V. Die Empfindlichkeit des Augenpaars für Doppelbilder; von Dr. Fr. Burckhardt.

Als Wheatstone die Einrichtung des nunmehr allbekannten, in theoretischer, wie praktischer Hinsicht gleich interessanten Instrumentes, des *Stereoskops*, zuerst bekannt machte, benutzte er einige fundamentale Beobachtungen, um die Lehre von den identischen Netzhautstellen anzugreifen. Seine Einwendungen sind von den verschiedensten Seiten widerlegt worden. Aehnliche Einwürfe wurden von Rogers in seinen *Observations ou binocular vision* in Silliman's Journ. (2) XXI 80—95, 173—189 u. 439 gemacht. Dr. P. L. Panum, hat in seiner vortrefflichen Abhandlung: »*Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen*, Kiel 1858«, ein besonderes Kapitel den Bedingungen und Ursachen des Einfachsehens von Contouren, welche nicht correspondirende Netzhautpunkte beider Augen treffen, gewidmet. Er geht dabei von einer einfachen Beobachtung aus, über welche er Folgendes sagt: »Zeichnet man auf ein Blatt Papier zwei Parallellinien, die von einander etwa 3 Millimeter entfernt sind, für das linke, und in passender Entfernung zwei andere, welche etwa 2 Millimeter, von einander entfernt sind, für das rechte Auge, alle senkrecht zur Visirebene und combinirt die beiden Linienpaare mittelst des Stereoskops, oder irgend einer andern, gleiche Dienste leistenden Vorrichtung, so zeigt das Sammelbild zwei Linien, von den die rechte vorn, die linke aber schräg hinten liegt. Nach der Mittheilung verschiedener Beobachter ist dieses Bild der Tiefendimension ganz rein und ohne Nebenbilder; man sieht nach ihnen entschieden und unzweifelhaft nur zwei Linien, obgleich nur eine Linie des linken Feldes mit einer der Linien des rechten Feldes gleichzeitig auf wirklich und vollständig identische Netzhautstellen fallen kann.«

Nun liegt die Frage nahe, wie groß kann der Unterschied der Entfernungen zwischen den Parallelen werden

ohne dafs das Augenpaar aufhört, ein einfaches Sammelbild wahrzunehmen? darauf antwortete Panum folgendermafsen: »Bei Anwendung gewöhnlicher Linsenstereoskope finde ich, dafs zwei Doppellinien, deren Abstände um 2 Millimeter von einander differiren, leicht und unfehlbar, im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beim binocularen Sehen mit einander verschmelzen. Beträgt der Unterschied der Abstände 2 Millimeter, so ist das Verschmelzen auch noch vollkommen möglich; bei einer Differenz von 3 Millimeter sehe ich aber schon immer Doppelbilder. Professor Karsten gelang ein vollständiges Verschmelzen noch bei dieser Differenz der Abstände; bei einem Unterschiede von 4 Millimeter aber traten die Doppelbilder entschieden auf.«

»Berechnet man hiernach die entsprechenden Gröfsenverhältnisse im Netzhautbilde, den Abstand der vereinigt gedachten Knotenpunkte des Auges von der Retina gleich 12 Millimeter gesetzt, so beträgt diese für eine Differenz von 2 Millimeter im Objecte 0,052 Millimeter im Netzhautbilde, für eine Differenz von 3 Millimeter im Objecte 0,078 Millimeter im Netzhautbilde und für eine Differenz von 4 Millimeter im Objecte 0,104 Millimeter im Netzhautbilde. (Der Abstand des Objects von den vereinigt gedachten Knotenpunkten des jederseitigen Auges betrug 460 Millimeter.) Da nun die Breite der Zapfen der Netzhaut zwischen 0,0045 und 0,0067 Millimeter schwankt, die der Stäbchen aber 0,0018 Millimeter beträgt, so scheint der Grenzwert der Breite von 15—20 Zapfen einigermafsen zu entsprechen, und für verschiedene Individuen scheint der Unterschied der Gröfse, bei welcher die Doppelbilder das Verschmelzen zum einfachen Bilde ablösen, 0,026 Millimeter im Netzhautbilde nicht zu übersteigen.« — »Für horizontale Linien scheinen die Grenzwerthe etwas geringere Gröfse zu haben.« »Beim Sehen mit zwei Augen vermittelt also eine Netzhautpartie (von dem Durchmesser von reichlich 15 Zapfenbreiten) mit einem entsprechenden Netzhautpunkte des andern Auges noch eine einseitliche Empfindung, während jedes Auge für sich schwer die Distanz senkrechter

