden Knotenpunkte stellen gewissermassen den in zwei Punkte zerlegten, schon oben besprochenen Knotenpunkt der Richtungsstrahlen dar, in der Art, dass der erste derselben für den einfallenden, der zweite für den ausfahrenden Strahl seine Bedeutung hat. Der Strahl, welcher vor seiner Brechung auf den ersten Knotenpunkt gerichtet ist, geht nach der Brechung durch den zweiten, so jedoch, dass beide Theile des Strahles parallel bleiben.

Der Richtungsstrahl ist beim zusammengesetzten dioptrischen Apparat also geknickt, wie ein durch eine plane Platte gebrochener Strahl (siehe Fig. 3), indem der einfallende Strahl im ersten Knotenpunkt angelangt auf der Axe, sich selbst parallel bleibend, nach dem zweiten Knotenpunkt verschoben wird und dann weiter geht. Das dritte Paar sind der erste und zweite Hauptpunkt, welche beide zusammen die Stelle des einen Scheitelpunktes B (s. Fig. 5) wie er bei einer einzigen brechenden Fläche vorkommt, vertreten, indem der erste Hauptpunkt den Scheitelpunkt für den einfallenden, der zweite Hauptpunkt für den ausfahrenden Strahl darstellt.

Es findet hiernach eine ziemlich genaue Analogie Statt zwischen dem Verhältniss des einfallenden zum ausfahrenden Strahle in einem zusammengesetzten optischen System und dem einfallenden zum gebrochenen Strahl bei einer einzigen brechenden Kugelfläche. Es tritt nur an die Stelle des einzigen Knoten- und Hauptpunktes hier ein doppelter Knoten- und Hauptpunkt. Um sich die Konstruktion der Strahlenbrechung vermittelt dieser Cardinalpunkte zu erklären, muss man sich hier in dem ersten Hauptpunkt das letzte Medium hingestellt denken, mit einer sphä-



rischen Fläche versehn, welche den sämtlichen Flächen des dioptrischen Systems gewissermassen äquivalent ist. Der Strahl vor seiner letzten Brechung hat also gegen den zweiten Hauptpunkt dieselbe Lage, welche der nur einmal gebrochene Strahl gegen den ersten Hauptpunkt haben würde, wenn sich im ersten Hauptpunkte die eben besprochene brechende Fläche des letzten Medium befände. Wäre aber das erste Medium dem letzten gleich, wie es bei den künstlichen optischen Apparaten gewöhnlich der Fall ist, wo vor und hinter demselben sich Luft befindet, so muss man sich im ersten Hauptpunkte eine unendlich dünne Linse von bestimmter Brechkraft denken, durch welche die gesuchte Brechung für das ganze System vermittelt wird.

Wie man nun für ein beliebiges System die Lage dieser Cardinalpunkte und ihre Stellung zu einander mathematisch berechnet, kann hier füglich übergangen werden, da der Praktiker kaum in die Lage kommen wird, dergleichen Rechnungen auszuführen. In dieser Beziehung können wir nur verweisen auf Listing, Mathematische Discussion des Ganges der Lichtstrahlen im Auge (Wagner, Handwörterbuch der Physiologie Bd. IV., Braunschweig 1853) und Helmholtz, Physiologische Optik.

Doch müssen wir noch zeigen, wie der Gang der Lichtstrahlen in einem dioptrischen System darzustellen ist, wenn die Lage der Cardinalpunkte in demselben gegeben ist.

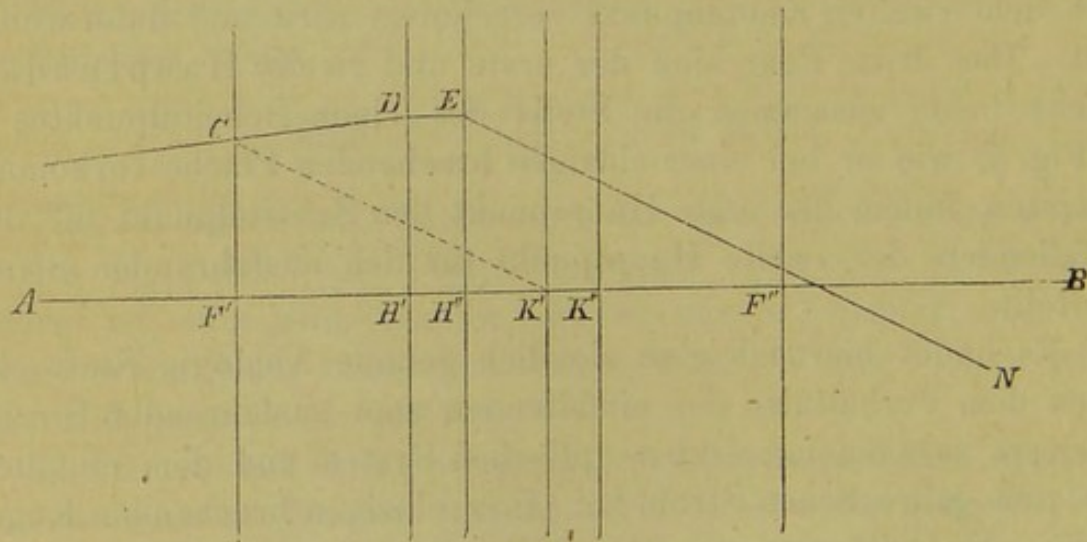


Fig. 22.

In Fig. 22 sei  $AB$  die Axe eines centrirten Systems,  $F'$  erster,  $F''$  zweiter Hauptbrennpunkt,  $H'$  und  $H''$  erster und zweiter Hauptpunkt,  $K'$  und  $K''$  erster und zweiter Knotenpunkt. Die



durch diese Punkte senkrecht zur Axe gelegten Ebenen sind die ersten und zweiten Brenn-, Haupt- und Knotenebenen.

Dann ist  $F' H'$  die erste Brennweite,  $F'' H''$  die zweite Brennweite. Der Unterschied in der Länge dieser Brennweiten ist gleich der Distanz der gleichnamigen Haupt- und Knotenpunkte von einander, wie bei der Brechung durch eine einzige Fläche die Differenz der Länge beider Brennweiten gleich ist dem Abstände des Scheitelpunktes vom Knotenpunkte, also

$$F' H' = H'' F'' - H'' K'' = K'' F''$$

oder  $F' H' = H'' F'' - H' K'$

daraus folgt  $F' H' + H' K' (= F' K') = H'' F''$   
und  $H' H'' = K' K''$

Ferner verhalten sich die beiden Hauptbrennweiten zu einander wie die Brechungsverhältnisse des ersten zu denen des letzten Medium in dem ganzen System

$$\frac{F' H'}{n} = \frac{F'' H''}{n'}$$

Ist aber  $n = n'$ , also das erste und letzte Medium gleich, so müssen auch die Brennweiten gleich sein,  $F' H' = F'' H''$  und somit die gleichnamigen Haupt- und Knotenpunkte zusammenfallen.

So finden wir es eigentlich auch bei den schon besprochenen Linsen, bei denen wir der üblichen Einfachheit wegen von den beiden Knotenpunkten, die wegen der Gleichheit beider Hauptbrennweiten mit den beiden Hauptpunkten zusammenfallen, abstrahirt und statt dessen das zwischen beiden Punkten gelegene optische Centrum construirt haben. Wir konnten dies thun, da der Abstand der beiden Knotenpunkte von einander nicht gross ist. Genau genommen aber ist bei den Linsen der schräge Richtungsstrahl nicht eine Gerade, sondern ebenso geknickt, wie es kurz vorher beschrieben wurde.

Analog dem Falle der einfachen Brechung lässt sich nach dem Gegebenen der Gang des ausfahrenden zum einfallenden Strahle darstellen.

Trifft ein Strahl in C (Fig. 22) die erste Focalebene und in D die erste Hauptebene, so wird er zunächst parallel der Axe von der ersten nach der zweiten Hauptebene verschoben in der Richtung DE. Um nun den Weg des gebrochenen Lichtstrahles



zu finden, ziehe man von C aus nach K' eine Gerade, den vorderen Theil der Richtungslinie, so muss die von E und CK' parallel gezogene EN die Richtung des gebrochenen Strahles angeben, weil jeder Lichtstrahl, der von einem in der vorderen Brennebene gelegenen Punkte kommt, nach der Brechung parallel der diesen Punkt mit dem ersten Knotenpunkt Verbindenden, der Richtungslinie, laufen muss.

Um den Bildpunkt eines Objektpunktes zu finden, dessen Strahlen das optische System passirt haben, braucht man nur

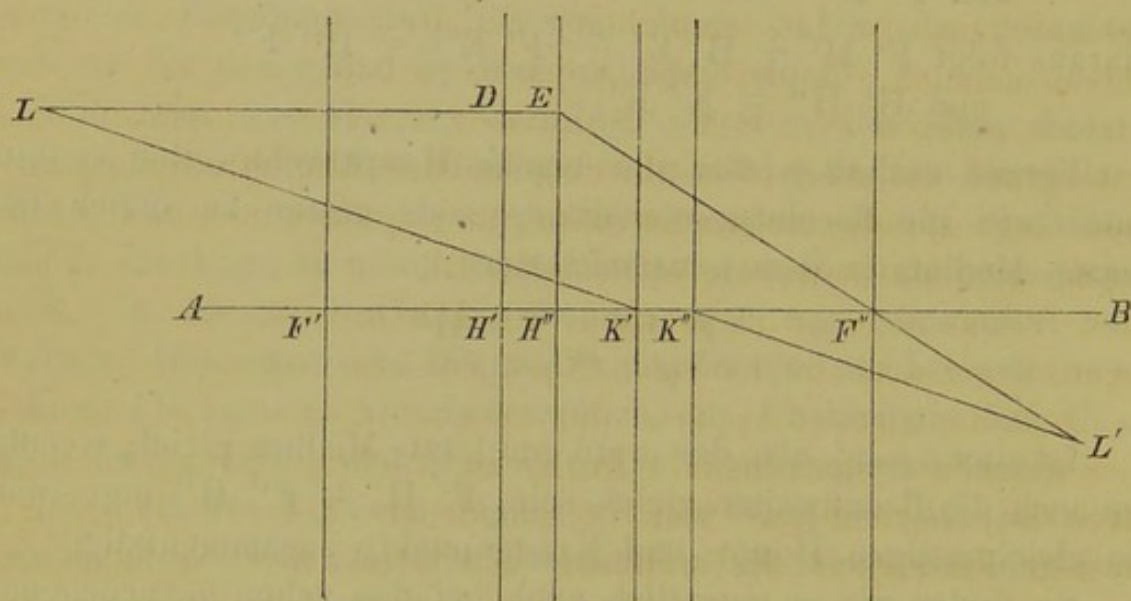


Fig. 23.

von diesem Punkte L (Fig. 23) aus eine Parallele zur Axe zu ziehen, bis sie in E die zweite Hauptebene trifft; dieser Strahl muss nach seiner Brechung durch den zweiten Hauptbrennpunkt gehen, also die Richtung EF'' annehmen. Zieht man eine Linie von L nach K', so ist dieselbe die vordere Hälfte der Richtungslinie, welche man vervollständigt, wenn man von K'' eine Parallele zu LK' zieht. Wo sich diese Richtungslinie mit dem anderen gebrochenen Strahle kreuzt, muss der Bildpunkt von L sein, also in L', wo sich alle von L ausgehenden Strahlen nach ihrer Brechung vereinigen.



## II. Dioptrik des Auges.

Das Auge der höheren Thiere, zumal das des Menschen, gleicht einer Camera obscura, nur dass der das umgekehrte Bildchen auffangende Schirm hier durch die Netzhaut dargestellt wird, welche zugleich die Perception des abgebildeten Objectes vermittelt. Das Auge ist also ein zusammengesetztes Organ, welches nicht nur die Lichtempfindung einleitet, sondern auch einen lichtsammelnden, dioptrischen Apparat enthält, welcher vor der Netzhaut gelegen ist. Schon Scheiner<sup>1)</sup> zeigte, dass auf dem Hintergrund des Augapfels ein umgekehrtes Bild eines vorgehaltenen Gegenstandes entworfen wird, und spätere Autoren gaben verschiedene Methoden an, ein solches Bild in einem ausgeschnittenen Bulbus sichtbar zu machen, bis Helmholtz durch seinen Augenspiegel auch im lebenden Auge dasselbe erkennen lehrte.

Der dioptrische Apparat des Auges, dessen Wirkung der einer starken Convexlinse in Bezug auf Lichtbrechung gleich zu setzen ist, besteht aus vier verschiedenen Medien: Hornhaut, wässrige Flüssigkeit, Krystalllinse und Glaskörper, welche von drei verschieden gestalteten Flächen begränzt sind: Wölbung der Hornhaut, der vorderen und hinteren Linsenfläche.

Will man den Gang der Lichtstrahlen im Auge berechnen, so ist es nothwendig, den Abstand der drei brechenden Flächen von der Netzhaut, ferner die Krümmungsgestalt derselben und endlich den Brechungsindex der Medien zu kennen.

Um diese drei Desiderate zu erfüllen, hat man zunächst an exstirpirten, möglichst frischen oder erhärteten Menschengenossen von verschiedener Seite genaue Messungen und Berechnungen angestellt, denen man freilich den Einwurf machen kann, dass sich diese Verhältnisse im lebendigen Auge etwas anders gestalten.

Die gewissenhaftesten und zuverlässigsten Messungen sind in dieser Hinsicht wohl von Arlt<sup>2)</sup> angestellt. Nach ihm be-

---

1) Oculus sive fundamentum opticum. Inspruck 1619.

2) Archiv f. Ophthalmologie Bd. III. 2.



trägt die Länge der Augenaxe, die vom Mittelpunkt der Cornea zur Macula lutea gezogenen Geraden 11''' (Wiener Maass) und auf dieser Geraden findet man folgende Maasse für

|                                        |                    |
|----------------------------------------|--------------------|
| Dicke der Hornhaut . . . . .           | $\frac{2}{5}$ '''  |
| Tiefe der Augenkammer . . . . .        | $1\frac{1}{5}$ ''' |
| Axe der Krystalllinse . . . . .        | $1\frac{4}{5}$ ''' |
| Axe des Glaskörpers . . . . .          | 7'''               |
| Dicke der Netz- und Aderhaut . . . . . | $\frac{1}{5}$ '''  |
| Dicke der Sclera . . . . .             | $\frac{2}{5}$ '''  |

Die Krümmungsverhältnisse der Cornea sind am todten Auge durch Petit, Treviranus, C. Krause u. A. gemessen; vor ihnen hatte man gemeint, dass sowohl die vordere, wie hintere Hornhautfläche eine sphärische sei, nur dass erstere einen grösseren Halbmesser, als letztere habe. C. Krause kam nun zu der Ueberzeugung, dass die Hornhautkrümmungen sich einer Ellipsoidfläche nähern. Wichtig für uns ist aber die Angabe von Helmholtz, dass wenigstens in der Mitte die beiden Hornhautwölbungen concentrisch verlaufen und so weder einen positiven noch negativen Meniscus darstellen. Der Krümmungsradius der mittleren Parthie der Hornhaut beträgt ungefähr 3,5''' (Paris. Maass).

Auch die Linsenflächen sind nicht genau sphärisch, wie C. Krause u. A. gefunden haben, vielmehr hat die vordere Linsenkapsel eine elliptische und die hintere eine parabolische Krümmung. Für das kleine, der Pupille gegenüberliegende Linsenstück jedoch kann man die Wölbungen immerhin als kuglige ansehen, und dann beträgt nach C. Krause der Halbmesser der vorderen Linsenfläche 2,19 -- 3,49'', der der hinteren 2,01 -- 2,70'' (Paris. M.)

Die hintere Linsenwölbung ist also erheblich grösser, als die vordere.

Die Feststellung der Brechungsverhältnisse der optischen Medien des Auges verdanken wir Chossat, Brewster, W. Krause und Helmholtz, welche in ihren nach verschiedenen Methoden gemachten Bestimmungen nicht sehr erheblich von einander abweichen. W. Krause<sup>1)</sup> fand im Mittel

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| für die Hornhaut . . . . . | 1,3507 |
|----------------------------|--------|

---

1) Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschl. Auges. Hannover 1855. S. 29.



|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| für die wässrige Feuchtigkeit .  | 1,3420 |
| für den Glaskörper . . . . .     | 1,3485 |
| für die äussere Linsenschicht .  | 1,4053 |
| für die mittlere Linsenschicht . | 1,4294 |
| für den Linsenkern . . . . .     | 1,4541 |

Wir sehen hieraus, dass die Krystalllinse in ihren äusseren Schichten eine geringere Brechkraft besitzt, als in ihren mittleren, ja man muss behaupten, dass die Linse aus einer sehr grossen Anzahl concentrischer Schichten zusammengesetzt ist, die successiv von der Peripherie nach dem Centrum an Brechkraft wachsen. Durch diesen complicirten anatomischen Bau erhält die Linse eine andere, eine kürzere Brennweite, als sie besitzen würde, wenn sie aus einer homogenen Masse gebildet wäre, welche durchweg die dioptrischen Eigenschaften des Kernes hätte. Schon Listing wies hierauf hin, doch erst Helmholtz hat hierfür die genügende Erklärung gegeben, und bevor man auf dieses Verhältniss Rücksicht genommen hatte, musste man den Hauptbrennpunkt des ganzen dioptrischen Systems hinter die Retina versetzen.

Man kann sich die Linse nämlich vorstellen als zusammengesetzt aus einem kugligen Kern, der umgeben ist von einer Reihe sich deckender negativer Meniscen, wie Fig. 24 zeigt. Eine solche Reihe liegt sowohl vor wie hinter dem Linsenkern. Die dioptrische Wirkung dieser Meniscen in ihrer Einzelheit wie in ihrer Gesamtheit ist eine lichtzerstreuende, da die einzelnen Schichten durch eine, wenn auch sehr geringe, Zwischenlage von Feuchtigkeit isolirt sind, und so die negative Wirkung jeder einzelnen Rindenschicht zur Geltung kommen kann. Die inneren Schichten werden in dieser Hinsicht stärker wirken, als die äusseren, weil ihr Brechungsexponent ein höherer ist. Wäre derselbe gleich dem des Kernes, so würde natürlich das erwähnte System der Meniscen eine merklich stärkere negative Kraft besitzen, als es so der Fall ist. Demnach wird die optische Wirkung des kugligen Linsenkernes, der eine sehr starke positive Linse mit geringer Brennweite darstellt, erheblich geschwächt durch die Linsenrinde, wodurch die Brennweite der gesamten Linse eine grössere, als die des Kernes wird, aber eine kürzere, als wenn die Rindenmasse dem Kerne homogen wäre.

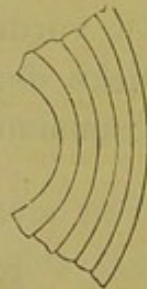


Fig. 24.



Die Lichtbrechung eines in das Auge dringenden Strahlenkegels muss in der Weise Statt finden, dass beim Eintritt in die Cornea die Strahlen bedeutend convergenter werden. Da die Hornhautsubstanz und der Humor aqueus einen nahezu gleichen Brechungsexponenten haben, so kann man die Brechung der Strahlen durch die hintere Corneafläche vernachlässigen und annehmen, dass der Lichtstrahlengang im Humor aqueus derselbe sei, wie in der Hornhautsubstanz. Erlitten die Strahlen nun keine neue Brechung, so würden sie sich erst 10 mm. hinter der Retina vereinigen. An der vorderen Linsenfläche jedoch findet die zweite Brechung Statt, wodurch die Strahlen noch convergenter werden; auch beim Durchtritt durch die hintere Linsenfläche geschieht dies, wo die Strahlen in ein schwächeres Medium mit concaver Begränzungsfläche eintreten und dasselbe durchlaufen, bis sie auf die Netzhaut aufstossen.

Listing hat es zuerst unternommen, die Lage der beiden Haupt- und Knotenpunkte im menschlichen Auge zu bestimmen. Seiner Rechnung legte er folgende Werthe zu Grunde:

|                                            |                   |  |
|--------------------------------------------|-------------------|--|
| Entfernung der vorderen Hornhaut von       |                   |  |
| der vorderen Linsenfläche . . . . .        | 4 mm.             |  |
| Dicke der Linse . . . . .                  | 4 mm.             |  |
| Krümmungshalbmesser der Hornhaut . . . . . | 8 mm.             |  |
| „ der vorderen Linsenfläche                | 10 mm.            |  |
| „ der hinteren Linsenfläche                | 6 mm.             |  |
| Brechungsvermögen der Luft . . . . .       | 1                 |  |
| „ des Humor aqueus                         | $\frac{1.03}{77}$ |  |
| „ des Glaskörpers . . . . .                | $\frac{1.03}{77}$ |  |
| „ der Linse. . . . .                       | $\frac{1.6}{11}$  |  |

Hiernach berechnete Listing, dass im Auge der erste Brennpunkt 12,8326 mm. vor der Hornhaut, der zweite 14,6470 mm. hinter der hinteren Linsenfläche liege; ferner der erste Hauptpunkt 2,1746 mm. vor, der zweite 2,5724 mm. hinter der Vorderfläche der Hornhaut, der erste Knotenpunkt 0,7580 mm., der zweite 0,3602 mm. vor der Hinterfläche der Linse zu setzen sei. Die Distanz der beiden Hauptpunkte von einander, wie die der beiden Knotenpunkte beträgt also 0,3978 mm., die erste Hauptbrennweite 15,0072 mm., die zweite Hauptbrennweite 20,0746 mm.

Somit construirte Listing das sogenannte schematische Auge mit seinen Cardinalpunkten, welches Fig. 25 in dreimaliger



Linearvergrößerung<sup>1)</sup> darstellt. Es ist dasselbe für die Ferne eingerichtet, so dass der Hauptbrennpunkt auf die Retina fällt. Noch mehr vereinfacht wird die Konstruktion des Lichtstrahlen-

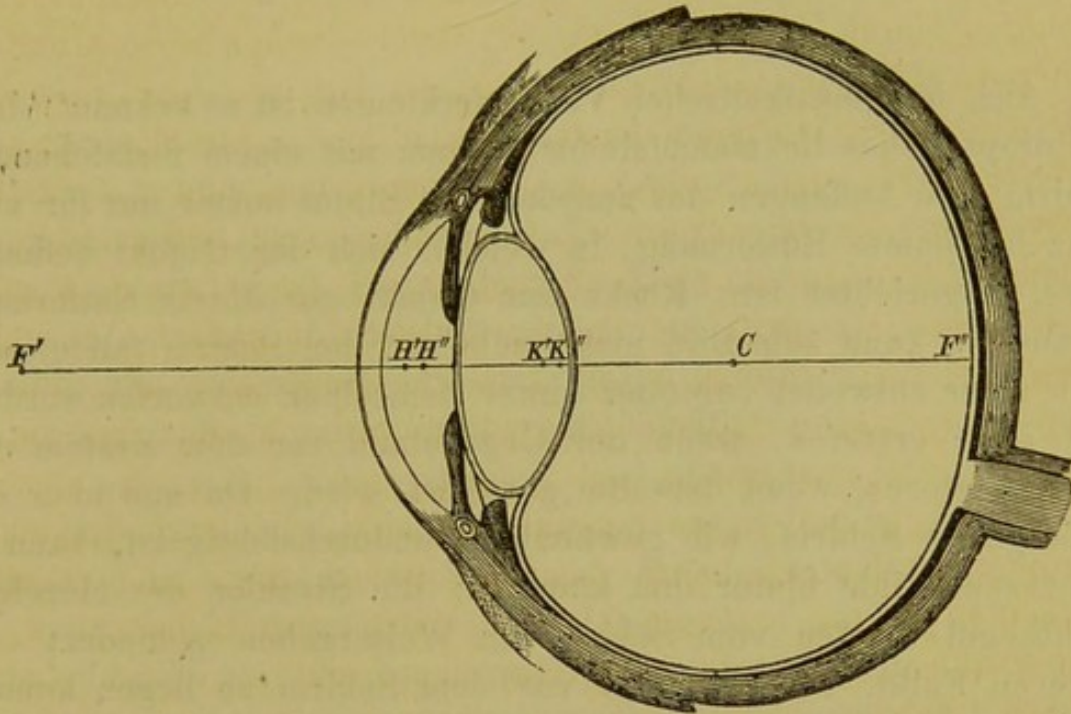


Fig. 25.

ganges im Auge, wenn man den kleinen Zwischenraum zwischen den beiden Hauptpunkten und den zwischen den beiden Knotenpunkten vernachlässigt, so dass man nur einen einzigen Haupt- und einen einzigen Knotenpunkt erhält (Listing's reducirtes Auge), wo der einfache Hauptpunkt 2,3448 mm. hinter der Vorderfläche der Hornhaut, der einfache Knotenpunkt 0,5304 mm. vor der hinteren Fläche der Linse liegt. Die dioptrische Wirkung eines solchen reducirten Auges kommt gleich derjenigen einer im Hauptpunkt befindlichen sphärischen Fläche von 5,1248 mm. Krümmungsradius, vor welcher sich Luft, hinter welcher sich Humor aqueus befindet.

1) Durch ein Versehen des Holzschnidders ist diese Figur nur in einer zwei und einhalbmöglichen Linearvergrößerung dargestellt.



### III. Accommodation des Auges.

Aus den physikalischen Vorbemerkungen ist es bekannt, dass ein dioptrisches lichtsammelndes System mit einem feststehenden Schirm zum Auffangen des umgekehrten Bildes immer nur für eine ganz bestimmte Entfernung, in welcher sich das Objekt befinden muss, eingerichtet ist. Rückt das Objekt aus dieser Entfernung heraus, so kann sein Bild nicht mehr auf den Schirm fallen, sondern muss entweder vor oder hinter demselben entworfen werden, und zwar ersteres, wenn der Gegenstand von dem System entfernt, letzteres, wenn derselbe genähert wird. Da nun aber der auffangende Schirm, wie gewöhnlich, undurchsichtig ist, kann es nicht zum Bilde hinter ihm kommen: die Strahlen der einzelnen Lichtkegel werden vom Schirm am Weitergehen gehindert. Im anderen Falle, wo das Bild vor dem Schirm zu liegen kommt, kann nur ein Luftbild entstehen, da hier nichts ist, was die einzelnen Strahlenkegel nach ihrer punktförmigen Vereinigung abhält, ihren Weg weiter fortzusetzen. Es divergiren daher nach ihrer Vereinigung die Lichtstrahlen jedes Kegels wieder und bilden neue Lichtkegel, die mit ihrer Spitze die Spitze der früheren berühren, mit ihrer Basis auf die auffangende Fläche aufstossen; denn durch diese werden die einzelnen Strahlen am ferneren Fortschreiten gehindert.

