

## **Das Gesetz der Axenstellung bei einseitiger Bewaffnung des Auges. \*)**

Von

Dr. A. Burow sen.

---

Bewaffnet man seine Augen mit einem Convexglase, (etwa + 10); verdeckt oder schliesst das eine Auge; beobachtet ein an der äussersten Grenze des scharfen Sehens angebrachtes Object und öffnet nun das früher geschlossene Auge, so treten folgende Erscheinungen ein:

1) Es kommen gekreuzte Doppelbilder zur Wahrnehmung;

2) man wird sich deutlich einer energischen Contraction der Interni bewusst, sobald die Doppelbilder zusammenfliessen;

3) das Object erscheint in diesem Augenblicke kleiner als zuvor.

Man hat sich natürlich zu hüten, dass man nicht plötzlich die Beobachtung von dem einen auf das andere, jetzt geöffnete Auge übergehen lasse. Dieses etwaigen

---

\*) Zu den in diesem Aufsätze beschriebenen Versuchen bediente ich mich eines Apparates, der nach Art des v. Graefe'schen Stäbchen-Optometers aus einem getheilten Stabe bestand, auf dem das zur Beobachtung benutzte Object der genaueren Einstellung halber mittelst Trieb- und Zahnstangen bewegt wurde.

Wechsels wird man sich aus der Parallaxe bewusst werden, das Object nimmt in diesem Falle einen nach der Richtung des zuerst beobachtenden Auges veränderten Stand gegen den Hintergrund an.

Der Versuch zeigt, dass wenn man mit einem Auge das Object fixirte, die Axenstellung eine andere war, als beim gleichzeitigen Gebrauch beider Augen, und zwar eine weniger convergente, da das von dem geöffneten Auge herrührende Doppelbild nach der entgegengesetzten Seite lag, die Doppelbilder gekreuzt waren.

Wer seine Augen mehr in seiner Gewalt hat, kann die Beobachtung mit einem Auge fortsetzen, ohne die ursprüngliche Axenstellung zu verändern, und dabei die Stellung des Doppelbildes näher beobachten; er wird sich der Contraction der Interni bestimmter bewusst werden, sobald er die Intention hat, die Doppelbilder zusammenfliessen zu lassen; in diesem Augenblicke ist dann auch das Kleinerwerden des Bildes ein sehr überraschendes.

Das Resultat des Versuchs ist dasselbe, ob man es mit einem accommodationsfähigen, mydriatisirten oder von Natur seiner Accommodation beraubten Auge anstellt, nur mit dem Unterschiede, dass, wenn das Auge accommodationsfähig ist, und das Object, wie wir angenommen haben, an der äussersten Grenze der Accommodation nach dem Fernpunkte hin steht, in dem Augenblicke, da beide Augen in Thätigkeit gesetzt werden, das Bild undeutlich wird und näher gerückt werden muss, um scharf begrenzt zu erscheinen. Es gehört keine zarte Beobachtungsgabe dazu, der Muskelaction sich bewusst zu werden, die in dem Augenblicke eintritt, da beide Augen zusammenwirken.

Weiterer Beweise für ihr Vorhandensein bedarf es nicht, das Schwinden der Doppelbilder erklärt den Hergang hinlänglich.

Das Kleinerwerden des Bildes ist eine natürliche Folge der Muskelcontraction. Die Interni sind unsere Distanzmesser, ihre Spannung giebt uns den Ort an, nach dem wir das Object projeciren. Dasselbe Object mit geringerer Spannung der Interni beobachtet, scheint uns ferner, mit grösserer, näher zu liegen. Das Netzhautbild ist in unserem Versuche in beiden Fällen gleich gross; es muss also bei einer grösseren Spannung der Interni, im Geiste auf einen näheren Horopter projecirt, kleiner erscheinen, als bei geringerer auf einen weiter abliegenden.