paralleler Linien von weniger als eine Zapfenbreite im Netzhautbilde gesondert zu erkennen vermag.“ — „Es *kann* also eine einfache Ortsempfindung nicht nur durch je zwei *Punkte* beider Netzhäute, die man identische oder korrespondirende zu nennen pflegt, vermittelt werden, sondern ein jeder empfindende Punkt der einen Retina kann mit einer gewissen Anzahl zusammenliegender Punkte der andern Retina eine einfache Ortsempfindung geben. Wenn man also diejenigen Netzhautpunkte beider Augen korrespondirende nennen will, so muß man sagen, daß jeder Netzhautpunkt mehrere korrespondirende Punkte oder einen *korrespondirenden Empfindungskreis* im andern Auge habe.

Panum betont in einer neuen Arbeit¹⁾, daß die einfache Ortsempfindung in diesen Netzhautpartien vermittelt werden kann, nicht muß, wie er es selbst durch zahlreiche Versuche nachgewiesen habe, und weist damit die Bedenken und Einwendungen ab, welche ihm von Seiten Hasner's²⁾ und Volkmann's³⁾ gemacht wurden, welche aber dadurch noch nicht beseitigt sind.

Es giebt allerdings Fälle, in welchen man einfach sieht, obwohl differente Netzhautstellen getroffen werden, und eben so ist sicher, daß die Differenz ein nach den Individuen verschiedenes, immerhin aber nicht sehr bedeutendes Maass nicht überschreiten darf, ohne die Wahrnehmung von Doppelbildern zu vermitteln.

Panum will nun das Vermögen des Sehapparates, trotz der Affection differenter Stellen einfache Bilder wahrzunehmen, der Physiologie *erobern*, d. h. er will das Vermögen als Nerventhätigkeit ansehen und nicht als das Resultat der Erziehung des Sehapparates, als *Angewöhnung*. Dieser Theorie möchte ich mich auch widersetzen, wozu mich mein für Doppelbilder sehr empfindliches Auge berechtigt. Ich will deshalb zuerst den Grad der Empfindlichkeit meiner Augen für Doppelbilder bestimmen.

1) Archiv f. Anat. und Phys. 1861. I. 63—111.

2) Abh. der Böhm. Gesellschaft (V) 10, 25—34.

3) Graefe Archiv V. 2. 1—100

Wenn beide Augen einen kleinen scharfen Punkt, oder eine scharfe, aber dünne Linie, z. B. einen feinen schwarzen Faden, welcher senkrecht auf der Visirebene steht, fixiren, und man bewegt vor oder hinter dem fixirten Punkt eine feine Nadel hin und her, so erscheint sie im Doppelbilde und zwar ist das Doppelbild um so divergent, je weiter sich die Nadel vom fixirten Punkt, beziehungsweise vom Horopter entfernt, und um so weniger divergent, je näher sich die Nadel dem Horopter befindet, wie diess allgemein bekannt ist. Bewegt man die Nadel so, daß sie, immerhin senkrecht auf der Visirebene, auf der Axe des einen Auges bleibt, so fällt auch der eine Theil des Doppelbildes mit dem fixirten Faden zusammen, der andere aber fällt daneben. Nun kann man die Nadel dem fixirten Faden so nähern, daß man eben noch, oder eben nicht mehr ein Doppelbild wahrzunehmen im Stande ist und aus der Entfernung des Auges und der Nadel vom fixirten Faden den Winkel, unter welchem das Doppelbild erscheint, und daraus die Entfernung der beiden Retinapunkte berechnen, welche noch die Empfindung eines Doppelbildes hervorrufen können.

