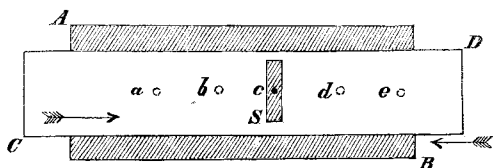


VII. *Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder; von F. Zöllner.*

Unter dem Namen des Anorthoskops hat Plateau <sup>1)</sup> eine Vorrichtung beschrieben, welche im Wesentlichen darin besteht, daß ein auf einer rotirenden Scheibe befindliches und nach der Rotations-Richtung hin verzerrtes Bild dadurch wieder proportionirt gesehen wird, daß man gleichzeitig vor diesem Bilde eine andere mit einer oder mehreren Spalten versehene Scheibe nach der entgegengesetzten Richtung hin rotiren läßt.

Es beruhen diese Erscheinungen wie bekannt auf der Dauer des Lichteindrucks im Auge und der folgende einfache Versuch reicht vollkommen hin, sich von den wesentlichsten der hierbei auftretenden Erscheinungen Rechenschaft zu geben.



Es mögen sich auf einem Streifen Papier *AB* eine Reihe gleich weit abstehender Punkte *a b c d* befinden. Dicht über diesem Streifen werde ein anderer Streif *CD* mit einem Spalt *S* im Sinne des Pfeiles hin und her verschoben. Setzen wir zunächst voraus, es verändere der darunter liegende Streif *AB* nicht seine Lage, so wird man bei der angedeuteten Bewegungsrichtung des Spaltes die einzelnen Punkte der Reihe nach von *a* bis *e* erblicken.

Ist hierbei die Bewegung des Spaltes eine so große, daß die Zeit, welche er gebraucht, um von *a* bis *e* zu ge-

1) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles III*, p. 7 und 364. Pogg. Ann. Bd. XXXVII, S. 464. Vergl. auch Helmholtz, Physiologische Optik S. 352.

langen kleiner ist als die Dauer des momentanen Lichteindrucks eines dieser Punkte, so wird man dieselben nicht mehr *nacheinander*, sondern gleichzeitig *nebeneinander* erblicken müssen.

Befindet sich hierbei, wie vorausgesetzt wurde, der Streifen mit den Punkten in Ruhe, so erblickt man durch den bewegten Spalt die Punkte in ihrem wirklichen Abstände. Anders verhält es sich aber bei gleichzeitiger Bewegung der Punkte nach entgegengesetzter Richtung. Man sieht alsdann, je nach der Gröfse dieser Bewegung die Punkte näher zusammenrücken.

Auf diesem Zusammenrücken der Punkte beruhen nun alle Erscheinungen des Plateau'schen Anorthoskops und ähnlicher Vorrichtungen; es mag mir daher gestattet seyn, auf diese Fundamentalerscheinung mit wenigen Worten etwas näher einzugehen, um ihren Unterschied von den später anzuführenden Erscheinungen deutlicher hervortreten zu lassen.

Angenommen es habe der Spalt zu einer bestimmten Zeit mit dem Punkte *c* coïncidirt, so dafs man momentan hierdurch jenen Punkt erblickte. Während sich nun der Spalt mit gleichförmiger Geschwindigkeit um die Gröfse *x* von jenem Coïncidenzpunkt ausgerechnet weiter bewegt hat, begegnet er hier dem Punkte *d* und es wird abermals ein momentaner Lichteindruck auf der Retina hervorgebracht. Denken wir uns die beiden Punkte, an denen diese Coïncidenzen stattfinden, auf eine zu der Bewegungsrichtung parallelen Ebene projecirt, so ist der Abstand dieser Punkte gleich dem Wege, welchen der Spalt in der Zwischenzeit zurückgelegt hat, daher gleich *x*. Ist nun *d* die constante Entfernung zweier Punkte auf dem Papierstreifen, *c* die Geschwindigkeit, mit welcher sich derselbe bewegt und *c'* die Geschwindigkeit des Spaltes nach der entgegengesetzten Richtung, so hat man die Gleichung

$$\frac{x}{d - x} = \frac{c}{c'}$$

also

$$x = \frac{cd}{c+c'}.$$

Setzen wir an Stelle der oben erwähnten Projectionsebene die Netzhaut des Auges, so begreift man, wie ein Bild entstehen muß, in welchem die Punkte auf dem bewegten Streifen Papier näher zusammengedrückt erscheinen. Ob man diese Punkte gleichzeitig oder nacheinander erblickt, wird ganz von der Geschwindigkeit des bewegten Spaltes abhängen.