Der Versuch lässt sich in folgender Weise modificiren. Man betrachte ein Object, etwa das Bild einer Visitenkarte mit einer schwachen Linse von 6—8" Brennweite und wähle die Stellung zwischen Auge, Glas und Object so, dass das Glas ungefähr die Mitte einnimmt. Die Beobachtung kann in diesem Falle natürlich nur mit einem Auge vorgenommen werden. Ich nehme an, man habe das rechte gewählt. Steht das Glas so, dass das Bild in seiner Mitte liegt, während das linke Auge geschlossen ist, so wird, wenn man nun, ohne die Stellung zu verrücken, das rechte Auge schliesst und das linke öffnet, das Bild natürlich excentrisch zum Glase zu liegen kommen. Man merke sich die Stelle, wo der Rand des Glases oder seine Fassung sich auf dem Bilde projecirt. Wenn man nun die ursprüngliche Beobachtung mit dem rechten Auge bei verdecktem linken wieder beginnt, und dann plötzlich beide Augen in Function bringt, so muss natürlich ein Doppelbild der Fassung des Glases, vom linken Auge herrührend, eintreten. Dasselbe liegt aber nicht an der Stelle, die es bei geschlossenem rechten einnahm, sondern bedeutend mehr nach rechts. Verharrt man in der Intention, das rechte Auge allein wirken zu lassen, so bleibt das Doppelbild der Fassung unverrückt an derselben Stelle.

Es steht also die Axe des linken Auges nicht auf das Bild eingerichtet, sondern weicht nach aussen ab. Der Intention aber, die Axen auf dem Bilde zur Vereinigung zu bringen, folgen die Interni nicht mehr exact. Es ist fast unmöglich, das kleinere Bild des linken Auges auf die Stelle des grösseren zu bringen; immer behält es die Tendenz, als gekreuztes Doppelbild abzuweichen.

Beide Versuche lehren also unzweifelhaft, dass, wenn ein Auge ein Object durch ein Convexglas betrachtet, die Axenstellung des anderen Auges sich nicht nach der Raumstellung des beobachteten Objects regulirt, sondern eine gegen diesen Punkt divergirende ist.

Fragen wir nach der Ursache und demnächst nach der wahrscheinlichen Lage des Punkts, nach welchem die Axe des nicht beobachtenden Auges eingestellt wird, so giebt uns die Richtung der in das beobachtende Auge einfallenden Lichtstrahlen nach beiden Seiten hin den gewünschten Aufschluss.

Die Convexlinse bedingt, dass die von dem Object ausgehenden Lichtstrahlen weniger divergent, also so in's Auge treten, als ob sie von einem entfernteren Gegenstande ausgingen; und so ist es von vornherein wahrscheinlich, dass die Axe des nicht functionirenden Auges sich nach dem Orte des virtuellen Bildes hinrichte.

Die Stellung des Objects im Raume ist dem einseitig thätigen Auge nur aus der Richtung der unmittelbar ins Auge eintretenden und durch die Linse aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkten Lichtstrahlen erkennbar; im Uebrigen steht ihm keine Wahrnehmung zu Gebote, aus der es Schlüsse über die wirkliche Lage des Objects im Raume machen könnte, sobald die von demselben ausgehenden Lichtstrahlen durch irgend welchen, einfachen oder zusammengesetzten, optischen Apparat Veränderungen in ihrem Gange erfahren haben.

Wäre die obige Annahme richtig, so müsste die Ab-

lenkung des nicht beobachtenden Auges bei verschiedenen Versuchen mit demselben Convexglase zunächst eine constante sein. Der Grad der Ablenkung ist bestimmt aus der Lage des Doppelbildes, so dass also dieses: 1) bei Benutzung desselben Glases immer an dieselbe Stelle fallen; 2) bei Kurzsichtigen um so mehr von dem beobachteten Objecte abrücken muss, je kürzer die Brennweite des zur Beobachtung benutzten Glases ist, während bei Emmetropen, bei verschiedenen benutzten Linsen, der Abstand der Doppelbilder annäherungsweise immer gleich und nahezu gleich dem Abstände der Knotenpunkte beider Augen von einander sein wird, sobald nämlich die Stellung des Objects dem Fernpunkte entspricht.

Die Versuche, welche zur Ermittlung des Sachverhalts angestellt wurden, gaben bestätigende Resultate. Als Object wurde zuerst eine Nadel, die in entsprechender Entfernung vor dem Glase aufgestellt war, zur Beobachtung das rechte Auge gewählt. Das Doppelbild zeigte im Augenblicke des Oeffnens des linken Auges stets dieselbe Parallaxe und lag bei Benutzung eines Glases von 7" Focus wahrnehmbar weiter nach aussen, als bei einem Glase von 10." Leicht ersichtlich kam es nun nur noch darauf an, den Abstand dieser Doppelbilder zu messen, um die Richtung der Axe des nicht beobachtenden Auges zu konstatiren.

