dafs man durch Anwendung einer unendlich grossen Drahtmasse einen Inductionsstrom erhalten würde, der nur um etwa 24 Proc. stärker wäre, als der Strom einer parabolischen Drahtspirale, deren Endringe den elektromagnetischen Kern dicht umschliessen.

Es ergiebt sich ferner aus (III), dafs der Halbmesser des mittelsten Ringes für alle Eisencylinder gleich und zwar $=4,41r$ ist, so dafs also bei allen solchen parabolisch geformten Inductionsspiralen der Durchmesser des mittelsten Ringes zum Durchmesser des Kernes ein absolutes Verhältnifs hat. Endlich ersieht man aus (V) und (VIII):

- 1) *Die zu den Spiralen erforderlichen Drahtmassen verhalten sich wie die Längen der Cylinder.*
- 2) *Die Maxima der Inductionsströme bei Anwendung parabolischer Drahtspiralen verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus der Länge der cylindrischen Eisenkerne.*

(Aus dem *Bullet. de la classe phys. math. de l'acad. de St. Petersb.*)

VII. Ueber das Sehen mit zwei Augen; von A. P. Prevost.

[Ein vom Hrn. Verfasser aus der *Biblioth. universelle* (1843, Novembre) mitgetheilte Auszug seiner Dissertation: *Essai sur la théorie de la vision binoculaire*, die mir früher gleichfalls von demselben übersandt worden ist. P.]¹⁾.

Die Anzahl der Gegenstände, die man einfach sieht, wenn man die Blicke auf einen Punkt des Raumes hef-

- 1) Wiewohl diese Arbeit zu demselben Resultat gelangt, wie die, welche von Hrn. Dr. Brücke in Müller's *Archiv für Anatomie etc.* veröffentlicht ist, so glaubte ich doch sie hier aufnehmen zu müssen, da letztere nur einem sehr kleinen Theil des physikalischen Publicums bekannt geworden seyn dürfte.

P.

tet, ist wirklich viel geringer, als es anfangs scheint. Fragt man den ersten Besten, ob ihm unter den Gegenständen die er sieht einige doppelt erscheinen, so wird er ohne Anstand antworten: Nein. Wenn derselbe aber gute Augen hat, so ist es leicht, ihm zu beweisen, daß man im Raume gewisse Gegenstände doppelt sieht.

Läßt man ihn irgend zwei etwas längliche Gegenstände, zwei Bleistifte z. B., senkrecht und in einigem Abstände von einander halten, und er betrachtet fest den einen, so wird der andere ihm doppelt erscheinen; und schließt er folgeweise das eine und das andere Auge, so wird er sich überzeugen können, daß eins der doppelten Bilder dem rechten und das andere dem linken Auge angehört.

Dieser Versuch beweist, daß ein Gegenstand einfach erscheint, sobald die Lichtstrahlen, die er zu den Augen sendet, auf gewisse Theile beider Netzhäute einwirken, während ein anderer vollkommen ähnlicher Gegenstand doppelt erscheint, wenn die von ihm ausgehenden Strahlen andere Theile der Netzhäute beider Augen ergreifen.

Denken wir uns die eine Netzhaut auf die andere gelegt, so, daß die Mitten beider sich überdecken, und daß die auf jeder Netzhaut, in der Ebene der optischen Axen, in gleichem Abstände und auf derselben Seite der Mitte, liegenden Punkte paarweise zusammenfallen. In dieser Hypothese werden zwei, der eine auf der rechten, der andere auf der linken Netzhaut, ähnlich gelegene Punkte einander überdecken. Gerade diese auf den beiden Netzhäuten ähnlich gelegenen Punkten sind es, welche die Eigenschaft haben, der Seele eine einzige Empfindung zuzuführen. Sie haben den Namen: *entsprechende Punkte* erhalten.

