© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

PHYSIK.

Herr Friedr. Burckhardt: Ueber Binocularsehen. (Vorgelesen d. 12. Jan. und 9. März 1853.)

Die Erscheinungen des binocularen Sehens beschäftigen seit einigen Jahrzehnden manche Physiologen und Physiker, seitdem durch J. Müllers Gründlichkeit die vielfachen, verschiedenartigen und höchst zerstreuten Beobachtungen eine wissenschaftliche Bearbeitung gefunden haben. Zu der Beantwortung der Frage: Wie kann und wann muss ein objectives Einzelbild auch subjectiv als solches, wann nicht als solches empfunden werden? ist seit Müller wenig Durchgreifendes mehr in die Lehre vom Sehen mit beiden Augen eingeführt worden. Seine auf die Annahme identischer Netzhautstellen begründete Theorie vom Einfach- und Doppeltsehen eines einfachen Körpers wurde von den Physiologen fast ebenso allgemein angenommen, als von den Physikern bekämpft, und man ist auch gegenwärtig noch lange nicht über diesen Hauptpunkt einig. Durch diesen Kampf hat sich eine ziemlich bedeutende Litteratur gesammelt, so dass es mir hier nicht möglich ist, auf alles darin Behandelte näher einzutreten; ich werde mich an Einzelnes, das besonders hervorzuheben ist, halten müssen.

Die Lehre von den identischen Netzhautstellen ist nach J. Müller kurz zusammengefasst folgende: Jeder Punkt in dem Einen Auge hat im andern einen entsprechenden, identischen; alle andern Punkte des zweiten Auges verhalten sich gegen ihn different. Denkt man sich die Augenachsen verlängert, bis sie die Netzhäute schneiden, und heisst man die Schnittpunkte Pole der Augen, umgiebt man

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ferner die Augen mit Längen- und Breitenkreisen um diese Pole, so heissen zwei Punkte, welche gleiche Länge und Breite haben, identisch, solche, die verschiedene Länge und Breite haben, different. Identische Punkte liegen also in den beiden Augen gleich und unsymmetrisch. Sendet ein Punkt ausserhalb des Auges Strahlen in jedes Auge, welche identische Stellen treffen, so wird er einfach gesehen, treffen dieselben differente Stellen, so wird er doppelt gesehen. Kreuzen sich die Sehachsen in einem Punkte, so sieht man diesen Punkt einfach, weil die Pole der Augen (die jedenfalls entsprechend sind) getroffen werden. Durch eine einfache geometrische Betrachtung hat Müller nachgewiesen, dass nicht nur der Convergenzpunkt der Augenachsen bei einer bestimmten Stellung derselben einfach gesehen wird, sondern dass alle Punkte, welche auf einem Kreise liegen, der durch den Convergenzpunkt und durch die Augenmittelpunkte gelegt werden kann, ebenfalls einfach erscheinen. Durch die beiden Augenachsen wird eine Ebene bestimmt, und kein Punkt der Ebene weder ausserhalb, noch innerhalb des genannten Kreises, des Horopters, genügt der Bedingung identische Netzhautpunkte zu afficiren. Es darf natürlich diese aus einer geometrischen Betrachtung hervorgehende Kreislinie in der Wirklichkeit nicht als genau richtig betrachtet werden. Sie ist nur diejenige Linie, welche für alle Augenpaare, alle Augenstellungen und Refractionszustände der Bedingung am nächsten entspricht.

An dieser Horopterlinie ist viel gerüttelt worden. Heermann hat eine Verbesserung zu geben versucht mit Berücksichtigung der verschiedenen Refractionszustände für verschieden gerichtete Strahlen und glaubt, „den ungefährigen Horizontaldurchschnitt des Horopters gegeben zu haben.“ Mathematische Unrichtigkeiten machen die Ableitung höchst unklar.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Volkmann erwähnt eine Verallgemeinerung des Horopters für den Raum und findet eine Kugel, deren Aequator der Horopter ist*). Auch die Identitätsfläche Tourtuals entspricht der Bedingung nicht. Es lässt sich aber erweisen, und diess ist zuerst von Prévost geschehen, dass die räumliche Horopterfigur nichts anderes ist, als der Müller'sche Horopterkreis und eine im Convergenzpunkt der Augenachsen auf den Horopter errichtete Senkrechte. Ich habe diese Figur unabhängig von Prévost auf ganz anderm Wege auch erhalten, will aber nicht in die genauere Auseinandersetzung eintreten, sondern nur den Gang des Beweises andeuten.

Die Augen müssen als Kugeln angenommen werden. Die Mittelpunkte derselben als Kreuzungspunkte der Strahlen. Uebrigens gilt der Beweis, es mag irgend ein Punkt der Augenachsen als Kreuzungspunkt angenommen werden.

Die Horopterebene schneidet die Augen in grössten Kreisen A und A_1, welche nur identische Punkte enthalten. Denkt man sich durch die Sehachsen Ebenen gelegt, senkrecht zu der Horopterebene, so schneiden diese wieder die Augen in grössten Kreisen B und B_1, welche senkrecht auf die ersten stehen und nur identische Punkte enthalten; die beiden Ebenen schneiden sich aber in einer Linie, welche im Achsenconvergenzpunkte senkrecht auf den Horopter steht.

Werden ferner durch den Punkt, welche dem Convergenzpunkt auf dem Horopterkreise diametral gegenübersteht und durch die Augenmittelpunkte Ebenen senkrecht auf den Horopter gerichtet, so schneiden sich dieselben in einer Senkrechten, die Augen aber in grössten Kreisen C und C_1, welche wiederum nur identische Punkte enthalten. Gehen von irgend einem Punkte des Horopterkreises oder

*) Auch in Ludwigs Physiologie ist noch von dieser Kugel die Rede.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der beiden Senkrechten Strahlen nach den Augen, so werden gleichliegende, identische Punkte getroffen und zwar entsprechen den drei Theilen des räumlichen Horopters drei Paare identischer Kreise. Diese drei Kreise, von denen in Wirklichkeit aus einem leicht ersichtlichem Grunde nur zwei in Betracht kommen können, möchte ich Hauptkreise nennen, sie sind constant und entsprechen den beiden Theilen des räumlichen Horopters, die Kreise A und A_1 dem Müllerschen Horopter, die Kreise B und B_1 der Senkrechten im Achsenschnittpunkte.

Denkt man sich von irgend zwei identischen Punkten aus, welche nicht auf den Hauptkreisen liegen, Strahlen nach aussen gezogen, so werden sich dieselben zwar in einer horizontalen Projection schneiden; legt man aber die Raumfigur in die Horopterebene um, so sieht man leicht, dass es unmöglich ist, dass sich die Strahlen schneiden. Es geht daraus umgekehrt hervor, dass es im Raume ausser den, beiden Hauptkreisepaaren entsprechenden Linien keinen Ort giebt, von dem Strahlen nach identischen Netzhautpunkten gelangen können.

Alle Punkte aber im Raume, welche nicht einfach gesehen werden können, weil sie differente Stellen treffen, werden doppelt gesehen, und zwar lässt sich eine verschiedenartige Verschiebung denken.

Horizontal doppelt erscheinen alle Punkte, welche

1) in der Horopterebene,

2) in einer Ebene liegen, welche senkrecht auf die Mitte der Verbindungslinie beider Augenmittelpunkte steht.

Vertical doppelt erscheinen alle Punkte, welche auf einem Cylinder liegen, dessen Erzeugungskreis der Horopter, und dessen Achse senkrecht auf denselben steht.

Für alle andern Punkte des Raumes tritt zugleich eine horizontale und seitliche Verschiebung ein. Die horizon-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

talen Doppelbilder erscheinen um so divergenter, je weiter der gesehene Punkt sich vom Horopterkreise entfernt, die verticalen Doppelbilder, je weiter sich der Punkt von der Senkrechten im Convergenzpunkte der Augenachsen entfernt.

Die beiden genannten Ebenen, in welchen sich alle horizontal doppelt gesehenen Punkte befinden, und der Cylinder, welcher alle vertical doppelt gesehenen enthält, schneiden sich aber in dem Müllerschen Horopterkreise und den beiden dazu senkrechten Linien, welche oben sind construirt worden.

Die Bestätigung der angeführten Thatsachen, welche aus der Annahme identischer Netzhautstellen mit Nothwendigkeit hervorgehen, lässt sich leicht durch das Experiment geben, vorausgesetzt, dass das beobachtende Auge eine gewisse Empfindlichkeit für Doppelbilder hat. Meine Augen sehen eine Nadel, welche in der Entfernung von 8 — 10″ eine Linie vor einen Punkt auf weissem Papier gehalten wird, noch deutlich doppelt, so dass ich denselben wohl einige Schärfe in Bezug auf Wahrnehmung von Doppelbildern zuschreiben darf.

