Bemerkungen zu der Abhandlung von Donders über das binoculare Sehen.

(Dies. Archiv Bd. XIII, S. 1.)

Von

Ewald Hering,

Prof. der Physiologie an der Josephsacademie in Wien.

Wenn ich zu der Abhandlung von Donders, in welcher der berühmte Ophthalmologe beweist, dass zur binocularen Tiefenwahrnehmung die Augenbewegungen zwar sehr förderlich, aber nicht unentbehrlich sind, einige Bemerkungen mache, so geschieht es keineswegs, um diesen Satz irgendwie anzufechten; denn ich habe denselben auf Grund zahlreicher Versuche und Beobachtungen selbst wiederholt ausgesprochen. Vielmehr leitet mich dabei der Wunsch, gewisse Einwendungen, welche Donders gegen die Beweiskraft meiner Versuche gemacht hat, zu

widerlegen, sowie eine irrthümliche Auffassung zu corrigiren, welche er sich über meine Ansichten vom Einflusse der Convergencebewegungen auf die Tiefenwahrnehmung gebildet hat. Donders hat in dem erwähnten Aufsätze klar auseinandergesetzt, dass correspondirende Stellen nicht in dem Sinne identisch sein können, in welchem man es früher glaubte, weil es sonst gleichgültig sein müsste, ob ein Netzhautbild im rechten oder linken Auge liegt. Letzteres ist aber bekanntlich nicht der Fall; denn der stereoskopische Eindruck verkehrt sich in den pseudoskopischen, wenn man die beiden Hälften einer stereoskopischen Linearzeichnung mit einander vertauscht. Es war allerdings merkwürdig, dass dieser wichtige Einwand gegen die Müller'sche Identitätslehre lange Zeit übersehen werden konnte, und ich habe ihn deshalb wiederholt ganz ausdrücklich hervorgehoben.*) Der einzige, wenigstens scheinbare Ausweg für die Anhänger jener Lehre blieb also die Behauptung, dass die binoculare Tiefenwahrnehmung nur mit Hülfe der Augenbewegungen, nämlich durch die Aenderungen in der Convergence der Gesichtslinien zu Stande komme. Diese Ansicht hielt ich jedoch schon damals für widerlegt und habe mich also nicht weiter bei derselben aufgehalten, sondern nur beiläufig einige Versuche angegeben, durch welche man, ohne alle weitläufigen Vorbereitungen und Apparate, den Beweis ihrer Unrichtigkeit führen kann.

Diesen Versuchen hat Donders die hinreichende Beweiskraft abgesprochen. Da er jedoch schliesslich dem Satze, den ich dadurch erläutern wollte, durchaus bei-

*) Beiträge zur Physiologie S. 330, und Reichert und Dubois Archiv 1865, S. 95 u. ff.

pflichtet, so würde ich jede weitere Discussion hierüber überflüssig finden, wenn nicht der eine dieser Versuche ein practisches Interesse insofern hätte, als der Augenarzt durch denselben jederzeit leicht constatiren kann, ob Jemand, z. B. ein Schielender, binocular sieht oder nicht. Auch ist der Versuch hierzu schon von mehreren Ophthalmologen benutzt worden, und ich habe deshalb die Verpflichtung, ihn gegenüber den Einwendungen von Donders zu vertheidigen, weil ich dieselben für unbegründet halte.

Man lasse Jemand durch eine kurze, cylindrische Röhre, weit genug, um beide Augen aufzunehmen, die Spitze einer feinen, langen Nadel fixiren, welche in mittler Sehweite so aufgestellt ist, dass ihre Spitze in die Mitte des Gesichtsfeldes zu liegen kommt, ihr unteres Ende aber durch die Röhre verdeckt wird. Lässt man dann kleine Kugeln von verschiedener Grösse etwa zwölfmal hintereinander bald vor, bald hinter der Nadel aus beliebiger Höhe herabfallen, so weiss ein binocular Sehender, wenn er überhaupt aufmerksam ist, stets mit voller Sicherheit anzugeben, ob die Kugel diesseits oder jenseits der fixirten Nadel herabgefallen ist, während Jemand, der nur das Netzhautbild des einen Auges percipirt, sich sehr häufig täuscht oder unsicher ist. Der Letztere kann nämlich, wenn anders vorsichtig experimentirt wird, den Fallort der Kugeln nur errathen, und irrt also nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit in der Hälfte der Fälle. Selbstverständlich muss die Hand, welche die Kugeln fallen lässt, ebenso wie der Boden, auf den letztere fällt, dem Sehenden durch die Röhre verdeckt sein; auch darf man die Kugel nicht so fallen lassen, dass sie einem Auge die Nadel verdeckt oder theilweise von ihr gedeckt wird, weil man sonst schliessen kann, dass die Kugel erstenfalls vor, letztenfalls hinter