In beiden Fällen gelangen demnach die Lichtstrahlen auf die für das Bild bestimmte Fläche, und in beiden Fällen entsteht auf ihr ein gleich unvollkommenes Bild. Statt der vielen Bildpunkte, die den einzelnen Objektpunkten entsprechen sollen, kommt es hier zu Bildkreisen, entsprechend der runden Gestalt der Linsen des Systems, im Auge entsprechend der runden Pupille. Dieses Bildkreise, welche sich in der mannigfaltigsten Art mit ihren Nachbarkreisen decken, setzen dann das Bild zusammen, welches demnach nur ein verschwommenes und ein auf Kosten der Schärfe vergrössertes sein kann. Je näher die Focalebene, in welcher ja immer das scharfe Bild liegen muss, dem Schirm sich befindet, desto kleiner sind die Bildkreise, welche man gewöhnlich Zer-



streuungskreise nennt, und je ferner die Focalebene, desto grösser sind dieselben, und also auch desto unvollkommener das aufgefangene Bild. In Fig. 26 ist  $ab$  das Objekt, dessen Be-

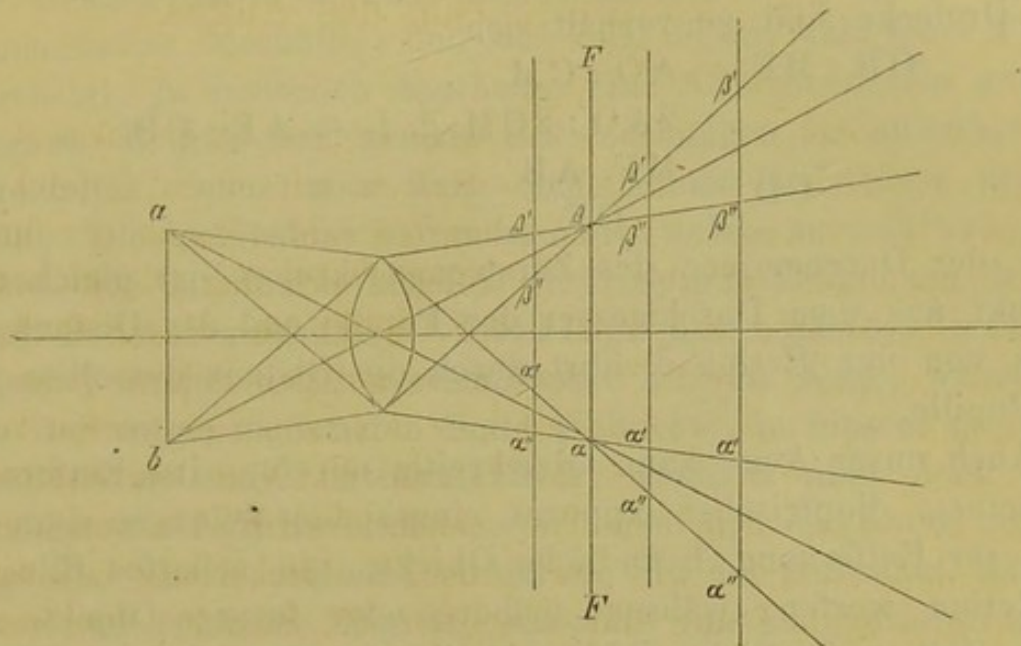


Fig. 26.

gränzungspunkte in der conjugirten Vereinigungsebene  $FF'$  punktförmig in  $\alpha$  und  $\beta$  abgebildet werden, während sie vor oder hinter dieser Ebene Zerstreuungskreise vom Durchmesser  $\alpha'\alpha''$  und  $\beta'\beta''$  bilden.

Auf die Grösse der Zerstreuungskreise hat aber ausserdem noch die Dicke des Lichtkegels Einfluss. Hält man nämlich durch ein Diaphragma die auf den peripherischen Linsentheile fallenden Strahlen ab, so werden auch die Zerstreuungskreise kleiner. Im Auge wird durch die Iris ein solches Diaphragma dargestellt, welches die Zerstreuungskreise um so mehr einschränkt,

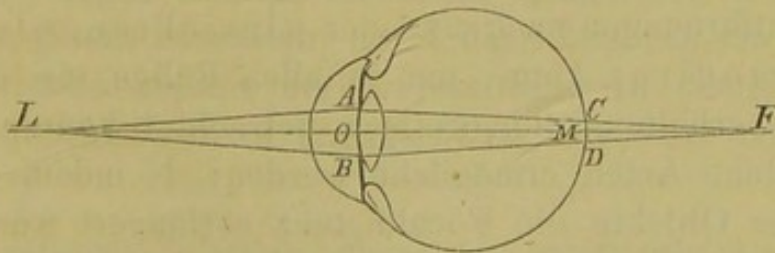


Fig. 27.

je enger die Pupille ist. Fig. 27 möge die angegebenen Verhältnisse verdeutlichen.  $L$  sei der Lichtpunkt, welcher durch die



Pupille, deren Durchmesser AB ist, einen Lichtkegel ins Auge schickt. Da der Vereinigungspunkt seiner Strahlen erst hinter der Retina in F liegt, so entsteht auf der Netzhaut ein Zerstreuungskreis mit dem Durchmesser CD. Da AOF und CMF ähnliche Dreiecke sind, so verhält sich

$$\begin{aligned} \text{OF} : \text{MF} &= \text{AO} : \text{CM} \\ &= 2\text{AO} : 2\text{CM} \text{ d. i. } = \text{AB} : \text{CD} \\ \text{CD} &= \frac{\text{MF} \cdot \text{AB}}{\text{OF}} \end{aligned}$$

d. h. der Durchmesser des Zerstreuungskreises ist gleich dem Produkt aus dem Durchmesser der Pupille und der Distanz des Focus von der Retina dividirt durch die Distanz desselben von der Pupille.

Auch unser Auge kann gleichzeitig nur für eine Entfernung mit seinem dioptrischen Apparat eingerichtet sein, so dass nur in dieser Entfernung befindliche Objekte ein scharfes Bild auf die Retina werfen, während nähere oder fernere Objekte zur selben Zeit undeutliche Bilder in Zerstreuungskreisen auf der Netzhaut liefern. Dies kann mit dem Augenspiegel direkt nachgewiesen werden, es geht aber auch schon aus dem allbekannten Versuche, den Scheiner im 17. Jahrhunderte angab, bestimmt hervor.

Ein scharfes Sehen ist aber nur bei scharfen Netzhautbildern möglich, also wenn die Netzhaut in der Focalebene liegt. Nun lehrt die tägliche Erfahrung, dass wir mit normalem Auge Gegenstände in den verschiedensten Entfernungen nach einander deutlich wahrnehmen können, dass also beim Betrachten näherer oder fernerer Objekte der Focus doch immer auf die Netzhaut fällt.

Es muss daher im dioptrischen Apparat des Auges eine Veränderung vor sich gehen, damit sich das Auge für die verschiedenen Entfernungen nach einander einrichten, einstellen oder accommodiren kann, um in allen Fällen ein deutliches Retinabild zu erhalten. Theoretisch betrachtet könnte dies auf drei verschiedene Arten ermöglicht werden: 1) indem beim Betrachten naher Objekte die Focaldistanz verlängert würde, d. h. die Netzhaut sich von der Linse entfernte, oder diese von jener oder 2) indem dabei der Brechungsexponent eines oder mehrerer der brechenden Medien wüchse, oder 3) indem dabei die Krüm-



mungen einer oder mehrerer der brechenden Flächen zunehmen, oder endlich indem mehrere dieser Vorgänge zugleich eintreten.

Mehrere Jahrhunderte hindurch hat man sich vergeblich mit der Lösung des Problems, betreffend den Vorgang bei der Accommodation beschäftigt und sich bald dieser, bald jener Theorie zugeneigt, ja bisweilen überhaupt eine Accommodation ganz geleugnet. Es galt hier, genaue Untersuchungen am lebenden Auge anzustellen, wenn man über dies Gebiet Aufschluss erlangen wollte. Die drei Reflexbildchen im Auge, welche zuerst Purkinje<sup>1)</sup> beobachtet hat, führten endlich zur richtigen Erkennung des Wesens der Accommodation. Purkinje hatte nämlich beim seitlichen Vorhalten einer Kerzenflamme vor ein Auge, während er von der entgegengesetzten Seite hinblickte, in diesem drei Flammenbildchen seitlich nebeneinander, zugleich aber auch hinter einander stehend, beobachtet, von denen das der Kerze zunächst liegende, scharfe, zugleich vorderste von der Hornhaut, das mittlere verschwommene, zugleich hinterste von der vorderen Linsenfläche, das dritte umgekehrte, kleinste und scharfe, in mittlerer Entfernung liegende von der hinteren Linsenfläche entworfen wird. Der Stand dieser Reflexbildchen, bezüglich ihrer Tiefe, wie er aus der Beschaffenheit der drei reflektirenden Flächen im Auge, hervorgeht, ist in Fig. 28 dargestellt. a ist das Reflexbildchen von der Cornea, b das von der vorderen, c das von der hinteren Linsenkapsel. Diese

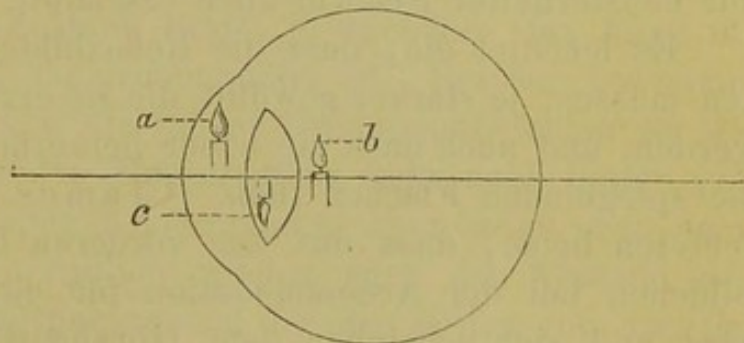


Fig. 28.

Bildchen wurden damals und auch später von Sanson<sup>2)</sup>, der dieselben genau beschrieb, meist dazu benutzt, um die Anwesenheit oder Abwesenheit der Krystalllinse zu demonstrieren. Erst 1849 beobachtete Max Langenbeck<sup>3)</sup>, dass beim Uebergang

1) *Commentatio de examine physiologico organi visus et systematis cutanii.* Vratisl. 1823. 8.

2) *Leçons sur les maladies des yeux faites à l'hôpital de la Pitié.* Paris, 1837.

3) *Klin. Beiträge aus d. Gebiet der Chirurgie u. Ophthalmologie.* Heft 1. Göttingen, 1849. 4.



der Accommodation für die Ferne zu der für die Nähe diese Reflexbildchen sich in ihrer gegenseitigen Stellung zu einander änderten, und zwar bemerkte er dabei

„während die beiden andern Bilder unbeweglich stehen,  
„an dem durch die vordere Kapsel erzeugten Licht eine  
„unbestimmte Bewegung, welche durch nichts anderes,  
„als durch wechselnde Zu- und Abnahme der Convexität  
„der vorderen Kapsel veranlasst werden kann.“

Diese wichtige Entdeckung Langenbeck's blieb dennoch unbeachtet, zum Theil weil sie so wenig exact dargestellt war. Das Wesen der Accommodation musste daher zum zweiten Male entdeckt und gründlicher beschrieben werden, und dies geschah ziemlich gleichzeitig und unabhängig von einander durch Cramer <sup>1)</sup> in Groningen und durch Helmholtz <sup>2)</sup>, welche mittelst besonderer Instrumente und genauer Messungen der Grösse der Flammenbildchen und ihrer Abstände diese Sache zu einer mathematischen Gewissheit machten, indem auch nachgewiesen wurde, dass die beobachteten Veränderungen der Linse vollständig zur Erklärung der Accommodation genügten. Hierin hat Helmholtz mit meisterhafter Schärfe alles erschöpft.

Es leuchtet ein, dass die Reflexbildchen um so kleiner werden müssen, je stärker gewölbt die sie erzeugenden Convexspiegel werden, und auch dass sie näher heranrücken müssen, wenn dies die spiegelnden Flächen thun. Cramer und Helmholtz beobachteten beide, dass das der vorderen Linsenkapsel angehörige Bildchen bei der Accommodation für die Nähe merklich kleiner wird und sich scheinbar dem Hornhautbildchen seitlich nähert, und auch zugleich etwas nach vorn rückt. Die umstehende Zeichnung zeigt nach Cramer die Purkinje'schen Bilder in dem für die Nähe (Fig. 29) und in dem für die Ferne (Fig. 30) accommodirten Auge. a ist das Reflexbildchen der Hornhaut, b das der vorderen, c das der hinteren Linsenkapsel. Helmholtz fand ferner noch, dass auch das Bild der hinteren Kapsel bei der Accommodation kleiner wird, seinen Ort aber nicht ändert.

1) Tydschrift der Maatschappij van Geneeskunde 1851 W. 11 bl. 115 und A. Cramer Physiol. Abhandl. üb. d. Accommodationsvermögen der Augen. Uebers. v. Döden. Leer, 1855.

2) Monatsberichte der Akademie zu Berlin 1853 und Archiv f. Ophthalmol. II. 1. 1855.



Sonach steht jetzt fest, dass die accommodativen Veränderungen im Auge, das sich für die Nähe einrichtet, in folgendem besteht: Verengung der Pupille, Vorrücken des Pupillarrandes

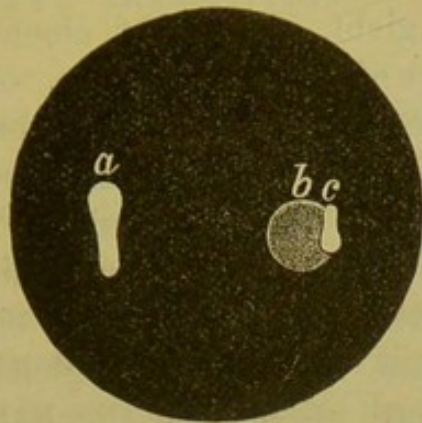


Fig. 29.

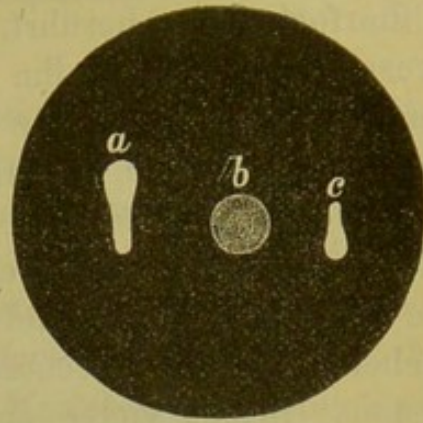


Fig. 30.

der Iris, stärkere Wölbung der vorderen Linsenfläche, wobei ihr Scheitel sich nach vorn bewegt, ihre Peripherie etwas nach hinten weicht; geringe Wölbungszunahme der hinteren Linsenfläche und beim binoculären Sehakt stärkere Convergenz der Sehaxen.

In Bezug auf die Cardinalpunkte des Auges findet natürlich auch ein verschiedener Zustand Statt, je nachdem das Auge für die Ferne oder für die Nähe accommodirt ist. Bei der Accommodation für die Nähe rücken die beiden Brennpunkte näher an die Linse des Auges, die beiden Hauptpunkte mehr nach hinten von der Cornea ab, die beiden Knotenpunkte aber mehr nach vorn der Cornea näher, und endlich wächst auch der Abstand des ersten vom zweiten Hauptpunkte und der des ersten vom zweiten Knotenpunkte.

Wenn es nun ausser allem Zweifel feststeht, dass durch vermehrte Linsenwölbung die Focaldistanz des dioptrischen Systems im Auge entsprechend der Annäherung des fixirten Objekts verkürzt wird, so ist noch nicht vollkommen bewiesen, durch welchen Mechanismus diese Formveränderung hervorgebracht wird. Die Iris stellt nicht den dazu bestimmten muskulösen Apparat dar, denn Augen, denen die Iris fehlt, können noch vollkommene Accommodation besitzen. Es bleibt nur der muskulöse Theil im Corpus ciliare, der von Brücke<sup>1)</sup> aufgefundene Musculus ciliaris,

1) Müller's Archiv 1846 p. 370 und Anatom. Beschreibung des menschl. Augapfels Berlin 1847. 4.



aus glatten Fasern bestehend, als Accommodationsmuskel übrig, welcher vermittelt der Zonula Zinnii auf die Linse wirkt. Denn wie O. Becker<sup>1)</sup> an albinotischen Augen beobachtet hat, wird der Linsenrand weder beim Fernsehen, noch beim Nahesehen von den Ciliarfortsätzen berührt. Es giebt also nicht einen *Musc. compressor lentis*, wie ihn Langenbeck<sup>2)</sup> hinstellte, obschon im *Corpus ciliare* neben den radiären Brücke'schen Fasern auch circuläre Muskelfasern von H. Müller<sup>3)</sup> aufgefunden sind. Ob diese beiden verschiedenen Faserlagen als Antagonisten zu betrachten sind, ist nicht entschieden; wahrscheinlich wirken beide, welche nicht gesondert sind, sondern allmählich in einander übergehen, bei der Accommodation für die Nähe gleichzeitig, wenigstens spricht vieles dafür, dass es nur für die Nähe eine active Accommodation giebt. Die Accommodation für die Ferne beruht nur auf der Erschlaffung des Ciliarmuskels. Das Zustandekommen der accommodativen Linsenveränderung haben wir uns nach Helmholtz folgendermassen zu erklären. Die Linse wird vermittelt der peripherisch angehefteten Zonula Zinnii durch Zug nach hinten festgehalten; dabei kann das Bestreben der Linse, eine mehr kuglige Gestalt anzunehmen, so wie wir sie an luxirten durchsichtigen Linsen schon bei Lebzeiten des Individuums sehen können, nicht zur Geltung kommen. Bei accommodativer Anstrengung wird aber durch den *M. ciliaris*, dessen *Punctum fixum* vorn liegt, der peripherische Rand der Zonula nach vorn gezogen und der Linse genähert, die Zonula also mehr entspannt, wodurch der Linse selbst die Möglichkeit gegeben wird, eine grössere Wölbung anzunehmen. Dabei wird ihre Axe länger, ihre scheibenartige Gestalt aber verkleinert, während dessen der Zwischenraum zwischen Linsenrand und *Processus ciliares*, wie direct beobachtet wurde, grösser wird. Demnach ist bei der Einrichtung für die Ferne der *M. ciliaris* in Ruhe, entspannt, die Linse aber im Zustande der Spannung; bei der Accommodation für die Nähe der *M. ciliaris* in Spannung, die Linse im natürlichen Zustande der ihr eigenen Elasticität.

1) Medic. Jahrb. d. Gesellsch. d. Aerzte in Wien 1863 Heft V. u. VI. und 1864 Heft I.

2) a. a. O.

3) Archiv f. Ophthalmol. III. 1. p. 1. Berlin 1857.



#### IV. Emmetropie. — Accommodationsbreite.

Die tägliche Erfahrung lehrt uns, dass auch bei normalem Sehvermögen ein gewisser Helligkeitsgrad oder vielmehr ein gewisser Contrast des beobachteten Objekts gegen seine Umgebung nothwendig ist, um das Objekt deutlich zu erkennen. In der Dämmerung sehen wir nicht so scharf, wie am hellen Tage. Für das scharfe Sehen ist also eine gewisse Helligkeit des Netzhautbildes erforderlich. In dieser Beziehung abnorme Zustände des Auges sind Hemeralopie und Nyktalopie.

Ferner können wir uns täglich überzeugen, dass kleine Gegenstände, die wir in der Nähe sehr gut erkennen, in grössere Ferne gerückt unserm Gesicht entschwinden. Je ferner nämlich das Objekt rückt, desto kleiner muss das ihm zugehörige Netzhautbild werden, bis es eine Minimalgrösse, in welcher es noch erkannt wird, erreicht. Wird diese Gränze überschritten, und das Bild noch kleiner, so hört die Distinction des Gegenstandes auf. Ein Maass für die Bildgrösse haben wir in dem sogenannten Gesichtswinkel, welcher durch die beiden im Knotenpunkte des Auges sich kreuzenden Richtungsstrahlen gebildet wird, die von den zwei am meisten auseinander stehenden Punkten des Objekts ausgehen. Indem man nun darauf Bezug nimmt, dass man jene beiden Punkte als getrennt noch unterscheidet, spricht man von einem Distinctionswinkel und von einem Minimum des Distinctionswinkels, welches für das Erkennen eines Objectes nothwendig ist.

Es leuchtet aber ein, und ist aus Fig. 31 leicht ersichtlich, dass in verschiedenen Entfernungen vom Auge verschieden grosse Gegenstände unter gleichem Gesichtswinkel erscheinen können, und zwar dass dabei die Grösse des Objectes in gradem Verhältniss mit seiner Entfernung vom Auge stehen muss, also je kleiner die Entfernung, desto kleiner das Objekt und umgekehrt. In dieser Beziehung abnorme Zustände des Auges, wo eine Vergrösserung des Minimum des Distinctionswinkels vorhanden ist, während Helligkeit und Schärfe des Netzhautbildes hinlänglich



sind, hat man von Alters her Amblyopie genannt. Sie beruhen auf einem primären oder sekundären Leiden des Sinnesnerven

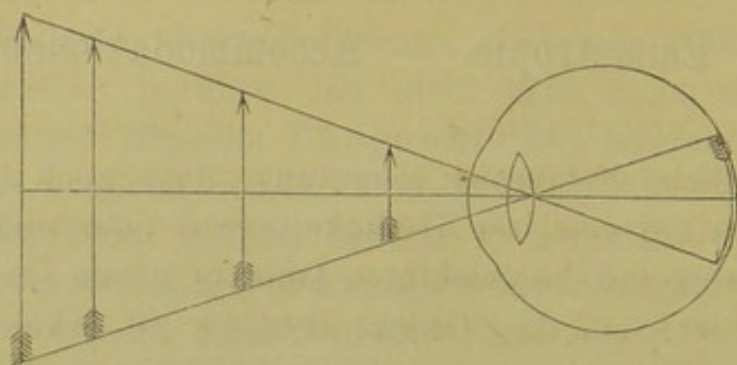


Fig. 31.

des Auges, der Retina, des Nervus opticus, oder des Centralorgans.

Ein drittes Erforderniss für das deutliche Sehen liegt in der Schärfe des Netzhautbildes. Vermittelst eines verschwommenen Retinabildes kann kein genaues Erkennen der Gegenstände Statt finden.

Ist es nun unter keinen Umständen dem Auge möglich, von einem Objekt, mag es eine Distanz oder eine Richtung einnehmen, welche es wolle, ein klares Netzhautbild zu erlangen, und somit ja auch scharf zu sehen, so liegt der Grund davon in einer durchscheinenden Trübung eines oder mehrerer der brechenden Augenmedien. Anomalien in dieser Hinsicht, Verdunkelungen, finden wir bei Flecken der Hornhaut, Trübungen des Humor aqueus, Cataracten und Opacitäten des Glaskörpers.

Entstehen aber im Auge von Gegenständen, wenn dieselben sich in bestimmten Entfernungen oder in einer bestimmten Richtung, in welcher sie vorzugsweise ausgedehnt sind, befinden, noch klare Netzhautbilder, während sie stets verschwommen werden, sobald die Objekte in einer andern Entfernung oder andern Richtung befindlich sind; kommen also nur unter gewissen Umständen verwaschene Netzhautbilder zu Stande — so liegt dies in einer Unvollkommenheit des dioptrischen oder des Accommodations-Apparates. Es befindet sich die Netzhaut dann nicht in der conjugirten Brennebene des betrachteten Objekts. Mag nun die Netzhaut vor oder hinter der Brennebene liegen, in beiden Fällen kommt es auf ihr nicht zur Construction eines dem Objektpunkte



entsprechenden Bildpunktes, sondern zu einem mehr oder minder grossen Kreise, der sich mit seinen Nachbarkreisen theilweise deckt und so ein verschwommenes Bild des Gegenstandes darstellt. Abnormitäten dieser Art sind Anomalien der Refraction oder Accommodation, die uns hier beschäftigen sollen.

Dasjenige, was wir in Bezug auf die Einstellung des dioptrischen Apparates unseres Auges wünschen müssen, ist dass sich derselbe successive allen Entfernungen, von der unendlichen Ferne bis zu einem geringen Abstand vom Auge anpasst. Dadurch kann von jedem beliebig fernen Objekt, wenn es nur nicht näher, als bis auf wenige Zoll dem Auge heranrückt, ein scharfes Netzhautbild entworfen werden. Mit andern Worten: das normale Auge accommodirt sich für parallele bis zu stark convergenten Lichtstrahlen, indem es dieselben auf seiner Netzhaut punktförmig vereinigen kann. Die Accommodation für Kegel von convergenten Lichtstrahlen, die ja ursprünglich in der Natur nie vorkommen, wäre etwas Nutzloses; dieselben müssten gleichsam von Gegenständen herkommen, die jenseits unendlicher Ferne liegen. Wäre aber nur eine für divergente Lichtstrahlen passende Accommodation erreichbar, so würde dadurch das scharfe Sehen in die Ferne Eintrag erleiden, und das Auge einen Mangel besitzen. Die Fähigkeit, das Auge für convergente Lichtstrahlen einzurichten einerseits, und andererseits die Unmöglichkeit, dies für parallele Strahlen zu thun, sind Anomalien, die sich auf den Zustand der accommodativen Ruhe des Auges beziehen, also auf den anatomischen Bau desselben.

Ist das menschliche Auge so gebaut, dass es bei accommodativer Entspannung für die unendliche Ferne eingerichtet ist, so dass parallel verlaufende Lichtstrahlen auf der Netzhaut punktförmig vereinigt werden (s. Fig. 32) und so ein scharfes Bild des unendlich fernen Gegenstandes liefern, dann nennt man das Auge nach dem allgemein angenommenen Vorschlage von Donders emmetropisch. Emmetropie<sup>1)</sup> ist demnach der in Bezug auf die Verhältnisse des dioptrischen Systems normale Bau des Auges abgesehen von der Accommodationsfähigkeit.

Der Refraktionszustand im engeren Sinne des Wortes, bei

---

1) Abzuleiten von *ἐμμετρος* (von richtigem Maass) und *ὤψ* (Auge).



welchem keine Accommodationsthätigkeit mitwirkt, giebt das Eintheilungsprincip in Emmetropie und Ametropie.

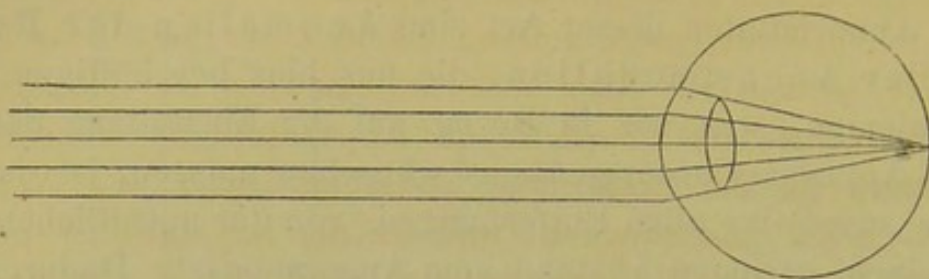


Fig. 32.