Werden die beiden Augen in möglichst fester Lage in die Richtung einer Ebene gebracht, und wird zugleich ein Punkt fixirt, so lassen sich durch Hin- und Herbewegen einer Nadel leicht noch viele andere Punkte finden, welche bei dieser fixirten Augenstellung einfach gesehen werden. Zieht man durch alle diese Punkte einen Bogen, so gehört dieser höchst annähernd einem Kreise an, der durch die Augenmittelpunkte geht. Es wird hiedurch erwiesen, dass selbst bei Berücksichtigung der verschiedenen Refraction für seitlich einfallende Strahlen, der Horopter nahezu die Gestalt eines Kreises hat.

Es braucht nicht weiter erwähnt zu werden, dass die verticalen Doppelbilder, so wie die zugleich seitlich und vertical verschobenen mit einiger Uebung leicht können

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wahrgenommen werden, alle natürlich bloss in einem verhältnissmässig kleinen Bogen, da der Nasenvorsprung der Beobachtung von Doppelbildern ein unübersteigliches Hinderniss in den Weg legt, und so gerade die divergentesten Doppelbilder beseitigt.

Das Sehen einfacher Körper sollte der Lehre von den identischen Netzhautpunkten einen harten Stoss beibringen, und zwar knüpft sich der Angriff zunächst an die Erfindung des Stereoscops.

Werden etwas nahe Gegenstände in ruhiger Lage der Augen von jedem Auge gesondert betrachtet, so ist leicht eine Verschiedenheit der Bilder in beiden Augen wahrzunehmen. Wir sehen überhaupt nur dann ein Körperbild, wenn die beiden Retinabilder verschieden sind. Porterfield vergleicht unser Augenpaar zwei Standpunkten, von denen aus wir die Gegenstände aufnehmen. Wir dürfen, wenn wir einen Körper in seinen Dimensionen und seiner Entfernung vom Auge wollen richtig erkennen, denselben nicht bloss mit Einem Auge, einseitig, betrachten. Wheatstone zog daraus den einfachen Schluss, dass das Augenpaar, wenn jedem Auge besonders ein getreues Abbild des Körpers vom richtigen Standpunkt aus aufgenommen, dargeboten würde, nicht ein Flächenbild, sondern ein Körperbild wahrnehmen müsste. Projicirt man den Körper für zwei Augenpunkte so, dass als Augendistanz die Weite des deutlichen Sehens, als Abstand der beiden Verschwindpunkte die Entfernung beider Augenmittelpunkte angenommen wird, so erhält man zwei Bilder desselben Körpers; welche vollkommen so beschaffen sind, dass sie auf den beiden Netzhäuten dieselben Contouren entwerfen, wie sie der Körper selbst hervorbringen würde. Da aber Ungenauigkeit der Ausführung den Erfolg stören könnte, kann man den besten Zeichner, das Licht, auf die jodirte Silberplatte zeichnen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lassen; alsdann entstehen, wenn die beiden Stellungen, unter denen die Bilder eines Körpers aufgenommen werden, ungefähr eine Neigung von 18° haben, ein Winkel, den die Augenachsen ungefähr bei einer Convergenz in 8″ Entfernung bilden, so vollkommen entsprechende Projectionen des Körpers, wie sie von Hand nicht können nachgeahmt werden. Die Vereinigung von Bildern, welche auf diese Art sind erhalten worden, bewerkstelligte Wheatstone*) so, dass er dieselben an zwei parallelen Wänden aufstellte und mittelst zweier, ungefähr rechtwinklig zu einander geneigten Spiegel in die Augen projicirte; das Instrument hiess er Stereoscop. Brewster erreichte denselben Zweck mittelst zweier Linsen, welche auf einem Durchmesser aus einer grössern Linse symmetrisch herausgeschnitten wurden. Die brechenden Winkel werden gegen einander gestellt und dadurch die Lichtstrahlen, welche von den beiden neben einander liegenden Projectionen nach den entsprechenden Augen gelangen sollen, so gebrochen, dass sich die Bilder in der Focaldistanz der Linsen decken. In diesem Stereoscope zeigen sich die Bilder am deutlichsten und raschesten, daher es denn auch die grösste Verbreitung gefunden hat und nunmehr zu einem interressanten Salonspielzeuge geworden ist. Die bei weissen Figuren auftretenden prismatischen Farben, welche durch eine kostspielige achromatisirende Vorrichtung wegzuschaffen wären, sind oft etwas unangenehm.

Auf Brechung in rechtwinkligen Prismen und Reflexion an deren Hypotenusenflächen gründete Dove eine Reihe sinnreicher Stereoscope, welche vor allen andern eine gleichmässige Beleuchtung gestatten und keine Farben zeigen.

---

*) Bei der Beschreibung dieses und der folgenden Stereoscope habe ich mich äusserst kurz gefasst, da die Details in den Originalaufsätzen nachzulesen sind und mich hier viel zu weit führen würden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die neuesten Methoden stereoscopischer Combination von E. Wilde und Rollmann bieten zwar einiges Interesse dar, können aber hier bloss erwähnt werden.

Die Wirkung aller dieser Stereoscope ist nun einfach die: man glaubt statt zwei ebener Bilder ein Körperbild wahrzunehmen. Wie wir dieselbe Wirkung auch ohne weiteres Instrument hervorbringen können, darüber werde ich später das weitere erwähnen.

Wheatstone griff mit dem Stereoscope die Lehre der identischen Netzhautpunkte an und zwar folgendermassen:

Ist die Annahme richtig, so können nur Punkte des Horopters einfach gesehen werden, indem nur dann identische Punkte afficiert werden; nun aber lehrt uns das Stereoscop und das Körpersehen überhaupt, dass auch Punkte ausserhalb des Horopters können einfach gesehen werden, indem doch nicht alle Punkte eines Körpers mit dem Horopter zusammenfallen können. Wheatstone glaubt sogar nachweisen zu können, dass selbst in dem Falle, wenn evident identische Netzhautstellen afficirt werden, Doppeltsehen eintreten könne. Seine Gründe sind mit vieler Umsicht von Tourtual und mit nicht weniger Schärfe, wahrscheinlich unabhängig von demselben, wie wohl nach ihm von Prévost widerlegt worden.

Wer zum ersten Male in ein Stereoscop sieht, dem wird es unmöglich, gewisse Figuren, und zwar gerade diejenigen, von denen einzelne Theile höchst differente Stellen der beiden Netzhäute afficiren, sogleich zu combiniren. Es wird unter zehn kaum Einem gelingen, einen gegen die Augen stehenden Pfeil in seiner richtigen Lage zu erkennen, so wenig als ein normales Augenpaar einen senkrecht gegen die Verbindungslinie beider Augen ausgespannten Faden einfach sehen wird. Sind hingegen die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zeichnungen von der Art, dass ihre Bilder nur höchst wenig differente Stellen treffen, so werden die Doppelbilder wenig divergirend, und für den Ungeübten schwer oder gar nicht wahrnehmbar sein. Sollen wir uns wundern, wenn in einem solchen Falle das Augenpaar glaubt, ein einfaches Bild zu sehen und zwar das Bild desjenigen Körpers, welches in seinem Auge ganz dasselbe Bild würde erzeugt haben? Warum wir überhaupt Körper sehen, wieviel die Gewohnheit dazu beiträgt, das weiss ich nicht genau anzugeben; dass aber die Gewohnheit bedeutend mit im Spiele ist, beweist einfach der Umstand, dass man sich das Körpersehen zwar nicht in allen Fällen, doch in vielen abgewöhnen kann. In gewissen Zeiten, wo ich mich viel mit Doppeltsehen und dem Stereoscop abgegeben habe, war's mir ein Leichtes, beinahe nichts als Ebenen zu sehen, wenigstens wenn ich Körper betrachtete, welche nicht sehr weit von den Augen entfernt waren; und wie zum Beispiel J. Müller im Stereoscop nur neben einander liegende Flächen sehen kann, so ist es mir auch möglich, alle erscheinenden und zwar mir jetzt gewöhnlich beim ersten Blicke erscheinenden Körperbilder, in die beiden Bestandtheile aufzulösen. Der Versuch gelingt mir nicht bei Daguerrotypen von solchen Gegenständen, deren einzelne Theile auf wenig differenten Stellen sich abbilden. Eine Statue, ein Relief photographisch für das Stereoscop aufgenommen und mit demselben combinirt, gibt Bilder, welche sich auf sehr entsprechenden Netzhautstellen abbilden, und es bedürfte allerdings einer ungemeinen Empfindlichkeit für Doppelbilder, um in solchen Fällen wirklich solche wahrzunehmen. Ein hervorstehender Arm oder irgend ein Gegenstand, welcher auf etwas differentern Stellen sich abbildet, wird aber immer doppelt gesehen. Differente Stellen empfinden zwar immer doppelt, können aber einfach sehen, wenn man unter Sehen die durch die (wahr-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

scheinlich angewöhnte) Vorstellung vermittelte Empfindung begreift.

