Zur Theorie der skiaskopischen Schattendrehung bei Astigmatismus.

Von

Dr. M. Weinhold
in Plauen.

Mit 6 Figuren im Text.

Die Frage der Schattendrehung beim Skiaskopieren von astigmatischen Augen mit schrägen Achsen ist neuerdings öfters behandelt worden, zuletzt wohl von Dr. A. Borschke im Archiv für Augenheilkunde, Bd. LII, Juniheft. Dieser Autor betont die wohl zuerst von Wolff hervorgehobene Wichtigkeit einer strichförmigen Lichtquelle und gibt hübsch anschauliche Bilder für die bei verschiedenen Formen der Lichtquelle möglichen Beobachtungsfehler. Zur Herstellung eines geradlinig begrenzten Lichtbildes auf der Netzhaut des Untersuchten benutzt er das von ihm angegebene Achsenskiaskop; dessen Prinzip beruht darauf, dass bei beliebiger, am besten runder Lichtquelle ein zylindrischer Spiegel benutzt wird von derartiger Krümmung, dass die eine Achse ein Bild der Lichtquelle in der Pupillarebene des Untersuchten entwirft. Wenn man kein Achsenskiaskop zur Verfügung hat, kann man sich dies dadurch ersetzen, dass man einen Planspiegel benutzt und auf dessen Spiegelfläche einen Konvexzylinder aus dem Brillenkasten legt.

An dieser Stelle sei ein kleines Versehen richtig gestellt, das Borschke in seiner Arbeit untergelaufen ist, ohne freilich die Richtigkeit seiner weiteren Ausführungen zu beeinträchtigen. Er sagt: Für Fig. 3 A, das Bild des Spiegels und des in ihm erscheinenden Lichtstreifens auf der Netzhaut des Untersuchten, „ist angenommen, dass das Auge des Untersuchten auf die Spiegelebene eingestellt ist. Wenn dies nicht der Fall ist, so erscheint das gleiche Bild in Zerstreuungskreisen, deren Grösse abhängig ist einerseits von der Weite der Pupille, anderseits von der Entfernung der Netzhaut von dem scharfen Spiegelbild“. Für das Netzhautbild des Spiegels trifft dies zu, für das des Lichtstreifens aber nicht ganz insofern, als dieser nicht bei Akkommodation auf die „Spiegelebene“, sondern auf grössere Entfernung

scharf erscheint, da bekanntlich bei Planspiegeln der Gegenstand um so viel hinter dem Spiegel zu liegen scheint, als er in Wirklichkeit davor liegt; der Zylinderspiegel aber wirkt als Planspiegel in allen durch seine Achse gelegten Ebenen. Wird er z. B. so gehalten, dass seine Achse senkrecht steht, so erscheint darin die kreisrunde Lichtquelle als wagerechtes Lichtband, dessen obere und untere Grenze durch die Linien gebildet werden, die durch Abbildung des obersten und untersten Peripheriepunktes der Lichtquelle dort entstehen, wo bei einem Planspiegel diese Punkte sich abbilden würden, d. h. dahinter.