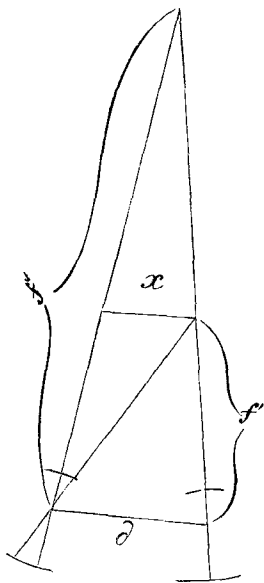
Der Weg, den ich bei dieser Untersuchung einschlug, war folgender: Ich experimentirte zuerst mit meinem kurzsichtigen, nicht accommodationsfähigen Auge. Eine directe Messung des Abstandes der Doppelbilder zu machen schien mir unstatthaft; ich berechnete deshalb, wohin dieselben zu liegen kommen müssten, wenn meine Präsumtion in Bezug auf die Axenstellung des nicht beobachtenden Auges richtig wäre, machte in der durch Rechnung bestimmten Entfernung von der Nadel einen rothen Strich und beobachtete, ob beim Oeffnen des

Auges das Doppelbild der Nadel auf diesen Strich einspielte.

Bekannt war die Sehweite meines Auges, also der Abstand des Punktes, nach dem, meiner Annahme nach, das nicht beobachtende Auge gerichtet sein sollte =  $F$  (Fig. I.), ebenso der Abstand der mit der Convexlinse beobachteten Nadel =  $F'$ ; ferner endlich als messbar der Abstand der Knoten-Punkte beider Augen von einander =  $d$ . Es gilt also die Gleichung

$$F : d = F - F' : X, \text{ also } X = \frac{(F - F')}{X} \cdot d.$$

**Fig. I.**



X ist die Distanz der Axenstrahlen beider Augen in der Entfernung des Objects vom Auge und kann bei Myopie als gleich der Distanz der Doppelbilder angenommen werden.

Nach dieser Rechnung erhält bei mir das Doppelbild einen Abstand von  $1,35''$  und kommt also so excentrisch vom gelben Fleck zu liegen, dass die Beobachtung der Stelle, wo die Nadel einspielte, überaus schwierig wurde. Ich wählte deshalb später eine andere Beobachtungsmethode, die sicherer zum Resultate führte. Zwei Papierstreifen, die mit sehr grellen und stark contrastirenden Farben bestrichen waren, wurden nebeneinander aufgeklebt und dem nach links liegenden die

Breite des berechneten Abstandes der Doppelbilder gegeben; der linke war roth, der rechte blau. Bei dieser Vorrichtung war es leicht möglich, die Lage der gegen

einander verschobenen Doppelbilder zu beobachten; und es zeigte sich wirklich, dass der linke Rand des rothen auf dem Rande des blauen einspielte. Es versteht sich von selbst, dass bei dieser Messung der Distanz der Doppelbilder das linke Auge nicht mit dem Convexglase bewaffnet sein darf. Geschieht das, so tritt die eigenthümliche Erscheinung ein, dass im ersten Augenblicke nach dem Oeffnen des Auges die Distanz der Doppelbilder der durch die Rechnung vorausbestimmten gleich ist, sofort aber um ein nicht unbedeutendes sich vergrößert, falls man nicht etwa absichtlich die Augenaxe auf dem Bilde zur Convergenz bringt. Der Grad dieser Abweichung ist ein constanter, wächst mit der Schärfe der gewählten Convexgläser und hängt offenbar von der prismatischen Wirkung des excentrisch benutzten Glases ab. Welchen beträchtlichen Einfluss die prismatische Wirkung des Glases auf die Stellung der Doppelbilder hat, sieht man daran, dass sofort ein Höhenunterschied eintritt, wenn das beobachtende Auge nicht durch die Mitte des Glases sieht. Man hat deshalb auch diesem Umstande bei der Bewaffnung des Auges möglichst genau Rechnung zu tragen.