Kommt nun die Wirkung des Accommodationsmuskels hinzu, so wird das normale Auge für Gegenstände in unendlicher Entfernung angepasst, und in je stärkere Contraction der Accommodationsmuskel versetzt wird, für desto grössere Nähe wird das dioptrische System eingerichtet, bis eine Gränze erreicht wird, die auch nicht durch stärkste accommodative Anstrengung überschritten werden kann.

Das Bereich des Raumes, welchen so die Accommodation beherrscht, nennt man die Accommodationsbreite.

Misst man diesen Raum durch eine gerade Linie, so ist diese einerseits durch den Fernpunkt (den fernsten Punkt, für welchen sich das Auge einrichten kann) und andererseits durch den Nahepunkt (den nächstgelegenen Punkt, für den die Accommodation noch genügt) begrenzt.

Die lineare Ausdehnung der Accommodationsbreite giebt jedoch kein Maass ab für die Accommodationsgrösse oder das Accommodationsvermögen; denn für dieselbe Ausdehnung im vorderen Accommodationsbereich ist eine bedeutend grössere Kraftäusserung nothwendig, als für die gleiche im hinteren Bereich. Also nicht allein die Tiefe des Accommodationsbereiches, sondern auch vornehmlich die Lage desselben zum Auge ist für die Bestimmung des Accommodationsvermögens von Wichtigkeit.

Bei Betrachtung der Glaslinsen führten wir schon den Satz an, dass sich die Kraft derselben umgekehrt, wie ihre Hauptbrennweite, nach einem bestimmten Maasse ausgedrückt, verhält. Ein ganz ähnliches Verhältniss haben wir in unserm Fall. Beim Auge muss im Fall der ausreichenden Accommodation die hintere Brennweite stets dieselbe sein, da die Distanz zwischen Linse



und Netzhaut beim Blick in die Nähe und in die Ferne nie sich verändert. Auch bei der Bestimmung der Kraft von verschiedenen Glaslinsen hat man die eine Brennweite als eine bei allen gleiche und feste annehmen müssen, nämlich die unendliche Ferne. Beim Auge können wir also sehr zweckmässig zur Bestimmung der Kraftzunahme des dioptrischen Apparates als gleiche und feste Brennweite die Entfernung zwischen Linse und Netzhaut hinstellen. Dies angenommen, und da die Krystalllinse bei der Accommodation ihre Wölbung entsprechend der Entfernung des betrachteten Objekts ändern muss, so kann man behaupten, dass die Kraftveränderung der Linse sich umgekehrt verhält, wie die Entfernung, für welche sie die richtige Wölbung angenommen hat. Der reciproke Werth der Entfernung des Gegenstandes, nach einem bestimmten Maass gemessen, drückt also den Werth der Brechungsveränderung im Auge, die Accommodationskraft, aus.

Hiermit ganz im Einklange steht die Art des Wachsens von Zerstreuungskreisen in einem Auge, welches für die unendliche Ferne eingerichtet bleibt, während der Gegenstand sich allmählich dem Auge nähert. Listing hat dies nach seinem schematischen Auge berechnet und liefert darüber folgende Tabelle:

| Abstand des leuchtenden Punktes<br>von der vordern Focalebene: |           | Durchmesser der Zerstreuungs-<br>kreise: |     |
|----------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------|-----|
| $\infty$                                                       | . . . . . | 0                                        | Mm. |
| 65 Meter                                                       | . . . . . | 0,0011                                   | -   |
| 25                                                             | - . . . . | 0,0027                                   | -   |
| 12                                                             | - . . . . | 0,0056                                   | -   |
| 6                                                              | - . . . . | 0,0112                                   | -   |
| 3                                                              | - . . . . | 0,0222                                   | -   |
| 1,500                                                          | - . . . . | 0,0443                                   | -   |
| 0,750                                                          | - . . . . | 0,0825                                   | -   |
| 0,375                                                          | - . . . . | 0,1616                                   | -   |
| 0,188                                                          | - . . . . | 0,3122                                   | -   |
| 0,094                                                          | - . . . . | 0,5768                                   | -   |
| 0,088                                                          | - . . . . | 0,6484                                   | -   |

Wo das normale Auge für die unendliche Ferne eingerichtet ist, befindet sich die Accommodation im Ruhezustand; wir haben dann für das Auge eine Refractions-Veränderung von  $\frac{1}{\infty} = 0$ , was der hiebei aufgewendeten Accommodations-Anstrengung voll-



kommen entspricht. Tritt nun die Einrichtung für 80'' Entfernung ein, so haben wir als Werth für diese Brechungszunahme  $\frac{1}{80}$ . Ist das Auge bei stärkster Accommodations-Anstrengung vermögend, sich für die Entfernung von 6'' einzustellen, so haben wir eine Vermehrung des Brechungswerthes von  $\frac{1}{6}$ . In unserm Beispiel ist  $\frac{1}{6}$  zugleich der Ausdruck für das gesammte Accommodationsvermögen des Auges. Bei einem emmetropischen Auge ist demnach das Accommodationsvermögen gleich dem reciproken Werthe der in Zollen ausgedrückten Entfernung des Nahepunktes.

Liegt aber der Fernpunkt, wie beim kurzsichtigen Auge in endlicher Ferne z. B. in 80'', so fehlt diesem Auge  $\frac{1}{80}$  der Accommodationsbreite des emmetropischen Auges, was demnach in Abzug zu bringen ist. Liegt andererseits, wie beim übersichtigen Auge, der Fernpunkt gleichsam jenseits der unendlichen Ferne, so ist dies Gebiet, was über diese Ferne hinausragt, zu der Accommodationsbreite hinzuzurechnen. Um für die Grösse dieses Plus einen richtigen Ausdruck zu erhalten, ist es nöthig, das stärkste Convexglas aufzufinden, mit welchem das Auge, das dann auch jeder accommodativen Spannung baar sein muss, für den Fernpunkt des emmetropischen Auges eingestellt ist. Dann ist der Brechungswerth dieses Glases hinzuzurechnen. Liegt z. B. beim übersichtigen Auge der Nahepunkt 10'' vor dem Auge, für welches, um es emmetropisch zu machen, ein Convexglas No. 30 nothwendig ist, so ist sein Accommodationsvermögen

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{30} = \frac{1}{7\frac{1}{2}}$$

Ebenso kann man auch beim kurzsichtigen Auge das in Abrechnung zu bringende Stück des Accommodationsgebietes durch das schwächste Convexglas bestimmen, welches das Auge emmetropisch macht. Dass im letztern Falle zu subtrahiren, im erstern zu addiren ist, giebt schon das erforderliche negative, andererseits das positive Glas an.

Im Allgemeinen kann man, was nach Obigem leicht verständlich sein wird, angeben: der Werthausdruck für die Accommodationsbreite eines Auges wird gefunden, wenn man die Refractionsgrösse desselben für den Fernpunkt abzieht von der Refractionsgrösse für den Nahepunkt, wobei nur zu beachten ist, dass das Gebiet jenseits der unendlichen Entfernung im Gegen-



satz zu dem diesseitigen als negativ anzusehen ist. Die von Donders hierfür gegebene Formel ist:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$$

( $\frac{1}{A}$  = Accommodationsbreite.

p = punctum proximum, Nahepunkt.

r = punctum remotissimum, Fernpunkt.

P = Abstand des p vom Auge.

R = Abstand des r vom Auge).

Finden wir z. B. bei einem emmetropischen Auge  $P = 6''$  und  $R = \infty$ , so ist

$$\begin{aligned} \frac{1}{A} &= \frac{1}{6} - \frac{1}{\infty} \\ &= \frac{1}{6} - 0 \end{aligned}$$

$\frac{1}{A}$  ist in dieser Formel gleich dem Werthe einer Sammellinse, welche den vom Nahepunkt ausgehenden Strahlen eine solche Richtung giebt, als kämen sie vom Fernpunkt desselben Auges. Diese Sammellinse A hat man sich vorzustellen als eine auf die Vorderfläche der Krystalllinse aufgelegte Concav-Convexlinse, welche für die Linse des accommodativ ruhenden Auges den erwähnten Erfolg erzielt. Will man bei der Bestimmung von P und R genau zu Werke gehn, so muss die Messung, wie es Donders thut, nicht von der Cornea, sondern vom vordern Knotenpunkt ( $k'$ ) beginnen, der ja  $\frac{1}{4}''$  hinter der Cornea gelegen ist.

## V. Prüfung der Refraction und Accommodation des Auges.

Zur Prüfung der Accommodationsfähigkeit eines Auges sind schon von Scheiner an bis auf die gegenwärtige Zeit viele verschiedene Instrumente, die unter dem Namen Optometer bekannt sind, angegeben. Am zweckmässigsten wendet der Praktiker



hierzu aber Schriftproben an, welche zugleich zur Prüfung der Sehschärfe dienen; denn auch die letztere muss stets bei der Accommodationsprüfung festgestellt werden.

Es war schon lange ein Bedürfniss gewesen, in Krankengeschichten und zur schärferen Beurtheilung von Gesichtszu- oder Abnahme eines Patienten einen genauen Maassstab für die Sehschärfe zu besitzen. Es war daher ein trefflicher Gedanke, den, soviel ich weiss, zuerst Küchler<sup>1)</sup> realisirt hat, für diesen Zweck bestimmte Typen von verschiedener Grösse als von den Ophthalmologen allgemein anzuerkennende Probeobjekte aufzustellen. Dieselbe Idee wurde von Ed. Jaeger<sup>2)</sup> durch eine vollständigere Sammlung von Schriftskalen, die sich schnell allgemein einbürgerte, weiter verfolgt. Bis dahin entbehrten aber die aufgestellten Typen einer wissenschaftlichen Grundlage; sie waren in einer Grössenfolge gewählt, wie sie gerade die Druckereien darboten. Stellwag<sup>3)</sup> construirte nun die Typengrösse und Dicke nach bestimmten Maassen, doch fanden dieselben nicht die gehörige Beachtung. Erst Snellen's Probebuchstaben 1862 errangen wegen ihrer bequemen Anwendungsweise bei streng wissenschaftlicher Construction und besonderer Reichhaltigkeit ungetheilten Beifall. Man thut daher am besten, sich dieser Probebuchstaben von Snellen zu bedienen, zumal jetzt wohl überall nur diese der Sehschärfebestimmung zu Grunde gelegt werden. Snellen hatte gefunden, dass ein sehscharfes Auge Buchstaben erkennen kann, wenn dieselben unter dem Minimum eines Gesichtswinkels von 5 Minuten sich darstellen, und die Dicke ihrer Striche unter einem Winkel von 1 Minute. Da die Sehschärfe für das ganze Accommodationsbereich ungefähr dieselbe ist, so hat Snellen nach diesem Principe für die verschiedenen Abstände vom Auge so grosse Probebuchstaben anfertigen lassen, dass sie, in der angegebenen Entfernung vom Auge gehalten, den Gesichtswinkel von 5' einnehmen. Seine Typen sind für die Distanzen von 1 bis 200 Fuss vom Auge eingerichtet und tragen diesen in Fussen gemessenen Abstand als Nummer. Von einem seh- und accommodationskräftigen Auge

1) Die Schriftnummernprobe für Gesichtskleidende. Darmstadt 1843.

2) Ueber Staar und Staaroperationen. Wien 1854.

3) Die Accommodationsfehler des Auges. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. in Wien. Bd. XVI. Hft. I. 1855.



muss daher No. 1, 5, 10, 20, 100, 200 in einer Entfernung von 1, 5, 10, 20, 100, 200 Fuss gelesen werden können. Hat das Auge nicht seine normale Refraction oder Accommodation, so muss ein Brillenglas, convex oder concav, gefunden werden, mit welchem dasselbe diese Erfordernisse erfüllt. Ist aber das Auge auf keinerlei Weise im Stande, eine Schriftnummer in der angezeigten Entfernung zu lesen; so ist es schwachsichtig. Für den Grad der Sehschärfe erhält man nach Snellen's Vorschlag einen leicht zu findenden Ausdruck; die Sehschärfe ist nämlich gleich der in Fussen gemessenen, grössten Entfernung, in welcher noch die Schriftprobe gelesen wird, dividirt durch die Entfernung, in welcher sie gelesen werden soll (Nummer der Schriftprobe). Kann z. B. No. 20 bei genügender Accommodation nur noch in 15' Entfernung gelesen werden, so ist die Sehschärfe  $= \frac{15}{20}$ . Dasselbe Auge muss dann auch No. 4 in 3', No. 1 in  $\frac{3}{4}'$  u. s. w. Entfernung erkennen.

Will man ferner mittelst der Probebuchstaben den Nahepunkt eines Auges bestimmen, so greift man zunächst zu No. 1 und erforscht, wie nahe dieselbe ans Auge gerückt werden kann, ohne dass dieses die Fähigkeit verliert, die Typen scharf zu sehen und geläufig zu lesen. Hat man diese Gränze, den Nahepunkt p, gefunden, so wird die Distanz vom Auge gemessen. Wohl kann man dabei eine zu kurze Entfernung des Nahepunktes erhalten, indem es noch bei geringen Zerstreuungskreisen möglich ist, die Schrift zu lesen; intelligentere Personen können aber schon aussagen, wann die Buchstaben aufhören, scharf und schwarz zu erscheinen, und so lässt sich dieser Fehler ziemlich vermeiden. Andererseits ist darauf zu achten, dass schlecht unterrichtete Personen nicht gewohnt sind, kleine Typen zu lesen und damit schwer zu Stande kommen; von solchen darf man sich nur die Buchstaben sagen lassen. Sollte p aber ferner als 12" vom Auge liegen, so muss man als Objekt die der Entfernung entsprechenden grösseren Buchstabennummern wählen. So kann es vorkommen, dass man zu No. 20, 50, ja 200 greifen muss, weil der Nahepunkt 20, 50 resp. 200' vom Auge absteht, sogar im negativen Accommodationsbereich kann derselbe liegen. Im letzteren Falle ist es nothwendig, das Auge mit einer starken Convexlinse zu bewaffnen, wie es unten bei der Bestimmung des Fernpunktes angegeben ist. P lässt sich dann nach derselben



Formel finden, nur ist P statt R und  $\mathfrak{P}$  statt  $\mathfrak{R}$  zu setzen. — Bei der Bestimmung des Fernpunktabstandes (R) könnte man vielleicht wegen des beschränkten Zimmerraumes in Verlegenheit gerathen, wie man die hohen Typennummern in den richtigen Entfernungen anbringen soll. Bei einer Reihe von Zimmern und im Freien lässt sich dies leicht ausführen, und man braucht dann nur zu erforschen, bis zu welcher fernsten Nummer das Auge reicht. Wird No. 200 noch in 200' Abstand erkannt, so kann man ohne Fehler  $R = \infty$  annehmen. Dasselbe kann man ohne grossen Fehler selbst thun, wenn No. 20 in 20' Entfernung geläufig gelesen wird.

Es lässt sich aber auch zweckmässig das Accommodationsbereich in seiner lineären Ausdehnung durch Vorhalten von Convexgläsern verkürzen und an das Auge heranrücken, ohne dass dadurch die Accommodationsbreite Eintrag erleidet. Durch eine einfache Rechnung lässt sich dann der natürliche Fernpunkt aus dem Fernpunkt im künstlich verkleinerten Accommodationsbereich finden, und zwar nach der leicht verständlichen Formel

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\mathfrak{R}} - \frac{1}{L}$$

in welcher R den zu berechnenden Fernpunktsabstand,  $\mathfrak{R}$  die durch die Linse erzeugte Fernpunktsdistanz,  $\frac{1}{L}$  den Werth der zu Hülfe genommenen Convexlinse bedeuten. Findet man nämlich, dass die feinste Schrift No. 1, welche bei Anwendung von Convexgläsern, die nicht schwächer als No. 12 sind, immer als Probeobject dienen muss, im vorderen Brennpunkt der Glaslinse noch gerade gelesen werden kann, so ist  $R = \infty$ , also Emmetropie vorhanden; kann jene Schrift aber nur in kürzerer Entfernung entziffert werden, so ist  $R < \infty$ , also Myopie vorhanden, kann No. 1 oder No.  $1\frac{1}{2}$  aber noch jenseits der Hauptbrennweite scharf erkannt werden, so ist  $P > \infty$ , also Hypermetropie vorliegend.

Wählen wir zu solchen Untersuchungen die positive Linse No. 12, so müssen wir im ersten Falle finden, No. 1 Sn. werde noch grade in 12" Distanz gelesen, also nach obiger Formel:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R} &= \frac{1}{12} - \frac{1}{12} = 0 \\ R &= \frac{1}{0} = \infty \end{aligned}$$



Wird im zweiten Fall die Schrift nur bis zu 8" Entf. erkannt, so haben wir

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{8} - \frac{1}{12} = \frac{1}{24}$$

$$R = 24''$$

Ein hypermetropisches Auge, mit + 12 bewaffnet, muss aber solche Schrift noch jenseits 12" lesen. Es geschehe dies bis zu einer Entfernung von 15", dann haben wir

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{15} - \frac{1}{12} = \frac{4}{60} - \frac{5}{60}$$

$$= - \frac{1}{60}$$

$$R = - 60''.$$

Wird unter gleichen Verhältnissen die Schrift bis zu 16" gelesen, so finden wir

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{16} - \frac{1}{12} = \frac{3}{48} - \frac{4}{48}$$

$$= - \frac{1}{48}$$

$$R = - 48''.$$

Dies heisst dann, dass der Fernpunkt 60" resp. 48" hinter dem Knotenpunkte liegt; denn nur so hat der Ausdruck „jenseits unendlicher Ferne“ einen Sinn, nur dann kann man im negativen Accommodationsgebiet von Maassen reden.  $R = - 60$  bedeutet dann, dass bei der Accommodationsruhe derartig divergente Strahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen, welche in ihrer Verlängerung sich 60" hinter  $k''$  schneiden würden, gewissermaassen von dort herkommen.

Nimmt man nun nacheinander verschieden starke Convexgläser zur Bestimmung des Nah- und Fernpunktes eines Auges, so muss man bei Anwendung von dieser Formel immer dasselbe Resultat, wenigstens annähernd, erhalten und kann durch erhebliche Differenzen etwaige Simulation einer Person, wie es bei den Rekruten nicht selten vorkommt, leicht entdecken. Kleine Differenzen dürfen einen dabei nicht stören, weil eine ganz exacte Bestimmung des Fernpunktes weit schwieriger ist, als die des Nahepunktes.

Dass zu solchen diagnostischen Untersuchungen für den Arzt eine ziemlich vollständige Sammlung von Convex- und Concavgläsern nothwendig ist, die in ein Gestell leicht eingesetzt und



aus demselben entfernt werden können, ist selbstredend.<sup>1)</sup> Für den Praktiker erscheinen zur Bestimmung der Accommodation complicirtere Instrumente „Optometer“ wie sie durch Burow und v. Gräfe angegeben sind, nicht ganz so zweckmässig, weil dazu eine grössere Intelligenz der Patienten erforderlich ist. Doch soll hierdurch nicht geleugnet werden, dass man mit Hülfe derselben in passenden Fällen die genauesten Resultate gewinnen kann.

Die Bestimmung von P und R nimmt man zweckmässig zuerst beim binoculären Sehakt der Patienten vor, und dann auch für jedes einzelne Auge besonders. Stets findet man hierbei Unterschiede; Fern- und Nahpunkt ist ein etwas anderer für das monoculäre Sehen, als für das Sehen mit beiden Augen, wobei die Convergenz der Sehaxen von Einfluss ist. Zur Bestimmung des absoluten Nahepunktes ist die möglichst starke Convergenz der Sehaxen oder starke Spannung der Musculi recti interni, zur Bestimmung des absoluten Fernpunktes Parallelismus der Sehaxen oder die möglichst vollständige Erschlaffung der recti interni erforderlich. So erhält man weitere Gränzen, als beim binoculären Sehakt. Es ist nämlich nicht bei einer beliebigen Convergenzstellung der Augen die absolute Accommodationsbreite disponibel, sondern nur eine relative, indem die Augen bei jeder einzelnen Convergenz nur über einen kleinen, aber bestimmten Theil des absoluten Accommodationsbereichs gebieten können.

---

1) Paetz und Flohr in Berlin, Unter den Linden 14, liefern solche Brillenkasten im Preise von 25 Thlr. Zweckmässig könnte die Reihenfolge dieser Brillenbrennweiten noch etwas modificirt werden, um die Refraktionsdifferenz zwischen den einzelnen Nummern möglichst gleichmässig zu haben, worauf Burow besonders aufmerksam gemacht hat.

---



## Ametropie.

### VI.

#### 1) Myopie,

(Bathymorphie) Kurzsichtigkeit.

Myopie ist diejenige Anomalie im Baue des Auges, in Folge deren die Netzhaut hinter dem Hauptbrennpunkte des durch accommodative Thätigkeit unbeeinträchtigten dioptrischen Apparates liegt.

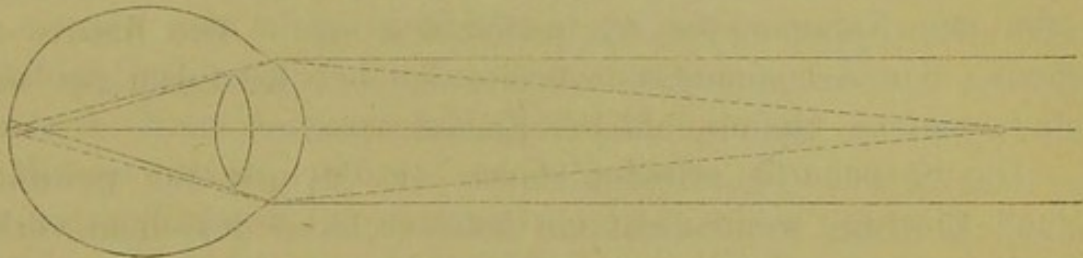


Fig. 33.

Parallel in's Auge fallende Lichtstrahlen finden daher schon vor der Netzhaut des myopischen Auges ihren Vereinigungspunkt, und zwar um so weiter vor ihr, je stärker die Myopie ist. Die homocentrischen Lichtstrahlen müssen divergent sein, um auf der Retina punktförmig gesammelt zu werden, der Fernpunkt des Auges ist also abnorm herangerückt.

Der Grad der Myopie kann ein sehr verschiedener sein. Der Fernpunkt, der zwar in endlicher Ferne liegen muss, kann sich mehrere Fuss vor dem Auge befinden, kann aber auch demselben bis auf wenige, 3, ja 2 Zoll und darüber genähert sein. Der Grad der Myopie findet seinen bestimmten Ausdruck durch den Brechungswerth der negativen Correctionslinse, die in Luft stehend und mit  $k'$  zusammenfallend gedacht wird. Findet man z. B. dass für ein Auge  $-9\frac{1}{2}$  das schwächste Concavglas ist, vermittelt dessen parallele Lichtstrahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen, und zwar wenn das Glas  $\frac{1}{2}$ " vom Auge entfernt gehalten wird, so haben wir in diesem Falle

$$\frac{1}{9\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} = \frac{1}{10},$$



oder wenn wir den Abstand des Knotenpunktes  $k'$  von der Hornhaut nicht vernachlässigen wollen,

$$M = \frac{1}{10\frac{1}{2}}$$

Obigem entsprechend, doch weniger genau, da der Fernpunkt nur in der eben angegebenen Weise beim Parallelismus der Sehaxen bestimmt ist, kann man den Grad der Kurzsichtigkeit auch durch den reciproken Werth von  $R$  ausdrücken. Liest also ein Auge bei normaler Sehschärfe die Schrift No. 2 nicht jenseits 20'' Entfernung, so haben wir  $M = \frac{1}{20}$ .

Sobald die Accommodationsbreite normal geblieben ist, wird entsprechend dem Näherrücken des Fernpunktes auch ein Herantreten des Nahepunktes zu beobachten sein. Die lineare Ausdehnung der Accommodationsbreite ist bei Kurzsichtigen natürlich bedeutend kleiner, als bei Emmetropen.

Die Sehschärfe erleidet durch die Myopie für gewöhnlich keinen Eintrag, wenn nicht ein höherer Grad derselben vorliegt, wie  $M \frac{1}{6}$  oder mehr, wo dieselbe wohl stets im Zusammenhange steht mit Sclerotico-Chorioiditis posterior.

Im kurzsichtigen Auge liegt die Linse tiefer, wodurch die Brennweite verlängert wird, die Linse jedoch besitzt keine grössere Brechkraft, oder, was dasselbe ist, keine kleinere Brennweite, es muss daher die Sehaxe des Auges auch bei geringeren Graden der Myopie verlängert sein. Das kurzsichtige Auge hat also mehr eine elliptische als kuglige Gestalt. Scharfsinnig hat daher Stellwag der Myopie den Namen Bathymorphie<sup>1)</sup> an die Seite gestellt. In Folge dieses Langbaues muss mit der Sclera zugleich auch die Netzhaut etwas ausgedehnt sein, und ihre Zäpfchen und Stäbchen müssen weiter auseinander stehen. Soll hierbei nun normale Sehschärfe bestehen, so müssen die Netzhautbilder auch entsprechend grösser werden, und dies findet im myopischen Auge wirklich Statt, indem sein hinterer Knotenpunkt mehr nach vorn liegt. Ein corrigirendes Concavglas hebt diesen Vortheil aber wieder auf, weil es  $k''$  nach hinten hin verlegt.

Die objektiven Zeichen, welche wir am myopischen Auge wahrnehmen, sind: weite Pupille, tiefe vordere Augenkammer, bedingt durch den grösseren Abstand der Linse von der Cornea,

1) βάθυσ (tief) μορφή (Gestalt, Bau).



Verlängerung des Bulbus von vorn nach hinten. Dies letztere kann man deutlich nur bei starker Myopie erkennen, zumal wenn sie mit Sclerotico-Chorioiditis posterior gepaart ist, sobald man den Augapfel stark nach innen wenden lässt. Nicht jedes auffallend prominente Auge jedoch hat eine verlängerte Sehaxe.

Vermittelst des Augenspiegels erkennt man eine starke Myopie daran, dass man für das aufrechte Bild stärkere Concavgläser bedarf, das umgekehrte Bild aber schon ohne Convexlinse wenige Zolle vor der Pupille erhält. Tritt das Letztere ein, so ist wohl stets Sclerectasia posterior nebenbei ophthalmoskopisch erkennbar.

