IV. *Ueber binoculares Sehen;* *von Wilhelm von Bezold.*

Vor Kurzem hat der Verfasser in der Zeitschrift für Biologie¹⁾ einige Abhandlungen veröffentlicht, welche das Sehen mit zwei Augen zum Gegenstande haben. Die vorliegenden Zeilen bezwecken, den Hauptinhalt derselben in gedrängter Form darzulegen. Einige einleitende Worte wurden hinzugefügt, um auch dem mit der einschlägigen physiologischen Literatur weniger vertrauten Leser das Verständniß zu ermöglichen.

An eine Theorie des doppeläugigen Sehens stellt man vor Allem eine doppelte Forderung. Sie muß einerseits das Zustandekommen einer einfachen körperlichen Wahrnehmung durch das Zusammenwirken beider Augen beim Sehen erklären, anderseits aber auch von den unter gewissen Umständen auftretenden Doppelbildern Rechenschaft geben. Zur Erreichung dieses Zieles hat man vorzugsweise zwei Wege eingeschlagen. Der eine wurde von J. Müller betreten, und beruht auf dem von ihm aufgestellten Principe der Identität der Netzhäute. Er sagt nämlich; die Punkte beider Netzhäute entsprechen sich paarweise in der Art, daß die Reizung zweier solcher einander entsprechender, oder wie er sie deshalb nennt, „identischer“ Punkte immer eine einfache, die Reizung nicht identischer Punkte jederzeit eine doppelte Wahrnehmung hervorruft. Identisch sind jene Punkte, auf welchen bei parallelen Gesichtslinien²⁾ ein unendlich entfernter Punkt, also z. B. ein Stern, bei Betrachtung des Himmels sich abbildet.

Sucht man nun, gestützt auf dieses Princip, den geome-

1) Herausgeg. v. Buhl, Pettenhofer usw. Bd. I. S. 169, ff. Ebenda S. 237, ff. Bd. II, S. 187, ff.

2) Unter Gesichtslinie versteht man nach Helmholtz jene Gerade, welche die Stelle des deutlichsten Sehens, die *fovea centralis*, mit dem auf ihr sich abbildenden Objectivpunkte verbindet.

trischen Ort der Punkte, welche sich bei beliebiger Lage des Fixationspunktes auf identischen Netzhautpunkten abbilden, und demnach einfach erscheinen müssen, so findet man im Allgemeinen eine Curve mit mehreren Zweigen¹⁾, welche man den *mathematischen Horopter* nennt. Alle nicht auf ihm gelegenen Punkte müssen, wenn die Theorie genau richtig ist, im Doppelbilde erscheinen, und zwar mit um so größerem Abstände, je weiter die beiden Bildpunkte auf der Doppelnetzhaut von einander entfernt sind, wobei man unter Doppelnetzhaut den Inbegriff beider Netzhäute versteht, wenn man sie so aufeinander gelegt denkt, daß die identischen Punkte zur Deckung kommen.

Die Erfahrung lehrt nun, daß der scheinbare Abstand der Doppelbilder wirklich der Entfernung der entsprechenden Bildpunkte auf der Doppelnetzhaut proportional ist, sobald diese Entfernung gewisse Grenzen, die »Gränzdistanzen«, überschreitet. Bleibt sie unterhalb dieser Gränzen, so erscheint das Object einfach, auch wenn es nicht im mathematischen Horopter liegt. Man nennt deshalb im Gegensatze hierzu den Ort aller Punkte, welche erfahrungsmäßig einfach wahrgenommen werden, den empirischen Horopter. Die eben angeführte Thatsache zeigt, daß das Princip jedenfalls nicht in voller Strenge gültig ist. Doch wußte man den Widerspruch zu beseitigen, indem man annahm, daß man nur dem fixirten Gegenstande seine Aufmerksamkeit zuwende, und deshalb die nebenher auftretenden Doppelbilder einfach vernachlässige.

Trotz dieses etwas wunden Fleckes und trotz des misslungenen Versuchs mit Hülfe des Mikroskopes eine Verbindung der zu identischen Stellen führenden Nervenfasern zu entdecken, und so dem ganzen Princip eine anatomische Grundlage zu geben, behauptete es doch lange Zeit das Feld, und diente während einer Reihe von Jahren als einziger Ausgangspunkt für alle Untersuchungen auf diesem Gebiete.

1) Helmholtz, Arch. f. Ophthalm. Bd. X. E. Hering, Beiträge zur Physiologie. Hankel, Poggend. Ann. Bd. 122.