Es ist hierbei klar, daß man die Nadel eben so gut an einer andern Stelle beobachten könnte, als gerade auf der Augenaxe, und die Beobachtung müßte dasselbe ergeben. Immerhin aber sind, wie schon die anatomische Anordnung der Netzhauttheile erwarten läßt, und wie zahlreiche Beobachtungen ergeben, die Doppelbilder genau am Pole des Auges am deutlichsten wahrzunehmen, und da es sich gerade darum handelt, mit möglichster Genauigkeit den Grad der Empfindlichkeit für Doppelbilder zu bestimmen, so muß ich auch solche Doppelbilder wählen, welche auf möglichst empfindlichen Stellen der beiden Netzhäute hervorgebracht werden.

Die beiden Augen *A* und *B* richten sich bei aufrechter Haltung des Kopfes auf einen scharfen Strich, der in *C* die Visirebene, senkrecht durchschneidet, wobei angenommen wird, *C* sei von *A* und *B* gleich weit entfernt. Auf der Axe *BC*, deren Länge 300 Millimeter beträgt, befindet sich

die Nadel 1 Millimeter von *C* entfernt, dem Auge näher in *D*. Bei dieser Stellung der zu beobachtenden Gegenstände war es mir noch möglich ein Doppelbild wahrzunehmen. Das eine der beiden Bilder deckt den Strich. — Die Entfernung der beiden Augenmittelpunkte für mein Augenpaar beträgt, wie ich in den Verhandl. der Naturf. Gesellsch. in Basel. I. 1. 142, nachgewiesen habe, 64,55 Millimeter. Aus diesen Gröfsen läfst sich nun berechnen, dafs die beiden Punkte, welche noch die Wahrnehmung eines Doppelbildes gestatten und von denen natürlich jede einem Auge angehört, um einen Winkel von einander abste-
 2 $\frac{1}{2}$ Minuten ist.

Setzt man nun mit Panum den Abstand der vereinigt gedachten Knotenpunkte des Auges von der Retina gleich 12 Millimeter, so ergiebt sich als Entfernung der beiden Punkte 0,00873 Millimeter.

Die so geringe Entfernung ist aber, meiner Ansicht nach, noch kein Grenzwert. Vielleicht vermöchte das Auge seine Empfindlichkeit noch einigermafsen zu üben. Die beobachteten Gegenstände selbst sind nicht so dünn, dafs nicht sie selbst auf der Retina eine bestimmte Breite einnehmen.

Die feine Nadel, deren ich mich bediente, misst gegen die Spitze hin wohl 0,1 Millimeter, der feine Strich wohl 0,067 Millimeter im Durchmesser Breite; dieselben nehmen daher selbst schon Sehinkel von 45 Sekunden und von 1 Minute ein oder auf der Retina eine Breite von 0,00262 und 0,00349 Millimeter; als Zwischenraum zwischen den beiden Doppelbildern erhalte man sonach:

$$0,00873 - \left(\frac{0,00262 + 0,00349}{2} \right) = 0,00567 \text{ Millimeter.}$$

Es ist also mein Augenpaar im Stande, dann noch ein Doppelbild wahrzunehmen, wenn der Winkelabstand der beiden Retinapunkte etwa 1 Minute, der absoluten Gröfse nach 0,00567 Millimeter beträgt. Wer sich im Sehen von Doppelbildern üben will, der wird es ganz gewifs noch weiter bringen; denn ich selbst habe, wie gesagt, bei der angegebenen Entfernung noch nicht die Empfindung, die

Grenze erreicht zu haben. Aber gesetzt auch, die Grenze wäre erreicht, so hätte der Empfindungskreis des einen Auges, welcher einem Punkt des andern Auges entspricht, einen nur sehr kleinen Durchmesser, bei welchem jedenfalls von 15 Zapfen keine Rede ist.