Myopische Augen können in der Ferne nur undeutlich sehen, weil sie von dort bloss in Zerstreuungskreisen dargestellte Netzhautbilder empfangen. In der Nähe hingegen, sobald sich die Objekte in ihrem Accommodationsbereich befinden, sehen gewöhnlich Myopen ebenso scharf, wie Emmetropen, und können oft noch besser kleinste Gegenstände unterscheiden, indem ihr Nahepunkt herangerückt ist, und sie von den nahegehaltenen Gegenständen grössere Netzhautbilder erhalten. Aus diesen Gründen bringen Kurzsichtige die betrachteten Objekte auffallend nahe ans Auge. Wegen der Möglichkeit, ein grösseres, scharfes Netzhautbild zu erlangen, kommen die Kurzsichtigen mit einer geringeren Helligkeit aus, sie vermögen noch in starker Dämmerung zu lesen, was Andere nicht zu Stande bringen.

Wenn man davon spricht, dass Myopen sehr kräftige Augen besitzen, so hat man darunter zu verstehen, dass sie sich für nahe Gegenstände andauernd einrichten können, ohne ihren Accommodationsmuskel erheblich anzuspannen und in Folge dessen zu ermüden.

Durchaus nicht immer kneifen beim Blick in die Ferne Kurzsichtige ihre Lider zusammen oder blinzeln, so dass sie durch einen engen Schlitz sehen, welcher die Zerstreuungskreise verkleinert. Es hängt dies von Gewohnheit und Erziehung ab. Dennoch ist von diesem Symptom der Name Myopie genommen (*μύειν*, schliessen, blinzeln). Eine stenopäische Brille macht dem myopischen Auge ein deutliches Sehen in grössere Ferne möglich, weil sie den ins Auge fallenden Lichtkegel sehr dünn und somit die Zerstreuungskreise möglichst klein werden lässt, welche bei der weiten Pupille des Myops besonders gross sind.



Beim Lesen oder Betrachten kleiner Gegenstände halten die Kurzsichtigen gern dieselben hoch oder senken ihren Kopf, um vorzugsweise den Blick von unten nach oben benutzen zu können. Beim Blick nach oben wird nämlich die Convergenz der Sehaxen geringer, und demgemäss ist es so auch leichter möglich, die Accommodation herabzusetzen.

Die stark Kurzsichtigen müssen, sobald sie deutlich sehen wollen, ihre Augen den Gegenständen sehr nähern und aus diesem Grunde lange eine bedeutende Convergenz der Sehaxen behaupten, also andauernd ihre beiden *M. recti interni* anspannen, wobei es nicht möglich ist, die Accommodation zu entspannen. Solche Anstrengung halten die *recti interni* nicht aus, und bald erlahmt der eine oder der andere, er wird insufficient, und ein Auge weicht nach aussen ab. So entsteht passiv Strabismus divergens durch muskuläre Asthenopie, wenigstens beim Fixiren, während andererseits beim gedankenlosen Blick oder beim Sehen in die Ferne Strabismus convergens auftreten kann, indem beide *recti interni* übermächtig geworden sind, und dem Zuge der *M. recti externi* nicht mehr gehörig nachgeben. Indem nun der binoculäre Sehakt aufgehoben ist, vermag das Auge seinen Accommodationsmuskel gänzlich zu erschlaffen und sich bei geradeaus gerichteter Sehaxe für seinen wahren Fernpunkt einzurichten. So kann man bei hochgradigen Myopen oft wahrnehmen, wie sie zum Lesen und Schreiben nur ein Auge benutzen, während das andere vorbeistarrt. Ehe es soweit kommt, dass ein Auge sofort beim Fixiren abweicht, kommt zunächst bei längerem Arbeiten eine Augenmüdigkeit, muskuläre Asthenopie, zu Stande; die starke anhaltende Contraction der *recti interni* wird schmerzhaft, ein Auge weicht ruckweise von seiner richtigen Stellung ab, und Doppelbilder, die sich in Verschwommensehen äussern, treten auf. Derartige Patienten verdecken dann beim Arbeiten gern ein Auge.

Die Hauptsache für die Diagnose der Kurzsichtigkeit ist aber die Funktionsuntersuchung des Auges mittelst Brillengläser. Convexgläser rücken den Fernpunkt noch mehr von der unendlichen Ferne ab und machen das Auge noch kurzsichtiger, Concavlinen hingegen nähern den Fernpunkt der unendlichen Ferne und schaffen dem Auge ein klares Sehen in grösserem Abstand. So muss man hier vor allem *ex nocentibus et juvantibus* die Diagnose



stellen: Convexgläser schaden, Concavgläser nützen bei Myopie. Es lässt sich neben bestehender Amblyopie noch die complicirte Myopie dadurch erkennen, dass ein schwaches Concavglas das Sehen an der Stelle deutlicher macht, wo das dem Auge allmählich ferner gerückte Objekt anfängt, verschwommen zu erscheinen. Die geringen Grade von Myopie kommen dem Arzte selten zur Behandlung, da bei einem Fernpunkt von 20" Abstand und darüber die Gesichtsstörung nicht so sehr empfunden wird, indem die Zerstreuungskreise beim Blick in die Ferne dann nicht gross sind. Solche Kurzsichtige werden dann erst ihre Ametropie inne, wenn ihnen ein passendes schwaches Concavglas gegeben wird, wodurch ihnen nun erst eine klare Fernsicht aufgeht.

Stationär sind die geringen Grade von Myopie bis zu ungefähr  $\frac{1}{10}$ , welche man nach der Pubertätszeit findet, während die stärkeren meist progressiv und dann die Folge von Sclerotico-Chorioiditis posterior sind. Bei letzteren hat es mit der blossen Myopie nicht sein Bewenden, sondern es tritt auch Accommodationsbeschränkung und Amblyopie hinzu, die mit der Ametropie wächst und schliesslich in totale Erblindung übergehn kann.

Die Hauptursache der Myopie ist die meist angeborene Verlängerung der Sehaxe, die Bathymorphie des Augapfels, die auch ohne Sclerectasia posterior vorkommt. Aus diesem Grunde ist die Kurzsichtigkeit erblich, und wenn man als Arzt besonders darauf achtet, so wird man sehr häufig die Erfahrung machen, dass, wenn in einer Familie z. B. der Vater kurzsichtig, die Mutter emmetropisch ist, diejenigen Kinder, welche in ihrem ganzen Körperbau und Wesen dem myopischen Vater ähneln, wiederum kurzsichtig sind, und die, welche der Mutter ähneln, emmetropische Augen haben. Oft wird aber bei kleinen Kindern die Myopie übersehen, zumal wenn sie gering ist.

Verhältnissmässig selten ist die Myopie erworben; zuweilen geschieht dies durch stäte Anstrengung des Accommodationsmuskels, indem beständig nahe Objekte beobachtet werden, wie bei manchen Gewerken; meist ist auch in solchen Fällen schon die Anlage im Bau des Auges vorhanden und wird nur durch die Art der Beschäftigung begünstigt oder vermehrt. Das Wachsthum einer Myopie wird durch den Gebrauch zu scharfer Concavgläser sehr beschleunigt.

Häufiger ist eine Keratitis die Veranlassung zu einer vor-



übergehenden oder dauernden Kurzsichtigkeit. Das entzündete Corneagewebe ist nämlich erweicht und leistet dem intraoculären Druck nicht den gehörigen Widerstand; es kommt dann zur Kerektasie, zur grösseren Wölbung der Cornea, die nicht immer nach Ablauf der Entzündung wieder schwindet.

Behandlung: Wo man der Erbliehkeitsverhältnisse wegen bei kleinen Kindern die Myopie im Entstehen vermuthet, ist prophylaktisch dahin zu streben, dass durch Anstrengung der Accommodation die Anlage zur Kurzsichtigkeit nicht weiter ausgebildet werde. Grosses Spielzeug, nicht zu kleine Bilder und später Bücher mit grossen Lettern nebst strenger Beachtung der Distanz, in welcher die Gegenstände gehalten werden müssen, häufiger Aufenthalt im Freien sind prophylaktische Erfordernisse. Gar zu leicht sind Myopen geneigt, mit auffallend kleinen Buchstaben zu schreiben; auch dagegen muss man bei Kindern wirken. Lesen, Schreiben und feinere Handarbeiten dürfen nie in der Dämmerung vorgenommen werden, weil dann behufs des Erkennens die Objekte beträchtlich dem Auge genähert werden müssten. Auch auf die Wahl des Berufs muss bei solchen Personen der Augen wegen Rücksicht genommen werden.

Ist nun aber Myopie schon ausgebildet, so ist der Gebrauch von Concavgläsern das einzige Mittel, um deutlich in die Ferne sehen zu können, da das Tragen von stenopäischen Brillen nur ein mit anderen Uebelständen verbundener Nothbehelf wäre. Lange sind die Ansichten sehr getheilt gewesen, ob in allen Fällen von Myopie das Brillentragen zu erlauben sei, ja, es gab Zeiten, wo die besten Augenärzte die Brillen fast ganz verwarfen und die „Brillenwuth“ als Modeunsitte erklärten. Jetzt hat sich endlich die Ansicht Bahn gebrochen, dass jedem Kurzsichtigen, sobald er überhaupt sein Auge zu Arbeiten verwenden darf, Concavgläser zu gestatten sind, ja wie Donders nachgewiesen hat, empfohlen werden müssen. Nur fragt es sich, ob immer ein so scharfes Glas gewährt werden kann, dass durch dessen Hülfe parallele Lichtstrahlen auf der Retina vereinigt werden. Ist beim Myopen die Accommodationsbreite normal, und dies findet man meist bei geringer Myopie, so ist nicht der geringste Grund vorhanden, dem Kurzsichtigen die Fernsicht zu verweigern, indem das passende Concavglas sein Accommodationsbereich dann in die richtige Entfernung hin verlegt und das Auge dem normalen



fast gleich macht. Von solchen Individuen wird gern und beständig die Brille getragen. Liegt aber Accommodationsbeschränkung vor, wie gewöhnlich bei Sclerotico-Chorioiditis posterior, so wird durch die Concavlinse, die für die Ferne passt, das Accommodationsbereich zu weit vom Auge gerückt, und für die Nähe ist die Brille gar nicht brauchbar, oder höchstens bei forcirter Accommodationsanstrengung. Solche Patienten geben selbst an, dass eine hinlänglich scharfe Brille ihre Augen anstrengt, und eine Brille, die ihre Augen nicht schmerzt, nur für eine mittlere Entfernung taugt.

In solchen Fällen ist es also durchaus nicht statthaft, eine Brille, welche die Schrift auf einer fernen Tafel erkennen lässt, auch zum Aufzeichnen von Notizen zu benutzen, wie es öfter in Hörsälen geschieht. Es dürfen dann nur Gläser gegeben werden, welche ermöglichen, bis zu einer Entfernung von 20—24" zu lesen, wie es z. B. im Comptoir, beim Notenlesen u. s. w. verlangt wird. Ist dabei noch zeitweise ein Erkennen von ferneren Gegenständen wünschenswerth, so kann dies durch eine schwächere Lorgnette, die unmittelbar vor das Brillenglas gehalten wird, erlangt werden. Dann muss die Summe der Werthe von beiden negativen Linsen gleich dem des einen Glases sein, welches die Myopie zu Emmetropie umwandeln würde. Reicht z. B. das Accommodationsbereich eines Kurzsichtigen von 3—5", so ist seine Breite  $= \frac{1}{7\frac{1}{2}}$  und die Myopie  $\frac{1}{5}$  oder genauer  $= \frac{1}{5\frac{1}{4}}$ . Für ihn ist dann —5 ausreichend, um deutlich in die Ferne zu sehen, öfter auch eine noch schwächere Linse; der Nahepunkt mit diesem Glase würde der Berechnung nach  $7\frac{1}{2}$ " entfernt liegen. Dies ist aber meist nicht der Fall, weil nur dann, wenn sich beide Sehaxen in einem 3" vor dem Auge gelegenen Punkte schneiden, die ganze Accommodationskraft aufgeboten werden kann, aber nicht, wenn die Sehaxenconvergenz geringer ist. Beim Tragen der Brille wird aus gleichem Grunde eine vollere Accommodationsentspannung möglich, concav 5 wäre also für unsern Myopen kein passendes Glas, statt dessen ist ihm  $-6\frac{1}{2}$  zu empfehlen, welches r auf ungefähr 20" hinausrückt

$$\left( \text{denn } \frac{1}{5} - \frac{1}{20} = \frac{1}{x} \right. \\ \left. \frac{3}{20} = \frac{1}{6\frac{2}{3}} = \frac{1}{x} \right)$$



Will derselbe dann noch zeitweise Gegenstände in grösserer Entfernung deutlich sehen, so genügt eine Lorgnette mit  $-20$  dicht vor das Brillenglas gehalten. Zweckmässig ist es in der Regel, auch beim Lesen und Schreiben diese schwache Brille tragen zu lassen, weil dabei die Körperhaltung eine bessere sein kann, die Brust nicht gedrückt und der Kopf nicht so stark gesenkt wird, dass Congestionen nach den Augen die stäte Folge sind, wodurch die Sclerotico-Chorioiditis posterior nur verschlimmert wird.

Um die für das Auge passende Brillennummer aufzufinden, ist das Probiren mit Concavgläsern unerlässlich. Es genügt nicht, nach Feststellung der Sehschärfe und der Distanz des Fernpunktes und Nahepunktes durch Rechnung die Brillennummer zu bestimmen. Damit der Arzt aber aus seiner Brillensammlung gleich ein ungefähr passendes Glas herausgreife, um mit ihm seine Proben anzustellen, und nicht durch langes, unzweckmässiges Probiren mit den verschiedensten Gläsern das Auge ermüde und schmerzhaft mache, ist es nöthig, jene Berechnung seinen Prüfungen vor auszuschicken.

Es handelt sich hier ja darum, ein Glas von bestimmter Hauptbrennweite zu finden, bei welchem die gefundene und gewünschte Fernpunktsdistanz conjugirte Vereinigungsweiten sind, mit anderen Worten: ein Glas, welches vor das Auge gesetzt, die Lichtstrahlen, die vom gewünschten Fernpunkt herkommen, so bricht, als kämen sie vom wirklichen Fernpunkt. Da hier beide Vereinigungsweiten auf derselben Seite der Linse liegen sollen, und die durch die Brechkraft der Linse erzeugte die kürzere ( $R$ ) sein muss, so passt die für concave Linsen bestimmte Gleichung 6 a)

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{\varphi} \quad 1)$$

Gewöhnlich bedient man sich aber ihrer Umwandlung 7 a)

$$F = \frac{\varphi f'}{\varphi - f'}$$

zur Berechnung.  $F$  bedeutet dann die Hauptbrennweite der zu suchenden Linse,  $\varphi$  die wirkliche und  $f'$  die gewünschte Fern-

---

1) Siehe S. 9.



punktsdistanz. Liegt z. B.  $r$  6" vor dem Auge und wird gewünscht, es auf 24" hinauszurücken, so haben wir:

$$F = \frac{6 \cdot 24}{6 - 24} = \frac{144}{-18}$$

$$F = -8$$

Concav 8 erfüllt also ungefähr den Zweck.

Ist in einem andern Auge  $R = 12''$ , und es wird ein Glas gewünscht, welches  $R = \infty$  macht, so ergibt sich dies aus

$$F = \frac{12 \cdot \infty}{12 - \infty}$$

$$F = -12$$

Findet man, wie nicht selten, in beiden Augen einen verschiedenen Refraktionszustand, so dass genau genommen, für jedes Auge ein anderes Glas passt, ist meinen Erfahrungen gemäss es zweckentsprechend, diese verschiedenen Gläser in ein Brillengestell gesetzt, zu gewähren, sobald das eine Auge nicht schwach-sichtig ist, und deshalb schon ein Sehen mit beiden Augen nicht Statt finden kann. Der binoculäre Sehakt wird durch die verschiedenen Gläser begünstigt, und die Patienten geben ihnen vor den gleichen Brillennummern den Vorzug. Doch sind manche Autoren hierin anderer Meinung.

Die gebräuchlichsten Concavgläser sind die biconcaven, jedoch werden von manchen die convex-concaven, die man wegen einer etwas unbehinderteren Umsicht periskopische, oder nach ihrem hauptsächlichlichen Empfehler Wollaston'sche nennt, vorgezogen. Die Gläser, die immerhin die übliche ovale Gestalt haben mögen, dürfen nur nicht zu klein sein. Ferner muss man darauf achten, dass der Abstand ihrer Mittelpunkte dem Pupillenabstande beider Augen gleichkommt. Ausserdem müssen die Brillengläser in einer Ebene vor den beiden Augen sich befinden, welche senkrecht auf den parallel gerichteten Sehaxen steht. Nur bei einer Brille, die besonders für die Nähe gebraucht wird, ist es zweckmässig, die Ebene eines jeden Brillenglases so zu stellen, dass sie senkrecht auf der entsprechenden, in der gewünschten Convergenz befindlichen Sehaxe steht. Aus diesem Grunde ist beim Brillengebrauch besonders darauf zu achten, dass das Brillengestell nicht verbogen werde. Ist das Auge nebenbei gegen grelles Licht empfindlich, so sind die passenden Concavgläser, aus schwach mit Kobalt gebläutem Glase verfertigt, zu verordnen, durch welche



die grellen Orangelichtstrahlen nicht hindurchgelassen werden. Eine dunkle Bläuing dürfen diese geschliffenen Arbeitsbrillen nie haben, weil sie sonst dem Auge zu viel Licht entziehen würden.

## VII.

### 2) Hypermetropie, (Platymorphie)<sup>1)</sup> Uebersichtigkeit.

Hypermetropie oder Hyperopie ist die der Myopie entgegengesetzte Abweichung von der Emmetropie. Mit diesem Namen

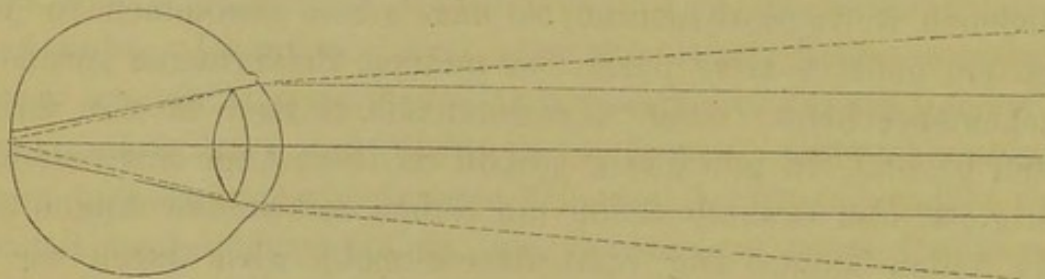


Fig. 34.

wird nämlich diejenige Anomalie im Baue des Auges bezeichnet, in Folge deren die Netzhaut vor dem Hauptbrennpunkt des durch accommodative Thätigkeit unbeeinträchtigten dioptrischen Apparates liegt, wo also beim ursprünglichen Refractionszustand des Auges convergente, homocentrische Lichtstrahlen auf der Netzhaut vereinigt werden, wo der Fernpunkt gewissermassen jenseits unendlicher Ferne, oder richtiger in endlicher Entfernung hinter dem Auge liegt.

Früher wurde Hyperopie mit Presbyopie, die wir weiter unten kennen lernen werden, zusammengeworfen, bis Donders, der auch den Namen Hypermetropie<sup>2)</sup> gegeben hat, durch seine Untersuchungen hier Klarheit schaffte. Obschon Stellwag diese Anomalie unter dem Namen Hyperpresbyopie schon vordem richtig definirte: „Der Fernpunkt des Auges scheint über die positive Unendlichkeit hinausgerückt“, sah er in ihr dennoch nur einen höheren Grad der Presbyopie.

1) πλατύς (flach) μορφή (Gestalt).

2) Abzuleiten von ὑπὲρ (über) μέτρον (Maass) ὤψ (Gesicht).



Der Hyperop besitzt also mindestens einen Theil seines Accommodationsbereichs, welches ihm gänzlich unbrauchbar ist; oft gewöhnt er sich daher, von diesem Theile durchaus zu abstrahiren und im Auge seine Accommodationsthätigkeit so herabzusetzen, dass der Hauptbrennpunkt hinter die Netzhaut fällt. In solchem Falle ist die Hyperopie latent, und man kann nur auf künstlichem Wege die Fernpunktsbestimmung machen. Im anderen Falle, wo der Accommodationsapparat durch den blossen Willen entspannt werden kann, handelt es sich um eine manifeste Hyperopie.

Der Grad der Hypermetropie kann ein sehr verschiedener sein, je nachdem  $r$  näher oder ferner hinter der Retina liegt. Seinen Ausdruck findet derselbe durch den Brechungswerth der stärksten Convexlinse, welche noch parallele Lichtstrahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung bringt. Ist z. B.  $+15$  das stärkste Glas, mit welchem ein Patient deutlich in die Ferne sehen kann, und ist man gewiss, dass bei der Probe keine Accommodationsthätigkeit mehr besteht, so haben wir es, wenn der Abstand der Linse vom Auge  $\frac{1}{2}$ " beträgt, mit einer  $H = \frac{1}{14\frac{1}{2}}$  zu thun, oder genauer vom vorderen Knotenpunkt aus gerechnet  $H = \frac{1}{14\frac{1}{4}}$ . Der Fernpunkt liegt dann  $14\frac{1}{4}$ " hinter dem hinteren Knotenpunkte.<sup>1)</sup>

1) Auffallen muss es, dass bei der Bestimmung des Grades von Myopie die Distanz zwischen der Concavlinse und  $k'$  zu  $R$  addirt wurde, hier jedoch zur Bestimmung des Grades von Hyperopie die Distanz zwischen der Convexlinse und  $k'$  von  $R$  subtrahirt wird. Es hat dies in Folgendem seinen Grund: Der durch das geeignete Concavglas erzielte und der natürliche Fernpunkt eines myopischen Auges sind conjugirte Vereinigungspunkte, welche natürlich auf derselben Seite der Linse liegen, d. h. die vom gewünschten Fernpunkt ausgehenden homocentrischen Lichtstrahlen werden so durch die Concavlinse gebrochen, als kämen sie vom wirklichen Fernpunkt. Ist in einer bestimmten Entfernung vor dem kurzsichtigen Auge gehalten ein Concavglas gerade genügend erfunden worden, so würde dasselbe zu stark sein, sobald es dem Auge noch mehr genähert wird, weil dadurch ja die beiden conjugirten Vereinigungspunkte auch heranrücken, also  $R$  verkleinert wird. Zu schwach aber würde dasselbe Concavglas, sobald es vom Auge noch mehr entfernt wird, wodurch auch die beiden conjugirten Vereinigungspunkte vom Auge abgerückt werden und  $R$  vergrößert wird. Eine Concavlinse mit längerer Focaldistanz, dicht vor dem Auge, leistet also dasselbe, wie eine ferner vor dem Auge befindliche, mit kürzerer Focaldistanz.



Will man aber ganz zuverlässige Resultate haben bei der Bestimmung des Fernpunktes von Hypermetropen, so ist es nothwendig, durch Einträufelung von starker Atropinlösung vorher die Accommodation zu lähmen; dann kommt auch die latente Hyperopie zum Vorschein. Wo man vorher Emmetropie fand, stellt sich H. heraus, oder eine schwache vor der Atropinisirung gefundene H. zeigt sich nun als merklich stärkere.

Die schwächeren Grade von H., wie  $\frac{1}{40}$  bis  $\frac{1}{12}$ , sind die häufigsten, selten kommen Grade von  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{3}$  vor. Die bedeutendste H. findet sich natürlich bei der Aphakie, wo das dioptrische System der Krystalllinse entbehrt; hier steigt sie bisweilen auf  $\frac{1}{2\frac{1}{2}}$ .

Ist die Accommodationsbreite nicht eine abnorm grosse, so muss mit dem Hinausrücken des Fernpunktes aus der positiven Unendlichkeit auch der Nahepunkt dem übersichtigen Auge ferner liegen, ja bei den stärksten Graden von H kann auch p jenseits der unendlichen Ferne liegen, so dass die ganze Accommodations-

---

Hingegen wendet man zur Gradbestimmung von Hyperopie eine Convexlinse an, so müssen die aus der Ferne kommenden homocentrischen Lichtstrahlen gebrochen hinter der Linse convergiren. Der durch die Linse erzielte Fernpunkt und der natürliche des übersichtigen Auges sind auch wieder conjugirte Vereinigungspunkte, welche aber hier auf entgegengesetzter Seite des Glases liegen. Die von der unendlichen Ferne kommenden Strahlen werden durch das Convexglas so gebrochen, als kämen sie vom wirklichen Fernpunkt hinter dem Knotenpunkte. Wird ein in einer bestimmten Entfernung vor dem Auge gerade genügendes Convexglas weiter entfernt, so folgen ihm die beiden Vereinigungspunkte, und der hintere rückt dem Knotenpunkte des Auges näher, die Wirkung des Glases wird also zu stark, die Hyperopie wird übercorrigirt. Desshalb muss die zur Correction der H. nöthige Linse um so schwächer sein, je ferner vom Knotenpunkte sie gehalten wird, und desshalb die oben angegebene Subtraction, um die Focaldistanz der Linse zu verkürzen.

Im Allgemeinen kann man also sagen: Concavgläser wirken um so stärker, je näher sie dem Auge gehalten werden, Convexgläser je ferner vor dem Auge sie sich befinden, jedoch letztere nur dann, wenn durch sie ein Sehen von Objecten jenseits ihrer Focaldistanz gefordert wird. Betrachtet man hingegen, vermittelt ihrer, Gegenstände innerhalb ihrer Focaldistanz, so dass die gebrochenen Lichtstrahlen divergent austreten; so wirkt auch die Convexlinse stärker, wenn sie dem Auge genähert wird, und somit auch ihr Focus dem betrachteten Object sich nähert, wodurch eine geringere Divergenz der austretenden Strahlen entsteht.



breite eine negative ist, und die Patienten auch bei stärkster Accommodationsanstrengung nicht einmal für die Ferne ihr Auge einrichten können. Es ist dies die absolute oder totale H. im Gegensatz zur fakultativen, wo der vordere Theil der Accommodationsbreite noch positiv ist. Unter relativer H. versteht Donders das Vermögen des übersichtigen Auges, sich noch für einen Punkt in der endlichen Ferne einzurichten, der aber hinter demjenigen liegt, in welchem sich die beiden Sehaxen schneiden. Hierbei giebt man also das gemeinschaftliche Sehen mit zwei Augen auf. Gewöhnlich ist bei hohen Graden die Accommodationsbreite beschränkt, ja auch die Sehschärfe herabgesetzt.

An und für sich erhält der Hyperop kleinere Netzhautbilder, als der Emmetrop, weil  $k''$  bei ihm mehr nach hinten liegt; durch das passende Convexglas wird aber dies ausgeglichen, so dass dann aus diesem Grunde keine Sehschwäche besteht.