Von der Richtigkeit des Gesagten kann man sich leicht auf folgende Weise überzeugen: Man setzt sich an die Stelle des Untersuchten und hält den Zylinderspiegel an die Stelle, wo ihn der Beobachter hält; dann sieht man bei Akkommodation auf den Spiegel den Lichtstreifen unscharf begrenzt; bei Einstellung des Auges auf diesen hingegen erscheint der Spiegel unscharf. Auf dieselbe Weise kann man sich auch davon überzeugen, dass, wie Borschke schreibt, auch bei Astigmatismus mit schrägen Achsen das Lichtbild „nach wie vor die Bandform und seine ursprüngliche Richtung“ beibehält; man braucht nur ein Zylinderglas unmittelbar vors Auge zu setzen; dann erscheint der Lichtstreifen im Spiegel natürlich senkrecht zu der Zylinderachse verzerrt, die nunmehr unscharfe Begrenzung des Lichtstreifens aber parallel der ursprünglichen scharfen, welche Richtung auch immer die Achse des vors Auge gesetzten Zylinders haben mag. Wenn, um beim obigen Beispiele zu bleiben, im senkrecht gehaltenen Zylinderspiegel der Untersuchte die kreisrunde Lichtquelle als wagerechten Lichtstreifen sieht, so erscheint ihm dieser nach Vorsetzen des schrägen Zylinders immer noch als wagerechtes, wenn auch unscharfes Lichtband; daraus folgt, dass sich dieses auch jetzt noch wagerecht auf der Netzhaut des Untersuchten abbildet, sonst könnte er es eben nicht wagerecht sehen. Zu Demonstrationszwecken kann man den Versuch am einfachsten auf folgende Art anstellen: Man nimmt eine Camera obscura, deren eine Seitenwand entfernt ist, so dass man die Hinterwand übersehen kann, oder die als Hinterwand eine photographische Mattscheibe trägt; in diese Camera wirft man das Licht einer womöglich kreisrunden Lichtquelle mit Hilfe eines Planspiegels, an dessen Spiegelfläche man einen Konvexzylinder aus dem Brillenkasten hält, z. B. mit senkrechter Achse; dann erscheint, je nach der Einstellung scharf oder unscharf, das Bild des Spiegels auf der Hinterfläche der Camera und in diesem Bilde ein wagerechter Lichtstreifen; dreht man nun den Spiegel um die senkrechte, wagerechte oder eine schräge Achse, so verschiebt sich natürlich der Lichtstreifen, aber immer parallel zu sich selbst. Hält man nun ein Zylinderglas an das Objektiv der Camera, das dadurch astigmatisch wird, so erscheint der Lichtstreifen senkrecht zur Achse des Zylinders auseinandergezogen, bleibt aber gleichwohl ebenfalls wagerecht. Blickt man aber durch den mit dem Zylinder versehenen Spiegel in die Vorrichtung hinein und dreht ihn um seine senkrechte Achse, mit andern Worten: skioskopiert man das Phantom, so erhält man eine schräge, sich bei den Spiegeldrehungen parallel zu sich selbst verschiebende Schattengrenze, ausser wenn die Achse des vor die Camera gesetzten Zylinders gerade senkrecht oder wagerecht steht. Auf diese Weise ist die Versuchsanordnung für Unter-

richtszwecke sehr instruktiv. Natürlich hat man dabei zu beachten, dass bei wagerechtem Netzhautbilde sich auf der Stirnfläche des Phantoms, wie des Untersuchten, ein senkrechtes Lichtband darstellt. Dessen Breite ist durch die Brechkraft des Zylinderspiegels bedingt und seine Länge durch die Höhe des Spiegels, sowie durch dessen Abstand einerseits von der Stirnfläche, anderseits von der Lichtquelle.

Wir können somit durch den Versuch bestätigen, dass, wie Borschke sagt, die Schattendrehung bei regulärem Astigmatismus mit schrägen Achsen, nicht durch eine Verzerrung des Lichtbildes bedingt ist. Aber mit seiner Erklärung, die Schattendrehung sei „begründet durch eine astigmatische Verziehung des Spiegellochbildes und somit des Gesichtsfeldes“, kann ich mich nicht recht einverstanden erklären. Denn das Bild des Spiegelloches spielt bei der Skiaskopie überhaupt keine Rolle. Dass dem so ist, lässt sich ohne weiteres zeigen: entweder man skiaskopiert, indem man statt durch das Loch des Planspiegels unmittelbar am Rande des Spiegels vorbeivisuiert, oder man benutzt statt des Spiegels einfach ein Stück Fensterglas oder besser einige blankgeputzte, aufeinander gelegte Objektträger, nach dem Prinzipie des alten Helmholtz'schen Spiegels. Auf diese sehr primitive Weise kann man tadellos skiaskopieren; aber mindestens hierbei kann die Erscheinung der Schattendrehung nicht „durch eine astigmatische Verziehung des Spiegellochbildes“ erklärt werden, denn wo überhaupt kein Spiegelloch vorhanden ist, kann auch dessen Bild nicht astigmatisch verzogen werden.

