Sitzungsberichte

der

königl. bayer. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Jahrgang 1864. Band II.

München.
Druck von F. Straub (Wittelsbacherplatz 3).
1864.

In Commission bei G. Franz.

Herr Jolly legt eine Abhandlung des Herrn W. von Bezold vor:

„Zur Lehre vom binocularen Sehen."

Die folgenden Zeilen enthalten kurze Mittheilungen über zwei Untersuchungen, welche dem Gebiete des binocularen Sehens angehören, ohne deshalb in einem engeren Zusammenhange zu stehen. Die erste soll einen Beitrag liefern zur Lehre von der Identität der Netzhäute; die zweite enthält eine Behandlung des Horopterproblemes unter Berücksichtigung des Umstandes, dass nicht nur correspondirende Punkte im engsten Sinne des Wortes, sondern innerhalb gewisser Grenzen auch hievon abweichende Netzhautpunkte zur Vermittlung einer einfachen Wahrnehmung geeignet sind.

I.

Während eines langen Zeitraumes bildete das von J. Müller aufgestellte Princip der Identität der Netzhäute den einzigen Ausgangspunkt für alle Untersuchungen über das Zusammenwirken der beiden Augen beim Sehakte. Diess Princip besteht wesentlich aus folgenden zwei Theilen: erstens, Reize identischer Netzhautstellen bedingen immer eine einfache Wahrnehmung, und zweitens, nur bei Reizung von identischen Stellen ist eine solche möglich.

Nachdem durch die Entdeckung Wheatstone's der zweite Theil des Princips in voller Schärfe unhaltbar geworden war, und auch der Versuch Brücke's die neu entdeckten Thatsachen mit demselben in Einklang zu bringen durch Volkmann und Dove widerlegt worden war, suchte man auch den ersten Theil zu entkräften, und somit das ganze Princip zu stürzen. Der Streit darüber ist heutigen Tages noch nicht geschlossen.

Gegen den Satz, dass Reizung identischer Stellen niemals Doppelbilder veranlassen könne, führen die Gegner der

Identitätslehre besonders drei Versuche an, welche von Wheatstone[1]), Nagel[2]) und Wundt[3]) herrühren. Jeder derselben zeigt ein anderes Figurenpaar, das durch die Möglichkeit, stereoscopisch verschmolzen zu werden, den fraglichen Beweis liefern soll. Diese Beweise sind jedoch sämmtlich nur gültig, wenn erstens gewisse Linien in den beiden entsprechenden Figuren sich wirklich genau auf correspondirenden Netzhautpunkten abbilden, und wenn zweitens kein Theil der Zeichnungen im Wettstreite der Sehfelder dauernd untergehen kann.

Schon Ewald Hering hat in seinen ausserordentlich verdienstvollen „Beiträgen zur Physiologie" nachgewiesen, dass unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmassregeln, welche die Erfüllung der ersten der genannten Voraussetzungen wahrscheinlich machen, niemals eine Verschmelzung der fraglichen Figuren zu einem stereoscopischen Sammelbilde gelinge.

Im Folgenden soll eine Methode beschrieben werden, welche einerseits den strengen Nachweis liefert, dass in den fraglichen Fällen, die beiden Voraussetzungen niemals zugleich erfüllt sind, und anderseits gestattet, die Abweichungen von denselben genau zu studieren.

Führt man die Zeichnungen mit Tusche auf einer Glasplatte aus, und betrachtet man sie alsdann mit dem Rücken gegen ein Fenster gekehrt, so kann man leicht eine Stellung der Platte ermitteln, bei welcher die eine der Figuren durch den Kopf beschattet ist, während die andere schwach glänzend erscheint. Man entzieht nun auch dieser Figur durch einen neben den Kopf gehaltenen Schirm das

---

1) Poggdff. Ann. Ergbd. 1842 S. 30.

2) A. Nagel. Das Sehen mit zwei Augen. S. 81.

3) Henle und Pfeufer Zeitschr. f. rat. Med. III. Reihe. Bd. 12 S. 249.