Wheatstone glaubte sogar durch einen Versuch zu zeigen, dass selbst identische Punkte zugleich afficirt doppelt sehen können. Diess wäre allerdings für die Lehre ein harter Schlag. Allein es geht aus der Beschreibung des Versuches hervor, dass Wheatstone zwar richtig gesehen oder geschaut hat, nicht aber richtig beobachtet. Man darf bei solchen Versuchen nicht auf den ersten Eindruck hin Schlüsse und Folgerungen ziehen, sondern sich Zeit und Musse gönnen, der angewöhnten Vorstellung sich zu begeben; dadurch sieht man nicht mit einem Vorurtheil die Sache an, sondern gerade ohne ein solches, das uns überall da begleitet, wo wir unser Augenpaar seiner Gewohnheit überlassen. Der Versuch ist folgender:

Wird dem rechten Auge eine verticale, dem linken eine von der senkrechten Richtung etwas abweichende Linie in dem Stereoscop dargeboten, so sieht man eine Linie, deren Extremitäten sich in verschiedenen Entfernungen vor den Augen zu befinden scheinen. Es werde nun auf das Blatt für das linke Auge eine schwächere verticale gezogen, welche der auf dem Blatte für das rechte Auge befindlichen Linie in Stellung und Länge genau entspricht. Betrachtet man die beiden Blätter im Stereoscope, so werden die beiden stärkern Linien, von denen jede mit Einem Auge gesehen wird, sich decken, und die daraus resultirende einfache Linie wird in derselben perspectivischen Linie erscheinen, als vorher der Fall war, die schwache Linie aber, welche auf Netzhautpunkte des linken Auges fällt, die mit denen des rechten correspondiren (identisch sind), auf denen sich die starke verticale Linie darstellt, erscheint an einem verschiedenen Orte.

Es hat dieser Versuch beim Lesen etwas Ueberraschendes, was aber beim Anstellen desselben ganz und gar weg-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

fällt. Es ist von drei Linien die Rede, einer verticalen starken für das eine Auge, einer schiefen starken und einer verticalen schwachen für das andere Auge. Heisse ich die erste *ab*, die zweite *cd*, und die dritte *ef*, so lassen sich drei Fälle denken: 1) die Augenachsen kreuzen sich so, dass *a* und *c* zusammenfallen, dann liegen *b* und *d* nebeneinander, und da die beiden verticalen Linien sich auf differenten Stellen abbilden, auch diese; 2) die Punkte *b* und *d* fallen zusammen, dann liegen *a* und *c* neben einander, und die verticalen auch, aus demselben Grunde; oder 3) die Augenachsen kreuzen sich in den Mitten der Linien, dann werden sich die verticalen decken, die Endpunkte der schiefen Linie aber werden neben den Endpunkten des Deckbildes sich befinden. Es sind gerade in diesem Falle die beiden Linien, die stark verticale und die schiefe, die Projectionen einer schief gegen das Auge gestellten Linie; wird diese Linie etwas stark schief, so dass die Entfernungen der Endpunkte in bedeutend verschiedenen Abständen vom Auge sich befinden, so kann kein Mensch mehr die beiden Bilder vereinigen, wie man denn auch beim Beobachten eines Körpers in einer solchen Lage denselben in zwei Bilder sich auflösen sieht.

Gewisse richtig gezeichnete stereoscopische Figuren können unter keinen Umständen vollständig combinirt werden, weil auch die Körper, deren Projectionen sie sind, in Wirklichkeit auch nie in allen Theilen können einfach gesehen werden, sondern, wenn ein Theil derselben fixirt wird, der grössere übrige Theil doppelt erscheint.

Dove beschreibt ein Beispiel solcher Art: „Ich zeichnete auf weissen Grund mit rothen Linien die Projection einer Pyramide, welche ein convexes Relief darstellte und über derselben Grundfläche mit blauen Linien, die Projection einer gleichen Pyramide, welche bei stereoscopischer Combination hohl erscheint. Das zweite Blatt enthielt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

die entsprechenden Projectionen mit denselben Farben. Hätten sich die Eindrücke in gleicher Weise combiniren lassen, als ihre beiden Componenten, so hätte die senkrechte Achse der convexen rothen Pyramide die Verlängerung gebildet der ebenfalls senkrechten Achse der concaven blauen Pyramide. Es ist aber hier unmöglich, ein Relief zu erhalten, man sieht stets einen von einem Sechsseit umschlossenen sechsseitigen Stern, dessen sämmtliche Linien aus nebeneinanderliegenden blauen und rothen Linien gebildet sind."

Nach der Originalzeichnung habe ich mir eine Copie dieser Projection gezeichnet, und habe auch auf den ersten Blick dasselbe gefunden. Nun aber ist es möglich, durch Veränderung der Achsenconvergenz, sowohl die erhabene als die vertiefte Pyramide im Relief zu sehen, freilich nicht beide zugleich, was selbst dann unmöglich ist, wenn man den Körper selbst, aus Draht verfertigt, beobachtet. Ja man kann sogar dadurch, dass man den Mittelpunkt des ganzen Körpers oder besser des Drahtgerippes fixirt, ebenfalls den von einem Sechsseit umschlossenen sechsseitigen Stern wahrnehmen, wobei man ganz alles Urtheil über die verticale Dimension des Körpers verliert.

Es giebt noch eine andere Art stereoscopische Bilder zu sehen, und zwar sind hiezu keine Apparate nöthig, man kann es durch Doppeltsehen, und zwar ist diess schon von Verschiedenen beobachtet, aber als so angreifend für die Augen dargestellt worden, dass das häufige Anstellen von Versuchen nicht anzurathen ist. Es verhält sich damit folgendermassen:

Wird ein Gegenstand fixirt, so fallen von dem fixirten Punkte Strahlen auf identische Netzhautstellen, die Pole, er wird demnach einfach gesehen. Befindet sich in der Richtung des einen Strahles ein Punkt, so fällt sein Bild mit dem ersten zusammen, ebenso verhält es sich, wenn

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ein Punkt sich in der Richtungslinie des andern Auges befindet. Es können also zwei getrennte Punkte einfach gesehen werden. Die Punkte aber, von welchen jeder in einem Auge ein Bild im Pole hervorbringt, bilden sich auch im andern Auge, nur aber auf differenten Stellen ab, werden also nicht mehr einfach gesehen. Man erhält also drei Bilder oder anders: Jeder Punkt bringt in jedem Auge ein Bild hervor, im Ganzen sind also deren vier vorhanden, zwei fallen auf die Pole, werden also combinirt, im Ganzen sieht man drei Punkte. Ersetzt man die Punkte durch stereoscopische Projectionen, so wird an der Vereinigungsstelle ein Körperbild erscheinen, während die beiden andern, nicht combinirten, ebene Bilder bleiben. Bei der Beobachtung dieser stereoscopischen Combinationen, welche ich sehr oft angestellt und abgeändert habe, bediene ich mich besonders der Projectionen eines abgestumpften Kegels, wegen ihrer Einfachheit. Zwei Paare nicht concentrischer Kreise bilden die ganze stereoscopische Zeichnung. Wenn in der Abbildung für das rechte Auge, der Mittelpunkt des Abstumpfungskreises links vom Mittelpunkt der Grundfläche und umgekehrt für das linke Auge der Mittelpunkt des kleineu Kreises rechts von dem des grössern liegt, so erscheint der Kegel erhaben, im umgekehrten Falle aber vertieft. Ich werde den Namen Relief uneigentlich immer dann gebrauchen, wenn sich ein Bild von drei Dimensionen darstellt.