Borschke wirft der Wolff'schen Arbeit vor, dass bei der Abhandlung über das skiaskopische Gesichtsfeld Präzision mangle. Diesen Vorwurf kann man auch gegen ihn erheben, da die von ihm in seiner Fig. 1 auf S. 163 a. a. O. gegebene Konstruktion des einfachen Gesichtsfeldes, die er unter der Voraussetzung, dass der Radius des Spiegelloches gleich Null ist, entwirft, nur unter der weitem Voraussetzung richtig ist, dass das untersuchte Auge auf dieses Spiegelloch akkommodiert. Diese Annahme wird erst mehrere Seiten weiter hinten (S. 166, Absatz 4) gemacht; und nur unter dieser Voraussetzung werden die aus dem Auge des Beobachters kommenden und durch das punktförmig gedachte Spiegelloch gehenden Sehstrahlen im Auge des Untersuchten derart gebrochen, dass sie sich in dessen Netzhautebene n_3 wieder in einem Punkte schneiden; in diesem Falle aber bildet sich, wie oben dargestellt, der Lichtstreifen unscharf ab. Doch wollen wir auf die Borschkesche Arbeit nicht näher eingehen.

Die Erklärung des Phänomens der Schattendrehung durch die astigmatische Verziehung des Spiegelloches und damit des skiaskopischen Gesichtsfeldes mussten wir also ablehnen. Die Tatsache, dass beim Skiaskopieren astigmatischer Augen mit schrägen Achsen (man verzeihe der Kürze wegen diesen eigentlich falschen, aber wohl allgemein üblichen Ausdruck!) die Richtung der Schattengrenze mit der Richtung der Achse, um die wir den Spiegel drehen, meist nicht übereinstimmt und beim Vorsetzen verschiedener sphärischer Gläser sich ändert, diese Tatsache also ist nur ein besonderer Fall aus einer

Reihe von Erscheinungen, die sich mühelos auf die einfachsten Tatsachen der Optik zurückführen lassen. Wir können uns das astigmatische Auge durch ein normales ersetzt denken, dem ein Zylinder-
glas unmittelbar vorgesetzt ist. Werfen wir nun mit einem beliebigen Spiegel Licht einer beliebigen Lichtquelle in das Auge, so entsteht auf der Netzhaut ein belichtetes Feld; von diesem Felde sehen wir, wenn wir unser Auge annähernd in die Richtung der vom Spiegel ausgehenden Lichtstrahlen bringen, durch die Pupille hindurch einen Teil, der die Pupille ganz oder nur teilweise ausfüllt; im letztern Falle bleibt ein Stück derselben dunkel. Die Grenze des belichteten Feldes gegen den unbelichteten Teil der Netzhaut ist, da es sich um Begrenzung von Flächen handelt, eine, scharfe oder unscharfe, Linie. Mit Drehung des Spiegels wandert das belichtete Feld und damit dessen Grenzlinie. Wie dieses Feld und seine Grenzlinie entsteht, kann uns für unsere vorliegende Frage ganz gleichgültig sein; wir wollen nur der Vereinfachung wegen annehmen, diese Linie sei eine Gerade, auf welche Weise diese Annahme zu verwirklichen ist, davon war oben die Rede. Es handelt sich also jetzt ganz allgemein um folgendes: Wir erblicken durch ein (vor das als normal angenommene Auge vorgesetzt gedachtes) Zylinder-
glas eine Gerade, und es fragt sich nun, wie erscheint uns diese Gerade? Auf diese Weise ist die scheinbar so verwickelte Frage der Schattendrehung beim Skioskopieren schräg astigmatischer Augen auf ein sehr einfaches und allgemeines Problem zurückgeführt, über das wir uns mit bequemen Mitteln Aufschluss verschaffen können.

1. Versuch: Wir entnehmen dem Brillenkasten ein Zylinder-
glas, z. B. einen Konvexzylinder, halten dieses Glas senkrecht und mit wagerechter Achse und blicken hindurch nach einer senkrechten Linie. Am besten nehmen wir dazu die Trennungslinie zweier senkrechter, verschieden gefärbter Felder, etwa eines schwarzen und eines weissen. Die Linie erscheint scharf und bleibt scharf und an ihrem Orte, wenn wir unsern Kopf oder das Zylinder-
glas in beliebiger Weise, von links nach rechts, von oben nach unten, von uns weg oder auf uns zu bewegen. Der Grund hierfür ist ohne weiteres klar und aus dem Grundgesetze der Dioptrik abzuleiten, dass bei dioptrisch wirksamen Gläsern die durchgehenden Lichtstrahlen von der brechenden Kante abgelenkt werden und durch die Gläser gesehene Punkte nach der brechenden Kante hin verschoben erscheinen. Der Zylinder aber ist als ein Doppelprisma anzusehen, dessen Hälften die Basis gemeinsam haben und deren Brechkraft von der Basis