Anders gestalteten sich die Ansichten seit Wheatstone durch seine geniale Erfindung des Stereoskopes gerade in der Verschiedenheit der beiden Netzhautbilder das wesentliche Moment für das Zustandekommen der körperlichen Wahrnehmung kennen lehrte. Die stereoskopischen Versuche zeigten, daß auch Punkte, welche sich auf nicht genau identischen Stellen abbilden, einfach wahrgenommen werden können, und daß mithin das Identitätsprincip wenigstens nicht in seiner vollen Schärfe richtig ist.

Da nun hiedurch der Satz erschüttert war, suchte man ihn gleich ganz umzustossen, und man bemühte sich sogar zu beweisen, daß es möglich sey, auch mit identischen Punkten doppelt zu sehen¹⁾. Nach E. Hering's Arbeiten müssen jedoch sämtliche hierauf zielenden Versuche als mißlungen bezeichnet werden. Die erste meiner eigenen Abhandlungen hatte den Zweck die Unhaltbarkeit derselben wo möglich noch weiter darzuthun.

Den Gegnern der Identitätslehre lag es nun ob, das von ihnen verworfene Princip durch ein anderes zu ersetzen. Sie thaten dies, indem sie die folgende Annahme machten. Die Ursache des Reizes, den eine Netzhautstelle erfährt, sucht man unwillkürlich in der Geraden, welche die gereizte Stelle mit dem Objecte verbindet, d. h. man verlegt »projicirt« sie in Gedanken nach außen, und zwar in eine gewisse Fläche²⁾, welche durch den Fixationspunkt geht, und Projectionsfläche genannt wird. Giebt man nun diesen Satz zu, so folgt von selbst daraus, daß nur Punkte, welche in dieser Fläche liegen, einfach gesehen werden, alle näheren und entfernteren Objecte hingegen, deren Projectionslinien die Fläche in zwei getrennten Punkten schneiden, im Doppelbilde erscheinen.

Diese Erklärung setzt voraus, daß man durch das so-

1) Siehe A. Nagel: das Sehen mit zwei Augen. — Wundt: Henle u. Pfeuffer. Zeitschrift f. rat. Med. 3. Reihe, Bd. 12.

2) Nagel spricht eigentlich von zwei Flächen, da diese jedoch im Allgemeinen sehr nahe aneinander zu liegen kommen, so können wir sie hier getrost durch eine einzige ersetzt denken, ohne principiell irgend etwas an der Betrachtung zu verändern.

genannte Muskelgefühl mit der größten Schärfe über die Stellung der Augen belehrt werde.

Will man auch das Zustandekommen der körperlichen Wahrnehmung unter denselben Gesichtspunkt bringen, so ist man zu der Annahme gezwungen, daß in Fällen, wo eine kleine ideale Verschiebung der nach außen projecirten Netzhautbilder aus der Projectionsfläche genügt, um ein einfaches Bild zu erzielen, eine solche wirklich vorgenommen, d. h. die Projectionslinien in Gedanken bis zu ihrem wirklichen Schnittpunkte gezogen werden. Da aber trotz der Anwendung von Prismen, welche eine bedeutende Abweichung der Gesichtslinien von der Normalstellung bedingen, dennoch Einfachsehen stattfinden kann, und da ferner Stereoskopbilder innerhalb sehr weiter Grenzen ohne alle Rücksicht auf die vorhandene Augenstellung zur Vereinigung kommen, so ist man zu der weiteren Annahme genöthigt, daß in solchen Fällen das Muskelgefühl aufser Thätigkeit gesetzt, »alienirt« sey.

Die Projectionslehre zeichnet sich demnach keineswegs durch Einfachheit vor der älteren Identitätstheorie aus. Denn, wenn sie auch, gleich jener, im Stande ist, das Auftreten von Doppelbildern zu erklären, so bedarf sie doch hiezu der Hypothese der Projectionsflächen, einer Annahme, welche durch die Thatsache¹⁾, daß ein durch doppeläugige Fixation erzeugtes Nachbild niemals in zwei zerlegt wird, auch wenn seine scheinbare Gröfse auf's Unzweifelhafteste darthut, daß es *nicht* in jene Flächen verlegt wird, tief erschüttert wird. Um die körperliche Wahrnehmung zu erklären, muß sie ganz ebenso wie die Identitätslehre auf ihre volle Schärfe verzichten, und Ausnahmefälle zulassen. Die stereoskopischen, sowie die bei Benutzung von Prismen auftretenden Erscheinungen erfordern zu ihrer Begründung abermals einer Hülfshypothese, und endlich ruht die ganze Lehre auf der Annahme eines höchst ausgebildeten Muskelgefühles. Diese letztere Voraussetzung wird jedoch durch die Versuche über die Beurtheilung der Entfernung in

1) Hering Beiträge S. 150.