Unser Urtheil über die Grösse gesehener Gegenstände ist besonders von zwei Umständen abhängig: 1) Von der Grösse des auf der Retina erzeugten Bildes, und 2) von der Convergenz, welche die Augenachsen haben. Zu diesen beiden sind diejenigen zu nennen, welche ältere Forscher, De la Hire und Porterfield, hinzufügen, nämlich der erforderliche Accommodationszustand, die Lebhaftigkeit der Farbe, das verschiedene Aussehen der kleinsten Theile des

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Gegenstandes, die Betrachtung der Gegenstände, welche den Hauptgegenstand umgeben. Diese vier genannten Umstände sind aber alle nicht so einflussreich, als die beiden ersten.

Wheatstone ging darauf aus, die Grösse der Retinabilder und die Convergenz der Augenachsen unabhängig von einander zu verändern, und erreichte den Zweck durch eine Vorrichtung an seinem Spiegelstereoscope.

Die parallelen Wände, an denen die Bilder aufgestellt sind, sind auf Schlitten verschiebbar, die beiden Arme des Stereoscops drehbar um einen Punkt in der Mitte zwischen den beiden Spiegeln. Je näher bei feststehenden Spiegeln die Bilder derselben gebracht werden, desto grösser werden bei unveränderter Achsenconvergenz die beiden Retinabilder und umgekehrt.

Werden aber die Arme um den festen Mittelpunkt gedreht, während die beiden parallelen Wände feststehen, so wird dadurch der Winkel der Augenachsen geändert, während die Retinabilder gleich gross bleiben.

Wheatstone fand mit diesem veränderten Stereoscope folgende Sätze:

Bei gleichbleibender Achsenconvergenz und veränderlichem Retinabilde, ändert sich die Grösse des gesehenen Bildes so, dass es mit der Abnahme des Retinabildes kleiner, mit der Zunahme grösser wird.

Bei gleichbleibendem Retinabilde und veränderlicher Achsenconvergenz ändert sich die Grösse des wahrgenommenen Bildes so, dass es mit stärker werdender Convergenz kleiner, mit schwächer werdender grösser wird.

Beim gewöhnlichen Sehen arbeiten sich die beiden Veränderungen entgegen, daher wir den gleichen Gegenstand in verschiedenen Entfernungen für gleich gross halten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hätten mich nicht die Versuche, welche ich zur Ermittlung dieser Sätze anstellte, auch noch zu andern Resultaten geführt, betreffend die Accommodation des Auges, so würde ich sie mit Stillschweigen übergehen.

Das Blatt, auf welches ich die Zeichnungen bringe, welche durch Doppeltsehen sollen vereinigt werden, steht immer parallel den Augen, senkrecht zur Horopterebene; eigentlich sollte das Blatt gekrümmt werden nach der Horopterlinie, allein der Einfluss nicht eintretenden Zusammenfallens der Bilder, weil differente Stellen getroffen werden, ist hier durchaus von keinem Belang, zudem aber auch die Abweichung der Geraden, auf welcher die Figuren gezeichnet werden, von dem Kreise, auf welchen sie sollten aufgestellt sein, besonders bei etwas grösserer Entfernung vom Auge, nur höchst gering.

Zeichnet man die beiden stereoscopischen Projectionen eines abgestumpften Kegels auf ein Blatt neben einander, so kann man diese Figuren auf höchst verschiedene Weise betrachten. Die drei besondern Fälle, welche hiebei können eintreten, sind folgende:

1) Die Augenachsen kreuzen sich so, dass sie die beiden Projectionen durchschneiden, man erhält einen Hochkegel und daneben jederseits eine nicht combinirte Projection desselben.

2) Die Achsen kreuzen sich auf dem Papier; diess ist das gewöhnliche Sehen, man sieht die beiden Projectionen neben einander.

3) Die Achsen kreuzen sich so vor dem Blatte, dass sie die beiden Bilder wiederum durchschneiden, man erhält einen Hohlkegel, da dem linken Auge die Projection des rechten und umgekehrt dargeboten wird.

(Hiebei erlaube ich mir eine Zwischenbemerkung: Es ist klar, dass bei allen Fällen, in welchen die beiden stereoscopischen Projectionen zu einander symmetrisch liegen,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

die Dimension von Höhe und Tiefe sich dann umkehrt, wenn die Bilder der Augen vertauscht werden, dass zum Beispiel die Projectionen einer Pyramide vertauscht eine ausgehöhlte Pyramide, die eines Kegels einen Hohlkegel hervorbringen, da man eben dem Auge alsdann jedesmal die entsprechende Projection der ausgehöhlten Pyramide, des Hohlkegels zeigt. Unter den Prismenstereoscopen Dove's, welche durchweg blos für symmetrische stereoscopische Projectionen anwendbar sind, befindet sich eines, bestehend aus zwei rechtwinkligen Prismen, deren Hypotenusenflächen nahezu parallel sind. Dieses zeigt die Umkehrungserscheinungen am auffallendsten. Wheatstone hatte den sonderbaren Gedanken, dieses Instrument noch einmal zu erfinden und demselben, was ihm wohl als einziges Verdienst an der Erfindung wird vindicirt werden können, den Namen Pseudoscop zu verleihen. Mit diesem Instrument will Wheatstone auch an ganz unsymmetrischen Figuren Erhabenes und Vertieftes vertauscht haben. Mir ist es nicht gelungen, ausser an den angeführten Körpern, deren Projectionen symmetrisch sind.)

Da in allen drei oben erwähnten Beobachtungsweisen das Blatt in derselben Entfernung vom Auge bleibt, so dürfte man glauben, die stereoscopischen und ebenen Bilder würden in allen Fällen gleich gross erscheinen, allein der Brewster'sche Versuch mit dem Rohrgeflechte der Stühle lehrt schon, wie Wheatstone's Veränderung der Achsenconvergenz, dass im ersten Falle das Bild am grössten, im letzten am kleinsten erscheinen wird, der Hochkegel ist grösser als der Hohlkegel.

Nimmt man statt zwei Bildern deren drei, von denen für Kreuzung hinter dem Blatte 1 und 2 einen Hochkegel, 2 und 3 aber einen Hohlkegel bilden, so kann man von den 3 Bildern jedes Auges je zwei combiniren und erhält im Ganzen 4, von denen 2 stereoscopisch combinirt sind,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

oder es kann auch nur je eines combinirt werden, wobei man 5 Bilder erhält, von denen nur 1 stereoscopisch ist.

Je mehr Bilder genommen und je näher sie zusammengestellt werden, um so leichter kann man die Veränderungen in der Grösse der gesehenen Bilder wahrnehmen, da sich die Achsenconvergenz in immer kleineren Sprüngen ändert. Um sich der stetigen Veränderungen des Augenachsenwinkels noch mehr zu nähern, kann man die Bilder pyramidal über einander stellen. Es lässt sich auf diese Weise für Einen, der einigermassen gewohnt ist, Doppelbilder zu sehen, am einfachsten der ersten Wheatstone'sche Satz demonstriren, dass sich die Grösse des wahrgenommenen Bildes in umgekehrtem Sinne verändere, als die Winkel der Augenachsen.

Da aber zu der Combination der Doppelbilder einige Uebung vorausgesetzt werden muss, so kann man sich mit einem von Loke angegebenen höchst wenig complicirten Apparate, den er Phantascop nennt, und zu manchen Spielereien benützt, leicht von der Richtigkeit des Satzes auch ohne Uebung überzeugen.

Es besteht aus zwei Schirmen, welche beide durchbrochen sind; der eine, dem Auge näher gehaltene, hat eine Spalte, länger als der Abstand der beiden Augen, der andere, vom Auge entferntere, eine kleine quadratische Oeffnung. Werden beide Schirme, der erste unmittelbar vor das Augenpaar, der andere in einige Entfernung, parallel mit einem Blatte Papier gehalten, so kommen von verschiedenen Stellen des Papieres Strahlen in die beiden Augen, und befinden sich an diesen Stellen stereoscopische Projectionen, so sieht man ein Relief. Die Wahrnehmung geschieht am einfachsten, wenn die Mitte des kleinen Loches durch einen Nadelknopf bezeichnet wird, der muss fest betrachtet werden. Wird bei gleichbleibender Entfernung der Augen von den Zeichnungen der mit dem

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

kleinen Loch versehene Schirm bewegt, so ändert sich die Convergenz der Augenachsen beständig, vorausgesetzt, der Knopf werde beständig im Auge behalten, und man kann bei allmähligem Grösserwerden des Achsenwinkels sehr auffallend das Kleinerwerden der Bilder beobachten.