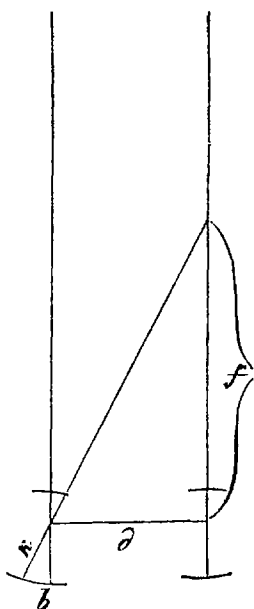
Folgender Versuch aber bestimmt die absolute Richtigkeit der obigen Erklärung. Stellt man das Glas so, dass man durch den äusseren Rand sieht (was natürlich nur bei Benutzung eines Fragments möglich ist) so wirkt es als ein Prisma in umgekehrter Lage mit der Basis nach innen und muss in dieser Stellung eine Verkleinerung der Distanz der Doppelbilder herbeiführen. Der sehr einfache Versuch lehrt, dass dem wirklich so sei.

Kleine Schwankungen in der Ablesung liessen sich hinlänglich aus dem immer etwas variablen Abstände zwischen Linse und Auge herleiten.

Es kam mir nur noch darauf an, ein emmetropisches und gut accommodirendes Auge die Beobachtung machen

zu lassen, weil bei demselben die Verhältnisse sich etwas anders gestalten müssen. Macht ein solches Auge die Beobachtung im Minimum seines Refraktionszustandes, so muss natürlich das Object im Brennpunkte des Glases stehen, während die Augenaxen parallel sich stellen, gleichviel welche Brennweite das benutzte Glas hat. Um annäherungsweise die Distanz der Doppelbilder zu finden, ist es hier zunächst nöthig, die Grösse des Netzhautbildes, d. h. den Abstand des seitlichen Bildes auf der Netzhaut vom gelben Fleck zu bestimmen und diese Grösse auf den Horopter im Abstände zu projectiren.

Fig. II.



In Fig. 2 ist F der Abstand des Objekts vom Knotenpunkt des rechten Auges, d der Abstand der Knotenpunkte beider Augen von einander, K der Abstand der Knotenpunkt von der Netzhaut, b die Grösse des Netzhautbildes; es ist also

$$b = \frac{d \cdot k}{F} \text{ und die gesuchte}$$

Distanz der Doppelbilder

$$X = \frac{b \cdot F}{k}.$$

Herr Dr. Seidel war so gütig, den Versuch mit seinem Auge anzustellen; die Distanz seiner Knotenpunkte ist etwa = 2,5, er bediente sich zur Beobachtung eines Glases von 10" Focus; die Doppelbilder

hatten eine Distanz von über 2 1/2 Zoll, was mit dem Resultate der Rechnung übereinstimmt.

Die gegebenen Auseinandersetzungen liefern also den Beweis, dass, wenn einem Auge Lichtstrahlen zu-

gesendet werden, die durch einen optischen Apparat eine Brechung erlitten haben, die Axenstellung des andern, nicht gleichzeitig beobachtenden, sich nach dem Orte des virtuellen Bildes regulirt, vorausgesetzt nämlich, dass die dem beobachtenden Auge gebotenen Strahlen, vermöge ihrer Richtung, noch auf der Netzhaut vereinigt werden können.

Ich habe stricte Beweise für diesen schon vor längerer Zeit von mir ausgesprochenen Satz gesucht, um die Einwendungen zu widerlegen, die man vom theoretischen Standpunkte aus gegen die Richtigkeit meines Optometers, überhaupt aller Optometer mit monocularer Beobachtung vorgebracht.

Da Donders nachgewiesen hat, dass jeder Axenstellung des Auges eine bestimmte, sehr beschränkte Accommodationsbreite zukommt; so hat man behauptet, dass die Axenstellung des nicht functionirenden Auges in störender Weise die Beobachtung beeinflusse, indem das Bestreben des Beobachters dieses Auge auf den in seiner Lage ihm nicht bekannten Gegenstand zu richten, eine schwankende und zu hohe Convergenz der Axen erzeuge, welche die vollständige Entspannung der Accommodation unmöglich mache. — Dieser Einwurf ist entwerthet, wenn die Axenstellung sich nach dem Orte des virtuellen Objekts regelt.