Licht, und verschmilzt beide Zeichnungen durch Schielen. Sobald man nun durch Wegnehmen des Schirmes dem Lichte wieder den Zugang gestattet, sieht man die glänzenden Theile der einen Figur neben den dunklen der anderen aus dem Gesichtsfelde auftauchen. Dabei bleiben einzelne Stücke noch immer verschmolzen, und dieser Umstand erlaubt es bis in's Detail nachzuweisen, wie die stereoscopische Wahrnehmung zu Stande kam. Dieses Auftreten der Theile der einen Zeichnung neben denen der anderen hat durchaus keine Aehnlichkeit mit dem Auseinanderfallen des stereoscopischen Bildes, wie man es bei Schwankungen der Augen beobachtet.

Leichter und schöner kann man die Versuche in einem gewöhnlichen Linsenstereoscop machen, wenn man sich die Figuren auf folgende Weise herstellt. Man klebt Stanniol auf Glasplatten, und schneidet, sobald diess fest haftet, die Figuren in der Art aus, dass die Linien durch feine Stanniolstreifchen gebildet werden. Betrachtet man nun diese Figuren bei horizontaler Lage der Platte im durchfallenden Lichte, so sieht man sie schwarz auf hellem Grunde, hebt man alsdann die Klappe, welche dem auffallenden Lichte den Zugang gestattet, nachdem man die hiefür bestimmte Oeffnung zur Hälfte bedeckt hat, so erscheint die eine der Figuren glänzend und man sieht sie dann in der oben beschriebenen Weise neben der anderen aus dem Sehfelde auftauchen.

Man kann den Versuch auch dahin abändern, dass man die Glasplatten ganz mit Stanniol überzieht, und dann die Figuren so herausschneidet, dass sie im durchfallenden Lichte hell auf dunklem Grunde erscheinen. Bringt man alsdann nach gelungener stereoscopischer Verschmelzung hinter die eine der Figuren eine farbige Glastafel, so findet dasselbe Auseinanderfallen statt, wie oben. Selbstverständlich lässt sich der Versuch auf diese Art sowohl mit als ohne Stereoscop ausführen. Die Resultate stimmen vollständig mit den auf den anderen

Wegen erhaltenen überein, sie sind jedoch weniger prägnant, da sich in diesem Falle in den verschmolzenen Theilen der Wettstreit der Sehfelder lebhaft geltend macht.

Eine eingehendere Beschreibung der Erscheinungen, deren Studium zu manch' neuem Gesichtspunkte über das Zustandekommen der stereoscopischen Vereinigung führen dürfte, so wie eine Berücksichtigung der grossen individuellen Verschiedenheiten, welche sich bei diesen Versuchen offenbaren, verspart sich der Verfasser für einen anderen Ort. Das Resultat ist:

„Wenn eine stereoscopische Vereinigung der fraglichen Figuren gelingt, so sind dabei niemals die beiden Voraussetzungen erfüllt, unter denen der Versuch allein beweiskräftig ist, sondern es fallen entweder die Stücke, von denen man diess annahm, nicht genau auf identische Stellen, oder es tritt nur eine theilweise Verschmelzung ein, welche alsdann zur Bildung einer stereoscopischen Wahrnehmung Veranlassung giebt, während die übrigen nicht in das Sammelbild passenden Theile übersehen werden.

II.

Das Horopterproblem lässt sich bekanntlich auf zweierlei Art auffassen, je nachdem man unter dem Horopter den Ort aller derjenigen Punkte versteht, welche sich genau auf correspondirenden Netzhautpunkten abbilden, oder den Inbegriff aller Punkte, welche wir bei einer bestimmten Augenstellung binoculär einfach sehen. Im erst erwähnten Sinne st das Problem ein rein mathematisches und einer scharfen Lösung fähig, welche ihm in jüngster Zeit durch Helmholtz [4]), Ewald Hering [5]) und Hankel [6]) zu Theil wurde; die erhaltene

---

4) Arch. f. Opthalmol. Bd. X. und Poggdff. Ann. Bd. 123. S. 158.