der Nadel gefallen ist; endlich muss man abwechselnd grössere und kleinere Kugeln benutzen, weil man sonst aus der Grösse des Netzhautbildes auf die Entfernung der Kugel schliessen kann.

Da wegen der Raschheit des Falles keine Zeit ist, sich durch Augenbewegungen über den Fallort der Kugel zu unterrichten, so folgt, dass auch ohne solche die binoculare Tiefenwahrnehmung möglich ist. Gegen die Beweiskraft dieses Versuchs macht Donders folgende Einwendungen:

Erstens sei es sehr die Frage, ob, wenn die Kugel nicht aus sehr grosser Höhe herabfalle, eine Augenbewegung ganz ausgeschlossen sei. Letzteres ist aber entschieden der Fall. Gesetzt, man lässt die Kugel aus einer Höhe von einem Fuss über der oberen Grenze des durch die Röhre sichtbaren Raumes fallen, obgleich man eine beliebig grössere Höhe wählen kann, so tritt sie mit einer Geschwindigkeit von 30' in der Secunde in's Gesichtsfeld. Beträgt der verticale Durchmesser des letzteren 1', so bleibt die Kugel nur etwa $\frac{1}{30}$ Secunde lang sichtbar; hat man sie aus 2' Höhe herabfallen lassen, so ist sie nur $\frac{1}{60}$ Secunde sichtbar u. s. f. Die Zeit, welche nöthig ist, um auf ein gegebenes, sichtbares oder hörbares Zeichen eine Handbewegung zu beginnen, beträgt bei gespannter Aufmerksamkeit $\frac{1}{7}$ — $\frac{1}{4}$ Secunde. Wir dürfen also annehmen, dass von dem Momente, wo die Kugel in's Gesichtsfeld eintritt, bis zu dem, wo eine dadurch veranlasste Augenbewegung beginnen kann, mindestens $\frac{1}{10}$ Secunde verstreichen wird. Unterdess ist die Kugel längst wieder verschwunden. Diese Zahlen sprechen deutlich genug. Die geringe Verzögerung des Falles durch den Widerstand der Luft kommt gar nicht in Betracht; und wer sie dennoch fürchten sollte, der nehme Metallkugeln.

Man dürfte auch nicht einwenden, dass es sich hier nicht um solche Augenbewegungen handle, welche erst in Folge der Wahrnehmung der Kugel ausgelöst werden, sondern um solche, welche schon im Gange sind, wenn die Kugel eben in's Gesichtsfeld eintritt. Denn erstens wird ja während des Versuchs ein bestimmter Punkt fixirt, und es könnten also höchstens unwillkürliche Schwankungen der Convergenz in Betracht kommen, die aber ohne Einfluss sein müssten, weil die Convergenzbewegungen nur dann über die Tiefenverhältnisse Aufschluss geben können, wenn sie willkürliche sind, und man also weiss, ob man die Convergenz eben erhöht oder vermindert; und zweitens müssten die fraglichen Schwankungen der Convergenz relativ grosse sein, um merkliche Lateralverschiebungen der Netzhautbilder der Kugel zu veranlassen, denn letztere bildet sich auf excentrischen Netzhautstellen ab, deren Raumsinn viel zu wenig fein ist, um sehr kleine Lagedifferenzen bemerken zu lassen.