Fällen, wo man nur auf dieses Gefühl angewiesen ist, keineswegs unterstützt.

Die Projectionslehre hat an die Stelle eines höchst einfachen, wenn auch noch nicht zur Evidenz erhärteten Princip eine Reihe von Hypothesen gesetzt, so daß es Wunder nehmen muß, wie ihre Aufstellung jemals als Fortschritt bezeichnet werden konnte.

Diese Betrachtungen veranlaßten den Verfasser zu dem Versuch, das Identitätsprincip durch einige kleine Modificationen mit den Thatsachen in Einklang zu bringen. Vor allem muß man natürlich hierbei die Untersuchungen von Panum¹⁾ und Volkmann²⁾ berücksichtigen, nach welchem zwar auch Punkte, welche sich auf differenten Netzhauptpunkten abbilden, einfach gesehen werden, jedoch nur so lange der Abstand derselben auf der Doppelnetzhaute gewisse Grenzen nicht übersteigt. Dieses Factum aber steht mit dem Identitätsprincipe im Einklang, sobald man von »correspondirenden Stellen« anstatt von »identischen Punkten« spricht.

Diese Fassung des Satzes ist obnehin schon viel naturgemäßer und wahrscheinlicher, als die schärfere auf mathematische Punkte bezügliche. Nimmt man ja sogar bei monocularer Betrachtung Punkte nur dann getrennt wahr, wenn die Entfernung ihrer Bilder gewisse Gränzen überschreitet: in wie viel höherem Grade muß dies für Bilder auf den verschiedenen Netzhäuten gelten. Das Princip verliert demnach in Wahrheit hierdurch keineswegs an Schärfe, sondern indem man es mit der speciellen oben erwähnten Thatsache in Einklang bringt, gewinnt es zugleich eine Gestalt, welche allen physiologischen Vorstellungen und Analogieen weit besser entspricht, als die ursprüngliche.

Gleichzeitig fällt hiermit auch der Einwand, daß man im Allgemeinen so selten Doppelbilder wahrnehme. Sucht man nämlich unter Zugrundelegung der durch die Erfahrung bestimmten Gränzdistanzen den geometrischen Ort al-

1) Physiol. Untersuch. üb. d. Sehen mit zwei Augen.

2) Arch. f. Ophth. Bd. V, Abth. II, S. 1, ff.

ler einfach gesehenen Punkte, den sogenannten »empirischen Horopter«, so findet man einen Raum von sehr beträchtlicher Ausdehnung, während nur innerhalb einer die Gesichtslinien ziemlich enge umschließenden Fläche Doppelbilder wahrgenommen werden können. Bekanntlich stimmt dieß genau mit Beobachtungen überein, welche schon vor Jahren von Vieth¹⁾ veröffentlicht wurden.

Ich habe für den Fall horizontal gestellter Gesichtslinien und einen in der Medianebene liegenden Fixationspunkt F die Frage mathematisch behandelt, und nach meinen Formeln die von Volkmann, Solger²⁾ und mir gemachten Messungen über die Grenzdistanzen zur Construction der Curven in Fig. 14, Taf. V, verwerthet. In dieser Zeichnung ist F der Fixationspunkt, HH ein Stück des mathematischen Horopters, Fk und Fk' sind die Gesichtslinien, B , V , S die Durchschnitte der äußeren und B' , V' , S' die der inneren Begränzungsfläche des empirischen Horopters mit der Horizontalebene. B und B' sind nach meinen eigenen, V und V' nach Volkmann's, S und S' nach Solger's Messungen construiert, und zwar sind die zur Construction benutzten Punkte für den ersten Fall auf der linken, für die beiden letzteren auf der rechten Seite von CF bemerkt. CF ist die halbe Entfernung des Fixationspunktes von dem Mittelpunkte der die beiden Augencentren verbindenden Geraden. Die ganze Zeichnung ist in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Gröfse ausgeführt. Fig. 15 hingegen stellt den Durchschnitt der beiden Flächen mit der verticalen Medianebene in $\frac{1}{6}$ der natürlichen Gröfse dar. HH ist hier die verticale Horopterlinie, A liegt nach der Seite der Augen zu.

Diese Figuren zeigen, dafs schon bei sehr mäfsiger Entfernung des Fixationspunktes der Raum, in welchem allein Doppelbilder wahrgenommen werden können, außerordentlich beschränkt ist, und überdieß so staltet, dafs unter den gewöhnlichen Verhältnissen nur sehr selten Objecte in

1) Gilbert's Annalen, Bd. 58.