nach der Kante stetig zunimmt. In unserem Versuche nun bleibt der Mittelpunkt der senkrechten Linie unverändert, weil der Mittelpunktstrahl ungebrochen durch den Zylinder hindurchgeht; jeder andere Punkt erscheint aber nach der brechenden Kante zu, d. h. die höher gelegenen Punkte nach oben, die tiefer gelegenen nach unten senkrecht verschoben; eine seitliche Verschiebung findet, wenn wir die Dicke des Glases vernachlässigen, nicht statt; die senkrechte Linie erscheint unverändert senkrecht und scharf, vorausgesetzt, dass man auf sie akkommodiert. Verschieben wir den Zylinder nach rechts oder links, oben oder unten, vorn oder hinten, so ändert sich nichts an der Erscheinung.

2. Versuch: Wir halten den Zylinder wieder so, dass die Achse horizontal steht, und zwar zunächst in eine Entfernung, die grösser ist als seine Brennweite. Wir blicken jetzt durch ihn nach einer horizontalen Linie. Liegt diese in einem Abstände vom Glase, der kleiner ist als dessen Brennweite, so sehen wir sie scharf, wenn wir auf sie akkommodieren; in der Brennweite des Glases scheint sie in Akkommodationsruhe scharf. Ist die Linie noch weiter entfernt, so erscheint sie unscharf, da die von jedem Punkte derselben ausgehenden und in der Meridianebene verlaufenden Strahlen nach dem Durchgange durch den Zylinder konvergent sind, so dass sie sich vor der Netzhaut vereinigen; jeder Punkt der Linie wird zu einem senkrechten Strich auseinander gezogen, die ganze Linie erscheint also als ein wagerechtes verwaschenes Band. Wird die Linie noch weiter entfernt, so erscheint sie allmählich wieder schärfer und kann bei entsprechender Akkommodation ganz scharf erscheinen, wenn die aus dem Glase austretenden Strahlen so stark konvergent sind, dass das jetzt zwischen Glas und Auge entstehende reelle Bild der Linie innerhalb des Akkommodationsgebietes des Beobachters liegt. Die Linie erscheint immer noch wagerecht, aber Oben und Unten ist vertauscht; ist z. B. das Feld über der Linie schwarz, das unter ihr weiss, so erscheint jetzt das untere schwarz und das obere weiss; Rechts und Links ist aber nicht vertauscht. Bewegen wir das Zylinderglas nach rechts oder links, so wird an der ganzen Erscheinung natürlich nichts geändert; verschieben wir aber das Glas in senkrechter Richtung, so bewegt sich die Linie, wenn innerhalb der Brennweite gelegen, in entgegengesetzter Richtung, wenn jenseits des Brennpunktes, in gleicher Richtung wie das Glas, bleibt aber immer wagerecht. Die bisher besprochenen Fälle liegen bei der Skiaskopie dann vor, wenn die Achse, um die der Spiegel gedreht wird, parallel

dem Meridian der stärksten oder der schwächsten Krümmung des astigmatischen Auges ist.

Bis jetzt nahmen wir an, dass das Auge um mehr als die Brennweite vom Zylinder entfernt sei. Befindet es sich aber innerhalb der Brennweite, so findet eine Umkehr des Bildes nicht statt, nur ist die wagerechte Linie um so verschwommener, um so mehr in senkrechter Richtung auseinander gezogen, je weiter sie vom jenseitigen Brennpunkte entfernt ist; liegt sie näher als dieser, so kann man sie natürlich mit Hilfe der Akkommodation scharf sehen. Der Fall, dass das Auge innerhalb der Brennweite steht, ist beim Tragen zylindrischer Brillengläser verwirklicht.