5) A. a. O. Heft 3 und 4.

6) Poggdff. Ann. Bd. 122. S. 575.

Linie nennt man den mathematischen Horopter. Die Auffassung des Problemes im zweiten Sinne, d. h. die Frage nach dem empirischen Horopter, muss ein ganz anderes Resultat geben, da die sterescopischen Erscheinungen zeigen, dass auch Bilder, welche nicht ganz genau auf correspondirende Punkte fallen, einfache Wahrnehmungen vermitteln können, so lange nur die Entfernung von solchen Punkten gewisse Grenzwerthe nicht übersteigt.

Schon Panum [7]) bemerkte, dass man von diesem Gesichtspunkte aus als Horopter einen von bestimmten Flächen begrenzten Raum erhalten müsse. Doch wurde meines Wissens noch niemals der Versuch gemacht, die Gestalt der begrenzenden Flächen auch nur annähernd zu bestimmen, noch die Grösse des Einflusses zu schätzen, den das Vorhandensein gewisser Grenzdistanzen auf die Ausdehnung des empirischen Horopters äussern muss. Im Folgenden soll gezeigt werden, wie ungemein gross der Einfluss dieses Umstandes ist, und wie dessen Beachtung geeignet scheint, einerseits die auffallenden Widersprüche zu erklären, in welchen die Versuche einer experimentellen Lösung des Horopterproblemes mit der Theorie stehen, sowie anderseits ein eigenthümliches Licht auf das Wesen der sogenannten Identität der Netzhäute zu werfen.

Da die Messungen Volksmann's [8]) über die Grenzdistanzen zeigen, dass man es auf diesem Gebiete mit ausserordentlich grossen individuellen Verschiedenheiten zu thun hat, und dass überdiess eine Menge von Nebenumständen auf das Einfach- oder Doppeltsehen influiren und desshalb eine eingehendere mathematische Behandlung des Problemes, doch immer nur eine rein theoretische Speculation bleiben würde, so wollen wir uns hier nur auf den einfach-

7) Das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858. S. 62.

8) Arch. f. Ophthalmol. Bd. V. Abth. II. S. 1 ff

sten Fall beschränken, wo bei horizontaler Blickebene die Gesichtslinien sich in der Medianebene schneiden. Wir suchen vorerst nur den Durchschnitt des empirischen Horopters mit der Blickebene und wählen den Kreuzungspunkt der Richtungslinien k des linken Auges als Ursprung eines Systemes von Polarcoordinaten, dessen Axe die durch den Fixationspunkt f gehende Richtungslinie, d. h. die Gesichtslinie dieses Auges ist, und wobei die Winkel, welche durch Drehung im Sinne eines Uhrzeigers beschrieben werden, positiv gerechnet werden sollen.

Nun giebt es aber auf jeder durch k gezogenen Geraden, die etwa mit k f den Winkel α bilden möge, einen Punkt p, dessen Bild genau auf dem correspondirenden Punkte der anderen Netzhaut entworfen wird. Die von p nach k', d. i. nach dem Kreuzungspunkte der Richtungslinien im rechten Auge gezogene Gerade, bildet alsdann mit k' f ebenfalls den Winkel α. Jedoch nicht nur der Punkt p der Geraden p k wird einfach wahrgenommen, sondern auch noch alle ihm benachbarten, bei denen die Winkel, welche die durch sie und k' gezogenen Geraden mit p k' einschliessen, unterhalb gewisser Grenzwerthe bleiben, die wir durch $\varphi\alpha$ und $\psi\alpha$ bezeichnen wollen, da beide Funktionen von α sind, und wobei $\varphi\alpha$ der Grenzwinkel auf der positiven Seite von pk', $\psi\alpha$ der auf der negativen sein soll. Durch den ersteren ist mithin ein Punkt der äusseren, durch den letzteren ein Punkt der inneren Begrenzungscurve gegeben. Nennt man die entsprechenden Radienvectoren r_1 und r_2, während man die Grundlinie k k' durch c und den Winkel k f k' durch 2γ bezeichnet, so werden die Gleichungen:

a) für die äussere Curve

$$r_1 = \frac{c}{\sin 2\gamma}\left[\cos(\alpha-\gamma) + \cos(\alpha+\gamma)\frac{\sin\varphi\alpha}{\sin(2\gamma-\varphi\alpha)}\right]$$

b) für die innere Curve

$$r_2 = \frac{c}{\sin 2\gamma}\left[\cos(\alpha-\gamma) - \cos(\alpha+\gamma)\,\frac{\sin\psi\alpha}{\sin(2\gamma+\psi\alpha)}\right]$$

Zwischen den Funktionen $\varphi\alpha$ und $\psi\alpha$ besteht die Relation

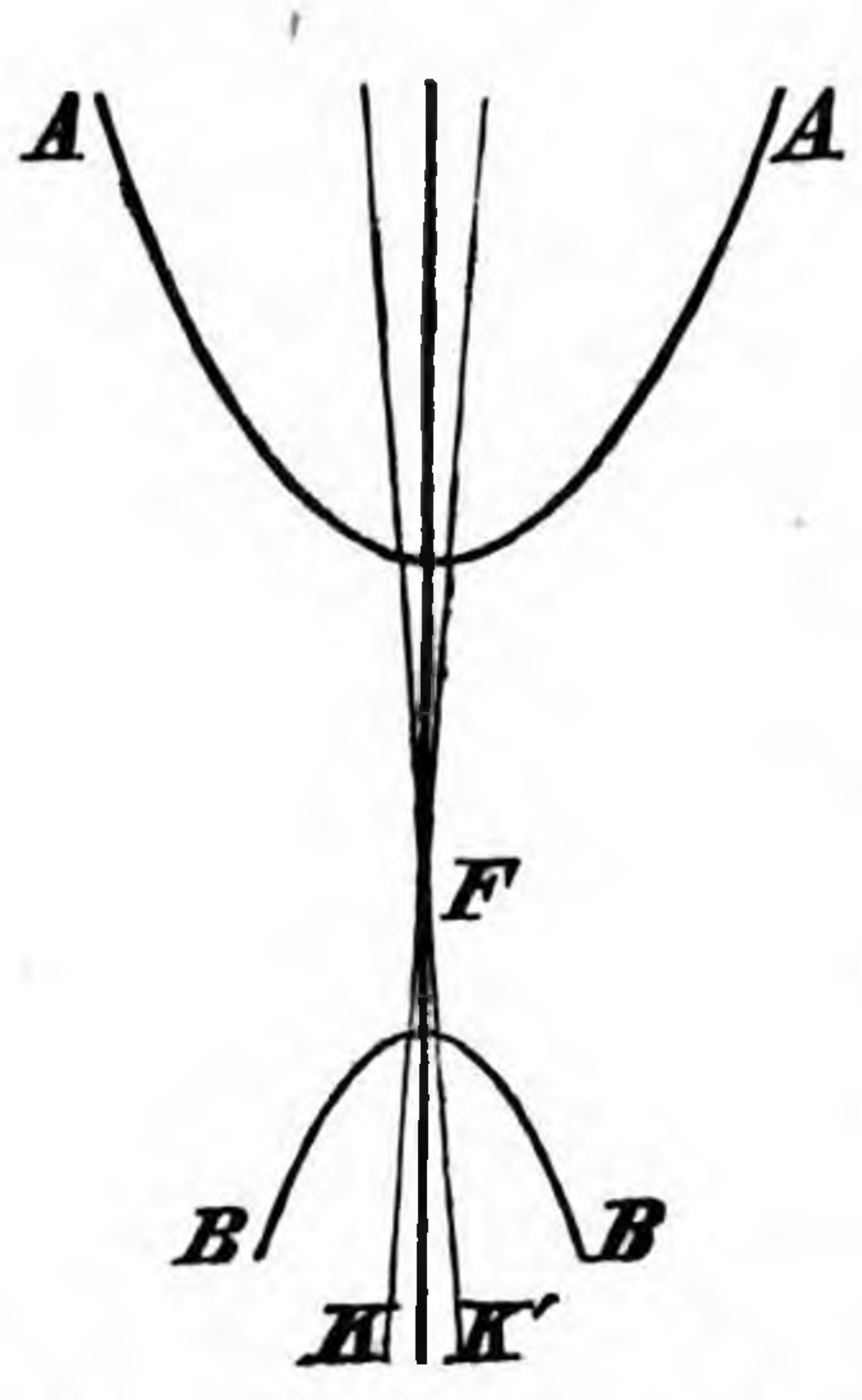
$$\varphi\alpha = \psi\,(\alpha+\varphi\alpha)$$