Als die Wheatstone'sche Arbeit noch nicht publicirt war, hatte ich öfters versucht, eine Veränderung des Retinabildes ohne Veränderung der Achsenconvergenz zu erreichen und kam denn darauf, ein Prisma von nicht sehr stark brechendem Winkel senkrecht zu verschieben. Auf dem Tische liege ein stereoscopisches Bild, bestehend aus den Projectionen A für das linke, B für das rechte Auge. Vor das rechte Auge halte ich das Prisma und entferne mich so weit vom Bilde, bis sich B und A decken; in dieser Lage bilden die beiden Augenachsen einen bestimmten Winkel, der constant bleibt, wenn ich mich allmählig von den Bildern entferne und das combinirte Bild im Auge behalte. Dabei nimmt lediglich bloss das Retinabild an Grösse ab, und es ist wirklich im höchsten Grade auffallend, wie rasch die Abnahme der Grösse des gesehenen Bildes eintritt. Bedient man sich hiebei solcher Zeichnungen, die nach Daguerreotypen abgezeichnet sind, und die immer noch bei gewöhnlicher stereoscopischer Combination mangelhaft genug erscheinen, so werden auch die Fehler immer kleiner, und das immer kleiner werdende Relief wird dabei so schön, dass es selbst dem Daguerreotype wenig mehr nachsteht.

Da alle Punkte, welche auf den Augenachsen liegen, sich decken müssen, so geht unmittelbar daraus hervor, dass Bilder, welche man vereinigen will, nicht gerade in gleicher Entfernung von den Augen sich befinden müssen. Nur müssen die Bilder im Verhältniss ihrer Entfernungen vergrössert oder verkleinert gezeichnet werden. Es treten

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

hiebei namentlich in Bezug auf Grösse des gesehenen combinirten Bildes verschiedene Fälle ein:

1) Das eine Bild ist vor, das andere hinter der Kreuzungsstelle; das Relief erscheint grösser als das kleinere, aber kleiner als das grössere Flächenbild.

2) Die beiden Bilder sind in verschiedenen Entfernungen hinter der Kreuzungsstelle; das Relief erscheint kleiner als beide Flächenbilder.

3) Die beiden Bilder sind in verschiedenen Entfernungen vor der Kreuzungsstelle; das Relief erscheint grösser als beide Flächenbilder.

4) Die Kreuzungsstelle fällt auf das eine der beiden Bilder, und das Relief erscheint in der Grösse desselben.

Lässt man zwei zu combinirende Bilder immer weiter auseinandertreten, so kommt ein Moment, in welchem statt Kreuzung hinter dem Papier, Parallelität der Augenachsen eintritt; dann sind natürlich die Bilder gleich weit von einander entfernt, wie die beiden Augen; wüsste man den Moment genau, in welchem diess eintritt, so könnte man auf diese Weise den Abstand der beiden Augen messen. Auf diese Weise kann es nun zwar nicht geschehen, wohl aber durch eine kleine Modification dieses Versuches. Betrachte ich mich auf die gewöhnliche Weise in einem Spiegel, indem ich ein Auge des Bildes ansehe, so sind die beiden Achsen nicht parallel. Gelingt es mir aber mit jedem Auge in sein Spiegelbild zu sehen, so stellen sich dieselben genau parallel. Ich fixire daher einen fernen Punkt und bringe in dieser Lage der Augen den Spiegel vor dieselben. Alsdann sehe ich mich eigenthümlich portraitirt. Zwischen zwei parallelen Nasen befindet sich ein symmetrisches, auf der äussern Seite jeder Nase ein unsymmetrisches Auge. Das ganze Gesicht wird in die Breite gezogen; die Augen erscheinen natürlich vergrössert, wegen des kleinen Winkels der Augenachsen, der hier 0^0 beträgt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

(Cyclopisches Sehen.) Bringe ich in dieser Lage einen geöffneten Zirkel vor die Augen, so werden sich die beiden Spitzen in dem Momente decken, wo jeder vor einem Auge sich befindet, und beide in Eine zusammenfallen. Die Entfernung der Spitzen gibt dann genau die der beiden Pupillen an. Nicht weil es gerade besonders interessant wäre, den Abstand meiner beiden Augen zu kennen, sondern weil ich für den folgenden Versuch denselben nöthig habe, will ich bemerken, dass aus 18 Messungen sich für mein Auge die Entfernung von 6,455 Centimeter ergeben hat, und dass die Abweichungen in den Messungen so gering sind, dass die grösste 1,1 Millimeter zu gross, die kleinste nur 0,5 Millimeter zu klein ist.

Ich füge hier bei, dass man in einem Spiegel, den man nicht zu sehr von den Augen entfernt hält, sich ebenfalls, wie oben beschrieben, sieht, wenn man einen Punkt des Spiegels vor der Mitte beider Augen betrachtet. In beiden Fällen durchkreuzt jede Augenachse ein Bild, im ersten das eigne, im zweiten das andere des Paares, und die beiden Bilder combiniren sich ganz so, wie wir es oben an zwei stereoscopischen Projectionen gesehen haben.

Entfernt man die beiden zu combinirenden Bilder mehr von einander, als der Abstand beider Augen beträgt, so kann eine Combination nur mit divergirenden Augen stattfinden. Dieser Versuch, welcher mir gelingt, gehört nicht gerade zu denjenigen, welche ich gerne oft wiederhole, indessen habe ich zwei Kreise, welche einen Abstand hatten, von 7,23 Centimeter noch combiniren können, allerdings haben dabei meine Augen eine ganz ungewöhnliche Anstrengung gespürt, daher ich denn aus leicht ersichtlichen Gründen den Versuch nicht sehr oft variirt habe.

Es ist in dem Vorhergehenden viel die Rede gewesen von Vergrössern und Verkleinern, ohne dass über das Mass dieser Veränderungen etwas wäre angeführt worden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wenn bei gleichbleibender Achsenconvergenz und veränderlichem Retinabilde die Grösse des Reliefs sich mit diesem letztern ändert, so liegt dieses eben in der Natur der Sache und niemand wird sich darüber wundern, wenn ein halb so grosses Retinabild uns den Körper auch nur halb so gross erscheinen macht.

Bei gleichbleibendem Retinabilde und veränderlicher Achsenconvergenz halten wir bloss das Bild für kleiner, obgleich die Projectionen im Auge gleich gross sind. Würde sich die Veränderung des gesehenen Bildes in directem Verhältnisse stehen zur Veränderung in der Kreuzungsstelle der Sehachse, so müsste in doppelter Entfernung das Relief doppelt, in dreifacher dreimal so gross erscheinen und endlich bei unendlicher Entfernung auch unendlich gross; bei paralleler Stellung der Augen ist aber von unendlicher Grösse des gesehenen Bildes keine Rede, und was sollte wohl bei divergirenden Augenachsen stattfinden? Wenn wir hingegen, jedenfalls ohne grossen Irrthum annehmen, die Veränderungen in der Grösse des gesehenen Bildes stehen in geradem Verhältniss zu den Veränderungen desjenigen Winkels, welchen die Augenachsen mit der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte bilden, so sind wir dem Wahren jedenfalls näher. Es würde sich hieraus besonders erklären, warum bei immer näher sich kreuzenden Augenachsen die Abnahme der Grösse viel auffallender ist, als dann, wenn der Convergenzpunkt der Achsen weiter entfernt ist. Indessen lässt sich noch fragen, ob sich überhaupt ein solches Gesetz kann aufstellen lassen, oder ob nicht dem Einen die Veränderungen wirklich viel bedeutender erscheinen, als dem Andern. Es ist mir oft vorgekommen, als ob grosse Verschiedenheiten hierin stattfänden.

Bei allen Versuchen über Combination von Figuren durch Doppeltsehen verdient besondere Beobachtung und

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Beachtung der Accommodationszustand des Auges, besonders desswegen, weil es interessant ist, die Accommodationserscheinungen, deren vollständige Erklärung wahrscheinlich noch nicht gegeben ist, in ihrer Wechselwirkung mit andern Erscheinungen, die Thätigkeit der Accommodation in ihrer Abhängigkeit und Verbindung mit andern Thätigkeiten des gleichen Organes kennen zu lernen.

Die Accommodation des Auges ist das Vermögen, fernere und nähere Gegenstände deutlich (d. h. hier wie in der Folge immer ohne Farbenränder und Zerstreuungskreise) zu sehen. Im Augenblicke und im Zustand der Accommodation erreicht das Auge sein Maximum von Achromasie.

Es ist früher allgemein angenommen worden, zwischen der Sehachsenstellung und der Accommodation bestehe ein enges causales Verhältniss, so dass alle Veränderungen der Einen, Veränderungen der Andern nach sich ziehen müssen.