Richtet sich eines der Augen beim Sehen durch ein Convexglas auf ein Objekt ein, das allmählig weiter abgerückt wird, so folgt die Axe des andern Auges dem in weit grösserer Schnelligkeit fortschreitenden, virtuellen Bilde und bleibt erst da stehen, wo die Strahlen beim Eintritt in das beobachtende Auge sich so weit dem Parallelismus genähert haben, dass die höchst mögliche Entspannung der Accommodation noch ihre Vereinigung auf der Netzhaut ermöglicht. Das ist nun aber eben die dem Refraktionszustande entsprechende Axenstellung.

Die Versuche lehren aber auch, dass dieses Resultat nur bei monocularer Beobachtung erzielt werden kann, so bald nicht etwa, wie beim v. Graefe'schen Binocle das beobachtete Objekt in unendliche Entfernung gelegt wird.

Wollte man beide Augen mit Linsen bewaffnen und eine Axen-Convergenz nach dem beobachteten Objekte gewaltsam erzwingen, dann erst würde diese künstlich erzeugte Convergenz die vollständige Accommodations-spannung unmöglich machen.

Es könnte nun noch der Einwand gemacht werden, dass allerdings bei Myopen bei der Einstellung auf den Fernpunkt die Axenstellung eine dem Refraktionszustande entsprechende sei, dass aber dennoch bei der zum Sehen in die Ferne nothwendigen, parallelen Stellung der Axen die Accommodation noch unter den Punkt herabgesetzt werden könne, den sie bei der Convergenz nach dem Fernpunkt zu erreichen vermag. Es scheint mir das zwar ein in sich selbst zerfallender Einwurf zu sein, da, im Falle überhaupt noch eine weitere Entspannung möglich wäre, diese gleichzeitig mit gesteigerter Contraction der entsprechenden Externi eintreten müsste; um aber selbst diesem Einwurfe Rechnung zu tragen, blieb noch der Weg des Experiments offen.

Würde der Refraktionszustand des myopischen Auges unter erzwungener Parallelstellung der Axen unter den Refraktionszustand fortgesetzt, den das Auge bei Einstellung der Axen auf den Fernpunkt erreicht, so müsste sich das durch prismatische Ablenkung der Lichtstrahlen nachweisen lassen.

Ein Myop von 10" Fernpunkt betrachtet ein in dieser Entfernung liegendes Objekt, bringt also seine Augenaxen auf 10" zur Convergenz. Bringt man vor die Augen Prismen mit der Basis nach innen an, so wird, falls die Wirkung des Prismas überwunden wird, d. h. falls das

Bild einfach erscheint, die Augenaxe nach aussen abgelenkt, dem Parallelismus genähert. Man könnte selbst so grosse Winkel der Prismen wählen, dass vollständiger Parallelismus der Augen erzielt würde; indessen werden dann die Winkel der Prismen so gross, dass die Farbenzerstreuung störend auf die Beobachtung der Deutlichkeit des Bildes einwirken dürfte, da schon bei einem Fernpunkte von 10" das Prisma über  $14^{\circ}$ , bei 7" über  $20^{\circ}$  haben müsste.

Ein wirklich hergestellter Parallelismus der Augenaxen ist aber auch zur Entscheidung der vorliegenden Frage nicht nothwendig; wäre der oben gemachte Einwand ein begründeter, so müsste ein jedes Prisma den Fernpunkt weiter abrücken; freilich um so mehr je grösser sein Winkel.

Ich stellte also den Versuch mit solchen Prismen an, die noch keine störende Farbenzerstreuung geben und ohne wesentliche Anstrengung überwunden wurden ( $12^{\circ}$ ). Das Resultat war stets ein negatives; d. h. das Bild konnte bei der Anwendung der Prismen nicht abgerückt werden, ohne sofort an Deutlichkeit zu verlieren. Die Resultate der obigen Untersuchungen lassen sich also schliesslich in dem Satze zusammenfassen: bewaffnet man eins seiner Augen mit einer Linse und stellt das andere ausser Funktion, so regelt sich die Axenstellung nach dem Orte des dem beobachtenden Auge gebotenen, virtuellen Bildes, welche die dem geforderten Accommodationsverhältnisse entsprechende ist.