3. Versuch: Wir blicken durch den wieder senkrecht mit wagerechter Achse gehaltenen Zylinder nach einer Geraden, die in senkrechter Ebene liegend gegen den Horizont um einen spitzen

Fig. 1.

Fig. 2.

Winkel geneigt ist. (Dies stellt eine Vereinigung der Versuche 1 und 2 dar. Um das zu verdeutlichen, zeichnen wir noch eine senkrechte und eine wagerechte Gerade, die sich und die schräge Linie im Fixierpunkte kreuzen, siehe Fig. 1.) Das Auge sei zunächst wiederum um mehr als die Brennweite vom Glase entfernt. Halten wir jetzt die Zeichnung unmittelbar hinter das Zylinderglas, so erscheint sie unverändert; je mehr wir sie aber vom Glase und damit von unserem Auge entfernen, desto mehr verschwimmt die schräge Linie und zugleich richtet sie sich immer mehr auf, bis zur senkrechten Lage und darüber hinaus, siehe Fig. 2 bis 4. Ist die Linie der Zeichnung mit dem obern Ende nach rechts geneigt, so dreht sie sich entgegen dem Uhrzeiger; verläuft sie von links oben nach rechts unten, so dreht sie sich im Sinne des Uhrzeigers. Verschieben wir jetzt bei bestimmter Entfernung unseres Zylinderglases von der Linie dieses in der Frontalebene von links

nach rechts, d. h. parallel der Achse, so ändert das gedrehte Linienbild seine Lage im Raume nicht; verschieben wir das Glas in schräger Richtung parallel der schrägen Linie unserer Zeichnung, so verschiebt sich das gedrehte Linienbild parallel mit sich selbst genau so, wie das Glas, so dass es zu diesem dieselbe Lage behält. Bewegen wir ferner das Glas in senkrechter Richtung auf und ab, so wandert auch das gedrehte Bild in senkrechter Richtung in gleichem oder entgegengesetztem Sinne, je nachdem, ob sich die Linie der Zeichnung ausserhalb oder innerhalb der Brennweite befindet; immer aber bleibt das gedrehte Bild sich selbst parallel. (Man wolle die Versuche an der Hand der Fig. 1 anstellen.) Wir sehen also: Wenn wir das Zylinderglas oder, was dasselbe ist, unsere schräge Linie in

Fig. 3.

Fig. 4.

der Frontalebene in irgendwelcher Richtung hin- und herbewegen, immer bleibt das gedrehte Bild, mag es sich verschieben oder nicht, sich selbst parallel.

Dieser Fall ist bei der Skiaskopie schräg astigmatischer Augen ganz allgemein verwirklicht: Infolge der Spiegeldrehung wandert mit dem belichteten Felde die Schattengrenze, wie wir oben sehen, parallel mit sich selbst auf der Netzhaut. Diese Linie sahen wir durch den vor das als normal angenommene Auge gesetzt gedachten Zylinder; stimmt ihre Richtung nicht mit der Richtung der Zylinderachse oder der darauf stehenden Senkrechten überein, so erscheint sie, wie in Versuch 3, um einen bestimmten Winkel gedreht; wandert die Schattengrenze über die Netzhaut, so verschiebt sich ihr gedrehtes Bild parallel zu sich selbst. Die Richtung der gedrehten Linie hängt bei bestimmter Entfernung des Beobachters ab vom Abstände der Netzhaut von den brechenden Flächen, bei bestimmtem Netzhautabstande von der Entfernung des Beobachters, sowie in beiden Fällen von der Brechkraft des Zylinders.

Wir sehen also: die Schattendrehung bei der Skiaskopie astigmatischer Augen mit schrägen Achsen ist keine Eigentümlichkeit der Skiaskopie, die einer besondern Theorie bedarf, sondern sie ist nur ein Spezialfall der Erscheinung, dass durch ein Zylinderglas betrachtet alle Linien, die nicht parallel oder senkrecht zu der Zylinderachse verlaufen, um einen bestimmten Winkel gedreht erscheinen.