Müller giebt den Versuch an: Während sich Ein Auge *a* auf einen Punkt *x* accommodirt, accommodirt und richtet sich auch das verdeckte auf denselben, so dass beim Wegnehmen des Schirmes der Punkt *x* einfach erscheint. Unter einer Reihe interessanter Versuche hat Volkmann auch diesen angestellt, aber gerade das Gegentheil gefunden, nämlich, dass beim Oeffnen des zweiten Auges der Punkt *x* immer doppelt erscheint, zum Beweise, dass sich die Achsen nicht in demselben kreuzen, trotzdem dass ein Auge auf ihn accommodirt ist. Mir erscheint der Versuch wie ihn Volkmann sieht, ausgenommen dann, wenn ich vor dem Verdecken des Einen Auges dasselbe schon auf den Punkt gerichtet hatte. Volkmann schliesst daraus auf ein Causalverhältniss zweiten Grades, das wohl in der Angewöhnung seinen Grund haben möge. Auch Müller lässt später die Wahl, die Accommodation als Mitbewegung der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Augenmuskeln oder als durch Gewohnheit eingetreten zu betrachten.

Volkmann hat jedenfalls überzeugend dargethan, dass sich unwillkührlich die Kreuzungsstelle der Sehachsen von der Stelle, wohin das Auge accommodirt ist, trennen lässt, dass es aber auch willkührlich geschehen könne, darüber habe ich eine einzige Angabe, citirt in Müllers Physiologie II. 337, finden können. Er berichtet dort, dass Plateau beobachtet habe, dass es auch einigen geringen Einfluss des Willens auf die Accommodation gebe, indem man ohne ein Doppelbild zu erhalten, einen Punkt deutlich oder undeutlich sehen kann; demnach könnte man den Refractionszustand des Auges ohne die Achsenstellung zu ändern, willkührlich etwas modificiren. Es ist Müller mit grosser Uebung gelungen, den Versuch Plateau's zu bestätigen.

Es ist mir nicht bekannt, dass diese Erscheinung verfolgt worden wäre, und da sie mich bei fast allen Versuchen, welche ich oben angeführt habe, begleitete, so wird es mir erlaubt sein, noch etwas dabei zu verweilen. Ich werde versuchen, diesen geringen Einfluss des Willens auf die Accommodationsthätigkeit wenigstens meines Auges als einen so grossen darzustellen, dass jedes Auge unbekümmert um seine Stellung ebenso weit hin auf einen besondern Punkt accommodiren kann, als es das Augenpaar vereint auf Einen Punkt vermag. Es gilt dabei allerdings eine Verbindung aufzuheben, welche so fest eingetreten ist, dass selbst scharfsinnige Beobachter sie für organisch halten konnten, während man denn doch jetzt ihren Grund in der Angewöhnung findet.

1) Lasse ich meine Achsen sich hinter dem Papiere kreuzen, so dass beide durch die Eine beider Projectionen eines Körpers gehen, so ist im Allgemeinen und im ge-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wöhnlichen Falle das Auge auf die Kreuzungsstelle accommodirt, das Relief erscheint also undeutlich und farbig. Es gelingt mir aber leicht, das Relief ganz deutlich wahrzunehmen.

2) Kreuzen sich die Achsen vor dem Papiere, so kann ebenfalls willkührlich die Kreuzungsstelle oder das Relief deutlich gesehen werden; besonders auffallend ist es, wenn man die Kreuzungsstelle durch einen Stift bezeichnet, wobei man abwechselnd den (einfach gesehenen) Stift oder das Relief kann deutlich sehen.

3) Aendert sich auf die oben angegebene Weise die Convergenz der Augenachsen, so kann für jede neue Combination das Auge auf das Relief combinirt werden, am leichtesten, wenn die Veränderungen der Kreuzungsstelle vor dem Blatte geschehen.

4) Wenn ich durch Refraction in dem Prisma die beiden Bilder combinire und bei veränderlicher Entfernung und unveränderlicher Achsenconvergenz betrachte, so kann ich das Relief beständig nach Willkühr scharf oder undeutlich sehen.

Wir sehen nun ein Relief nur durch Combination zweier Projectionen, ein deutliches natürlich nur dann, wenn beide Projectionen deutlich erscheinen. Da die beiden Projectionen ausser einander liegen, so können sie nicht mit der Kreuzungsstelle der Achsen zusammenfallen; in dem Momente aber, in welchem ein deutliches Relief durch Doppeltsehen auftritt; accommodirt sich jedes Auge auf die entsprechende Projection, und thut es desshalb nicht auf die Kreuzungsstelle der Sehachsen.

Im ersten Falle liegen die Bilder vor dem Punkt, also dem Auge näher, im zweiten hinter demselben. In beiden aber ist es möglich, Accommodationsstelle und Kreuzungsstelle zu trennen, wobei jedes Auge auf einen besondern Punkt sich accommodirt. Die Punkte

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

können sogar sehr weit von einander entfernt sein. Bestimmtes über die Grenzen dieser etwas ungewöhnlichen Accommodationsthätigkeit kann ich nicht angeben, nur scheint mir, dass sie sich ungefähr in denselben Grenzen bewegt, wie die gewöhnliche; bei sehr nahen und sehr fernen Gegenständen ist sie etwas schwerer.

Es hinge sonach vollkommen von meiner Willkühr ab, einen Punkt, den ich einfach sehe, deutlich oder undeutlich wahrzunehmen. Sehe ich denselben undeutlich, so ist er immer farbig gerandet. Während ich schreibe ist es mir ein Leichtes, alle Buchstaben abwechselnd gelb und blau oder nicht farbig gerandet zu sehen Sind auf einem Blatte mehrere starke schwarze Linien parallel und nahe neben einander gezeichnet, so kann ich dieselben, je nach Belieben, deutlich oder mit einer Reihe Spectren versehen erblicken.

Es ist mir nicht bekannt, dass irgendwo von einer Accommodation der Augen auf zwei verschiedene Punkte geredet wäre; indessen mag diess andern schon längst bekannt sein; man möchte versucht sein diess zu glauben, wenn genaue Beobachter in ganzen Versuchsreihen wirklich auf zwei verschiedene Punkte accommodiren und doch gar nichts davon erwähnen.

Wenn man die Versuche betrachtet, welche Wheatstone mit seinem veränderten Stereoscope anstellte, so ist leicht einzusehen, dass die Reliefs, welche er erhielt, nur in einem ganz bestimmten Falle mit der Kreuzungsstelle der Sehachsen zusammenfallen konnten, und da er nun in allen andern Fällen dennoch deutlich sah, so hatte er nichts anderes, als zwei Projectionen, welche er durch eine bestimmte Achsenconvergenz vereinigte, ohne dass der Convergenzpunkt mit den Projectionen zusammenfiel. Kreuzungsstelle und Accommodationsstelle waren also still-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schweigend in seinen Versuchen ebenfalls als unabhängig von einander erwiesen, nicht aber als willkührlich trennbar.

Auf ähnliche Weise, wie Wheatstone die Veränderungen der Achsenconvergenz herstellt, hat es auch H. Meier gethan, nur hat er, statt die Arme am Stereoscope zu drehen, die Bilder längs den parallelen Wänden verschoben und so den Winkel der einfallenden Strahlen verändert. Obgleich nun bei diesen Versuchen die Veränderungen so wenig als in den meinen, oben angeführten, konnten allmählig sein, so finde ich doch nirgends bemerkt, dass die Bilder undeutlich erschienen seien, und darf also annehmen, dass jener Beobachter auch auf zwei getrennte Bilder accommodirt habe.

Es lässt sich denken, dass bei verschiedenen Achsenstellungen die willkührliche Trennung der Accommodation von der Kreuzungsstelle mit verschiedener Leichtigkeit vor sich gehe. Ich habe indessen wenig mehr Schwierigkeit, bei paralleler Stellung der Augen auf die Weite des deutlichen Sehens zu accommodiren, als bei einer Convergenz von einer grossen Anzahl von Graden.

Diese Willkührlichkeit in den Veränderungen des Accommodationszustandes meines Auges könnte natürlich von einem Andern an mir nicht beobachtet werden, träte nicht eine objectiv sichtbare Erscheinung dabei auf, die Irisbewegungen.