Im hypermetropischen Auge ist die vordere Augenkammer flach, weil die Linse der Hornhaut näher, als bei Emmetropie liegt, wodurch die Brennweite des dioptrischen Systems kürzer wird. Da die Hornhaut keine flachere Wölbung zeigt, so muss die Sehaxe des übersichtigen Auges kürzer sein (Platymorphie nach Stellwag). Bisweilen mag aber auch eine flachere oder schwächer brechende Krystalllinse die Ursache sein. Die Pupille ist merklich enger. Der Augenhintergrund eines Hyperopen lässt sich im aufrechten Bilde leicht auch ohne Concavglas deutlich sehen, während man zum umgekehrten Bilde stärkere Convexlinsen bedarf.

Auffällig ist es, dass die Uebersichtigen, selbst wenn sie mit einer Brille bewaffnet sind, den Blick nach unten besonders lieben; sie halten die Schrift oder feine Handarbeiten nach unten, während sie selbst ihren Kopf etwas hintenüber beugen. Beim Blick nach unten ist nämlich grössere Neigung zur Convergenz der Sehaxen und grössere Leichtigkeit, ihre Accommodation zu verstärken. Ausserdem muss der Uebersichtige feinere Gegenstände von seinem Auge weiter ab halten, um sie deutlich zu erkennen, was ja nur dann geschehen kann, wenn die Objekte sich im Gebiete des Accommodationsbereichs befinden. Und dennoch wird man gerade bei den stärkeren Graden der Uebersichtigkeit finden, dass mittlere oder grössere Druckschrift nur in der Nähe,



aber nicht in der Entfernung von einigen Fuss gelesen werden kann, was leicht zu dem irrigen Schlusse führt, dass hier Myopie mit Amblyopie vorläge. Diese überraschende Thatsache erklärt sich dadurch, dass beim Nähern der Objekte die Bildgrösse schneller wächst, als die Ausdehnung der Zerstreuungskreise, welche noch dazu durch die bei dem Blick in die Nähe engere Pupille verringert wird. Bei fakultativer Hyperopie, wenn sie nur gering ist, z. B.  $\frac{1}{60}$ , hört man selten die Klage, dass das Sehen in der Nähe schwierig ist. Solche meinen, in allen Entfernungen gut sehen zu können. Hat dieselbe einen mittleren Grad erreicht, so wird allerdings angegeben, dass man nur in der Ferne deutlich sehen könne. Ist hingegen die H. absolut, so ist ein scharfes Sehen auch in der Ferne unmöglich.

Besonders bevorzugt wird von den Uebersichtigen eine grelle Beleuchtung, weil sie mit Hülfe dieser sich auch mit kleineren Netzhautbildern begnügen können, und auch, weil dadurch ihre Pupillen sich verengern. In der Dämmerung können daher Hyperopen nicht arbeiten. Des Abends, überhaupt bei künstlicher Beleuchtung wird eine grosse Helligkeit verlangt; daher lieben es die Betreffenden, beim Lesen das Buch hinter das Licht zu halten.

Ist die Hyperopie keine zu bedeutende, so dass feinere Objekte doch noch erkannt werden können, so ist ein Symptom-complex, dessentwegen vorzugsweise die Patienten zum Arzte eilen, die Asthenopie, das Auffälligste und Lästigste: Die Asthenopie beruht auf dem Mangel der Accommodationsausdauer für die Nähe bei der Beschäftigung mit kleinen Objekten. Solche Personen nämlich können beim Beginn ganz gut lesen oder feinere Handarbeiten anfertigen, jedoch nach kürzerer oder längerer Zeit, je nach dem Grade der Uebersichtigkeit, fangen die Gegenstände an, undeutlich und verschwommen zu erscheinen: die Buchstaben verlieren ihre Schwärze, laufen in einander und können nicht mehr erkannt werden. Bisweilen kann der Hyperop diesem Uebelstande auf kurze Zeit dadurch abhelfen, dass er die Objekte dem Auge noch ferner hält, dann aber treten um so heftiger auf's Neue die oben erwähnten Erscheinungen auf. Wird dann nicht gleich auf die Fortsetzung der Arbeit verzichtet, fängt das Auge zu brennen und zu thränen an, so dass man sich gern die Augen reibt und drückt, und bei forcirter Anstrengung entsteht in der



Ciliarneurose ähnlicher Schmerz in der Umgebung der Augen, verbunden mit Lichtscheu und dem Unvermögen, die Lider noch länger offen zu halten. Hat sich das Auge darauf ein wenig ausgeruht, kann es die frühere Arbeit wieder vornehmen, doch kommt dann noch schneller, als vorher, die Reihe der obigen Erscheinungen wiederum zum Vorschein, und das Individuum muss die Arbeit auf längere Zeit bei Seite legen. Zumal bei künstlicher Beleuchtung tritt die Asthenopie stark auf. Es geben daher manche an, sie könnten nur bei Tage lesen. Muss sich ein Hyperop häufig solchen Anstrengungen unterziehen, so erstarkt nicht sein Accommodationsmuskel, sondern wird durch das Uebermaass der von ihm geforderten Leistungen schwächer und seine Contraction schmerzhaft.

Ferner entwickelt sich in Folge der Accommodationsanstrengung eine Hyperämie der Conjunctiva. Nicht selten wird die Hyperopie erst dann durch die Asthenopie bemerkbar, wenn ein Conjunctivalcatarrh zufällig das Auge befallen hat. Ein catarrhalisch afficirtes Auge kann nämlich Accommodationsanstrengung besonders schlecht ertragen. Andererseits haben so manche Fälle von Catarrhus siccus ihren Grund in der Hyperopie, die nicht durch Gläser corrigirt wird; so manche hartnäckige, durch äussere Veranlassung entstandene Conjunctivitis wollen nicht heilen, weil man die Hyperopie übersieht. Dem Ophthalmologen ist es daher kein seltenes Vorkommen, dass eine lange Zeit vergeblich durch Aetzen mit Cupr. sulph. etc., welches von anderer Seite ausgeführt wurde, behandelte Conjunctivitis schnell aufhört, nachdem die passende Brille verordnet worden. Selbst eine recidivirende Iritis kann die Folge von vernachlässigter Hyperopie sein.

Die meisten Fälle von Asthenopie (Kopiopie, auch Hebetudo visus) haben ihren Grund in dem Hinausrücken des Nahepunktes. Sobald es nämlich wegen der Kleinheit der Objekte nothwendig ist, dieselben ins vordere Gebiet der Accommodationsbreite zu bringen, ist eine starke Anstrengung des Accommodationsmuskels nothwendig, um den dioptrischen Apparat dieser nahen Distanz anzupassen. Wie jeder andere Muskel erlahmt aber nach längerer, verhältnissmässig excessiver Anstrengung auch dieser, wodurch die Convexität der Linse nachlässt, Zerstreuungskreise auf der Netzhaut entstehen, und das Sehen ein undeutliches wird.



Bei wiederholtem Versuch, eine starke Contraction einzugehen, erlahmt schliesslich der Accommodationsmuskel ganz und wird schmerzhaft.

Als eine Folge der accommodativen Asthenopie ist der activ sich erzeugende Strabismus convergens anzusehn, der nicht selten bei Hyperopen beobachtet wird. Bei der immer währenden Anstrengung, sein Auge möglichst für die Nähe einzurichten, kommt der Uebersichtige instinctiv dahinter, dass dies am ehesten ausführbar ist, wenn eine recht starke Convergenz der Sehaxen eingeleitet wird, eine Convergenz, die zum Kreuzen der Sehaxen vor dem fixirten Objecte führt. Dann wird zu Gunsten des Deutlichsehens vermittelt passender Accommodation vom Sehen mit beiden Augen abstrahirt, es tritt Schielen nach einwärts auf.

Das gewichtigste Merkmal für Hyperopie ist jedoch das, dass Convexlinsen beim Blick in die Ferne mit Nutzen gebraucht werden können, wenigstens dann, wenn die Accommodation vorher durch Atropin gelähmt ist. Ohne letzteres würden nämlich im Falle von latenter Hyperopie die Convexgläser zurückgewiesen werden. Natürlich kann bei fakultativer H. ohne Sammellinse vielleicht noch besser in die Ferne gesehen werden, es muss dann nur die Accommodation mitwirken. Bei der absoluten H. jedoch ist das deutliche Sehen in die Ferne nur mit Convexgläsern möglich.

Ursachen. Oft ist die Hyperopie erblich, durch die angeborene Platymorphie des Auges bedingt. Es leiden daher schon Kinder an dieser Ametropie, wenn sie auch bisweilen bei ihnen latent ist. Jedem Praktiker wird es daher vorkommen, dass ihm Kinder von ihren Aeltern vorgeführt werden, welche aus vermeintlicher Faulheit angeben, sie könnten in der Schule oder auch beim Arbeiten zu Hause die Buchstaben nicht deutlich sehen, während sie doch sonst ein scharfes, klares Auge hätten. Hier handelt es sich um angeborene Uebersichtigkeit. Dieselbe wächst aber im höheren Alter noch etwas. Ja, ursprüngliche Emmetropie der Jugend wird physiologisch Hyperopie des Alters. Vom 50. Lebensjahre an wird die Brechkraft der äusseren Linsenschichten den inneren ähnlicher, wodurch die Kraft der Linse eine geringere wird. Dadurch entsteht jedoch nur H. von höchstens  $\frac{1}{20}$ .

Bisweilen wird auch die Abflachung der Cornea, welche



hauptsächlich nach perforirenden Hornhautgeschwüren auftritt, die Ursache zur Uebersichtigkeit, die in solchen Fällen wohl immer mit Amblyopie complicirt ist. Auch im Prodromalstadium des Glaukoms wird progressive Uebersichtigkeit beobachtet. Vor allen Dingen aber kann dieselbe in den höchsten Graden durch Cataractoperationen erzeugt werden, deren Folge die Aphakie ist.

Behandlung. Von einer Prophylaxis kann bei der Hyperopie weniger, als bei der Myopie, die Rede sein. Die Latenz der H. ist gewissermassen eine Selbsthülfe. Wollte man nun noch dahin streben, das Accommodationsgebiet nach Seiten des Nahepunktes hin zu erweitern, könnte dies allenfalls durch methodische, doch ja nicht übermässige Uebungen, sich für die Nähe einzurichten, geschehen. Werden diese Uebungen aber forcirt, so erlahmt der Accommodationsmuskel, und leicht treten die Folgen der accommodativen Asthenopie ein, der Strabismus convergens.

Man muss wohl immer bald dazu schreiten, das passende Convexglas auszusuchen, um jene Uebelstände nicht aufkommen zu lassen. Man darf sich nicht davor scheuen, selbst Schulkinder Convexbrillen tragen zu lassen; und junge Damen, die gewöhnlich noch schwerer dahin zu bringen sind, müssen wenigstens beim Lesen und bei feinen Handarbeiten zu ihren Gläsern greifen. Beim Aussuchen einer Brille müsste man eigentlich stets nach gewöhnlicher physikalischer Prüfung des Auges auch die Atropinisirung vornehmen, da man erst so eine Brille finden kann, bei welcher die ganze Accommodationsthätigkeit des Auges in Anwendung kommen kann.

Ist bei der Hyperopie die Accommodationsbreite die normale, wird diejenige Brille auch vollständig zum Sehen in alle Entfernungen genügen, mit welcher der Grad der Ametropie ausgedrückt wird. Und diese Brille kann der Betreffende stets tragen und bei allen Beschäftigungen. Dabei ist künstlich die ganze Accommodationsbreite in die normalen Distanzen hineinverlegt: der so gewonnene Nahe- und Fernpunkt fällt ganz mit den normalen Begränzungen des Accommodationsgebietes zusammen. Ist aber Accommodationsbeschränkung vorhanden, kann eine Brille das übersichtige Auge nicht dem normalen annähernd gleich machen. Man muss in solchen Fällen zunächst erfragen, ob von Uebersichtigen mehr das Sehen in die Nähe oder in die Ferne beansprucht wird, und wie es gerade ihre Beschäftigung fordert.



Um ein ungefähr passendes Glas gleich beim Anfang der Untersuchung zu ergreifen, kann man sich auch der bei der Myopie schon erwähnten Formel

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{\varphi}$$

oder deren Umwandlung

$$F = \frac{\varphi f'}{\varphi - f'}$$

bedienen, in welcher  $F$  die zu suchende Linse,  $f'$  den gewünschten und  $\varphi$  den natürlichen Nahepunkt bedeuten. Auch hier handelt es sich ja um die Berechnung einer Linse von bestimmter Hauptbrennweite, für welche  $f'$  und  $\varphi$  conjugirte Vereinigungspunkte sind. Letztere beide liegen auf derselben Seite der Linse, einer derselben muss also negativ sein, weil  $f'$  stets innerhalb der Focaldistanz der positiven zu suchenden Linse sich befindet. Ist z. B. in einem hyperopischen Auge  $P = 12''$  und wird es  $= 8''$  gewünscht, so haben wir

$$F = \frac{12 \cdot 8}{12 - 8}$$

$$F = + 24''$$

Convex 24 ist also die gesuchte Linse.

Beim Probiren mit Sammelgläsern, um dasjenige zu finden, welches die Accommodationsbreite in die gewünschten Entfernungen verlegt, schwankt man bisweilen zwischen einigen nahestehenden Nummern. In solchen Fällen hilft es, die Snellen'schen Tafeln mit den farbigen Buchstaben (wie sie die erste Auflage darbietet) dem mit dem Glase bewaffneten Auge vorzulegen und zu erforschen, ob die blauen oder die rothen Lettern in der geforderten Distanz deutlicher und schärfer erscheinen. Sind es die blauen, so kann man die schwächere Nummer wählen, sind es die rothen, die stärkere. Es beruht dies auf der chromatischen Aberration, indem die blauen Lichtstrahlen die am stärksten, die rothen die am schwächsten brechbaren sind, erstere also eine kürzere Vereinigungsweite haben, als letztere. Nicht ganz so feine Resultate bekommt man durch das abwechselnde Vorhalten von ganz schwachen Concav- und Convexlinsen vor die fragliche Brille. Nützen die ersteren, so ist die Sammellinse zu stark, nützen die letzteren, ist sie zu schwach; im Fall, dass kein Glas von beiden Arten nützt, ist die Brille die passende.



Soll die Brille vorzugsweise zum Lesen und Schreiben oder zu feiner Handarbeit gebraucht werden, so muss man den Nahepunkt vermittelt jener doch auf 8" ans Auge heranrücken. Verlangen die Umstände, dass bei Accommodationsbeschränkung sowohl in der Nähe, wie in der Ferne deutlich gesehen werden muss, sind zwei verschieden starke Brillen zu geben. Liegt es aber in der Beschäftigung des Individuum, in schnellem Wechsel für verschiedene Entfernungen die Augen zu gebrauchen, wie z. B. beim Malen, so empfehlen sich die sogenannten Franklin'schen Brillen, à double foyer, welche Gläser enthalten, die in ihrer oberen Hälfte anders geschliffen sind, als in ihrer unteren. Durch den oberen Theil soll man beim Blick in die Ferne sehen, durch den unteren beim Blick in die Nähe. Für den Hyperopen müsste also der untere Brillentheil eine stärkere Linse vorstellen, als der obere. Ganz zu verwerfen ist es, zwei Brillen über einander aufzusetzen, um so den Effect zu verstärken. Dabei werden die Augen ruinirt, weil gewöhnlich die Wirkung beider, durch Zufall combinirten Gläser eine zu starke ist. Bei der Aphakie, wo natürlich die Accommodationsbreite = 0 ist, müssen mindestens zwei (besser drei) verschiedene Brillen gegeben werden, eine für das Lesen, die andere für die gewöhnlichen Arbeiten und endlich eine für die weite Ferne.

Gewöhnlich hält man es nicht für rathsam, bei verschiedenem Refraktionszustand beider Augen für jedes ein verschieden starkes Glas zu bestimmen, sondern nur die Nummer für das beim Sehen bevorzugte Auge auszusuchen und beiden zu geben. Oft ist aber dieser Vorschlag nicht zu befolgen, und es gilt hierbei im Ganzen das schon bei der Myopie Gesagte.

Schwach gebläute Sammelgläser werden mit Nutzen gebraucht, wenn Lichtscheu existirt.

## VIII.

### 3) Astigmatismus,

(Asymmetrie der Meridiane des Auges).

Unter regelmässigem Astigmatismus versteht man die Asymmetrie in der Krümmung der verschiedenen Meridiane des dioptrischen Systems im Auge, in Folge deren eine verschieden starke Lichtbrechung in den verschiedenen Meridianen Statt findet,



und dadurch die Unmöglichkeit der punktförmigen Vereinigung von homocentrischem Lichte bedingt ist. Das dioptrische System des Auges wirkt als Ganzes genommen in solchen Fällen nicht als einfache sphärische Sammellinse, sondern als eine Linse, die in einem ihrer Meridiane, z. B. in ihrem vertikalen, merklich stärker gekrümmt ist, als in dem diesen rechtwinklig schneidenden, hier also im horizontalen Meridian, während die zwischen beiden liegenden anderen Meridiane Zwischenstufen zwischen jener Maximal- und Minimalkrümmung abgeben. Hieraus geht hervor, dass, wenn wir jenen angenommenen Fall festhalten, die in der vertikalen Ebene verlaufenden Strahlen eines Lichtkegels nach Durchgang durch den dioptrischen Augenapparat früher zur Vereinigung gelangen, als die in horizontaler Ebene verlaufenden Strahlen desselben Kegels, während die dazwischenliegenden Meridiane passirenden Strahlen zwischen jenen beiden Vereinigungspunkten sich sammeln. Es giebt dann keinen Brennpunkt mehr, sondern eine Brennstrecke, welche durch die Brennpunkte der Lichtstrahlen, die den am stärksten und den am schwächsten gekrümmten Meridian passirt haben, begränzt wird.

Die von einem leuchtenden Punkte so entworfenen Bilder müssen daher sehr verschieden ausfallen, je nachdem sie im Anfang, in der Mitte oder am Ende der Brennstrecke aufgefangen werden. Die verschiedenen Zerstreuungsbilder eines leuchtenden Punktes müssen im astigmatischen Auge einer, wenn auch sehr kleinen, Ellipse ähnlich sein, deren beide Axen gebildet werden durch die lineare Ausdehnung, welche die den am wenigsten und die den am meisten brechenden Augenmeridian passirenden Strahlen eines Lichtkegels auf der auffangenden Fläche einnehmen.

Beistehende Figuren, wie sie Donders in seiner Monographie über den Astigmatismus liefert, werden das Verständniss des Obigen sehr erleichtern. Nehmen wir wieder an, wie es in der That das Gewöhnliche ist, dass im Vertikalmeridian das Maximum, im Horizontalmeridian das Minimum der Krümmung liegt. Lassen wir nun den bildauffangenden Schirm successive vom vorderen nach dem hinteren Ende der Brennstrecke rücken, so haben wir im Anfangspunkt der Brennstrecke, dem Brennpunkte für die Schaar der vertikalen Strahlen, die vertikale Ellipsenaxe = 0, die horizontale dagegen so gross, wie sonst nirgends in der ganzen Brennstrecke. Es reducirt sich hier also die Ellipse auf eine



horizontale Linie (Fig. 35B). Wird der Schirm weiter nach hinten gerückt, so wächst die Vertikalaxe allmählich, während die horizontale kleiner wird. Es entsteht also bald hinter dem Brenn-

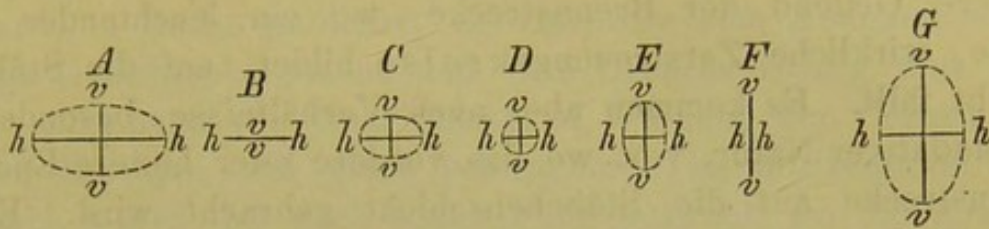


Fig. 35.

punkt der vertikalen Strahlen als Zerstreuungsbild eine Ellipse mit grösserer Horizontalaxe (C). Weiter nach hinten in der mittleren Region der Brennstrecke kommt ein Bild zu Stande, wo Vertikal- und Horizontalaxe gleich gross sind, also ein kleiner Zerstreuungskreis (D). Jenseits desselben wird wieder eine Ellipse gebildet, in welcher jedoch die Grösse der Vertikalaxe die der Horizontalaxe übertrifft (E), und schliesslich im hinteren Ende der Brennstrecke, im Brennpunkte für die den Horizontalmeridian durchlaufenden Strahlen, ist das Zerstreuungsbild eine Vertikal-  
linie (F). Die Zerstreuungsbilder vor und hinter der Brennstrecke sind natürlich grösser, als die innerhalb derselben, und auch Ellipsen; und zwar die vor der Brennstrecke mit grösserer Horizontalaxe (A), die hinter der Brennstrecke, Ellipsen mit grösserer Vertikalaxe (G). Die Stellung dieser Figuren zur Brennstrecke ist in Fig. 36 dargelegt. In dem von L ausgehenden Lichtkegel

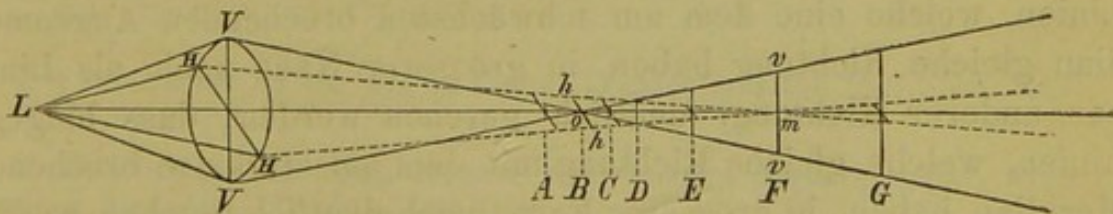


Fig. 36.

sind die Strahlen gezeichnet, welche auf den vertikalen Meridian VV und auf den horizontalen Meridian HH fallen. Erstere vereinigen sich in o, letztere in m, so dass om die Brennstrecke ist.

Das astigmatische Auge kann also, mag die Stäbchenschicht



der Netzhaut in ein Bereich der Brennstrecke kommen, in welches sie wolle, immer nur in Zerstreuungsbildern die Gegenstände sehen, und daher muss es schwachsichtig sein. Für gewöhnlich wird es sich mit seiner Accommodation so einrichten, dass die mittlere Gegend der Brennstrecke, wo ein leuchtender Punkt kleine, wirkliche Zerstreuungskreise bildet, auf die Stäbchenschicht fällt. Es kommen aber auch Verhältnisse, besonders accommodativer Natur, vor, wo das vordere oder hintere Ende der Brennstrecke auf die Stäbchenschicht gebracht wird. Kommt diese Netzhautschicht mit dem Brennpunkt des vertikalen Meridians in Berührung, so ist das Zerstreuungsbild eines leuchtenden Punktes eine gerade horizontale Linie. Ist das zu sehende Objekt statt des Punktes eine horizontale Linie, so wird diese in Bezug auf ihre Dicke sehr scharf gesehen werden, nur wird sie wegen der horizontalen Zerstreuungsbilder nach jeder Seite etwas verlängert erscheinen müssen. Fällt jener Brennpunkt nur ein wenig vor oder hinter die Stäbchenschicht, so ist das Zerstreuungsbild eines leuchtenden Punktes eine Ellipse mit grösserer Horizontalaxe. Kommt aber der Endpunkt der Brennstrecke, der Brennpunkt für den Horizontalmeridian des dioptrischen Apparates auf die Stäbchenschicht zu liegen, so ist das Zerstreuungsbild eine kleine vertikale Linie; und ist das betrachtete Objekt eine Vertikallinie, so wird diese ganz scharf gesehen werden, da in horizontaler Richtung keine Strahlenzerstreuung Statt findet, nur wird die Linie nach oben und unten etwas verlängert erscheinen. Fällt der letztere Brennpunkt etwas hinter oder vor die Stäbchenschicht, so entsteht als Zerstreuungsbild eine Ellipse mit grösserer Vertikalaxe. Hieraus geht hervor, dass vom astigmatischen Auge Linien, welche eine dem am schwächsten brechenden Augenmeridian gleiche Richtung haben, in grösserer Nähe noch, als Linien von anderer Richtung, deutlich gesehen werden, dass hingegen Linien, welche gleiche Richtung mit dem am stärksten brechenden Meridian haben, in grösserer Ferne noch deutlich gesehen werden, als anders gerichtete Linien. Ueberhaupt werden Objekte bei unzureichender Accommodation für die Nähe in derjenigen Richtung verlängert erscheinen, welche dem am schwächsten brechenden Meridian entspricht, bei mangelhafter Accommodation für die Ferne aber in derjenigen Richtung verlängert, welche dem am stärksten brechenden Meridian entspricht.



Diese Asymmetrie des dioptrischen Apparates wurde zuerst von Thomas Young<sup>1)</sup>, der dieselbe auf einen Schiefstand seiner Krystalllinse bezog, an seinem eigenen Auge beobachtet und beschrieben. Die nächste Beobachtung der Art wurde vom Prof. Fischer<sup>2)</sup> in Berlin publicirt, der mehrere vom Astigmatismus abhängige Gesichtspheänomene und ihre Ursache richtig und ins Specielle eingehend von einer stärkeren Wölbung der Cornea im vertikalen Meridian und einer schwächeren im horizontalen ableitet; doch waren ihm auch schon Fälle bekannt, wo die Krümmungsverhältnisse der Cornea die entgegengesetzten waren. Gerson wiederholte diese Experimente und fand an vier Augen durch Messungen, deren Methode freilich zu einer exacten Genauigkeit nicht führen konnte, die Ansicht Fischer's bestätigt.

Erst 1827 und 1849 beschreibt Airy<sup>3)</sup> genau die Sehstörungen seines an Astigmatismus<sup>4)</sup> (ein Ausdruck, der zuerst von Whewell vorgeschlagen und von Airy adoptirt ist) leidenden Auges und giebt als Correctionsmittel cylindrische Gläser an.

In den späteren Jahren mehren sich die Berichte über derartige Augenfehler, doch finden wir sie nur bei Engländern, wie Hamilton, Hays, Mackenzie<sup>5)</sup>. Wohl wurde nun bei den Physiologen die Kenntniss vom Astigmatismus verbreitet und gefunden, dass in jedem normalen Auge, wenn auch nur in ganz geringem Grade, diese Asymmetrie der Augenmeridiane nachgewiesen werden kann, dass aber wirkliche Sehstörungen erst bei abnorm starkem Astigmatismus entstehen. Man bezog denselben zwar auf die verschieden starke Krümmung der Hornhaut in ihren verschiedenen Meridianen, Messungen aber wurden erst wieder

1) The mechanism of the eye in Philos. Transactions for 1801. vol. XCI. p. 39 etc

2) G. H. Gerson, de forma corneae oculi humani deque singulari visus phaenomeno dissertatio. Gotting. 1810. 4.