Wenn ich nun mit Hilfe des Stereoskopes zwei Bilder, z. B. parallele Linien, welche einen etwas verschiedenen Abstand haben und zwar einen so grossen, daß die Schwindeldifferenz nur 1 Minute beträgt, betrachte, so sehe ich die Linien immer combinirt. Daraus folgt nun mit Bestimmtheit, daß der Punkt *a* des einen Auges mit dem Punkt *b* des andern, bald die Empfindung des Doppelbildes, bald die eines einfachen einleiten *kann*. Man kann die beiden Augen in solche Verhältnisse bringen, daß die Empfindlichkeit für Doppelbilder eine sehr hohe ist, daß das Augenpaar eine Schärfe in der Wahrnehmung der Doppelbilder besitzt, ähnlich oder gleich der, welche einem Auge allein im Unterscheiden zweier naher Punkte zukommt; oder auch in solche Verhältnisse, bei welchen sehr differente Punkte einfach empfinden. Sind nun beide einander entgegengesetzte Wahrnehmungen einfache Nerventhätigkeit? Oder tritt nicht bei der Wahrnehmung der Einzelbilder trotz der Affection differenter Stellen ein neues nicht in dem Sehapparate liegendes Moment hinzu? Werden diese verschiedenen Empfindungsweisen einfacher und ungezwungener erklärt durch die Annahme, daß beide Möglichkeiten im Sehapparate selbst sich befinden, oder dadurch, daß man sich nach einem außerhalb desselben liegenden Erklärungsgrunde umsieht? — Die Verschmelzung der Eindrücke differenter Netzhautstellen beruht auf einer *geistigen Thätigkeit*.

Die Versuche, welche ich zur Bestätigung dieser Thatsache angestellt habe, sind von der einfachsten Art und von Jedem leicht zu wiederholen. Zwar ziehe ich im Allgemeinen vor, binoculare Versuche ohne irgend welche andere Vorrichtung zu machen; indessen, da sie sich an die Panum's anschließen und diese mit einer stereoskopischen Vorrichtung gemacht sind, so bediente auch ich mich

des gewöhnlichen Linsenstereoskopes. (Ich kann hiebei nicht umhin, den Wunsch auszusprechen, dafs, bei der Publikation stereoskopischer Zeichnungen, die beiden Figuren möchten in etwas geringerem Abstand gezeichnet werden, als die Entfernung der beiden Augen beträgt, indem dadurch die Beobachtung mit dem Stereoskop nicht wesentlich erschwert, die Beobachtung ohne Stereoskop aber wesentlich erleichtert wird.) — Ich theile einige der angestellten Versuche mit:

1. Ich zeichne zwei parallele Linien, die für das linke Auge einen Abstand von 3, für das rechte einen Abstand von 4 Millimeter haben. Bei der Combination sehe ich entweder:

a) beide Bilder zusammenfallen, natürlich nicht in derselben Entfernung vom Auge oder bei aufmerksamer Beobachtung:

b) erscheinen 3 Linien, dieses jedoch selten wenn beide Linien schwarz und gleich stark gezeichnet sind.

2. Eine der 4 Linien wird nun roth gezeichnet. Da treten immer oder beinahe immer 3 Linien auf, und zwar eine rothe und schwarze in unmittelbarer Nähe und in gröfserer Entfernung davon eine schwarze.

3. Ich zeichne für das linke Auge einen Kreis, dessen Radius 12 Millimeter misst, einen zweiten für das rechte Auge mit einem Radius von 13 Millimeter, beide schwarz. — Fixire ich nun den Mittelpunkt, so combiniren sich beide Kreise, fixire ich einen Punkt, wo der horizontale Durchmesser den Kreis durchschneidet, so erscheint mir der Theil des Kreises, welcher diametral entgegengesetzt ist, doppelt, also selbst auf einem seitlichen Theil des Gesichtsfeldes.

4. Ist aber der gröfsere Kreis roth, und ich fixire den Mittelpunkt, so sehe ich einen von rothem Rand umsäumten schwarzen Kreis. Und noch deutlicher doppelt erscheint ein Theil des combinirten Bildes, wenn ich den Endpunkt des horizontalen Diameters fixire.

5. Ziehe ich einen Kreisbogen, dessen Radius 64 Millimeter, einen andern, dessen Radius 55 Millimeter und deren Sehnen 43 Millimeter lang sind, so werden sie, wenn

beide schwarz sind, vollkommen combinirt, nicht mehr, wenn der eine davon roth gezeichnet ist. — Erhält jeder der beiden Bogen seine Sehne, so sehe ich bald die Sehne, bald den Bogen, je nach dem fixirten Punkt.