Ferner fragt Donders: „Sollte nicht die scheinbare Schnelligkeit des Falles, welche, je nachdem sich die Entfernung vom Auge vermindert, zunimmt, irgend welche Belehrung geben?“ Dies ist unmöglich; denn, abgesehen davon, dass so grosse Geschwindigkeiten überhaupt nicht mehr unterschieden werden können, so müsste man, wenn der Grund der richtigen Bestimmung des Fallortes in der Auffassung der Geschwindigkeit zu suchen wäre, den Fallort eben so sicher bestimmen können, wenn man den Versuch nur mit einem Auge anstellt. Dies ist nun aber erwiesenermassen nicht der Fall, und deshalb kommt jener Einwand nicht in Betracht. Aber, auch wenn er in Betracht käme, könnte man ihn leicht dadurch beseitigen, dass man die Kugeln aus wechselnden Höhen herabfallen liesse.

Endlich wendet Donders ein: „Man weiss, dass die durchlaufene Linie vertical ist, und für diese ist die Neigung der Doppelbilder nicht dieselbe vor oder hinter dem Fixirpunkte.“ Allerdings kann eine jenseits des fixirten Punktes liegende Verticallinie nach oben convergirende Doppelbilder geben, eine diesseits gelegene divergirende; aber dies kann nicht der Grund der richtigen Localisation sein, schon deshalb nicht, weil es ganz zufällig ist, ob eine verticale Linie in bestimmter Lage nach oben convergirende oder divergirende Doppelbilder giebt. Es hängt dies nämlich von der zufälligen Lage der Blickebene oder von der Haltung des Kopfes ab. Denn mit der Lage der Blickebene relativ zum Kopfe wechselt bei gleichbleibendem Fixationspunkte die Lage der verticalen Trennungslinie; und ebenso wechselt die scheinbare Lage der Doppelbilder mit der Lage der Blickebene relativ zur verticalen Linie. Von diesen beiden Bedingungen, die sich so vielfach variiren und combiniren lassen, dass dem Beobachtenden jede Mitberücksichtigung derselben bei dem Localisiren der Kugel unmöglich wird, erweist sich aber das Ergebniss des Versuchs ganz unabhängig, wie vorauszusehen war. Endlich aber habe ich auch dann, wenn die verticalen Trennungslinien wirklich vertical lagen, den Versuch mit derselben Sicherheit ausgeführt, obwohl dann die Doppelbilder stets parallel waren, gleichviel, ob die Kugel vor oder hinter dem fixirten Punkte niederfiel.

Ich kann also keinen der gemachten Einwände gelten lassen und muss behaupten, dass dieser höchst einfache und jederzeit zu improvisirende Versuch durchaus eben soviel beweist, wie die Versuche mit den electricen Funken. Ich schätze diese Versuche als eine werthvolle Bestätigung, aber sie sind nicht unentbehrlich. Für den Praktiker, in dessen Interesse ich den besprochenen Ver-

such so ausführlich erörtert habe, sind sie ohnehin nicht wohl anwendbar. Ueberdies kam es mir, als ich den Versuch angab, nicht darauf an, den Satz von der Möglichkeit der binocularen Tiefenwahrnehmung ohne Mithilfe der Augenbewegungen zu beweisen, sondern durch einen einfachen, Jedem zugänglichen Versuch zu illustrieren. Denn ich hielt schon damals und halte noch heute mehrere Versuche von Dove und von v. Recklinghausen für ganz beweiskräftige. Den schönsten und schlagendsten Beweis aber habe ich stets in der Beobachtung Wheatstone's gefunden, dass auch die Nachbilder stereoskopischer Zeichnungen einen körperhaften Eindruck geben; nur muss man die Nachbilder der beiden zu verschmelzenden Bilder nicht gleichzeitig, sondern schnell nach einander erzeugen, erst das Nachbild des einen Bildes in einem, dann das des anderen Bildes im anderen Auge.*) Das stereoskopische Bild kann sich dann nicht schon bei der binocularen Betrachtung der Bilder entwickeln, sondern erst beim binocularen Nachbilde in dem Momente, wo beide Nachbilder eben einmal gleichzeitig deutlich sichtbar sind. Der körperliche Eindruck lässt sich also hier nicht daraus erklären, dass die schon durch die beiden wirklichen Bilder gewonnene Vorstellung noch nachklinge. Dieser Versuch schliesst die Augenbewegungen nicht, wie der mit den electrischen Funken, bloß wegen der Kürze der Zeit, sondern so zu sagen principiell aus.

*) Ich ersehe aus Helmholtz's physiologischer Optik, dass schon Rogers auf dieselbe Weise verfahren ist (Silliman's Journal (2) XXX. November 1860). Leider erfordert der Versuch einen in derlei Versuchen sehr geübten Beobachter und ist deshalb im Allgemeinen nicht zu empfehlen.