Bei Versuch 3 nahmen wir zunächst an, dass das Auge des Beobachters um mehr als die Brennweite vom Zylinderglase entfernt sei. Nähern wir nun unser Auge dem Glase, so nimmt die Verdrehung immer mehr ab, um gleich Null zu werden, wenn Auge und Glas zusammenfallen. Beim Entfernen nimmt natürlich die

Fig. 5.

Verdrehung wieder zu. Dies ist der Grund, warum durch Zylinderbrillen alle Gegenstände schief erscheinen, da die Gläser immer einen mehr oder minder grossen Abstand von den Augen haben.

Wir haben jetzt nur noch den Versuch 3 durch Zeichnung zu erklären, da Versuch 1 und 2 ohne weiteres klar sein dürften. In Fig. 5 sei AB die Brennweite des Zylinders, dessen wagerechte Achse eingezeichnet ist. In A befinde sich das Auge des Beobachters und blicke durch den Zylinder nach dem Quadrate mit der Diagonalen DD' . Da der Lichtstrahl AB ungebrochen durch den Zylinder hindurch geht, wird der Punkt C an seiner wirklichen Stelle gesehen. Der von E aus parallel zu CB gehende Strahl wird, da A der Brennpunkt ist, nach A gebrochen; von A aus erscheint also der Punkt E infolge der prismatischen Ablenkung nach F verschoben, ebenso erscheint in der durch die Punkte D , H und A gelegten Ebene der Punkt D um den gleichen Betrag nach G verschoben; eine seitliche Verschiebung erleidet dabei D ebensowenig wie H ,

da der Zylinder parallel der Achse optisch unwirksam ist, wenn wir von der Dicke des Glases absehen. Durch den Zylinder betrachtet erscheinen also alle über der Mitte gelegenen Punkte des Quadrates senkrecht nach oben, alle darunter gelegenen senkrecht nach unten verschoben; das Quadrat ist zu einem stehenden Rechtecke geworden, die Diagonale DD' hat sich um den Winkel DCG gedreht und die Richtung GG' angenommen; vergleiche auch Fig. 1 und 2. Zu berücksichtigen ist hierbei natürlich, dass sämtliche Punkte als senkrechte Linien auseinander gezogen erscheinen. Wird das Quadrat nach C_1 verschoben, so erscheint die Diagonale noch mehr aufgerichtet in der Richtung $G_1G'_1$. Die Verhältnisse bei noch weiterer Entfernung des Quadrates sind in Fig. 6 dargestellt; hier ist, um

Fig. 6.

die Figur nicht unnötig lang werden zu lassen; eine kürzere Brennweite angenommen. In A sei wieder das Auge des Beobachters, C erscheint unverrückt. E bildet sich jetzt aber in F , dem Schnittpunkte des Knoten- und des Brennpunktsstrahles, reell ab und wird von A aus bei Akkommodation scharf gesehen oder unscharf in der Richtung nach F_1 projiziert. Um ebenso viel erscheint D in der durch A und D gelegten senkrechten Ebene nach G_1 verschoben und erscheint bei Akkommodation scharf in G . Die Diagonale DD' erscheint jetzt um den Winkel $D'CD$ über die Senkrechte hinaus gedreht nach der Richtung G_1C oder GC_1 . (D' ist versehentlich in der Zeichnung ausgefallen.) Befindet sich das Auge innerhalb der Brennweite des Zylinders, so ist die Konstruktion entsprechend der der Fig. 5.

Bisher haben wir davon gesprochen, dass, wenn wir in ein astigmatisches Auge Licht werfen, wir durch die Pupille die Lichtschattengrenze um einen bestimmten Winkel gegen ihre wirkliche Lage auf der Netzhaut gedreht sehen. Bei der Ausführung der Skiaskopie setzen wir nun der Reihe nach immer stärkere Konvex- oder Kon-