3) Transactions of the Cambridge Philos. Society vol. II. p. 267 und vol. VIII. p. 361.

4) Mangel der punktförmigen Vereinigung eines Strahlenkegels ( $\alpha$  privativum und  $\sigma\acute{\iota}\gamma\mu\alpha$  Punkt).

5) Mackenzie, traité des maladies de l'oeil trad. par Warlomont et Testelin vol. II. p. 651—54, wo auch die speciellen Citate verzeichnet sind; ferner auch Helmholtz, Physiol. Optik. S. 147.



von Senff und Knapp<sup>1)</sup> nach untadelhafter Methode, und in grösserer Ausdehnung von Donders<sup>2)</sup> angestellt. Letzterer kam dadurch zu dem Ergebniss, dass die Hornhautkrümmung gewöhnlich der Oberfläche eines Ellipsoids mit drei Axen gleicht, deren grösste Axe mit der Gesichtsaxe zusammenfällt, während die beiden kleineren in einer von rechts nach links ausgebreiteten Vertikalebene, sich im rechten Winkel schneidend, liegen. Die eine dieser beiden letzteren verfolgt meist die vertikale Richtung die andere die horizontale, oder sie weichen doch nur wenig davon ab. In der Mehrzahl der Fälle, nach Donders in vier Fünftheilen, ist die vertikale die kürzere. Die durch die Gesichtsaxe und eine der beiden kleinen Axen gelegten Meridiane, von denen der eine (m) das Krümmungsmaximum, der andere (m') das Krümmungsminimum besitzt, bezeichnet man als Hauptmeridiane.

Nun aber hat Donders gefunden, dass oft die Asymmetrie der Hornhautkrümmung stärker ist, als der daraus resultirende Effect, der Astigmatismus, was seinen Grund in einer gerade entgegengesetzten Asymmetrie der Linsenwölbung hat, die sogar den von der Cornea ausgehenden Astigmatismus fast aufheben kann. Nicht selten sind dann aber in der Linse noch andere dioptrische Irregularitäten vorhanden, so dass wir es nicht mit einem regelmässigen Astigmatismus zu thun haben.

Auch für die Gradbezeichnung des regelmässigen Astigmatismus hat uns Donders, wie bei der Myopie und Hyperopie, einen Zahlenausdruck gegeben, nämlich den Werth der cylindrischen Linse, welche vor den schwachbrechenden Hauptmeridian gehalten, denselben gleich macht dem starkbrechenden Hauptmeridian, oder, was ziemlich dasselbe besagt, der Grad des As wird ausgedrückt durch die Differenzen in dem Refraktionszustande der beiden Hauptmeridiane. Letztere Methode ist für die Praxis vorzuziehen, weil man dabei zugleich auf die Auswahl der richtigen Gläser geführt wird.

---

1) Die Krümmung der Hornhaut des menschl. Auges. Heidelberg 1860. und Archiv für Ophthalmologie VIII. Heft 2. S. 185—241. Ueber die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridianebenen.

2) Astigmatismus und cylindrische Gläser. Berlin 1862.



Haben wir z. B. in dem einen Hauptmeridian Emmetropie, im anderen Myopie  $\frac{1}{12}$ , so ist die Differenz

$$\frac{1}{12} - \frac{1}{\infty}$$

also

$$As = \frac{1}{12}.$$

Denselben Grad haben wir, wenn statt  $M \frac{1}{12}$  in dem einen Hauptmeridian Hyperopie  $\frac{1}{12}$  gefunden wird, wobei bekanntlich der Ausdruck für H als ein negativer anzusehen ist,

$$\text{also } As = \frac{1}{\infty} - (-\frac{1}{12}) = \frac{1}{12}.$$

Findet sich in beiden Meridianen Myopie, z. B. in dem einen  $\frac{1}{10}$ , im anderen  $\frac{1}{30}$ , so ist  $As = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{1}{15}$ . Haben wir mit H. in beiden Hauptmeridianen zu thun, z. B. in einem  $\frac{1}{30}$ , im anderen  $\frac{1}{15}$ , so ist

$$As = (-\frac{1}{30}) - (-\frac{1}{15}) = \frac{1}{30}.$$

Endlich zeigt sich, dass in einem Hauptmeridian  $M \frac{1}{24}$ , im anderen  $H \frac{1}{48}$  besteht, so ist der Grad des

$$As = \frac{1}{24} - (-\frac{1}{48}) = \frac{1}{16}.$$

Der Grad des Astigmatismus bleibt im ganzen Accommodationsgebiete derselbe, mag das Auge für die Nähe oder für die Ferne eingerichtet sein; die Wölbungsverhältnisse der Cornea bleiben dabei ja die gleichen.

Die Erfahrung lehrt ferner, dass der regelmässige Astigmatismus erst bei einem Grade von  $\frac{1}{40}$  anfängt abnorm zu werden, erst dann treten die eigenthümlichen Gesichtspänomene störend auf, und die Sehschärfe leidet merklich darunter. Zur Behandlung bekommt man hauptsächlich die hohen und höchsten Grade von  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{4}$ ; geringere Grade, die ja in jedem Auge, doch kaum wahrnehmbar, vorkommen, sind physiologisch oder normal.

Donders hat den Astigmatismus nach der ursprünglichen Refraction in den beiden Hauptmeridianen eingetheilt in myopischen, hypermetropischen und gemischten Astigmatismus, wie schon die oben angeführten Beispiele andeuten.

### 1) Myopischer As (Am).

- a) Einfacher Am besteht, wenn in dem einen Hauptmeridian Emmetropie (E), im andern M vorhanden ist.



- b) Zusammengesetzter Am findet sich dort, wo M, jedoch in verschiedenen Graden, in beiden Hauptmeridianen vorkommt. Das Auge leidet dann an M und As.

Es sei z. B. in dem einen Hauptmeridian  $M \frac{1}{8}$ , im anderen  $M \frac{1}{6}$  so ist  $As \frac{1}{6}$ ; aber ausserdem besteht für das ganze Auge noch  $M \frac{1}{6}$ . Also in unserem Falle ist das Gebrechen des Auges  $Am \frac{1}{6} + M \frac{1}{6}$ .

## 2) Hypermetropischer As (Ah).

- a) Einfacher Ah ist derjenige wo in dem einen Hauptmeridian E, im anderen H vorhanden ist.
- b) Zusammengesetzter Ah, wo H in verschieden starken Graden in beiden Hauptmeridianen vorkommt. Hier ist also As combinirt mit H.

Es bestehe in dem einen Hauptmeridian  $H \frac{1}{8}$ , im anderen  $H \frac{1}{4}$ , so ist  $Ah = \frac{1}{2}$ , ausserdem aber leidet das Auge noch an  $H \frac{1}{4}$ .

## 3) Gemischter As (Amh)

kommt da vor, wo in dem einen Hauptmeridian M, im anderen H gefunden wird; z. B.  $M \frac{1}{2}$  und  $H \frac{1}{6}$ . Dann ist  $Amh = M \frac{1}{2} + H \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$ .

Bei diesem gemischten As kann nun M oder H vorwiegen.

Symptome. Freilich wird der praktische Arzt wohl sehr selten darauf, dass er die Hornhautkrümmungen in den verschiedenen Meridianen misst, seine Diagnose: „Astigmatismus“ gründen. Dies wäre mehr die zeitraubende Arbeit des Physiologen. Mit blosssem Auge kann man sich aber hierüber kein Urtheil verschaffen. Die einzigen anderen objektiven Symptome gewinnt man bei der Ophthalmoskopie, indem man den Augenhintergrund des Patienten in ähnlicher Weise verändert sehen muss, wie er die Aussendinge. Doch wird man beim Krankenexamen gewöhnlich dazu erst nach Feststellung der functionellen Störungen des Auges schreiten, es sei denn, dass man es mit sehr ungelehrigen Individuen zu thun hätte.

Der Arzt hat die Aufgabe zu untersuchen, ob überhaupt As



besteht, in welchen Richtungen die Hauptmeridiane liegen und endlich, wie sich dieselben bezüglich ihrer Refraction verhalten.

Das zuerst auffallende Symptom bei As ist die Herabsetzung der Sehschärfe, die als natürlich erscheinen muss, wenn man bedenkt, dass eine punktförmige Vereinigung des homocentrischen Lichts auf der Stäbchenschicht fehlt, und statt dessen Ellipsen oder Linien oder, im besten Fall, Kreise als Zerstreuungsfiguren auftreten. Es kann also dabei kein scharfes Netzhautbild zu Stande kommen. Astigmatiker können die Snellen'schen Schriftproben nicht in der bestimmten Entfernung lesen, sondern in einer kürzeren. Gewöhnlich, wenn nicht der Nahepunkt dem Auge abnorm herangerückt ist, werden die kleinsten Buchstaben No. 1 und  $1\frac{1}{2}$  nicht entziffert, ist der Nahepunkt sogar ferner gerückt, oder der Astigmatismus sehr bedeutend, auch die nächst grösseren Schriftnummern nicht. Je stärker der Grad des As, desto mehr ist auch die Sehschärfe verringert, die dadurch auf  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ , ja auf  $\frac{1}{5}$  und darüber herabsinken kann. Abhängig von der verringerten Sehschärfe ist beim Arbeiten die psychische Anstrengung, trotz der Zerstreuungsbilder doch eine richtige Vorstellung von den Objekten zu erlangen. Desshalb ermüden Astigmatiker bald beim Lesen, Schreiben etc., und ihr Auge wird schmerzhaft. Es treten sogar die Erscheinungen der Asthenopie auf, zumal wenn Ah besteht.

Bisweilen geben die Astigmatiker schon an, dass sie beim Optiker vergeblich nach einer passenden Brille gesucht hätten; keine genüge ihnen. Die Verbesserung des Gesichts durch eines oder das andere der vorgelegten Gläser sei gering. Schreitet der Arzt dann zur gewöhnlichen Brillenprobe, so wird er mehrere auf einander folgende Concav- oder Convexgläsernummern finden, die dem Patienten ziemlich gleich gut erscheinen, obschon keine genügt. Die Wahl erscheint zweifelhaft. Es hat dies seinen Grund in der Länge der Brennstrecke des dioptrischen Systems.

Mehr als durch sphärische Linsen wird die Sehschärfe durch eine schlitzförmige stenopäische Brille<sup>1)</sup> gebessert; doch muss dieser Spalt vor dem Auge nach verschiedenen Richtungen herumgedreht werden, wobei hervortritt, dass in einer oder zwei

1) Abzuleiten von στενός (eng) und όπή (Durchsicht). Donders hat diese Art Brillen zuerst angegeben.



Richtungen, den Hauptmeridianen entsprechend, der Schlitz am meisten nützt.

Ein leuchtender Punkt — den man sich am besten durch eine mit einem feinen Loche versehene, undurchsichtige Platte darstellt, welche gegen den klaren Himmel oder die Glasglocke einer brennenden Lampe gehalten wird, so dass Licht durch jene feine Oeffnung durchströmt — erscheint nicht als runder Punkt oder bei mangelhafter Accommodation als Zerstreuungskreis, sondern strichförmig oder elliptisch, und zwar ändert sich die Richtung dieser Zerstreuungsfigur gerade um  $90^{\circ}$ , wenn der leuchtende Punkt von der einen Gränze des Accommodationsgebietes zur anderen gebracht wird. Zeigt sich z. B., wie es gewöhnlich ist, bei zu geringer Accommodation für die Entfernung des leuchtenden Punktes dieser horizontal verlängert, so wird eine vertikale Verlängerung desselben auftreten, sobald die Accommodation eine zu starke ist. Steht der leuchtende Punkt zu nahe am Auge, so erscheint derselbe in der Richtung des schwachgekrümmten Hauptmeridians ausgedehnt, steht er zu fern, so wird er in der Richtung des starkgekrümmten Hauptmeridians verlängert gesehen. Noch leichter, und für den Astigmatismus ebenso charakteristisch, ist der Richtungswechsel der in die Länge ausgedehnten Zerstreuungsfigur des leuchtenden Punktes, wenn die betreffenden Personen ihren Kopf aus der aufrechten Haltung in die liegende, horizontale bringen. Ward nämlich bei gewöhnlicher Kopfhaltung der leuchtende Punkt als liegendes Oval gesehen, so erscheint er sofort als stehendes Oval mit grösserer vertikaler Axe bei zur Seite geneigtem Kopfe.

Ferner ist das astigmatische Auge nicht zu gleicher Zeit für verschieden gerichtete Linien eingerichtet; horizontale und vertikale Linien werden neben einander nicht zugleich scharf gesehen. Meist sieht der Astigmatiker horizontale Linien in grösserer Nähe, vertikale Linien in grösserer Ferne besser, weil gewöhnlich der starkgekrümmte Hauptmeridian vertikal steht. Fällt nämlich der Anfangspunkt der Brennstrecke auf die Netzhaut, so prävalirt im Netzhautbilde die Richtung des schwachgekrümmten Meridians; fällt der Endpunkt der Brennstrecke auf die Stäbchenschicht, so hat die Richtung des starkgekrümmten Meridians das Uebergewicht, und umgekehrt. Die Begründung hierfür ist oben schon weitläufiger geliefert.



Findet man die eben angegebenen Symptome, so ist die Diagnose auf regelmässigen abnormen As gesichert, und es ist demnächst die Richtung der Hauptmeridiane festzustellen. Schon in den Zerstreuungsfiguren eines leuchtenden Punktes und in der Art und Weise, wie Linien in verschiedener Richtung gesehen werden, geben dazu ein Mittel an die Hand.

Bei einfachem und gemischtem As thut man gut, um das lineare Zerstreuungsbild des leuchtenden Punktes leicht zu erhalten, den Punkt wenige Fuss vor das Auge zu placiren und dann dasselbe durch Vorhalten eines nicht zu starken Convexglases mässig myopisch zu machen. Tritt dann die Zerstreuungslinie hervor, was sich durch ein passendes Convexglas erlangen lässt, so schiebt man ein starkes Concavglas noch vor das erstere, damit das vordere Ende der Brennstrecke auf die Stäbchenschicht fällt, und nun eine Zerstreuungslinie in entgegengesetzter (d. h. sich mit der ersteren im rechten Winkel kreuzender) Richtung entsteht. Bei zusammengesetztem Am erhält man bequem ohne Convexlinse den Zerstreuungsstreifen des am Ende des Accommodationsbereiches befindlichen leuchtenden Punktes und bedarf, um den Streif in entgegengesetzter Richtung zu erhalten, ein starkes Concavglas. Umgekehrt ist es bei zusammengesetztem Ah, wo man den leuchtenden Punkt leicht in die Anfangsgränze des Accommodationsgebietes bringen kann und so denselben als Zerstreuungslinie sieht; ein starkes Convexglas vor das Auge gehalten ruft vom Punkt die entgegengesetzte Zerstreuungslinie hervor.

Bei ganz denselben Manipulationen kann man statt des Punktes einen aus verschiedenen gerichteten, graden Strichen, die sich sämmtlich in einem Punkte schneiden, gebildeten Stern oder eine aus vielen nahe an einander liegenden concentrischen Kreisen gebildete Figur als Sehobject benutzen. Bei dem Stern sieht man in derjenigen Richtung, für welche das Auge accommodirt ist, und welche immer mit der eines Hauptmeridians zusammenfällt, die Strahlen scharf und deutlich, die Striche aller anderen Richtungen undeutlich. Bei den concentrischen Kreisen sieht man nur schmale gerade gegenüberliegende Sectorenstreifen, die natürlich die entgegengesetzte Richtung der in ihnen befindlichen deutlichen Linien haben, klar, alles übrige verwischt.

Dabei wird den Patienten auffallen, dass die Kreise (oder



Vierecke etc.) in der Richtung, in welcher man die Linien scharf sieht, verlängert erscheinen, weil ja das Bild gerade in dieser Richtung durch Zerstreuungslinien vergrößert ist. Diese Vergrößerung tritt aber nur dann auffällig hervor, wenn die deutlich gesehenen Linien die Richtung des stark brechenden Hauptmeridians haben, weil dann noch ein Factor zur Vergrößerung beiträgt, nämlich die in dieser Richtung vermehrte Hornhautkrümmung, welche wie ein Vergrößerungsglas wirkt und durch Vorücken des hinteren Knotenpunktes ein größeres Netzhautbild schafft. Der im entgegengesetzten Meridian mehr nach hinten stehende zweite Knotenpunkt beeinträchtigt oder vernichtet die durch Zerstreuungslinien vermehrte Bildgröße.

Weniger sichere Resultate erhält man durch die Richtungen, in welchen die stenopäischen Schlitzze gehalten das Gesicht am meisten bessern.

Am schärfsten aber erkennt man die Richtungen der Hauptmeridiane durch Vorhalten einer ungefähr corrigirenden cylindrischen Linse<sup>1)</sup>, die man vor dem Auge herumdreht, so dass nach einander auf die verschiedenen Augenmeridiane die Kraft der Linse wirkt.

Den Refraktionszustand in den beiden Hauptmeridianen ermittelt man, wenn in der Richtung jedes der beiden Meridiane nach einander ein stenopäischer Schlitz gehalten und für das durch denselben blickende Auge das schwächste Concavglas oder stärkste Convexglas, je nachdem Myopie oder Hyperopie besteht, aufgesucht wird, durch welches in den zu prüfenden Meridianen Emmetropie zu Stande kommt.

Den Grad der Ametropie giebt die Differenz der beiden so gefundenen Werthe bekanntlich an.

Um die Symptomenreihe des As vollständig anzuführen, sei ein Symptom noch erwähnt, welches schwerer zu beobachten ist. Durch das Vorhalten eines kobaltblauen planen Glases werden

1) Für die Untersuchung auf Astigmatismus ist eine Sammlung von verschiedenen positiven und negativen cylindrischen Gläsern nothwendig. Eine solche, wie sie für den Praktiker ausreicht, liefern Paetz und Flohr in Berlin nebst stenopäischer Brille und einer Karte mit den oben angegebenen Figuren für 30 Thlr. Auch Burow's Optometer enthält eine solche Strahlenfigur. Einzelne cylindrische Linsen liefert dieselbe Firma, sowie auch Nabet et fils. Paris, rue St. Séverin.



nur die am schwächsten und am stärksten brechbaren Lichtstrahlen, einerseits die rothen, andererseits die violetten und blauen, hindurch gelassen, aber nicht die mittleren. Es kann also mit Hülfe jenes Glases die chromatische Aberration am leichtesten beobachtet werden. So findet man denn bisweilen, dass bei einem Parallelogramm das eine Paar paralleler Seiten blau, das andere Paar roth dem Astigmatiker erscheint.

Objektiv lässt sich das Bestehen von As mittelst des Augenspiegels dadurch erkennen, dass im aufrechten Bilde die Papilla nervi optici in der Richtung des starkgekrümmten Meridians verlängert gesehen wird. Der Augenhintergrund stellt sich ja dabei wie durch eine Loupe gesehen, vergrößert dar. Diese Vergrößerung muss um so stärker sein, je stärker die Loupe. Hier ist das dioptrische System im stärkstbrechenden Meridian auch am meisten vergrößernd, weniger in den anderen Meridianen. Benutzt man dann das umgekehrte ophthalmoskopische Bild, und tritt die abnorme Ausdehnung der Papilla in der entgegengesetzten Richtung auf, so ist As bewiesen; ein von der Papilla herzuführender anatomischer Grund kann nicht dafür vorliegen. Beim umgekehrten Bilde eines Objectes bemerken wir eine um so bedeutendere Grösse des Bildes, je länger die Brennweite des den erwähnten Effect hervorrufenden dioptrischen Apparates ist.<sup>1)</sup> Dieser Gestaltwechsel der Papille ist ein so sicheres objektives Symptom, dass man bei ungelehrigen Individuen bald zu dieser Untersuchungsmethode schreiten muss, um keine Zeit mit der schwierigeren funktionellen Prüfung zu vergeuden.

Diese abnorme Asymmetrie der Hornhautmeridiane ist eine angeborene, wenn auch oft erst in späteren Jahren der Effect derselben, die verminderte Sehschärfe, auffällt. Durch Keratitis entstandener regelmässiger As kommt wohl nicht vor. Ebenso verhält es sich mit den abnormen Krümmungen der Linse. Linsenschiefstand, der auch As hervorrufen kann, kommt nach Traumen und auch spontan bei Synchysis corporis vitrei zu Stande. Am reinsten tritt der Cornealastigmatismus bei Aphakie auf, wo Brechungsunregelmässigkeiten der Linse ja ganz fortfallen.

Behandlung. Schon Young und neuerdings Kugel<sup>1)</sup>

1) s. Schweigger, Archiv f. Ophthalmologie Bd. IX 1. S. 178.

2) Archiv f. Ophthalmol. Bd. X. 1. S. 89.



schlugen gegen As vor, ein allenfalls zusagendes, sphärisches Glas in gewisser Richtung zu drehen und so demselben eine schiefe Stellung vor dem Auge zu geben. Es ist allerdings richtig, dass eine solche Drehung die Wirkung einer sphärischen, sowohl positiven, wie negativen Linse verstärkt, und zwar für alle Meridiane, jedoch in merklich geringerem Grade für den Meridian, welcher der Drehungsaxe des Glases gleichgerichtet ist, in erheblich stärkerem Grade für den gerade entgegengesetzten Meridian. Es rührt dies daher, dass ein Lichtstrahlenkegel um so stärker durch eine Linse gebrochen wird, einen je grösseren Winkel seine Richtungslinie mit der Linsenaxe einschliesst, oder was dasselbe ist, je schräger derselbe auf die Linse fällt.

Man kann diese Methode aber mit Vorthail nur bei zusammengesetztem myopischen oder hypermetropischen Astigmatismus in Anwendung bringen, wo in allen Meridianen dieselbe Art der Ametropie besteht, wo in allen in gleichem Sinne eine Correction anzubringen ist.

In solchen Fällen muss man eine sphärische Linse, schwächer als zur Correction des am wenigsten von der Emmetropie abweichenden Meridians nöthig ist, wählen und dieselbe um eine Axe drehen, die genau dem letztgenannten Meridian gleichgerichtet ist, während dessen aber aufpassen, bei welchem Grade der Drehung die Sehschärfe am grössten wird. Dieselbe Manipulation muss man mit mehreren, verschieden starken Linsen vornehmen, da nicht alle gleich gut dem Zwecke entsprechen. Haben wir z. B. einen Fall von Am, wo im vertikalen Meridian  $M \frac{1}{9}$ , im horizontalen  $M \frac{1}{20}$  besteht, so werden wir die Drehung mit einem Concavglase, das wir etwa zwischen No. 24 und 36 zu suchen haben, um dessen Horizontale vornehmen müssen. In einem anderen Fall sei Ah mit  $H \frac{1}{22}$  im vertikalen,  $H \frac{1}{7}$  im horizontalen Meridian. Dann ist mit einer Convexlinse, ungefähr zwischen No. 26 und 40, die Drehung um deren Vertikale vorzunehmen. Die für die Sehschärfe beste Schiefstellung nebst der Brillennummer muss genau vermerkt werden und dem Brillengestell demnach die entsprechende Biegung beigebracht werden.

Der Vorthail dieser Correctionsmethode liegt in dem leichteren Herbeischaffen von sphärischen Gläsern; ein Nachtheil aber in dem leichten Verschieben des Glases aus dem passenden Schief-



stand und in dem starken Lichtreflex der schiefstehenden Linse und endlich in der beschränkteren Anwendbarkeit.

Zweckmässiger ist es daher sicher, cylindrische Gläser anzuwenden, wie sie schon Airy gegen Astigmatismus gebraucht, Donders sie aber zuerst in die Praxis eingeführt hat, wodurch der As erst ein Kapitel der Augenheilkunde geworden ist.

Cylindrische Linsen sind solche, welche durch eine oder zwei cylindrische Flächen begränzt werden. Die homocentrischen Strahlen, die in einer durch die Axe der cylindrischen Gläser gelegten Ebene liegen, bleiben ungebrochen, während die optische Wirkung sich auf alle anderen Strahlen erstreckt, welche ja in einer auf dieser Axenebene senkrecht stehenden Ebene verlaufend gedacht werden können. In der Axen-Ebene befindet sich der Vereinigungspunkt dieser gebrochenen Strahlen; da es aber unzählige solcher Ebenen giebt, die senkrecht auf der Axenebene stehen, existiren auch unzählig viele Vereinigungspunkte, die neben einander liegend eine Brennnlinie bilden, welche der Cylinderaxe parallel ist.

Auch von den cylindrischen Linsen giebt es positive und negative, je nachdem die Cylinderfläche convex oder concav ist. Ihre Brennweite in Zollen ausgedrückt giebt ihre Nummern an, oder man bezeichnet sie durch ihre Brechkraft. So bedeutet  $+ \frac{1}{12}c$  ein positiv cylindrisches Glas, dessen Brennweite 12" beträgt,  $-\frac{1}{5}c$  eine negativ cylindrische Linse mit 5" Brennweite.

Drei in ihrer Wirkungsweise verschiedene Arten von cylindrischen Gläsern hat Donders zur Correction des As empfohlen.

1) Einfach cylindrische Linsen äussern ihre dioptrische Wirkung nur auf Strahlen, deren Ebenen auf der Axenebene senkrecht stehen. Solche Cylindergläser können als positive: planconvex, biconvex und concavconvex sein, als negative: planconcav, biconcav und convexconcav. Doch sind fast nur die planconvexen und planconcaven in Gebrauch.

Es findet bei ihnen also dieselbe Verschiedenheit Statt, wie bei den sphärischen, nur ist bei obiger Ausdrucksweise zu beachten, dass sowohl die convexen, wie die concaven Linsenflächen cylindrisch sind, was man bei ihrer Werthbezeichnung durch ein zugefügtes c kenntlich macht, zum Unterschiede von sphärischen Linsen, deren Werthausdruck man noch ein s beifügen kann.

2) Zwiefach cylindrische Gläser üben ihre brechende



Wirkung auf homocentrische Strahlen, die in horizontal und vertikal stehenden Ebenen verlaufen. Aus diesem Grunde müssen sich die Axe der vorderen und die der hinteren Cylinderkrümmung des Glases im rechten Winkel schneiden, im Gegensatze zu den biconvexen und biconcaven einfachen cylindrischen Linsen, deren beide Cylinderaxen parallel verlaufen. Gewöhnlich gebraucht man solche zwiefach cylindrische Linsen, bei denen eine Cylinderfläche positiv, die andere negativ ist, so dass die Lichtstrahlen, welche in einer Ebene mit der Axe der concaven Cylinderfläche liegen, gesammelt, die Strahlen, welche in einer Ebene mit der Axe der convexen Cylinderfläche liegen, zerstreut werden.