Bewegt man an Stelle der Punkte Figuren hinter dem Spalt z. B. ein Quadrat oder einen Kreis etc., so erscheinen diese in der Richtung der Bewegung zusammengedrückt oder verkürzt. Also der Kreis als eine Ellipse, das Quadrat, je nach der Bewegungsrichtung bald als ein Rechteck bald als ein Rhombus. Alle diese Erscheinungen lassen sich einfach aus dem oben ausführlich besprochenen Versuche mit den Punkten ableiten und beruhen, wie wir gesehen haben, auf der Dauer des Lichteindrucks im Auge. Man könnte daher auch die entstehenden Zerrbilder mit Hülfe einer Camera obscura photographiren, wobei natürlich die Schärfe der Contouren wesentlich durch die Feinheit des Spaltes bedingt würde.

2. Ich habe nun gefunden, daß ähnliche Verzerrungen wie die oben erwähnten auch bei Verschiebung der Figuren hinter einem *ruhenden* Spalte eintreten, und man sieht sogleich, daß alsdann bei ebenfalls ruhendem Auge die Erklärung dieser Erscheinungen nicht aus der Dauer des Lichteindrucks abgeleitet werden kann. Denn, bewegt man unter diesen Bedingungen irgend eine Figur hinter dem Spalte, so verschieben sich in der Richtung desselben zwei oder mehrere Punkte (oder Linienstücke), welche als solche im ruhenden Auge nur den Eindruck einer Linie von der Form des Spaltes zurücklassen können. Nichtsdestoweniger sieht man deutlich das Zerrbild ganz wie in den vorherbesprochenen Versuchen.

Nimmt man indessen hierbei Bewegungen des Augapfels an, welche denen der hinter dem Spalt bewegten Figur

gleichgerichtet, aber langsamer als diese sind, so kommt dasselbe Erklärungsprincip wie für die oben besprochenen Erscheinungen in Anwendung, indem jetzt durch die Bewegung der Netzhaut successiv verschiedene Stellen derselben den Lichteindruck von je zwei ungleich weit entfernten Punkten der bewegten Figur aufnehmen. Durch die Dauer der hierdurch nacheinander entstehenden Lichteindrücke wird ebenfalls eine Figur gebildet, welche in der Richtung der Bewegung zusammengedrückt erscheint. Die Stärke der Verzerrung muß alsdann von der Gröfse der supponirten Augenbewegung abhängen, und zwar im umgekehrten Verhältniß zu derselben stehen.

Ehe ich auf diese Erklärung, welche ich einer gütigen, schriftlichen Mittheilung des Hrn. Prof. Helmholtz verdanke, näher eingehe, will ich zunächst die hier einschlagenden Versuche mit der Ausführlichkeit beschreiben, welche einen Jeden in den Stand setzt, dieselben ohne Mühe sofort anzustellen.

Man schneide in etwas steifes dunkles Papier einen Spalt von ungefähr 2 Millimeter Breite und 40 Millimeter Länge. Alsdann zeichne man auf weißem, ebenfalls etwas steifem Papiere mit tief schwarzen und breiten Contouren einfache Figuren, am besten einen Kreis oder ein Quadrat, und schiebe dann diese Figuren, dicht an dem Spalt anliegend, hinter demselben und senkrecht zu ihm ziemlich schnell hin und her. Bewegt man anfangs den Spalt gleichzeitig nach der entgegengesetzten Richtung, so erblickt man die oben zuerst beschriebenen und erklärten Verzerrungen. Hält man dann den Spalt ruhig und bewegt nur die Figuren hinter demselben in der angedeuteten Weise hin und her, so sieht man dessenungeachtet immer noch die Zerrbilder, und zwar bei einer gewissen Gröfse der Bewegung eine Verkürzung der Dimensionen im Sinne der Bewegungsrichtung.