6. Zwei gerade Linien, von welchen die eine für das rechte, die andere für das linke Auge gezeichnet ist, weichen von der Senkrechten zur Visirebene jede um $3\frac{1}{2}^{\circ}$, die eine rechts, die andere links ab. Sind beide schwarz, so lassen sie sich zur Noth combiniren, ist eine davon roth, so lassen sie sich nicht mehr combiniren.

7. Wenn ich die Projectionen einer stark abgestumpften Pyramide so zeichne, daß den schwarzen Projectionslinien der einen, rothe in den andern und umgekehrt entsprechen, so erscheint die Grundfläche mit doppelten Seiten (senkrecht zur Visirebene) wenn die Abstumpfungsfäche einfach gesehen wird, und letztere doppelt, wenn die Grundfläche einfach gesehen wird.

8. Hieran reiht sich eine anders gedeutete und zur Erklärung den Glanzerscheinungen von Dove ¹⁾ mitgetheilte Beobachtung. Statt nämlich in der oben angegebenen Weise die Linien verschiedenfarbig zu sehen, kann man sich mit Erfolg auch farbiger Gläser bedienen. Bevor das Stereoskop Salonspielzeug war und die Photographien, welche allerdings außerordentliche Illusion hervorzubringen vermögen, verbreitet waren, bediente man sich fast ausschließlich weißer Zeichnungen auf schwarzem Grunde. Betrachtet man das rechte Bild einer solchen durch ein blaues, das linke durch ein rothes Glas, so wird nicht ein mit violetten Linien begrenztes Sammelbild gesehen, sondern die rothen und blauen Linien liegen nebeneinander, auch bei solchen Figuren, bei welchen ohne Anwendung farbiger Gläser nur ein Relief mit einfacher Linie erscheint. Wer nie geglaubt hat, daß er eigentlich zwei verschiedene Bilder combinire, der wird sich der Verschiedenheit auf diesem Wege bewußt. Wird aber nun eine einfache weiße Linie auf schwarzem Grunde in dieser Weise betrachtet, so erscheint sie nicht

1) Pogg. Ann. B. 33, S. 169 ff.

etwa als aus zwei nebeneinander liegenden Linien zusammengesetzt, sondern man sieht die Linie, wenn die Farben sehr verschieden sind, bald in der einen, bald in der andern, indem eine Farbe die andere in der Richtung der Linie verdrängt.

Aus allen beschriebenen Versuchen geht nun unzweideutig hervor, daß verschiedene Färbung der Linien, wesentlich dazu beiträgt, das wirkliche Vorhandenseyn der Doppelbilder deutlich zu machen, in zahlreichen Fällen, wo gleichfarbige Linien zu einem einfachen Bilde verschmelzen können. Sollten diese Versuche mit Panum's Annahme vereinigt werden, so müßte ferner angenommen werden, daß die Empfindungskreise für bloß räumlich verschiedene, der Farbe nach aber gleiche Eindrücke größer seyen, als für Eindrücke, welche sowohl räumlich als qualitativ verschieden sind.

Allein nicht in Uebereinstimmung damit zu bringen ist die Thatsache, die weder mir allein, noch mir zuerst aufgefallen ist, die mir aber bei allen und jeden binocularen Versuchen folgt, daß es ganz in meiner Willkühr steht, lineare Figuren unter dem Stereoskop zu combiniren, oder als Doppelbilder zu sehen. Selbst bei vortrefflichen Photographien, bei welchen die meisten Beobachter kaum Doppelbilder wahrnehmen, sehe ich oft beim Fixiren entfernter Gegenstände die nähern doppelt und ebenso umgekehrt. Dazu habe ich aber meinem Sehapparat keine Gewalt angethan, sondern ich habe ihn in einer Richtung, welche der des täglichen Lebens genau entgegengesetzt ist, geübt. Durch diese Uebung habe ich zwar nicht das Körpersehen verlernt, da es noch mit vielen andern Verhältnissen zusammenhängt, allein sie befähigt mich, mich von einer Gewohnheit loszusagen, die begreiflicher Weise den meisten Menschen so sehr eingewurzelt ist; daß Panum sie selbst für angeboren hält. Was ich mir aber durch Uebung und sorgfältige Beobachtung abgewöhnen kann, das darf ich auch als durch Angewöhnung erworben betrachten. Einer angeborenen Nervenfunction kann ich mich nicht entäufsern.