während

$$\varphi\,(-\alpha) = \psi\alpha \text{ ist,}$$

so dass die Kenntniss von $\varphi\alpha$ für wachsende α von $\alpha = -\varphi 0$ an hinreicht, um sowohl diese Funktion für alle negativen, als auch $\psi\alpha$ für beliebige Argumente zu bestimmen.

Anstatt einer eingehenderen Discussion, welche hier zuviel Raum beanspruchen würde, und welche ich überdiess erst dann geben will, wenn ich im Stande bin, durch eigene Messungen die Funktion $\varphi\alpha$ genauer zu bestimmen, als diess nach den sonst so vortrefflichen aber hiefür unzureichenden Angaben Volkmann's möglich ist, gebe ich hier eine Zeichnung eines Stückes der beiden Curven, wie sie sich nach den erwähnten Daten ungefähr darstellen würden.



A ist die äussere, B die innere Grenzcurve für eine Augendistanz von 64 Mm. und eine Entfernung des Fixationspunktes von 400 Mm. von der Grundlinie, in $^1/_8$ der natürlichen Grösse. F ist der Fixationspunkt, F K und F K' sind die Gesichtslinien.

Man sieht, dass selbst bei so nahe gelegenem Fixationspunkte nur ein kleiner Raum übrig bleibt, in dem Doppelbilder wahrgenommen werden, nämlich der zwischen den Gesichtslinien liegende, und die benachbarten Theile.

Von besonderem Interesse ist es, die Gleichung der inneren Curve für den Fall zu untersuchen, wo $2\gamma = 0$ ist,

d. h. für parallele Gesichtslinien. Man erhält unter Anwendung der bekannten Regeln für die Bestimmung von Funktionen, welche unter der Form $\frac{0}{0}$ erscheinen,

$$r_2 = 2c\ (\sin \alpha + \cos \alpha \cot \psi \alpha)$$

Da nun $\psi \alpha$ selbst für $\alpha = 0$ immer noch eine ziemlich beträchtliche Grösse ist, so wird r_2 immer unterhalb einer bestimmten mässigen Grenze bleiben. Durch eine Interpolation, die freilich gerade für diesen Fall kaum statthaft sein dürfte, ergäbe sich aus den Angaben Volkmann's $\varphi(0) = 20'$, es wäre demnach der Maximalwerth von r_2 ungefähr 11 Meter. Aber selbst wenn die Empfindlichkeit für Doppelbilder in der Netzhautgrube viel weiter gienge, so wird sie doch kaum die Grenze erreichen, welche in einem Auge für die Wahrnehmung distinkter Eindrücke existirt, und selbst dann würden Punkte, die über ein paar hundert Meter entfernt wären, keine Doppelbilder mehr liefern können.

Betrachtet man die erste der Gleichungen, so sieht man, dass für einigermassen kleine Werthe von γ, wie sie in Wirklichkeit allein vorkommen, $\sin(2\gamma - \varphi\alpha)$ für ein bestimmtes α gleich 0 werden muss, d. h. dass für diesen und alle grösseren Werthe von α gar keine äussere Begrenzungscurve mehr existirt.