2) Arch. f. Ophthalm. Bd. V, Abtheil. 2, S. 1, ff.

denselben zu liegen kommen, da man thatsächlich dieß unwillkürlich zu vermeiden sucht.

Kehrt man den Satz um, so kommt man zu dem andern, schon ohnehin leicht verständlichen, daß unter den gewöhnlichen Verhältnissen die Bilder aller Punkte auf nahezu identische Stellen fallen. Und zwar wird der Abstand der einem und demselben Objectpunkte entsprechenden Bilder auf der Doppelnethaut im Allgemeinen in horizontalem Sinne weit beträchtlicher seyn, als in vertikalem. Da außerdem das Auftreten gekreuzter und gleichnamiger Doppelbilder gleiche Wahrscheinlichkeit für sich hat, so ergibt sich als weiteres Resultat: die ein und demselben Objectpunkte entsprechenden Bilder fallen im Durchschnitt auf correspondirende Punkte.

Sollte nun ein solcher fortgesetzt gleichzeitiger Gebrauch solcher Stellen zu gleichem Zwecke nicht hinreichen, jenen eigenthümlichen Zusammenhang zwischen denselben zu erklären, dessen Ausdruck das Identitätsprincip ist?

Für die Wichtigkeit dieser Anschauung spricht vor Allem der Umstand, daß die Empfindlichkeit für Doppelbilder in horizontalem Sinne weit geringer ist als in verticalem, ferner die außerordentlich rasche Zunahme dieser Empfindlichkeit bei fortgesetzten Versuchen mit Doppelbildern, außerdem aber eine Reihe von Analogien, aus den verschiedensten Gebieten sensitiver und motorischer Thätigkeit. Ich erinnere z. B. an den Versuch mit dem Kügelchen, welches zwischen verschränkten Fingern doppelt wahrgenommen wird, an eine Reihe von Erscheinungen, welche man bei Anfängern im Klavierspiele, oder bei gymnastischen Uebungen beobachten kann, an die sogenannte relative Accommodation usw. Vielleicht dürften auch jene Fälle von inveterirtem Schielen, welche man bisher als Folgen einer sogenannten Incongruenz der Netzhäute anzusehen gewohnt war, von dem eben dargelegten Gesichtspunkte aus die naturgemäße Erklärung finden.

Es fragt sich jedoch schließlic noch, ob auch die stereoskopischen Erscheinungen mit der gemachten Annahme

vereinbar sind. Bei Behandlung dieses Punktes muß man vor allem auf eine genaue Scheidung der Begriffe *Empfindung*, *Wahrnehmung* und *Vorstellung* dringen, da die Vermischung derselben große Verwirrung hervorgerufen hat.

Die den Menschen umgebenden Gegenstände bringen auf seine Sinne Eindrücke hervor, welche als *Empfindungen* zum Bewußtsein kommen. Indem man denselben Gegenständen öfters begegnet, empfängt man immer wieder dieselbe Summe von Empfindungen. Diese werden nach und nach mit Hülfe des Gedächtnisses als zusammenhängende Ganze aufgefaßt, und so entstehen die *Vorstellungen* von den Dingen, denen man alsdann gewisse Merkmale als Kennzeichen beilegt. Tritt man nun nach gebildeter Vorstellung einem Dinge wieder gegen über, so wird die Summe von Empfindungen unmittelbar ohne weitere bewußte Denkhätigkeit mit der Vorstellung zu einer *Wahrnehmung* verbunden. Empfindungen sind denkbar, ohne gleichzeitige darauf bezügliche Vorstellungen, Vorstellungen ohne gleichzeitige Empfindungen; Wahrnehmungen hingegen fordern beides zugleich.

Wenn man einen Körper mit beiden Augen betrachtet, oder in ein Stereoskop blickt, so bildet man sich nicht nur eine Vorstellung von dem Gegenstande — hiezu würde eine lineare Zeichnung, ja sogar eine Beschreibung, auch genügen — sondern der sinnliche Eindruck ruft die Vorstellung sofort in so zwingender Weise hervor, daß beide gleichzeitig als *eine* einzige Wahrnehmung zum Bewußtseyn kommen. Man stellt sich den Körper nicht nur vor, man hat nicht nur einen Lichteindruck, sondern man *sieht* den bestimmten Körper. Aehnlich verhält es sich mit den Tastwahrnehmungen. Wenn man einen Körper von bekannter Beschaffenheit irgendwie berührt, mit der Hand faßt, so wird man sich der einzelnen Empfindungen nicht mehr getrennt bewußt, sondern man nimmt ein Tau, einen Stab, eine Billardkugel usw. sofort als solche wahr, wenn auch kein anderer Sinn außerdem zu Hülfe kommt.