Wenn die Veränderungen der Pupillenöffnung mit den Accommodationsveränderungen in den meisten Fällen Hand in Hand gehen, so ist klar, dass ich bei willkührlicher Veränderung der Accommodation auch die Oeffnung der Iris beliebig erweitern oder verengen kann. Die Grenzen der Bewegungen sind indessen abhängig von der Intensität des Lichtes, welches das Auge trifft. Wenn Jemand bei unveränderter Helligkeit der Umgebung die Stellung meiner beiden Augen und die Oeffnung der Pupille

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

beobachtet, so kann ich bei ganz unveränderter Stellung der Achsen demselben nach Belieben zeigen, dass sich die Pupille öffnet oder schliesst, wie ich es angebe. Es sind meine Augen von Verschiedenen beobachtet worden, welche sich durchaus von der Willkührlichkeit in den Irisbewegungen überzeugt haben.

Gewöhnlich zeigen sich die Veränderungen in der Pupillenweite dann am deutlichsten, wenn man die Achsenconvergenz verändert, ohne dass die beiden Veränderungen in unmittelbar causalem Verhältnisse stünden. Mit der Achsenconvergenz ändert sich der Accommodationszustand, mit diesem die Weite der Pupille. Wäre es vielleicht möglich, die Achsenconvergenz zu verändern, ohne Einfluss auf den Accommodationszustand, ohne Veränderung der Pupillenweite? Das Umgekehrte kann, wie gezeigt worden, stattfinden.

Folgender Versuch mag die Frage beantworten: Wenn ich eine Lichtflamme betrachte, die in einiger Entfernung, z. B. 30 Fuss sich befindet, so sehe ich dieselbe irradiirend, als beleuchtete Scheibe. Die Grösse der Scheibe ist von der Weite der Iris abhängig. Verdecke ich ein Auge, so öffnet sich die Iris des Andern, und die Scheibe wird grösser. Lasse ich das Bild der Flamme durch Doppeltsehen, hier durch Fixiren eines nähern Punktes, auseinandertreten, so finden starke Schwankungen der Iris statt. Der Grund mag in der ungewöhnlichen Augenstellung zu suchen sein. Lasse ich nun allmählig die Bilder sich wieder vereinigen, so kann ich auch keine Spur von Irisschwankungen wahrnehmen. Es treten also mit den Veränderungen der Achsenconvergenz keine Irisbewegungen und der weitere Schluss wird doch wohl erlaubt sein, auch keine Accommodationsveränderungen ein.

Schliesslich erlaube ich mir noch Einiges beizufügen über Combination quantitativ und qualitativ verschiedener

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Lichteindrücke. Wenn identische Stellen beider Netzhäute von verschieden intensiven Strahlen getroffen werden, so ist der Eindruck den man erhält, ein Mitteleindruck, stärker als die schwächern, schwächer als die stärkern Strahlen ihn würden für sich allein hervorgebracht haben.

Diess findet indessen nur dann vollkommen statt, wenn die Intensitäten nicht gar zu sehr verschieden sind. Wird dem einen Auge weiss, dem andern schwarz geboten, so gleichen sich die beiden Eindrücke nach Dove zu einem graphitähnlichen Grau aus; indessen findet doch ein Schwanken statt, indem bald das Weisse die Oberhand erhält, bald das Schwarze überwiegt.

Zwei gleiche, nur in der Intensität verschiedne Farben bringen ebenfalls einen Mitteleindruck hervor.

Wie aber verhält es sich, wenn den beiden Augen qualitativ verschiedene Strahlen, verschiedene Farben zur Combination dargeboten werden? Ueber diese Fragen herrschen zwei vollständig divergirende unvermittelte Ansichten; die eine leugnet die Möglichkeit der Combination, die andere aber behauptet dieselbe. Die Beantwortung ist schwer, weil sich überall da, wo es sich um Farben handelt, viele subjective Elemente in der Beobachtung mischen. Denn abgesehen davon, dass vielleicht nicht zwei Individuen von einer und derselben Farbe vollkommen denselben Eindruck erhalten, sowohl in Bezug auf Helligkeit, als in Bezug auf Nüance, findet auch bei den verschiedenen Augen das Auftreten von Nachbildern und hiemit die Veränderung im Farbenton verschieden schnell statt; und rechnen wir dazu, dass alle Augenpaare, aber in verschiedenem Masse, einem sogenannten Wettstreite unterworfen sind, nicht bloss da, wo es sich um Combination verschiedener Farben, sondern auch verschiedener Figuren handelt, so ist leicht einzusehen, dass alle Aussagen, wenn nicht

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

vollständig subjectiv, doch in einem subjectiven Mantel eingehüllt sind.

Wenn man die Versuche, welche zur Beantwortung dieser Frage sind angestellt worden, nachmacht (alle darf man einem Augenpaare nicht zumuthen), so muss man unbedenklich bald der einen, bald der andern Ansicht beipflichten und dennoch scheint zwischen Combination und nicht Combination kaum ein Mittelding zu existiren. So viel aber scheint mir aus allen Beobachtungen hervorzugehen, dass die identischen Punkte der Netzhäute das Vermögen haben, verschiedene Farben zu combiniren. Ich sage, das Vermögen haben, ohne zu behaupten, dass unter allen Umständen dasselbe in seine Rechte treten könne.

Wird dem einen Auge bloss rothes, dem andern bloss gelbes (und zwar am besten dunkelgelbes) Licht geboten, so erhält man einen Mitteleindruck; derselbe findet statt für Gelb und Grün, Grün und Blau, Blau und Violett.

Wird unter dem Stereoscope eine Fläche hellroth, die andere blassblau bemalt, so sieht man weder das Rothe, noch das Blaue rein. Wenn man durch ein rein rothes Glas verschiedene gefärbte Gegenstände, Häuser, Bäume u. s. w. betrachtet, so werden nur die rothen Strahlen durchgelassen, man sieht alles roth, schwarzroth und schwarz. Betrachtet man dieselben Gegenstände durch ein grünes Glas, welches zu dem ersten complementär ist, so gehen alle Strahlen durch, welche durch das erste nicht durchgehen. Wären die beiden Farben genau complementär, so würde man, wenn durchgelassenes Licht auf einen Punkt fällt, weiss, wenn man Licht durch beide zugleich durchlassen wollte, schwarz sehen. Zwei meiner Gläser besitzen annähernd diese Eigenschaft. Halte ich das eine vor das rechte, das andere vor das linke

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Auge, so sind beinahe alle natürlichen Farben der Gegenstände, freilich etwas getrübt zu erkennen. Hier müssen sich also die beiden Gesichtseindrücke nothwendig grossentheils ausgleichen.

Die Fälle, welche Seebeck beschreibt, stimmen mit dem Gesagten überein; nicht so die anderen Auctoren, da im Allgemeinen Farben der entgegengesetztesten Art und namentlich der verschiedensten Intensität sich combiniren sollten.

Volkmann, auf den man sich hierin oft bezieht, wandte sich sogar an prismatische Farben, um reine Versuche anzustellen. Er lässt durch eine Oeffnung das Gelb des Spectrums, durch eine andere das Blau, jedes in Ein Auge fallen. Sollen wir uns wundern, wenn er alsdann kein Grün wahrnimmt? Nach Fraunhofer verhalten sich die Intensitäten des Gelb und Blau ungefähr wie 10 : 1, so dass selbst dann, wenn gleiche Flächen dieser Farben gemischt werden, nimmermehr grün entsteht. Wenn aber durch tausend Versuche nachgewiesen wird, dass unter gewissen Umständen keine Combination eintritt, so ist damit noch lange nicht die Möglichkeit einer solchen, oder die Unfähigkeit der Netzhäute, eine solche zu bewerkstelligen, erwiesen; nur das, dass die Fähigkeit durch andere Verhältnisse bedeutend kann beeinträchtigt werden. Finden sich doch selbst bei der Combination rein localverschiedener Eindrücke, Verhältnisse, welche beinahe jede Combination aufheben, oder wenigstens stören. Natürlich müssen bei den Versuchen diese sorgfältigst vermieden werden, wofern man nicht gerade sie aufsucht und studirt.

Ich glaube also, dass die identischen Netzhautpunkte auch in Hinsicht auf qualitativ verschiedene Eindrücke sich identisch verhalten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wie die Combination vermittelt wird, das weiss ich nicht; interessant wäre es, wenn sich die Geometrie des Auges, wenn ich es so nennen darf, oder die geometrische Anordnung der empfindenden Elemente auch anatomisch erwahren, wenn die neueren Untersuchungen über den Sitz der Empfindung, diese nach den fast mathematisch genau an einander gereihten Stäbchen, die senkrecht auf die Fläche der Retina, in der Richtung der einfallenden Strahlen stehen, und die bisher jedenfalls in ihrer Bedeutung nicht genau erkannt worden sind, verlegen würden.