Eine Verzerrung im entgegengesetzten Sinne tritt jedoch ein, wenn man die Figur (am besten den Kreis) *langsam* hinter dem Spalt hin und her schiebt. Allerdings sieht man

dann nicht, wie früher, die Contouren *gleichzeitig*, sondern man gelangt durch die successive im Spalt erblickten Theile des Kreises zu dem Schlufs, es bewege sich hinter dem Spalt eine lang gestreckte Ellipse, deren grofse Axe parallel der Bewegungsrichtung liegt. Auf diese Art der Verzerrungen bei langsamer Bewegung der Figur, hatte Hr. Prof. Helmholtz die Güte meine Aufmerksamkeit gelegentlich einer Mittheilung zu lenken, welche ich ihm über die Verzerrungen der Bilder bei ruhendem Spalte und schneller Bewegung der Figuren machte.

Dafs die Erklärung gerade dieser zuletzt erwähnten Gattung von Zerrbildern eine rein psychologische seyn mufs, leuchtet ohne weitere Betrachtung ein. Wir sehen z. B. bei einem Kreise, welcher hinter dem Spalt hin und her geschoben wird, nichts weiter als zwei Stückchen des Kreisumfanges, welche sich bald schneller, bald langsamer nähern oder entfernen; indem wir nun die Gröfse der Verschiebung überschätzen, schliessen wir auf eine Ellipse, welche sich hinter dem Spalte bewegt.

Woher aber diese Ueberschätzung kommt und welche Bedeutung diejenige Geschwindigkeit habe, bei der wir auf eine Figur schliessen, welche mit der hinter dem Spalt bewegten wirklich übereinstimmt, diefs bleibt noch zu erklären übrig.

Weniger evident ist das Erklärungsprincip für die Zerrbilder bei ruhendem Spalt und *schneller* Bewegung der Figur.

Setzt man hierbei keine Augenbewegungen von der oben angedeuteten Art voraus, so bliebe ebenfalls nur das psychologische Erklärungsprincip übrig, indem alsdann auf der Netzhaut durch die bewegten Punkte lediglich die Spur einer geraden Linie von der Form des Spaltes zurückbleiben könnte, und daher das Netzhautbild wesentlich von dem dadurch erzeugten Vorstellungsbilde abweichen würde. Es wird sich also darum handeln, zu untersuchen, ob die besagten Augenbewegungen in der That stattfinden, und

zum Zustandekommen der Zerrbilder bei ruhendem Spalt und schneller Bewegung der Figur nothwendig erforderlich sind.

Folgende Umstände scheinen entschieden für die Existenz der Augenbewegungen zu sprechen.

a. Die meisten Personen sehen die Verzerrungen dann erst deutlich eintreten, wenn man anfangs Spalt und Bild gleichzeitig, aber nach entgegengesetzten Richtungen, bewegt. Hat man hierdurch erst eine bestimmte Vorstellung von dem Zerrbilde erlangt, so kann man alsdann auch den Spalt ruhen lassen und nur die Figur bewegen, ohne hierdurch den Effect zu stören. Gleichzeitig ist man sich dann aber auch ganz bestimmter Augenbewegungen bewußt, welche in gleichem Sinne der Bewegung der Figur ausgeführt werden. Diese Bewegungen des Augapfels kann man auch leicht durch einen zweiten Beobachter constatiren lassen.

b. Betrachtet man bei gleichbleibender Geschwindigkeit der Verschiebung die Zerrbilder aus verschiedenen Entfernungen, so findet man, daß im Allgemeinen die Verzerrungen in großer Nähe stärker sind als in der Entfernung. Je kleiner nämlich die Oscillationen der Augenaxen im Vergleich zur Größe der scheinbaren Verschiebung sind, desto größer muß auch die Verzerrung seyn. Daher werden beim Betrachten aus großer Entfernung kleinere Oscillationen des Auges erforderlich seyn, um denselben Grad der Verzerrung wie bei großer Nähe zu erzeugen.

c. Führt man während der Betrachtung der Zerrbilder willkürliche Bewegungen des Kopfes aus, so sieht man hierdurch Aenderungen in den Dimensionen der Zerrbilder eintreten.

Alle diese Umstände sprechen für das Vorhandenseyn der vorausgesetzten Augenbewegungen und ich will jetzt einige Versuche anführen, welche nur zeigen sollen, daß unter gewissen Bedingungen diese Bewegungen des Auges zum Zustandekommen der Zerrbilder nicht unumgänglich nothwendig sind.