Wenn γ immer kleiner wird, so muss es einmal den kleinsten Werth erreichen, den $\varphi\alpha$ annehmen kann, von da ab wird alsdann gar kein ausserhalb des Fixationspunktes gelegener Punkt mehr Doppelbilder liefern können, während auch noch eine beträchtliche Anzahl der näher gelegenen Punkte einfach erscheinen muss. Wäre $20'$ der Minimalwerth von $\varphi\alpha$, so würde diess bereits bei einer Entfernung des Fixationspunktes von 22 Meter eintreten.

Da die vorliegenden Messungsdaten für die Untersuchung der Durchschnittscurven der Begrenzungsflächen des empirischen Horopters mit der Medianebene noch viel unzureichender sind, wie für die ebengeführte, so genüge es zu bemerken, dass sie ebenfalls aus zwei symmetrischen Hälften bestehen, die ihre Concavität der Horizontalen zuwenden, und dass ihre Gestalt, so weit sich diess übersehen lässt, jenen der vorhin gefundenen Curven ziemlich ähnlich sein wird.

Daraus ergiebt sich, dass die Begrenzungsflächen des empirischen Horopters etwa die Gestalt der Mantelflächen von Hyperboloiden haben werden.

Fasst man Alles zusammen, so hat man das Resultat:

Bei einer mässigen Convergenz der Gesichtslinien bilden sich die meisten Punkte der Aussenwelt auf so wenig differenten Stellen beider Netzhäute ab, dass sie einfach wahrgenommen werden können.

Wir empfangen also nicht, wie man sonst allenthalben ausgesprochen findet, im gewöhnlichen Leben immer eine Menge von Doppelbildern, die wir nur übersehen, sondern es ist uns im Gegentheile nur in exceptionellen Fällen Gelegenheit geboten, solche wahrzunehmen.

Es werden mithin unter den gewöhnlichen Verhältnissen immer correspondirende „Stellen" (nicht Punkte) gleichzeitig durch die gleichen Ursachen gereizt.

Dieser immerwährende gleichzeitige Gebrauch zu gleichem Zwecke macht es höchst wahrscheinlich, dass das eigenthümliche Verhalten dieser Stellen ein rein aquirirtes sei, ganz ebenso wie nur die Theile unserer Finger uns durch Tasten eine einfache Wahrnehmung vermitteln, welche gewöhnlich gleichzeitig zu diesem Behufe angewendet werden, während andere hiezu vollkommen unfähig sind, wie der bekannte Versuch mit dem Kügelchen zwischen verschränkten Fingern beweist.

Bedenkt man überdiess, dass, wie schon Volkmann a. a. O. S. 70 nachwies, das Gesetz, nach welchem sich die

Grenzdistanzen mit der Neigung gegen den Horizont ändern, vollkommen dieser Anschauung entspricht, und dass endlich auch die eigenthümliche Assymetrie der Netzhäute, welche uns, wie Helmholtz gezeigt hat, bei horizontalen parallelen Gesichtslinien die ganze Bodenfläche zur mathematischen Horopterfläche macht, von unserem Standpunkte aus nothwendig vorhanden sein muss, so dürfte es schwer sein, diese Anschauungsweise durch eine bessere zu ersetzen.

Die Entwicklung dieser Beziehungen war der Hauptgrund, der die vorliegende Untersuchung über die Gestalt des empirischen Horopters veranlasste, die sonst bei den grossen individuellen Verschiedenheiten, die sie jedenfalls zeigen wird, und bei der geringen mathematischen Eleganz, deren die Lösung des Problemes fähig ist, nur untergeordnetes Interesse bieten würde.

Historische Classe.

Sitzung vom 17. Dezember 1864.

Herr Dr. Kunstmann hielt einen Vortrag:

„Ueber einen i. J. 1794 in München entworfenen Plan, Bayern mit Hilfe Frankreichs in eine Republik zu verwandeln.“

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München

Jahr/Year: 1864

Band/Volume: 1864-2

Autor(en)/Author(s): Bezold Friedrich von

Artikel/Article: Zur Lehre vom binocularen Sehen 372-381