Die Bezeichnungsweise für bicylindrische Linsen besteht in einer durch das Zeichen eines rechten Winkels dargestellten Combination der Werthe von den beiden cylindrischen Gläsern, aus denen die bicylindrischen zusammengesetzt anzusehen sind, z. B.

$$\frac{1}{8}c \text{ } \Gamma \text{ } - \frac{1}{30}c$$

3) Sphärisch-cylindrische Gläser brechen zwar Lichtstrahlen einer Ebene von jeglicher Richtung, in verstärktem Grade aber die Strahlen, welche in einer auf der Axenebene lothrecht stehenden Ebene verlaufen. Es sind diese Linsen eine Combination von plansphärischen mit plancylindrischen, und zwar sind beide entweder convex, oder beide concav. Nach dieser Combination bezeichnet man auch die genannten Gläser, indem man den Werthausdruck der sphärischen mit dem der cylindrischen Linse durch das Zeichen  $\subset$  verbindet, z. B.

$$\frac{1}{2}s \subset \frac{1}{16}c \text{ und } -\frac{1}{18}s \subset -\frac{1}{9}c.$$

Die einfach cylindrischen Gläser finden ihre Anwendung bei einfachem As, und zwar die negativen bei Am, die positiven bei Ah. So also würde  $-\frac{1}{24}c$  bei einfachem Am passen, wo M.  $\frac{1}{24}$  im vertikalen Meridian besteht, wobei die Cylinderaxe des Glases dem horizontalen Meridian gleichgerichtet sein muss.  $+\frac{1}{12}c$  corrigirt Ah mit H.  $\frac{1}{12}$  im horizontalen Meridian, wobei die Cylinderaxe dem vertikalen Meridian gleichgerichtet sein muss.

Bei zusammengesetztem As sind die sphärisch-cylindrischen Gläser indicirt, weil ja bei ihm für alle Meridiane Ametropie besteht, für einen aber noch im erhöhten Maasse.



Bei  $M \frac{1}{36} + A_m \frac{1}{36}$  corrigirt  $-\frac{1}{36}s \subset -\frac{1}{36}c$ ; bei  $H \frac{1}{24} + A_h \frac{1}{12}$  corrigirt  $+\frac{1}{24}s \subset \frac{1}{12}c$ .

Für den gemischten As passen die bicylindrischen Gläser. Ist z. B.

$$A_{mh} = M \frac{1}{12} + H \frac{1}{36}, \text{ so bedarf es } -\frac{1}{12}c \sqsubset \frac{1}{36}c.$$

In den angeführten Beispielen wurde nur darauf Rücksicht genommen, den bestehenden Astigmatismus in möglichst vollkommener Weise in Emmetropie zu verwandeln. Wie wir aber schon bei Besprechung der Myopie und Hyperopie gesehen haben, ist es nicht in allen Fällen wünschenswerth, Emmetropie herbeizuführen, sondern einen Theil der Ametropie bestehen zu lassen. Man bringt den Fernpunkt in eine endliche Entfernung, indem man die Myopie nur unvollkommen corrigirt, oder indem man bei mangelhafter Accommodationsbreite die Hyperopie, weil das Auge hauptsächlich zum Lesen und Schreiben etc. benutzt werden soll, übermässig corrigiren muss, wodurch r wenige Fuss vom Auge zu liegen kommen kann. So muss man auch bisweilen bei As verfahren. Man corrigirt dann mit Hülfe des stenopäischen Schlitzes und der sphärischen Linsen die Hauptmeridiane für die gewünschte Entfernung und bestimmt danach das cylindrische Glas. Oder, wenn man in der gewöhnlichen Weise den Astigmatismus bestimmt hat, kann man von dem Refractionswerth jedes der beiden Hauptmeridiane den reciproken Werth der Fernpunktsdistanz, also das gewünschte  $\frac{1}{R}$ , als Myopie abziehen. Denn bei

diesem Verfahren lassen oder erzeugen wir dem Auge einen bestimmten Grad von Myopie. Erst nach geschehener Subtraction bestimmen wir die passende Cylinderlinse.

Es sei in den Hauptmeridianen E und M  $\frac{1}{8}$ , der Fernpunkt aber soll auf 24" verlegt, also M  $\frac{1}{24}$  gelassen werden, dann subtrahiren wir

$$\begin{aligned} E - M \frac{1}{24} &= H \frac{1}{24} \\ M \frac{1}{8} - M \frac{1}{24} &= M \frac{1}{12} \end{aligned}$$

wofür  $\frac{1}{24}c \sqsubset -\frac{1}{12}c$  zu verordnen wäre.

Oder es sei in den Hauptmeridianen H  $\frac{1}{9}$  und M  $\frac{1}{12}$ , die Fernpunktsdistanz soll aber 18" betragen.

$$\begin{aligned} H \frac{1}{9} - M \frac{1}{18} &= M \frac{1}{6} \\ M \frac{1}{12} - M \frac{1}{18} &= M \frac{1}{36} \end{aligned}$$

wofür  $-\frac{1}{36}s \subset -\frac{1}{6}c$  passen würde.



Ehe der Arzt die cylindrischen Gläser verordnet, probire er erst, wie die bestimmte cylindrische Linse, die er leicht aus seinen Brillenkasten combiniren kann, wirkt. Manchmal hat er dann noch die ersten Bestimmungen zu modificiren.

Die cylindrischen Linsen dürfen nur in runder Form gefasst werden, da noch nachträglich Drehungen der ins Gestell gesetzten Gläser, um die Richtung der Hauptmeridiane genau zu treffen, oft ausgeführt werden müssen. Lorgnetten sind bei Astigmatismus nur bisweilen anwendbar. Ferner müssen die cylindrischen Gläser möglichst nahe dem Auge stehen, um ihre volle Wirkung zu äussern.

Da As manchmal nur in einem Auge, öfter in beiden Augen in verschiedenen Graden, ja auch in verschiedener Art, vorkommt, so ist man oft genöthigt, für jedes Auge ein verschiedenes Glas zu verordnen.

Die Sehschärfe mit Hülfe der cylindrischen Linsen zur Norm zu bringen, wird nie gelingen, weil nur selten ein Zusammenfallen der hinteren Brennpunkte aller Meridiane erreicht werden kann; geschieht dieses aber auch wirklich, so bleiben doch die Knotenpunkte getrennt, und es würden nicht in den Objekten liegende Grössenunterschiede der Bilder nach bestimmten Richtungen hin eintreten. Besonders stark tritt letzteres hervor, wenn das Glas dem Auge ferner gehalten wird. Es ist aber auch schon viel werth, wenn die Sehschärfe, welche bisweilen bis auf  $\frac{1}{6}$  gesunken ist, durch die cylindrischen Gläser auf  $\frac{1}{4}$ , ja auf  $\frac{1}{2}$  gehoben wird.

---



## Accommodationsstörungen.

Die Accommodationsstörungen haben alle das mit einander gemein, dass die Accommodationsbreite verringert ist, welche von Seiten des Nahepunktes oder von Seiten des Fernpunktes eingeengt sein kann. Nach den zu Grunde liegenden Zuständen kann man diese Störungen eintheilen in 1) senile, 2) paralytische, 3) spastische.

Die Accommodationsbreite, deren Bezeichnungsweise oben angegeben wurde, ist zugleich ein Ausdruck für die Accommodationskraft eines Auges. Dieselbe ist aber nicht ganz gleichwerthig der muskulären Action des M. ciliaris, vielmehr kommt hier auch als Factor die grössere oder geringere Weichheit der Linsensubstanz in Betracht. Aus diesem letzteren Grunde ist im Kindesalter, wo die Muskulatur noch nicht völlig entwickelt ist, die Accommodationsbreite sehr bedeutend und hat schon im kräftigen Mannesalter merklich abgenommen. Nach den zahlreichen Untersuchungen von Donders, welche er an Augen von Individuen aus allen Lebensaltern anstellte, fand er, dass mit dem Fortschreiten des Lebensalters auch eine regelmässige, progressive Abnahme der Accommodationsbreite einhergeht, mag das Auge emmetropisch oder ametropisch sein.

Schon vom 10. Lebensjahre an, wo die Accommodationsbreite gewöhnlich  $\frac{1}{2\frac{1}{2}}$  beträgt, ist eine Abnahme der letzteren wahrzu-



nehmen, die in stättem, jedoch immer langsamerem Fortschreiten von da ab begriffen ist, so dass das Auge von 5 zu 5 Jahren  $\frac{1}{24}$ , welches sich allmählich bis auf  $\frac{1}{48}$  reducirt, an seiner Accommodationskraft einbüsst. Dies muss sich darin äussern, dass der Nahepunkt dem Auge progressiv ferner rückt, bis sogar nach dem 70. Lebensjahre der Nahepunkt des ursprünglich emmetropischen

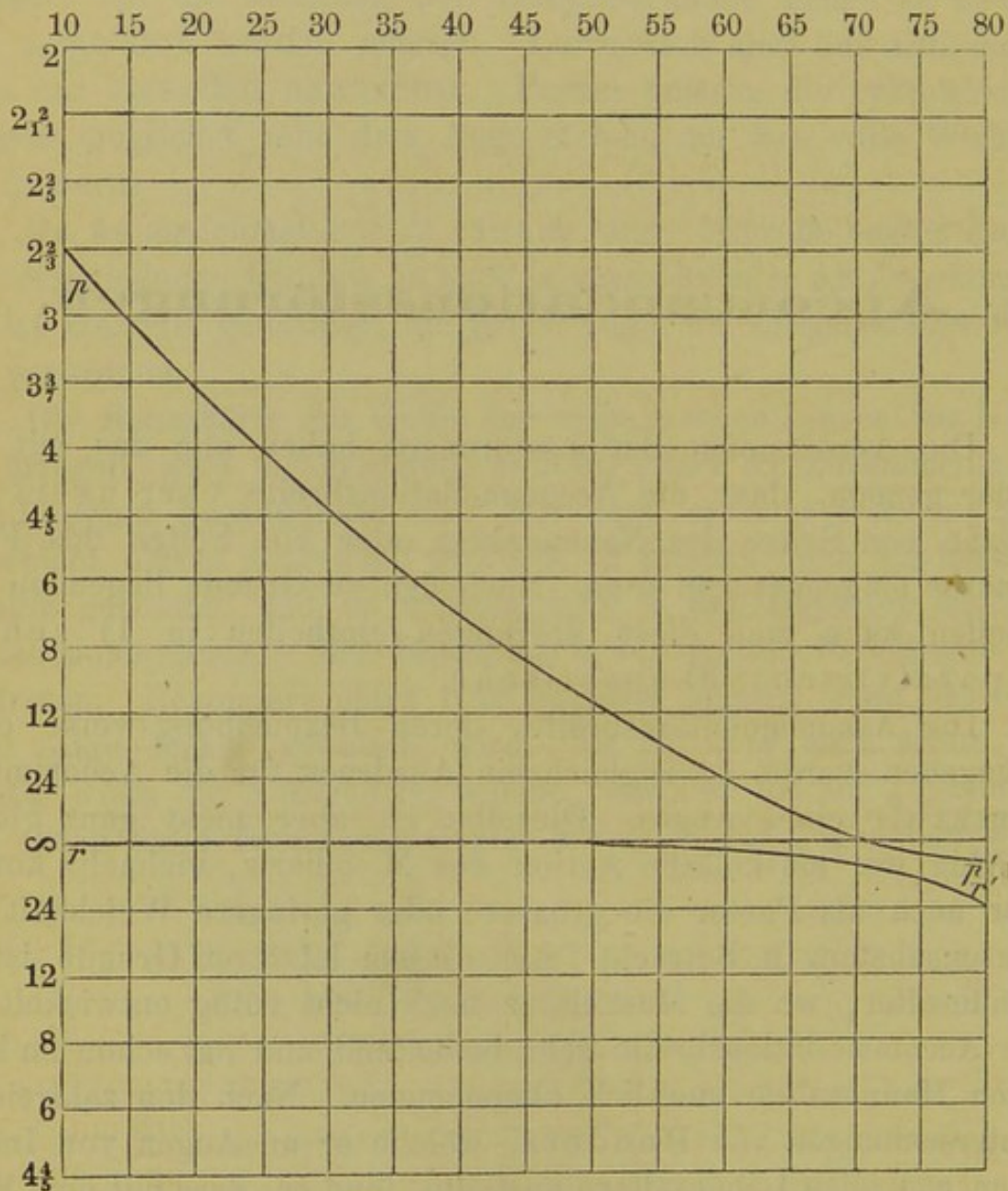


Fig. 37.

Auges in die unendliche Ferne rückt. Vor diesem Zeitpunkte aber, vom 40. Lebensjahre an, bildet sich physiologischer Maassen Hyperopie aus, die ebenfalls allmählich grösser wird und im 80. Lebensjahre  $= -\frac{1}{24}$  geworden ist. So ist also dadurch, dass im



Greisenalter  $P = \infty$  wird, doch noch nicht die Accommodationskraft gänzlich aufgehoben.

In ähnlicher Weise ist auch das myopische und hypermetropische Auge den Altersveränderungen unterworfen, d. h. der Nahepunkt und später auch der Fernpunkt rücken allmählich weiter vom Auge, letzterer jedoch in viel geringerem Maasse. Eine Ausnahme hiervon kommt nur bei der progressiven Sclerectasia posterior vor, bei welcher die Myopie nicht geringer wird, im Gegentheil nur zunimmt, was schon lange aufmerksamen Beobachtern bekannt war.

Diese durch das Alter hervorgerufene Accommodations- (und auch Refractions-) Veränderungen instructiver und präziser darzustellen, als es Donders in seinen Curventafeln gethan hat, ist unmöglich. Daher entlehne ich drei derselben. Fig. 37 stellt die

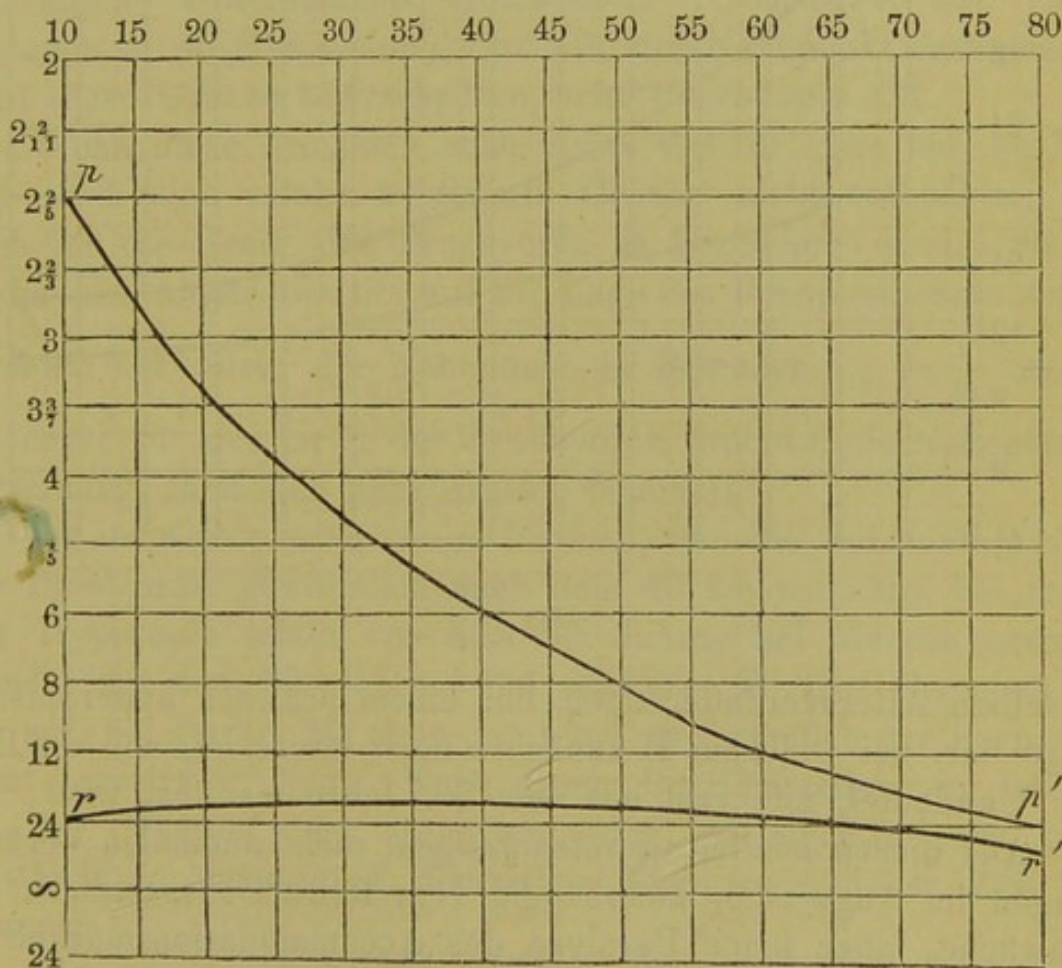


Fig. 38.

Veränderung der Accommodationsbreite im emmetropischen Auge während der verschiedenen Lebensjahre dar. Die Zahlen ober-



halb der senkrechten Linien geben die Lebensjahre, die neben den Horizontallinien befindlichen die Distanzen vom Auge an, während die mit pp bezeichneten Curven das Hinausrücken des Nahepunktes, die mit rr bezeichneten die Lageveränderungen des Fernpunktes anzeigen. Fig. 38 ist eine gleiche Darstellung dieser Verhältnisse bei sogenannter stationärer Myopie, die jedoch fast immer Spuren des Fortschreitens zeigt. Endlich Fig. 39 stellt

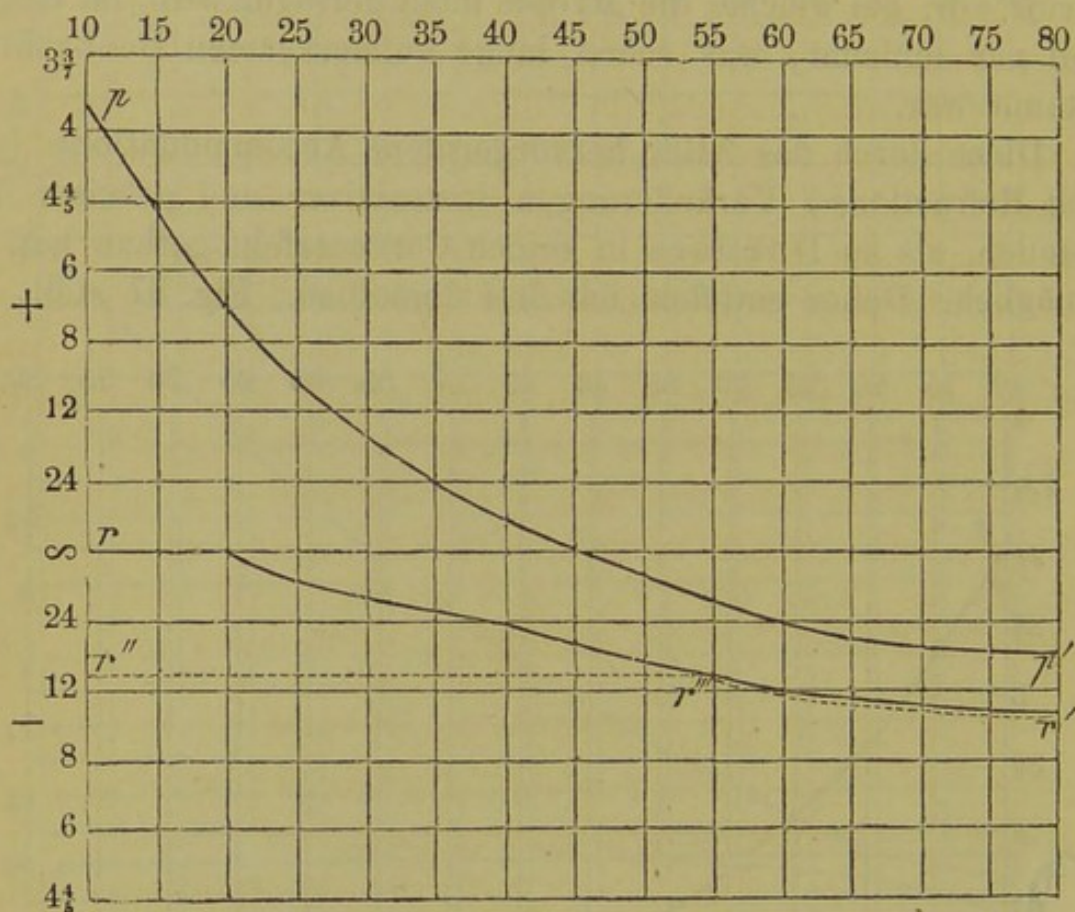


Fig. 39.

dieselben Altersveränderungen bei einem schwach hyperopischen Auge dar, bei welchem H zunächst noch latent ist, wie die Linie  $r''r'''$  andeutet, und erst mit dem 20. Jahre manifest wird.

Aus diesen senilen, gesetzmässigen, nicht anomalen Veränderungen im Auge, die, unabhängig vom Refraktionszustande, eine Schwäche, aber keine Paralyse des Accommodationsmuskels repräsentiren, entspringen öfter Sehstörungen, welche vom Hinausrücken des Nahepunktes abzuleiten sind.



IX. Presbyopie<sup>1)</sup>,

## Weitsichtigkeit.

Die Presbyopie ist dem Obigen gemäss zu definiren als die durch senile Veränderungen hervorgerufene Verringerung der Accommodationsbreite, in Folge deren der weite Abstand des Nahepunktes eine anhaltende Beschäftigung mit feinen Objekten unstatthaft macht. Die Frage, wie weit dabei der Nahepunkt vom Auge abgerückt sein muss, um Presbyopie annehmen zu können, ist nicht so bestimmt zu beantworten, weil dabei viele individuelle Unterschiede vorkommen. Donders hat vorgeschlagen, 8'' als Maximalentfernung für den Nahepunkt anzunehmen; wird diese Gränze überschritten, tritt Presbyopie auf.

Wenn diese Annahme auch etwas Willkürliches hat, so lässt sich doch eine solche bestimmte Gränze nicht entbehren, weil nach ihr die Grade der Presbyopie zu bezeichnen sind. So wie es bei der Ametropie nur auf die Lage des Fernpunktes ankommt, so fällt hier allein der Nahepunkt in Betracht.  $\frac{1}{8} - \frac{1}{n}$  ist der Ausdruck für den Grad der Presbyopie, wobei  $n$  die Nahepunktsentfernung, in Zollen ausgedrückt, bedeutet.

Im emmetropischen Auge beginnt, wie die Schemata zeigen, die Presbyopie gewöhnlich nach dem 40. Lebensjahre, bei mässiger Hyperopie schon vor dem 20. Jahre, bei Myopie geringen Grades mit dem 50. Jahre. Bei stärkerer H. tritt Pr. noch früher auf, bei starker M. aber gar nicht, wo nämlich der Fernpunkt nicht jenseits 8'' liegt. Nach dieser Begriffsbestimmung ist also Pr. der Myopie nicht entgegengesetzt, vielmehr können beide Zustände in einem und demselben Auge zu gleicher Zeit vorkommen.

Ein presbyopisches Auge ist meist matter, weniger klar, nicht selten mit einem Arcus senilis versehen; die Pupille eng, die vordere Augenkammer flach, die Linse stärker reflektirend.

1) *πρεσβύς* alt; *ὤψ* Gesicht.



Die functionellen Störungen sind denen, wie sie bei den mittleren Graden von H. vorkommen, ähnlich. Die Asthenopie ist das Hauptsymptom. Doch geben die Presbyopen an, dass sie früher gute, ausdauernde Augen gehabt hätten; jetzt würden diese aber schwächer, sie könnten ohne Schmerzen nicht mehr lange lesen oder schreiben. Oefter wird auch versichert, dass ihr Sehen in die Ferne nicht mehr so scharf sei, wie früher. Letzteres kann von der durch das Alter normal herabgesetzten Sehschärfe herkommen. Die Patienten finden mit Recht auch hierin ein Zeichen ihres vorrückenden Alters. Denn mit dem 40. Lebensjahre fängt die Sehschärfe an, stätig abzunehmen, bis sie im 80. Lebensjahre nur ungefähr  $\frac{1}{2}$  beträgt.<sup>1)</sup> Hören wir von einer Person, die auch im höheren Alter nicht an Pr. gelitten hat, die ohne Brille stets lesen und schreiben konnte, so muss dieselbe myopisch sein.

Eine Erscheinung, welche intelligenten Personen auffällt, ist die Mikropsie; sie sehen die Gegenstände kleiner, wie sonst, weil sie sich ihrer starken Accommodationsanstrengung bewusst werden, welche jetzt von einem viel geringeren Effect begleitet wird. Dieser Kraftaufwand entspricht einer grösseren Nähe, als derjenigen, in welcher das betrachtete Objekt liegt. Sie glauben daher das bekannte Objekt näher, erhalten aber ein kleineres Netzhautbild, als es aus der falsch taxirten Entfernung entstehen müsste, und schätzen deshalb den Gegenstand für kleiner. Wo die Presbyopie auf beiden Augen verschieden stark ist, wird bisweilen bemerkt, dass dem weitsichtigeren Auge die Gegenstände kleiner erscheinen, als dem andern.

Je länger die Presbyopie währt, desto beträchtlicher wird sie auch, und die Klagen der Patienten werden sich mehren oder erneuern, wenn nicht Abhülfe geschieht und diese von Zeit zu Zeit modificirt wird. Intercurrente Krankheiten, die den ganzen Organismus erschöpft haben, können auch ein schnelleres Wachstum der Presbyopie veranlassen.

Die Hülfe besteht im Gebrauch von Convexgläsern, die angewendet werden müssen, sobald die Zeichen der Asthenopie anfangen. Dies ist die zuverlässigste Indication. Sich danach zu richten, dass  $P > 8''$  ist, und aus diesem Grunde allein Brillen

---

1) s. Vroesom de Haan, Onderzoekingen naar den invloed van der leeftijd op de gezigtsscherpte. Diss. inaug. Utrecht 1862.



zu empfehlen, ist unpraktisch und unrichtig; denn mancher, der besonders scharfsichtig ist, kann noch sehr gut lesen und schreiben, wenn auch bei ihm  $P = 10''$  und darüber ist. Ein anderer hingegen, der auch durch das Alter schwachsichtig geworden ist, verlangt kleine Schrift in eine Nähe von 6—7''. Die Zeichen der Asthenopie sind als Mahnruf für das Brillentragen sofort anzusehen, damit das Auge nicht Schaden leide, damit es conservirt bleibe. Schmerzhaft Reizbarkeit des Auges, Conjunctivitis, Hyperaemia chorioideae, Ueberblendung der Netzhaut würden die Folge der Weigerung, Convexgläser zu tragen, sein. Die geringe Bildgrösse der abnorm ferngehaltenen Objekte suchen die Presbyopen durch stärkere Beleuchtung zu compensiren. Eine mit Oel gespeiste Lampe genügt dem Presbyopen bald nicht mehr, er greift zur Petroleumlampe, bis auch diese nicht mehr ausreicht, und er die Gasflamme bevorzugt. Endlich kann er auch bei dieser nicht mehr arbeiten. Bequemt er sich nun erst zur Brille, hat oft schon seine Sehkraft gelitten, Hyperaesthesia retinae ist dann fast immer vorhanden. Bei fernsichtigen Damen wird der Arzt am meisten Widerstand gegen Brillen finden, welche sie als ein manifestes Alterszeichen (was sie auch in der That sind) perhorresciren. Eine schwache Bläuung der Gläser, die ja für kranke Augen passt, wird von den alten Augen williger angenommen.