Es giebt also zweifellos eine von den Convergenzbewegungen unabhängige Tiefenwahrnehmung. Aber Letztere wird bekanntlich durch die willkürlichen Aenderungen der Convergenz sehr gefördert, ganz ebenso wie auch die Höhen- und Breitenwahrnehmung durch Höhen- und Seitenbewegungen des Blickes gefördert wird. Im Betreff der Convergenzbewegungen sagt nun Donders, ich schiene zu einem Urtheile über die Entfernung der Dinge auf Grund der Convergenz der Gesichtslinien nicht befähigt zu sein, und will daraus meine Opposition gegen jene Theorie erklären, welche ein Sehen nach den Richtungslinien annimmt und welche er selbst noch immer für die richtige hält. Ich besitze aber die Befähigung zur Beurtheilung der Entfernung aus der Convergenz in demselben Grade, wie jeder Andere, worüber ich mich wiederholt ausgesprochen habe. S. 140 meiner Beiträge zur Physiologie habe ich gesagt: „Ich bin weit entfernt, den Einfluss der Augenbewegungen auf die räumliche Auslegung der Netzhautbilder zu verkennen. Wer jemals mit beweglichen Bildern stereoskopische Versuche gemacht hat, wird diesen Einfluss kaum unterschätzen können. Zwei Stricknadeln z. B., welche man parallel und senkrecht vor die Augen hält und stereoskopisch verschmilzt, geben, wenn man sie langsam einander nähert oder von einander entfernt, ein nach der Dimension der Tiefe wanderndes Sammelbild, das sich von uns zu entfernen scheint, wenn die Convergenz der Sehaxen abnimmt, während es mit wachsender Convergenz derselben sich nähert. Gleichgültig ist hierbei, ob man das Sammelbild durch Kreuzung der Sehaxen vor oder hinter den Nadeln erzeugt hat; nur ergiebt ersteren Falls das seitliche Auseinanderschieben der Nadeln eine Näherung, das Zueinanderschieben eine Entfernung des Sammelbildes; während letzteren Falles die Tiefenbewegung des Sammelbildes sich entgegengesetzt verhält. Dieser ein-

fache Versuch lässt sich mannigfach variiren; auf alle Fälle zeigt er, dass die, durch Bewegungen der Objecte und zum Zwecke stetiger Fixation derselben hervorgerufenen Augenbewegungen einen Einfluss auf die Localisation nach der Dimension der Tiefe haben. Aber diese Bewegungen sind nur eines von den vielen Momenten, welche den scheinbaren Ort eines Objectes bestimmen und, wie oben gezeigt wurde, nicht eben ein sicheres." In § 123 und 127 habe ich ferner die Bedeutung der Convergencebewegungen für die Localisation nach der Dimension der Tiefe ausführlich erörtert. In der That ist der Irrthum über meine Ansicht nur dadurch entstanden, dass ich erstens die Existenz der Muskelgefühle geleugnet, d. h. den damals sehr verbreiteten Irrthum bekämpft habe, nach welchem die Contraction der Augenmuskeln mittelst einer Erregung sensibler Nerven Gefühle erzeugen und uns auf diese Weise eine Kenntniss der jeweiligen Augenstellung vermitteln sollte; und dass ich zweitens mich bemüht habe, möglichst viele Bedingungen zu finden, unter welchen die identischen Bilder der Netzhautmitten nicht im Durchschnittspunkte der Gesichtslinien, sondern ganz wo anders erscheinen, um damit zu beweisen, dass die Gesichtslinien und überhaupt die Richtungslinien nicht die wahren Sehrichtungen sind.

Aus meiner Opposition gegen die Muskelgefühle zog man den Schluss, ich wolle leugnen, dass die willkürlichen Bewegungen der Augen ohne Einfluss auf die Localisation seien, obwohl ich diesen Einfluss selbst wiederholt besprochen habe. Daraus, dass ich zahlreiche Fälle anführte, wo unter mehr oder weniger künstlichen Verhältnissen das fixirte Object in falsche Entfernung localisirt wird, schloss man, dass ich nicht im Stande sei, beim gewöhnlichen Sehen auf Grund der willkürlichen Convergence annähernd richtig zu localisiren, während ich

doch nur beweisen wollte, dass letzteres nicht immer der Fall sei, und dass deshalb auch die Regel, nach welcher die Bilder der Netzhautmitten immer auf den beiden Gesichtslinien erscheinen sollten, nicht gelten können.