Fixirt man nämlich eine Marke, etwa einen kleinen

Strich, welchen man nicht weit von der Mitte des Spaltes angebracht hat, und beobachtet nun im indirecten Sehfelde die bewegten Linienstücke im Spalte, so ist es mir und anderen Personen, welche im indirecten Sehen nicht ganz ungeübt sind, trotz des nun ruhenden Auges, möglich, die besagten Zerrbilder wahrzunehmen. Ein anderer Beobachter ist dann auch nicht im Stande, irgend welche Bewegungen am Auge zu erkennen. Ausserdem tritt auch für manche Personen schon bei einer so langsamen Verschiebung eine Verkürzung resp. Zusammendrückung der Figur im Sinne der Bewegungsrichtung ein, dafs hierbei schwerlich von einer Dauer des Lichteindruckes die Rede seyn kann.

Für diesen Fall nun, wo das Auge ruht, würde die Erklärung der Zerrbilder übereinstimmend seyn mit derjenigen, welche oben für die Verzerrungen bei *langsamer* Bewegung gegeben wurde. Nur müfste man annehmen, dafs bei schneller Bewegung der Figur die Verschiebungsgröfse *unterschätzt* würde, während sie, wie wir gesehen haben, bei langsamer Bewegung *überschätzt* wird.

Ausserdem müfste bei den Verzerrungen durch schnelle Bewegung die Vorstellung von der hinter dem Spalte bewegten Figur so intensiv werden, dafs wir das Erinnerungsbild als ein wirklich auf der Netzhaut vorhandenes betrachten.

Auch der folgende Versuch scheint dafür zu sprechen, dafs eine uns unbewufste Combinationsthätigkeit beim Zustandekommen der zuletzt besprochenen Zerrbilder mit im Spiele ist.

Man zeichne einen spitzen Winkel von ungefähr 50 Millimeter Schenkellänge, und verschiebe denselben dicht hinter dem ruhenden Spalt, stets senkrecht zu diesem, hin und her, jedoch so, dafs weder der Scheitelpunkt, noch die Enden der Schenkel, den Spalt passiren.

Mir und den meisten anderen Personen, denen ich diesen Versuch zeigte, ist es alsdann nicht möglich, die bewegten Linienstücke zu zwei convergirenden Linien zu combiniren, sondern wir sehen einfach die durch den Spalt

erblickten Linienstücke in demselben hin und her rücken. Der Effect ändert sich aber sofort, sobald man die Verschiebung vergrößert, so dafs entweder die Endpunkte der Schenkel oder der Scheitelpunkt den Spalt passiren. Als dann erblickt man deutlich einen weit weniger spitzen resp. stumpfen Winkel mit viel kürzeren Schenkeln, als die hinter dem Spalt verschobene Figur hat. Das Merkwürdige hierbei ist der Umstand, dafs unsere Combinationsthätigkeit sofort die beiden hin und her bewegten Linien zu einem Gesamtbilde vereinigt, sobald die hierzu erforderlichen Momente ausreichend sind. Im vorliegenden Falle genügt hierzu die Wahrnehmung des Scheitelpunktes oder der Enden der beiden Schenkel.

Die hier beschriebenen Versuche können theils durch die Form und Anzahl der Spalte, theils durch Geschwindigkeitsänderungen mannigfach modificirt werden. Wahrhaft fruchtbringend versprechen indessen diejenigen Versuche zu werden, welche auf zweckmäfsige Weise die Geschwindigkeit der Verschiebung und die Gröfse der Verzerrung zu messen gestatten.

Schliesslich ist noch zu bemerken, dafs auch theilweise Verzerrungen eintreten, wenn man eine Figur, z. B. einen Kreis oder ein Quadrat, an irgend einer Kante, z. B. der eines Bogens Papier, schnell hin und her schiebt, so dafs die Figur abwechselnd verschwindet und wieder zum Vorschein kommt. Ob auch hierbei bestimmte Augenbewegungen zur Erzeugung der genannten Verzerrungen erforderlich sind, wage ich vorläufig noch nicht zu entscheiden.

Leipzig, im October 1862.

---