Die passende Nummer des Convexglases ist durch Probiren mit verschiedenen Linsen auszusuchen. Gewöhnlich wird es richtig sein, wenn der Presbyop ein Glas erhält, mit welchem er in 10'' Entfernung gut lesen kann, jedoch kommen auch Ausnahmen vor, wo die Entfernung des ausdauernden Sehens von kleinen Gegenständen eine geringere ist. Eine schwache Bläuung der Brillengläser empfiehlt sich bei reizbaren Augen.

Da ja die Accommodationsbreite beschränkt ist, so kann die für die Nähe gewählte Brillennummer nicht für die Ferne passen; sie darf also auch nur bei Lesen, Schreiben etc. benutzt werden. Der Emmetrop wird also für die Ferne sein unbewaffnetes Auge gebrauchen. Der presbyopische Hyperop bedarf bisweilen für die Ferne noch eines, aber schwächeren Convexglases; der presbyopische Myop jedoch eines Concavglases. In geeigneten Fällen wird sich auch hier die Franklin'sche Brille zweckmässig erweisen.



Mit dem fortschreitenden Alter, welches ja ein Wachsthum der Pr. zur Folge hat, verlangt der Weitsichtige auch stärkere Brillen. War das Auge eines Individuum emmetropisch, so könnte man sagen, aus der Nummer seiner Brille liesse sich sein Alter erkennen. Es ist daher nicht ganz so widersinnig, die Brille nach dem Lebensalter auszusuchen, wie es früher wohl empfohlen wurde.

Nicht selten findet man für alte Leute kein Convexglas, welches das Auge in den Stand setzt, feinste Schrift zu lesen. Meist ist der Grund hiervon auch ein seniler Process im Auge, Cataracta incipiens, die erst nach künstlicher Mydriasis klar zu Tage tritt.

---

## X. Accommodationsparalyse.

Accommodationsparalyse ist die durch pathologische Prozesse bedingte Schwächung oder complete Lähmung des Musculus ciliaris.

Das dadurch hervorgerufene Hauptsymptom wird das Unvermögen sein, das Auge für die vordere Strecke seines sonstigen Accommodationsbereiches einzurichten, und wenn die Paralyse complet ist, besteht nur die Einrichtung für den Fernpunkt. Daher werden alle näher gelegenen Gegenstände nur undeutlich in Zerstreuungskreisen gesehen, welche um so mehr das Gesicht beeinträchtigen, je näher dem ursprünglichen Nahepunkte die Objekte gelegen sind. So kann der Emmetrop nur in der unendlichen Ferne deutlich sehen; der Hyperop erblickt alles in Zerstreuungskreisen; nur der Myop ist besser daran, dessen Augen in solchen Fällen doch für die endliche Ferne eingerichtet sind.

Die Klage solcher Patienten wird in allen Fällen sein, dass sie schwach-sichtig geworden seien und nicht mehr lesen, schreiben und arbeiten könnten. Nur der hochgradige Myop wird auch bei gelähmter Accomodation die Fähigkeit zu lesen nicht eingebüsst haben. Die Zeichen der accomodativen Asthenopie werden hier selten zum Vorschein kommen. Mit einem passenden Convexglase lässt sich aber Lesen und Schreiben ermöglichen, und das Sehen in der gewünschten Entfernung wird dadurch



scharf, aber nur in dieser, während in grösserer oder geringerer Entfernung das Sehen unklar bleibt; dann aber sind durch die Linse Objekte in dem natürlichen Fernpunkte undeutlich geworden. Bei completer Paralyse ist also eigentlich zu jeder verschiedenen Entfernung ein verschieden starkes Convexglas, bei Myopie auch Concavglas, erforderlich, um scharf sehen zu können.

Fast immer besteht neben der Accommodationslähmung zugleich auch Paralyse der Sphincter pupillae, indem sowohl dieser Muskel, wie der M. ciliaris mit einem Aste des Nervus oculomotorius versorgt wird, und oft die Lähmung von diesem Nerven ausgeht. Die Mydriasis verursacht aber ausser der augenscheinlichen Entstellung auch Blendung, weswegen ein solches Auge gern beschattet wird, und ferner eine bedeutende Vergrösserung der Zerstreuungskreise, so dass das Unvermögen, deutlich zu sehen, auch mit auf die Mydriasis zu schreiben ist. Eine stenopäische Brille würde auch hier das Erkennen von Objekten verbessern.

Auch Mikropsie wird aus den bei der Presbyopie schon angegebenen Gründen von intelligenten Individuen beobachtet.

Andre Erscheinungen können nur als Complicationen betrachtet werden, die ihren Grund in den ätiologischen Momenten haben und, nicht von der Accommodationsparalyse abhängig, inconstant sind, wie z. B. Lähmungen anderer Aeste des N. oculomotorius oder anderer Gehirnnerven, Zeichen einer Gehirnerkrankung, Syphilis etc.

Veranlassung zur Lähmung des Accommodationsmuskels geben stets die Paralysen oder Paresen des Nerv. oculomotorius, die sich auch auf den den M. ciliaris innervirenden Ast erstrecken, oder nur einzelner Zweige desselben. Sie können nun bloss peripherisch sein, oder wie man sich ausdrückt, rheumatischer Natur, weil Erkältungen und schneller Temperaturwechsel als Ursache ihrer plötzlichen Entstehung vorkommen. Nicht selten geht diesen Lähmungen Schmerz im Auge voraus, so dass der Insult der sensiblen Nerven seinen Ausdruck findet in der Lähmung der correspondirenden motorischen. Aber auch Contusionen des Bulbus können dasselbe bewirken, wie einige von Laurence<sup>1)</sup> beobachtete Fälle beweisen. Dass auch Diphtheritis

---

1) The optical defects of the eye. London 1865. p. 84.



des Rachens Accommodationslähmung hervorrufen kann, haben Donders <sup>1)</sup> und andere nach ihm beobachtet.

Alle diese peripherischen Lähmungen brauchen nicht immer mit mässiger Mydriasis, welche bei reiner Oculomotoriusparalyse nie excessiv vorkommt, complicirt zu sein. Bei toxischer Paralyse jedoch, wie sie durch den innern Gebrauch oder noch besser durch die örtliche Anwendung von Atropa Belladonna, Hyoscyamus oder Datura Stramonium <sup>2)</sup> hervorgerufen wird, geht der Accommodationsparalyse immer erst die Mydriasis des betreffenden Auges voraus. Ehe sich nicht die Iris zu einem ganz schmalen Saume zusammengezogen hat, welches auch auf Reizung des den Dilatator pupillae innervirenden N. sympathicus deutet, kommt keine Accommodationslähmung zu Stande. So aber kann man eine vollständige Accommodationsparalyse erzielen, so dass mit Hülfe dieses Mittels ganz genau der Fernpunkt bestimmt werden kann, indem jede Accommodationsthätigkeit aufgehoben ist.

Sind aber nicht nur die zum M. ciliaris und zur Iris gehenden Aeste des N. oculomotorius gelähmt, sondern die meisten oder alle seine Aeste, oder sind auch noch andre Gehirnnerven paralytirt, oder bemerken wir einen Wechsel in diesen Lähmungserscheinungen, so dass bald am einen bald am andern Augenmuskel Lähmung auftritt und verschwindet — dann haben wir es nicht mit peripherischer, sondern mit centraler Paralyse zu thun, mit Veränderungen im Gehirn, welche mit Wahnsinn gepaart sein können, mit Apoplexia, Malacia, Tumoren, Exsudaten, oder mit pathologischen Processen an der Basis cranii, wie syphilitische Periostitis oder Caries, Exostosen, Tuberkeln, seltner mit

---

1) Archiv f. holländ. Beiträge zur Natur- und Heilkunde von Donders und Berlin. Bd. II. Hft. 4.

2) Die mydriatische Wirkung der Belladonna war schon im Altherthume bekannt, doch später wieder in Vergessenheit gerathen. Erst 1801 fand Himly dieselben wieder bei Hyoscyamus auf und führte die Mydriatica in die Augenheilkunde ein. Zunächst bediente man sich besonders des Extract. Hyoscyami oder Belladonnae. Als aber das Alkaloid der letztern, Atropin, hergestellt wurde, gebrauchte man ausschliesslich die wässrige Lösung von Atrop. sulph., welche gr. IV auf 1 Unze Aq. destill. zu therapeutischen Zwecken wiederholt in den Conjunctivalsack geträufelt wird. Wells (Philosoph. Transact. 1811. Tom. I. p. 378) erkannte zuerst den lähmenden Einfluss des Mydriaticum auf die Accommodation.



Geschwülsten in der Orbita, welche als diagnostisches Merkmal den Exophthalmus darbieten müssten.

Auch allgemeine Schwächezustände erzeugen Accommodationsparalyse, so erschöpfende Krankheiten, starke Blutverluste, Diabetis mellitus.

Heilung ist nur bei den peripherischen Accommodationslähmungen zu erzielen, während die centralen kaum eine Herstellung erwarten lassen und auch gegen das Grundleiden von untergeordneter Bedeutung sind. Gegen die sogenannten rheumatischen Lähmungen werden sich hülfreich erweisen schweiss-treibende Mittel, Vesicantien, Uebungen mit gerade für das Lesen ausreichenden, verhältnissmässig schwachen Convexgläsern<sup>1)</sup>, die allmählich bei wachsender Accommodationsthätigkeit mit schwächeren vertauscht werden müssen, und vor allen Dingen die wiederholte Application von Lösungen des Calabarbohlenextractes in den Conjunctivalsack. Von der Elektrizität ist hingegen wenig zu erwarten. Ist der Lähmung Schmerz vorausgegangen, so ist vor allen Dingen eine hypodermatische Injektion von Morph. acet. gr.  $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{2}$  in die Schläfengegend zu versuchen, welche in solchen Fällen noch mehr, wie die Calabarbohne leisten kann. Wo ein Trauma oder Diphtheritis die Veranlassung abgab, werden Convexgläser und Extr. fabae Calabar. anzuwenden sein, nur darf man nach Diphtheritis die Roborantien nicht vergessen.

Die toxische complete Accommodationsparalyse schwindet nach ungefähr acht bis zwölf Tagen vollständig von selbst, doch kann ihre Dauer durch Calabarbohlenextract sehr erheblich abgekürzt werden. Uebrigens vorübergehenden Nutzen wird man auch im Beginn von centralen Lähmungen durch Extr. fab. Calabar. erzielen.

---

1) Die Convexgläserkur, wie sie Fronmüller 1857 gegen gewisse Formen des schwarzen Staars empfiehlt, ist von ihm selbst ohne sein Wissen mit Erfolg gegen Accommodationsparalyse angewendet; die 3. und 4. Beobachtung, von denen er zehn in seiner kleinen Abhandlung publicirt, beweisen dies auf's Deutlichste.



## XI. Accommodationsspasmus.

Unter Accommodationsspasmus versteht man die stärkere oder geringere Contraktur des M. ciliaris, welche durch den Willen nicht aufgehoben werden kann. Hierdurch ist die Accommodationsbreite von Seiten des Fernpunktes her beschränkt. Die ursprüngliche Refraction kann demnach dabei nie zur Geltung kommen.

Die dadurch bewirkten Sehstörungen sind für den Patienten lange nicht so hinderlich, wie bei der Accommodationsparalyse; denn für die Nähe bleibt das Auge brauchbar. Der Emmetrop büsst durch jenen Spasmus seine Fernsicht ein, er wird gleichsam myopisch. Der Myop ist etwas schlimmer daran, da derselbe dann nur auf seinen Nahepunkt und ein kleines diesem anstossendes Accommodationsgebiet beschränkt ist. Der Hyperop jedoch braucht in Folge des Accommodationsspasmus gar keine Sehstörung zu empfinden, wenn ihm nämlich nur sein eigenes negatives Accommodationsbereich verloren ist, welches ja für die nicht mit Convexgläsern bewaffneten Augen gar keinen Nutzen hat. Und gerade eine solche Accommodationsbeschränkung findet sich verhältnissmässig häufig. Ferner ist der Accommodationsspasmus nie so beträchtlich gefunden worden, dass die Einrichtung nur für den Nahepunkt vorhanden und möglich wäre, eine, wenn auch kleine, Accommodationsbreite bleibt stets übrig. Von grosser Bedeutung für die Verringerung der Sehstörung ist die als Complication wohl immer vorhandene Verengerung der Pupille, die Miosis<sup>1)</sup>, welche die Zerstreuungskreise auf ein geringes Maass

---

1) Besser noch Meiosis. Die Schreibweise Myosis, zwar jetzt allgemein üblich, ist falsch. Das Wort *μυωσις* sucht man bei den alten Schriftstellern vergeblich; erst in der neuesten Zeit findet es sich und wird dann mit Unrecht von *μύειν* (schliessen) abgeleitet. Gerade der Pupillenverschluss, Synizesis pupillae, wird von der Miosis unterschieden. Aber wohl findet sich bei den Alten *μείωσις* (Verkleinerung) abzuleiten von *μείων* (kleiner), welches dann seinem früher allein gebräuchlichen Synonym Phthisis pupillae ganz entspricht. Beweisend hierfür ist in den dem Galenus zugeschriebenen Definitiones medicae folgende Stelle: *φθίσις ἐστὶ μείωσις τῆς κόρης μετὰ ἀμυρώσεως* (Claudii Galeni opera ed. Kühn Tom. XIX. p. 435).



zurückführt und so auch ein leidliches Sehen in solchen Entfernungen zulässt, für welche das Auge nicht eingerichtet ist. Concavgläser werden das Sehen in die Ferne bei Emmetropen und Myopen verbessern, während bei Hyperopen dieselben nur dann anwendbar sind, sobald das durch den Spasmus eingebüsste Stück der Accommodationsbreite nicht bloss negativer Natur ist.

Ein zweites Symptom, die als Complication vorkommende Miosis pupillae, ist oben schon erwähnt; das Pupillarspiel ist durch sie jedoch nicht ganz aufgehoben. Von dem Accommodationsspasmus abhängig ist die Makropsie. Intelligentere Patienten bemerken nämlich, dass ihrem kranken Auge die Gegenstände grösser erscheinen, als ihrem normalen; denn gewöhnlich ist nur ein Auge so afficirt. Es beruht dies auf der unbewussten stärkeren Spannung des M. ciliaris, auf welchen ein Willensimpuls einwirkt, der einer grösseren Entfernung entspricht, als der, wo sich das Objekt wirklich befindet. Patient glaubt daher den Gegenstand ferner liegend, da er aber ein der wirklichen Nähe angemessen grosses Netzhautbild erhält, erscheint ihm das Objekt grösser.

Der Accommodationsspasmus kommt viel seltener vor, als die Paralyse, und auch nicht so complet wie diese. Man kennt nach der Aetiologie einen hyperopischen und einen toxischen Accommodationsspasmus. Der erstere wurde schon bei der latenten Hyperopie erwähnt. Er kommt nämlich bei den geringen Graden von H vor, so dass das negative Accommodationsgebiet gar nicht zur Anwendung kommen kann, weil dem M. ciliaris die hierzu nöthige Entspannung nicht gestattet wird. Der Ciliarmuskel bleibt in Contraktion und kann auch später, selbst wenn starke Convexgläser vor das Auge gehalten werden, dieselbe nicht aufgeben.

Ein viel vollkommenerer Spasmus wird durch die topische Anwendung des Extractes der Calabarbohne<sup>1)</sup> erreicht. Sowohl der

---

1) Die Calabarbohne, *Physostigma venenosum*, wurde, von der Westküste Afrikas hergebracht, in ihren physiologischen Wirkungen zuerst 1846 durch Daniell geprüft; van Hasselt fand 1857 als Hauptsymptom ihrer Allgemeinwirkung die Miosis. Fraser berichtet in seiner Inauguraldissertation (Edinburg 1862) von der miotischen Wirkung des in den Conjunctivalsack applicirten Mittels, und endlich Robertson fand 1863 die Einwirkung der Calabarbohne auf die Accommodation. Bis jetzt wendet man gewöhnlich das alkoho-



Nahepunkt wie der Fernpunkt rücken nach Anwendung der Calabarbohne dem Auge näher, doch so, dass der durch das Heranrücken des Nahepunktes erlangte Gewinn an Accommodationsbreite geringeren Werth hat, als der durch das Heranrücken des Fernpunktes entstandene Verlust. So kommt auch eine Verringerung der Accommodationsbreite zu Stande, welche aber bei Nachlass der toxischen Wirkung in das Gegentheil umschlägt, indem der Fernpunkt schneller wieder seinem normalen Standort zueilt, als der Nahepunkt. Die Reducirung der Accommodationsbreite auf 0, wie durch das Atropin, ist durch das Extr. fab. Calabar. nicht zu erreichen; sein Alkaloid möchte wohl stärker wirken.

Besonders auffällig ist die excessive Miosis; die Pupille contrahirt sich bis auf eine Oeffnung von  $\frac{3}{4}$ ''' . Die Miosis tritt etwas früher, als die Spannung des Ciliarmuskels auf und kann sogar ziemlich vollständig bestehn, ehe eine Einwirkung auf die Accommodation Statt findet. Ebenso ist auch die Miosis von viel längerer Dauer, als der Accommodationsspasmus. Bei der Anwendung von starker Extractlösung währt die erstere 3—4 Tage, die letztere nur 2 Stunden.

Gegen den hyperopischen Accommodationsspasmus einzuschreiten, hat nur einen diagnostischen Werth; der toxische Spasmus schwindet von selbst nach wenig Stunden. Schon schwache Lösungen von Atrop. sulph. heben schnell den letzteren auf; gegen die latente Hyperopie sind aber starke Lösungen wiederholt zu gebrauchen.

---

## XII. Aphakie.

Die Aphakie<sup>1)</sup>, die Entfernung der Krystalllinse aus dem Auge oder doch aus dem Pupillargebiet, so dass sie aufhört ein Theil des dioptrischen Apparates zu sein, wird sich in Bezug auf die

---

lische Extract der Bohne an, in Wasser oder Glycerin gelöst (gr. VIII auf 1 Unze). Durch die wässrige Lösung wird das Auge weniger irritirt, doch hält sie sich schlechter, als die in Glycerin.

1) Von *a* privativum und *φακός* (Linse) abgeleitet; ein Name, den ebenfalls Donders eingeführt hat.



Funktionen des Auges nach zwei Seiten hin äussern. Erstlich wird der Refraktionszustand des Auges erheblich verringert, und zweitens ist jegliche Accommodationsbreite aufgehoben. Der Ciliarmuskel kann in normaler Kraft, ohne Paralyse vorhanden sein, aber die Linse, deren Gestalt er verändern soll, fehlt. Ein aphakisches Auge ist also übersichtig und accommodationsunfähig zugleich, wie die neuesten Untersuchungen hinlänglich bewiesen haben.

Das Fehlen der Linse manifestirt sich aber ferner noch durch das Irisschlottern, durch den Mangel der Reflexbildchen der Linsenkapsel und meistens auch durch bei seitlicher Beleuchtung deutliche Kapselreste.

Die Aphakie entsteht entweder durch ein zufälliges Trauma, wodurch die Linse verletzt und allmählich resorbirt wurde, oder durch die beabsichtigte Staaroperation. Seltener begegnet man der Luxatio lentis pellucidae, welche man bisweilen bei Verflüssigung des Glaskörpers findet.

Die im dioptrischen System fehlende Linse muss durch eine Convexbrille von bedeutender Stärke ersetzt werden. Es sind dies die sogenannten Staarbrillen. Die mangelnde Accommodation kann aber nicht ersetzt werden, und deswegen sind für die verschiedenen Entfernungen verschieden starke Gläser zu gebrauchen. Die bei Aphakie für das Lesen nothwendige Brillennummer wird gewöhnlich zwischen convex  $2\frac{1}{2}$  und 5 zu suchen sein, die Staarbrillen für die Ferne haben schwächere Nummern; bei ursprünglicher starker Myopie können letztere nach Verlust der Linse bisweilen ganz entbehrt werden. Auch hier ist das Ausprobiren unerlässlich.

Das Nähere hierüber findet sich schon bei der Hyperopie erwähnt.

---







# Register.

|                                         | Seite  |                                         | Seite  |
|-----------------------------------------|--------|-----------------------------------------|--------|
| <b>A</b> ccommodation, active . . . . . | 38     | Brille, periskopische . . . . .         | 59     |
| Accommodationsbreite . . . . .          | 44     | „ stenopäische . . . . .                | 77     |
| „ absolute . . . . .                    | 50     | Brillennummer . . . . .                 | 14, 17 |
| „ relative . . . . .                    | 50     | <b>C</b> ardinalpunkte . . . . .        | 23     |
| Accommodationsparalyse . . . . .        | 94     | Centrirt (dioptr. Apparat) . . . . .    | 20     |
| Accommodationsspasmus . . . . .         | 98     | Concavlinse . . . . .                   | 14     |
| Accommodationsvermögen . . . . .        | 42     | Convexlinse . . . . .                   | 10     |
| Accommodiren . . . . .                  | 34     | <b>D</b> ioptrik des Auges . . . . .    | 27     |
| Amblyopie . . . . .                     | 40     | Distinctionswinkel . . . . .            | 39     |
| Ametropie . . . . .                     | 51     | <b>E</b> infallslöth . . . . .          | 2      |
| Aphakie . . . . .                       | 100    | Einfallspunkt . . . . .                 | 2      |
| Asthenopie . . . . .                    | 64, 65 | Einfallswinkel . . . . .                | 2      |
| Astigmatismus . . . . .                 | 69, 73 | Emmetropie . . . . .                    | 41     |
| „ Grad des . . . . .                    | 74     | <b>F</b> ernpunkt . . . . .             | 42     |
| Auge, reducirtes . . . . .              | 31     | „ , absoluter . . . . .                 | 50     |
| Auge, schematisches . . . . .           | 30     | Focaldistanz . . . . .                  | 11     |
| Axe, secundäre . . . . .                | 18     | Focalebene . . . . .                    | 20     |
| Axenstrahl . . . . .                    | 11     | Focus . . . . .                         | 11     |
| <b>B</b> athymorphie . . . . .          | 52     | Franklin's Brille . . . . .             | 69, 93 |
| Bild, virtuelles od. ideelles . . . . . | 20     | <b>G</b> esichtswinkel . . . . .        | 39     |
| Bild, wirkliches od. reelles . . . . .  | 20     | <b>H</b> auptbrennpunkt . . . . .       | 11, 23 |
| Brechungsexponent . . . . .             | 3      | Hauptebene . . . . .                    | 25     |
| Brechungsindex . . . . .                | 3      | Hauptpunkt . . . . .                    | 23     |
| Brechungsvermögen . . . . .             | 3      | Hauptstrahl . . . . .                   | 6      |
| Brechungswinkel . . . . .               | 2      | Hebetudo visus . . . . .                | 65     |
| Brennebene . . . . .                    | 25     | Helligkeit des Netzhautbildes . . . . . | 39     |
| Brennpunkt . . . . .                    | 11, 15 | Homocentricität des Lichtes . . . . .   | 5      |
| Brennstrecke . . . . .                  | 70     | Hypermetropie . . . . .                 | 60     |
| Brennweite . . . . .                    | 11     | „ , absolute . . . . .                  | 63     |
| Brille, blaue . . . . .                 | 59     | „ , facultative . . . . .               | 63     |



# Register.

|                                           | Seite  |                                                  | Seite  |
|-------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------|--------|
| Hypermetropie, latente . . . . .          | 61     | Nahepunkt, absoluter . . . . .                   | 50     |
| „ , manifeste . . . . .                   | 61     | Nebenaxe . . . . .                               | 18     |
| „ , relative . . . . .                    | 63     | Nebenstrahl . . . . .                            | 6      |
| „ , totale . . . . .                      | 63     | <b>O</b> ptometer . . . . .                      | 45, 50 |
| <b>K</b> notenebene . . . . .             | 25     | <b>P</b> latymorphie . . . . .                   | 63     |
| Knotenpunkt . . . . .                     | 20, 23 | Presbyopie . . . . .                             | 91     |
| Kopiopie . . . . .                        | 65     | „ , Grad der . . . . .                           | 91     |
| Kreuzungspunkt . . . . .                  | 20     | Prisma . . . . .                                 | 4      |
| Kurzsichtigkeit . . . . .                 | 51     | Purkinje-Sanson'sche Flammen-                    |        |
| <b>L</b> inse, cylindrische . . . . .     | 80, 83 | bildchen . . . . .                               | 35     |
| „ , sphärische . . . . .                  | 10     | <b>R</b> eflexbildchen des Auges . . . . .       | 35     |
| „ , sphärisch-cylindrische . . . . .      | 84     | Refraction . . . . .                             | 41     |
| Linsenaxe . . . . .                       | 10     | <b>S</b> ammellinse . . . . .                    | 11     |
| Linsencentrum, optisches . . . . .        | 18     | Schärfe des Netzhautbildes . . . . .             | 40     |
| <b>M</b> akropsie . . . . .               | 99     | Schriftproben . . . . .                          | 46     |
| Meniscus . . . . .                        | 16     | Sehschärfe . . . . .                             | 47     |
| Meridianasymmetrie . . . . .              | 69     | Staarbrille . . . . .                            | 101    |
| Mikropsie . . . . .                       | 92, 95 | Strabismus in Folge von Hypero-                  |        |
| Minimum des Distinctionswinkels . . . . . | 39     | pie . . . . .                                    | 66     |
| Miosis . . . . .                          | 98     | Strabismus in Folge von Myopie . . . . .         | 54     |
| Musculus ciliaris . . . . .               | 37     | <b>U</b> ebersichtigkeit . . . . .               | 60     |
| Mydriasis . . . . .                       | 96     | <b>V</b> ereinigungspunkte, conjugirte . . . . . | 12     |
| Myopie . . . . .                          | 51, 53 | <b>W</b> eitsichtigkeit . . . . .                | 91     |
| „ , Grad der . . . . .                    | 51     | Wollaston's Brillen . . . . .                    | 59     |
| „ , progressive . . . . .                 | 55     | <b>Z</b> erstreuungskreise . . . . .             | 33     |
| „ , stationäre . . . . .                  | 55     | „ , Grösse der . . . . .                         | 43     |
| <b>N</b> ahepunkt . . . . .               | 42     | Zerstreuungslinse . . . . .                      | 14     |