In dem Vorhergehenden habe ich nur Namen und keine Stellen erwähnt; daher will ich hier noch die wichtigsten Schriften anführen, die in diesem genannt sind.

J. Müller. Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. 1826.

J. Müller. Handbuch der Physiologie.

Volkmann. Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.

Volkmann. Artikel Sehen in Wagners Handwörterbuch der Physiologie.

Tourtual. Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und im stereoscopischen Bilde.

Tourtual. Die Sinne des Menschen.

Bartels. Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.

Heermann. Ueber die Bildung der Gesichtsvorstellungen aus den Gesichtsempfindungen.

Wheatstone. Ueber einige merkwürdige und bisher unbeobachtete Erscheinungen beim Sehen mit beiden Augen. Poggendorf Annalen, Ergänzungsband I., 1842; die zweite Abtheilung des Aufsatzes in Philos. Transact. Part. I. 1852.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Dove. Ueber die Ursachen des Glanzes u. s. w. Berl. Monatsber. 1852.

Dove. Berl. Ber. 1841.

Dove. Beschreibung mehrerer Prismenstereoscope etc. Pogg. Ann. LXXXIII.

Seebeck. Beiträge zur Physiol. des Gehör- und Gesichtssinnes. Pogg. Ann. LXVIII.

Prévost. Essay sur la théorie de la vision binoculaire.

Priestley. Geschichte der Optik.

Wilde. Pogg. Ann. LXXXV.

Rollmann. Pogg. Ann. LXXXIX und LXXXX.

Meyer. Pogg. Ann. LXXXV.

Brücke. Wien. Ber. 1853. XI. 213.

Herr Friedr. Burckhardt. Zur Irradiation (d. 2. Nov. 1853).

Die Erscheinungen der Irradiation sind auf zwei Weisen gedeutet worden. Der einen, älteren Ansicht, welche dieselbe unmittelbar aus dem Accommodationszustande des Auges ableitet, und mit demselben in die engste Verbindung setzt, steht Plateau's Theorie entgegen, welche, wenn auch nicht allgemein angenommen, die andere so sehr in den Hintergrund gedrängt hat, dass kein Lehrbuch mehr die ältere anzunehmen wagt. Plateau definirt die Irradiation als Ausbreitung der Lichtempfindung über den Lichteindruck. Trifft weisses oder überhaupt intensives Licht nur gewisse Stellen der Retina, so pflanzt sich die Bewegung, welche die Empfindung des Lichtes hervorruft, über die unmittelbar getroffenen Stellen hinaus fort, und wir nehmen eine grössere Stelle beleuchtet wahr, als das Bild selbst im Auge uns würde wahrnehmen lassen.

Diese hie und da in neuerer Zeit angegriffene Theorie ist mit vieler Umsicht und Schärfe von Welker widerlegt in einem Aufsatze „Ueber Irradiation und

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

einige andere Erscheinungen des Sehens. Giessen 1852." Ich habe dieser interessanten Arbeit nur Weniges beizufügen Es kommt darauf an, ein Grundphänomen aufzusuchen und vollständig zu erklären und dieses wird sich als sehr einfach darstellen; die vielen oft complicirten Experimente werden sich als Folgen derselben ableiten lassen; und dieser Grundversuch ist das Beobachten eines hellen Punktes auf dunkler Fläche; die Reinheit des Versuches hängt ab von der Helligkeit des Punktes und von der Dunkelheit der Fläche.

Zur theoretischen Betrachtung müssen wir uns zuerst ein Auge denken, das sich für jede beliebige Distanz leicht accommodirt. Dieses betrachtet einen hellen Punkt, und wird denselben immer wieder als Punkt sehen, aus welcher Entfernung auch die Strahlen in dasselbe gelangen mögen.

Hat das beobachtende Auge aber gar keine Accommodationsfähigkeit, so werden nur diejenigen Strahlen, welche von einer ganz bestimmten Entfernung in das Auge gelangen, so gebrochen, dass sie sich in Einem Punkte vereinigen.

Nähert sich der Punkt dem Auge, so wird der Strahlenkegel, dessen Spitze der leuchtende Punkt, dessen Basis die Pupille ist, erst hinter der Netzhaut sich vereinigen. Die Netzhaut durchschneidet den Kegel und der Durchschnitt ist eine beleuchtete Fläche.

Entfernt sich der Punkt über die bestimmte Stelle, so wird der helle Strahlenkegel schon vor der Netzhaut vereinigt, und die wieder divergirenden Strahlen bilden auf der Netzhaut eine beleuchtete Fläche.

Wir erhalten also für alle Punkte, ausser dem Einen ganz bestimmten, eine beleuchtete Fläche. Wahrscheinlich hat nun in Wirklichkeit kein Auge unbegrenztes Accommodationsvermögen, und keinem geht es ganz ab.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wird daher von verschiedenen Augen ein ferner leuchtender Punkt betrachtet, so wird das eine denselben scharf begrenzt, das andere statt dessen eine beleuchtete Scheibe sehen.

Von dieser und allen daraus hervorgehenden Erscheinungen kann also der Grund nur in der Brechung der Lichtstrahlen und nicht in einem sich ausbreitenden Stosse der Lichtwellen zu suchen sein. Durch Verändern der Strahlenbrechung mittelst Linsen wird auch die beleuchtete Scheibe vergrössert oder verkleinert.

Verfolgt man auch die Dispersion der Strahlen im Auge, so müssen dann, wenn der Punkt als Fläche erscheint wegen zu kleiner Entfernung derselben vom Auge, die rothen Strahlen im Auge den Rand der beleuchteten Scheibe bilden, da der Mantel des Kegels aus rothen Strahlen besteht; erscheint aber der Punkt als Fläche wegen zu grosser Entfernung, so fallen an den Rand der Scheibe die blauen Strahlen.

Für denjenigen Punkt oder diejenigen Punkte, auf welche sich das Auge accommodirt, achromatisirt es sich auch, der Punkt erscheint als Punkt ohne Farbenrand.

Die Versuche mit fernen Lichtflammen im Dunkel der Nacht bestätigen alles Gesagte vollkommen. Wird aber statt einer gewöhnlichen Lichtflamme das homogene Licht einer Weingeistkochsalzflamme betrachtet, so ist natürlich von Farbenrand keine Rede mehr.

Was von einem Punkte gilt, gilt ebenso von einer Linie, von einer Fläche. Wenn man eine Flamme mittelst eines Cylinders spiegelt, so erhält man eine Lichtlinie; diese erscheint, je nach dem Accommodationszustand scharf begrenzt oder zerstreut, und zwar roth gerandet für zu ferne Accommodation, blau gerandet für zu nahe.

Ich weiss nun nicht, ob ein Unterschied besteht zwischen diesen Erscheinungen und den eigentlichen und ge-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wöhnlich so genannten Irradiationserscheinungen; es ist höchstens ein Unterschied des Grades, indem man bei diesen bloss weiss auf schwarz, oder hell auf dunkel, selten wohl aber leuchtend auf dunkel beobachtet. Es bleibt auch gar keine von allen bisher wenigstens mir bekannten Erscheinungen, welche in der Irradiation ihren Grund haben, unerklärt: wohl aber bei der Annahme einer Verbreitung der Lichtempfindung über den Lichteindruck hinaus; namentlich kann ich mir das mechanische Verhältniss nicht denken, nach welchem bei abnehmender Kraft (d. h. bei Entfernung der Lichtquelle) die Wirkung sich gleich bleibt oder vergrössert wird.

Ich kann nicht umhin, Irradiationserscheinungen und Erscheinungen hervorgerufen durch mangelhafte Acommodation, woher dieselben auch rühren, für identisch anzusehen.

Hier habe ich noch eine kleine Beobachtung anzuschliessen. Dove hat gezeigt, dass durch Combination von Weiss und Schwarz im Stereoscop auf die einfachste Weise ein Eindruck hervorgerufen wird, der uns zunächst an Graphitglanz erinnert und ich habe mich oft von der Richtigkeit der Beobachtung überzeugt. Statt Weiss und Schwarz auf diese Weise zu combiniren, kann es der Kurzsichtige auch durch Uebereinanderlagerung der Beiden. Und so erscheinen mir und Andern Zeuge, welche so weiss und schwarz gestreift sind, dass das Schwarze vorherrscht, vollständig glänzend und erinnern an graue Seidenzeuge. Bei der Beobachtung anderer Farben auf diese Weise gelingt es mir nicht, Glanz wahrzunehmen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel

Jahr/Year: 1857

Band/Volume: 1_1857

Autor(en)/Author(s): Burckhardt Fritz

Artikel/Article: Physik 123-157