kavgläser vor das zu untersuchende Auge und sehen dabei, dass die Drehung sich mit jedem vorgesetzten Glase ändert. Diese letztere Erscheinung bedarf noch einer besondern Besprechung. Um uns die Verhältnisse klar zu machen, benutzen wir am einfachsten wieder unser oben besprochenes Phantom, die Camera obscura, und bewegen auf deren Hintergrunde einen strichförmigen Gegenstand hin und her. Ist die diesem Gegenstande konjugierte Entfernung grösser als die unseres Auges von der Camera, so erscheint durch deren Objektiv betrachtet die Bewegungsrichtung des Striches unverändert; ist aber der konjugierte Abstand kleiner als der unseres Auges, so ist die Bewegung entgegengesetzt. Diese Tatsache, auf der das Wesen der Skiaskopie beruht, soll hier nicht noch einmal begründet werden. Befindet sich unser Auge nun gerade an der Umschlagsstelle, so ist überhaupt keinerlei Bewegung zu beobachten; die ganze Pupille ist bei Verschiebung des Striches im Augenblicke von der Farbe desselben erfüllt und im Augenblicke wieder leer, die Farbe des Hintergrundes zeigend. Setzen wir nun vor unser Augenphantom ein Zylinderglas, so werden alle durch die Pupille tretenden Strahlen so gebrochen, dass sie sich in einer der Zylinderachse parallelen Linie schneiden; diese Linie liegt bei Konvexzylindern vor, bei Konkavzylindern hinter unserem Auge. In den durch diese Linie, bzw. unser Auge, und die Achse des Zylinders gelegten Ebene aber findet keinerlei Änderung der Brechung statt. Die vorher gleichmässig diffuse, dem Striche auf dem Hintergrunde entsprechende Färbung der Pupille erscheint jetzt auf eine, mehr oder weniger verschwommene, Linie parallel der Zylinderachse zusammengedrängt und auf deren beiden Seiten erscheint die Farbe des Hintergrundes. Dabei ist es ganz gleichgültig, welchen Winkel die Zylinderachse und der auf dem Hintergrunde der Camera gezeichnete Strich miteinander bilden. Nähern wir jetzt unser Auge allmählich dem astigmatisch gemachten Objektiv der Camera bis zur Berührung, so nimmt die Drehung der Linie immer mehr ab, bis sich zuletzt ihre Richtung mit der des gezeichneten Striches deckt, den wir dann mit Lupenvergrößerung sehen, wie beim Augenspiegeln im aufrechten Bilde. Entfernen wir unser Auge wieder, so tritt die Drehung wieder auf: wir haben den oben an der Hand der Fig. 5 betrachteten Fall vor uns; bei weiter über den „Umschlagspunkt“ hinaus fortgesetzter Entfernung nimmt die Drehung noch weiterhin zu; das Bild des Striches ist jetzt eine vor unserem Auge liegende reelle Linie, auf die wir bei genügend grossem Abstände akkommodieren können. Dass wir bei dieser Über-

legung vom Umschlagspunkte ausgingen, hat seinen Grund darin, dass wir bei der Ausführung der Skiaskopie gerade diesen Punkt ausfindig zu machen suchen. Wir erreichen dies, wie oben geschildert, durch Entfernen oder Nähern unseres Auges oder, wie wohl jetzt meist üblich, durch Vorsetzen von Gläsern vor das Auge des Untersuchten. Die scheinbare Drehung des strichförmigen Netzhautbildes wächst beim Durchlaufen der Strecke von der Hornhaut des Untersuchten bis zum Umschlagspunkte von Null bis zu dem Winkel, den der Netzhautstrich mit der Zylinderachse bildet; und jeder bestimmten relativen Entfernung zwischen Hornhaut und Umschlagspunkt entspricht ein bestimmter Drehungswinkel. Dabei ist es ganz gleichgültig, ob wir unser Auge oder dadurch, dass wir nacheinander immer stärkere Gläser vorsetzen, den Umschlagspunkt wandern lassen.

Bisher haben wir in der Hauptsache nur von Konvexzylindern gesprochen; der Vollständigkeit halber seien noch die Konkavzylinder kurz erwähnt. Bei wagerechter Stellung der Zylinderachse werden Linien, die von rechts oben nach links unten gehen, im Sinne des Uhrzeigers, Linien, die von links oben nach rechts unten gehen, entgegen dem Uhrzeiger gedreht. Wollen wir die Verhältnisse durch Zeichnung darstellen, so ist dazu eine Konstruktion ähnlich der der Fig. 5 nötig; eine der Fig. 6 entsprechende fällt dagegen weg, da Konkavgläser keine reellen, sondern nur virtuelle Bilder liefern.