Dies vorausgeschickt, erscheint die Thatsache, daß die

in beiden Augen entworfenen Bilder zu einer einzigen körperlichen Wahrnehmung verschmolzen werden, keineswegs auffallend, und niemand wird es nach solchen Betrachtungen mehr nöthig erachten, nach einer anatomischen Verbindung zwischen den sogenannt correspondirenden Punkten zu suchen. Warum sollte nicht hierdurch eben so gut eine einfache Wahrnehmung hervorgerufen werden, als dieß durch die beiden einander gewöhnlich zugekehrten Hautstellen zweier benachbarten Finger geschieht, welche ein und denselben Gegenstand berühren?

Von dem eben aufgestellten Gesichtspunkte aus bedarf die Erklärung des Zustandekommens der körperlichen Wahrnehmung durch doppeläugiges Sehen nur der einzigen Annahme, *daß der Eindruck, den die Reizung zweier benachbarter Stellen der Doppelnetzhaut hervorbringt, unter allen Umständen von der gegenseitigen Lage dieser Stellen abhängt, selbst dann, wenn sie einander so nahe liegen, daß die hervorgerufene Wahrnehmung eine einfache ist.*

Giebt man nur zu, daß der Eindruck auch bei verschmolzenen Doppelbildern¹⁾ ein verschiedener ist, je nachdem man es mit einem gekreuzten oder ungekreuzten Doppelbilde von größerem oder geringerem Abstände zu thun hat, so ist die Erfahrung vollkommen hinreichend, um das stereoskopische Sehen zu erklären.

Da nämlich Punkte, welche jenseits des Fixationspunktes (streng gesprochen, jenseits des Längshoropters) liegen, immer gleichnamige, dießseits desselben gelegene, ungleichnamige Doppelbilder hervorbringen, so muß man allmählich durch die Erfahrung dahin kommen, mit dem Eindrucke eines gleichnamigen aber verschmolzenen Doppelbildes die Vorstellung eines entfernteren, mit dem eines gekreuzten die eines näheren Gegenstandes zu verbinden. Die Oeffnung des Doppelbildes wird hierbei ein Maas für die größere oder geringere Entfernung abgeben.

1) Man gestatte mir, von Doppelbildern zu sprechen, sobald man es nur mit zwei Bildern auf der Doppelnetzhaut zu thun hat, ohne Rücksicht darauf, ob die Wahrnehmung wirklich eine getrennte ist oder nicht.

Hiermit glaube ich, das Zustandekommen der körperlichen Wahrnehmung im Wesentlichen erklärt zu haben; daß außerdem noch andere Umstände, wie z. B. die Luftperspective, oder die Stellung der Augenaxen, wenigstens in untergeordneter Weise, von Einfluß sind, ist bekannt.

Es wurden mithin durch diese Untersuchung die folgenden Resultate gewonnen:

1. Unter den gewöhnlichen Umständen werden die Bilder der meisten zu gleicher Zeit sichtbaren Gegenstände auf nahezu identischen Stellen entworfen.

2. Dieser fortgesetzt gleichzeitige Gebrauch zu gleichem Zwecke berechtigt, das eigenthümliche Verhalten dieser Stellen als ein Erworbenes zu betrachten. Diese Anschauung wird außerdem noch durch verschiedene andere Gründe unterstützt.

3. Von diesem Gesichtspunkte aus bietet auch die Erklärung der doppeläugigen Tiefenwahrnehmung keine Schwierigkeit, wenn man nur zugiebt, daß der Eindruck, welchen ein, zu einer Wahrnehmung verschmolzenes Doppelbild macht, verschieden ist, je nachdem es gekreuzt oder gleichnamig und mehr oder weniger geöffnet ist.

**V. Vorläufige Notiz über die Ableitung der Krystallgestalten aus den Grundstoffen mittelst der optischen Atomzahlen;
von Dr. Albrecht Schrauf in Wien.**

(Aus des Verf. Physikalischen Studien mitgetheilt.)

In mehreren meiner früheren Untersuchungen habe ich den Causalnexus hervorgehoben der zwischen der molecularen Anordnung der Materie und der Fortpflanzung des Lichts besteht. Die Formel lautet transformirt:

$$u^2 = 1 + ZGD \left[X + C \left(\frac{N}{\lambda} \right)^2 \right],$$