Umgekehrt aber ist es namentlich für scharfsichtige Augen anfangs nicht möglich oder schwer, im Stereoskop lineale Figuren zu combiniren und die dritte Dimension wahrzunehmen; es gelingt erst nach einigen Versuchen. Auch bleibt dann nicht selten eine eigenthümliche Anstrengung beim Stereoskopiren übrig. Die Wahrnehmung der Differenz, nicht correspondirender Netzhautindrücke, ist die ursprüngliche, die Combination derselben aber die secundäre Erscheinung.

Wenn man nun dem Ausdruck, daß ein Empfindungskreis des einen Auges mit einem Punkt des andern eine einfache Empfindung vermitteln könne, eine andere Bedeutung geben soll, als die, daß ein in gewöhnlicher und natürlicher Weise erzogenes Auge beim Stereoskopiren die Doppelbilder erst wahrnehme, wenn sie eine gewisse Divergenz erreicht haben, so stimmt er nicht mit zahlreichen Erfahrungen. Hat er aber nur diese Bedeutung, so ist die Wahrnehmung der Tiefendimension als auf einem physischen Acte beruhend, für die Physiologie nicht erobert. Wie nun die Wahrnehmung der dritten Dimension entsteht, kann ich wohl übergehen, da es von Volkmann besser gesagt worden ist, als ich es zu sagen vermöchte.

Im Zusammenhang mit dem Gesagten steht folgender Versuch:

9. Ich zeichne die Projectionen einer regelmäßigen sechseckigen Pyramide für beide Augen und ziehe in beiden Projectionen die Durchmesser des Sechsecks, alle Linien gleich stark, so daß keine von der andern ausgezeichnet ist. Combinire ich diese beiden Bilder, so kann ich zweierlei Körperbilder erhalten, je nachdem ich die Augenachsen sich etwas weiter oder näher kreuzen lasse. Werden nämlich die Durchmesser der linken Figur mit den Seitenkanten der rechten vereinigt, und die Seitenkanten der linken mit dem Durchmesser der rechten, so erscheint nicht mehr die einfache Pyramide, welche man deshalb erwarten sollte, weil man deren Projectionen gezeichnet hat, sondern man sieht eine Doppelpyramide, d. h. eine hohle und eine

erhöhte über demselben Sechseck, eine Pyramide, deren Axe schief, nicht rechtwinklich die Bildebene durchschneidet, und der Versuch gelingt für etwas geübte Augen sehr leicht, wenn man die Spitze der Pyramide nicht zu sehr vom Mittelpunkte des Sechsecks entfernt.

Für ganz ungeübte Augen aber gelingt er beinahe unfehlbar, wenn man irgend zwei Liniengruppen, also z. B. die Durchmesser der linken und die Kanten der anderen Figur, durch irgend etwas auszeichnet, indem man sie in anderer Farbe, oder punktirt, oder in anderer, nicht einmal sehr verschiedener Stärke zeichnet. Die geringfügigsten Unterschiede in den geometrisch absolut gleichen Projectionen können sonach bald zur Wahrnehmung des einen, bald zur Wahrnehmung des andern Reliefs Anlaß geben. Liegen der Mittelpunkt des Sechsecks und die Spitze der Pyramide weit auseinander, so kann die einfache gerade Pyramide gar nicht mehr wahrgenommen werden, sondern es erscheint die schiefe Doppelpyramide.

Basel im März 1861.

VI. *Bemerkung über die Bestimmung des Werthes der Scalentheile in magnetischen Observatorien;* von Dr. Lamont.

In magnetischen Observatorien stellt man sich zunächst die Aufgabe, die täglichen Variationen des Erdmagnetismus mit der für die Theorie erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen, was eine richtige Kenntniß des Werthes der Scalatheile voraussetzt. Es ist meine Absicht in diesem Aufsatz verschiedene hierauf bezügliche Bestimmungsmethoden anzugeben, die meines Wissens bisher nicht benutzt worden sind, und die in der Praxis von wesentlichem Vortheile seyn dürften.