Allerdings habe ich (l. c. S. 32) gesagt — und hieraus ist wohl hauptsächlich der Irrthum entstanden — die Sehferne hänge nicht von der Augenstellung ab; aber kurz zuvor (S. 30) hatte ich gesagt: „Es ist irrig, wenn man meint, die Augenstellung, d. h. der Spannungszustand der verschiedenen Augenmuskeln, könne uns in jedem Augenblicke zum Bewusstsein kommen.“ Hieraus geht, wie auch aus dem Uebrigen, hervor, dass ich nur jenen angeblichen, durch die Contraction bedingten Muskelgefühlen jeden Einfluss auf die Localisation absprach. Wenn man beim gewöhnlichen Sehen den Augen willkürlich eine gewisse Convergenz giebt, so geht dieser Bewegung allemal die Anschauung oder Vorstellung eines Objectes vorher, welches sich in einer, dem angestrebten Convergenzgrade entsprechenden Lage befindet, und überhaupt werden die Augen normaler Weise nur von räumlichen Vorstellungen geleitet, und jeder Augenbewegung geht eine räumliche Vorstellung voran, welche die Art der Bewegung bestimmt. Die meisten Menschen können ihre Augen willkürlich gar nicht anders als mit Hülfe räumlicher Vorstellungen in Bewegung setzen. Wenn also Jemand den Augen willkürlich eine gewisse Stellung giebt, so ist damit schon gesagt, dass er vorher eine entsprechende räumliche Vorstellung hatte; und dass er dann das gesehene Object entsprechend dieser Vorstellung localisirt, wenn nicht besondere Hindernisse eintreten, ist selbstverständlich. Also nicht der Spannungszustand der Muskeln und das dadurch angeblich erzeugte Muskelgefühl,

sondern die räumliche Vorstellung, durch welche erst dieser Spannungszustand willkürlich herbeigeführt wurde, ist hier das Motiv der Localisation. Wenn ich einen Diener, auf den ich mich verlassen kann, nach X. geschickt habe und in Folge dessen weiss, dass er sich dort befindet, so ist doch nicht der Umstand, dass der Diener wirklich in X. ist, der Grund, warum ich es weiss, sondern vielmehr der Umstand, dass ich von vornherein wusste, wohin ich den Diener schicken wollte. Solche Diener, auf die man sich verlassen kann, sind die Muskeln. Gehen sie aber einmal nicht dahin, wohin man sie schickt, oder gehen sie ohne unsern Willen irgend wohin, so localisirt man auch falsch, wie bekannt ist.

Wenn Donders übrigens meine Polemik gegen die frühere Ansicht, nach welcher die Netzhautbilder auf ihren Richtungslinien localisirt werden sollten, nicht begreiflich findet und nicht gelten lassen will, so hege ich gleichwohl von einem so ausgezeichneten Beobachter die Hoffnung, dass er hier seine Meinung ebenso ändern wird, wie in Betreff der Tiefenwahrnehmung. Denn das von Prévost, Towne und mir vertheidigte Gesetz der Sehrichtungen ist schon von zu vielen trefflichen Forschern (Volkmann, Aubert, Funke, v. Betzold und neuerdings auch von Helmholtz) als thatsächlich zutreffend anerkannt worden, als dass ich nicht schon hieraus jene Hoffnung schöpfen dürfte.

Andererseits freue ich mich, constatiren zu können, dass Donders im Uebrigen und insbesondere in Betreff der Frage, wie weit unser Vermögen der räumlichen Wahrnehmung auf angeborenen Einrichtungen beruhe, sich im Wesentlichen zu den von mir vertheidigten Ansichten bekennt, im Gegensatz zu Helmholtz, welcher neuerdings in seiner physiologischen Optik den geist-

reich paradoxen Versuch gemacht hat, alle angeborenen Functionen des Gesichtssinnes zu bestreiten, als ob mit einem Organe nicht zugleich auch seine Function in ihren Grundzügen gegeben wäre.