Die Theorie der entsprechenden Punkte auf beiden Netzhäuten läßt sich durch mehrer Versuche rechtferti-

gen; allein wir begnügen uns hier zu sagen, daß sie gegenwärtig von den mit dem Binocular-Sehen beschäftigt gewesenen Physikern und Physiologen ziemlich allgemein angenommen ist, und wir werden sie als richtig ansehen. Diese Theorie wird uns als Ausgangspunkt dienen bei der vorliegenden Untersuchung über die Punkte des Raums, welche einfach gesehen werden müssen. Diese Punkte werden für uns diejenigen seyn, welche Lichtstrahlen nach entsprechenden Punkten beider Netzhäute absenden.

Um den geometrischen Ort der Punkte des Raums zu bestimmen, welche Lichtstrahlen nach zwei entsprechenden Punkten beider Netzhäute senden, werden wir die ersten Grundsätze der beschreibenden Geometrie zu Hülfe nehmen. Allein zuvörderst sind einige Gesetze des Sehens in Erinnerung zu bringen, von denen wir Gebrauch machen werden.

Man kann die Oberfläche der Netzhaut als ein Kugelstück betrachten. Man nimmt auch an, daß es im Auge einen Punkt gebe, *optisches Centrum* genannt, derart, daß ein Lichtstrahl, der das Auge durch diesen Punkt durchläuft, nicht abgelenkt wird. Da nun alle Punkte, welche von einem selben Punkt in's Auge gelangen, zu einem einzigen Punkt der Netzhaut convergiren, sobald deutliches Sehen stattfindet, so ist klar, daß der leuchtende Punkt, das optische Centrum und das Bild nahezu auf einer selben Geraden liegen. Fügen wir hinzu, daß das optische Centrum des Auges fast mit dem Mittelpunkt der Gestalt dieses Organs zusammenfällt.

Kürze halber werden wir eine Gerade, gezogen durch den Mittelpunkt des Auges und einen Punkt der Netzhaut, den *Gesichtsstrahl* dieses Punktes nennen.

Fig. 7 Taf. I ') stellt die verticale und horizontale Projection beider Augen dar. Wir haben angenommen, die Augen liegen so, daß die Ebene der optischen Axen

1) Schon dem Heft V beigegeben.

parallel sey der horizontalen Projectionsebene, und dafs die die Mittelpunkte beider Augen verbindende Linie winkelrecht liege auf der senkrechten Ebene. Daraus folgt, dafs beide Augen dieselbe verticale Projection haben, und dafs alle in der Ebene der optischen Axen liegende Punkte sich auf eine und dieselbe, der Bodenlinie parallele, Gerade projeciren. XX' stellt die Bodenlinie vor, Y' und Y'' die Horizontalprojectionen beider Augen, Y ihre Verticalprojection.

Wenn die Punkte aa' und $\alpha\alpha'$ die Mitten der Netzhäute sind, so werden die Geraden $a'A'$ und $\alpha'A'$ die Horizontalprojectionen der optischen Axen seyn. Die Verticalprojectionen dieser Axen fallen zusammen mit der, der Bodenlinie parallelen Geraden aaA .

Da ein leuchtender Punkt die Netzhaut in der Verlängerung der Geraden afficirt, welche diesen Punkt mit der Mitte des Auges verknüpft, so ist klar, dafs ein und derselbe Punkt nicht entsprechende Punkte auf beiden Netzhäuten afficiren kann, wenn die Gesichtsstrahlen dieser Punkte sich nicht schneiden. Untersuchen wir zunächst, ob die Gesichtsstrahlen von zwei entsprechenden Punkten sich immer schneiden; hernach wird es leicht seyn, den geometrischen Ort zu bestimmen, wo diese Gesichtsstrahlen sich schneiden. Dieser Ort wird derselbe seyn wie der von Punkten des Raums, welche entsprechende Punkte afficiren. Das ist also derjenige, den wir suchen.

Die descriptive Geometrie lehrt, dafs, damit zwei Geraden sich schneiden im Raume, man eine auf der Bodenlinie Senkrechte müsse errichten können, die zugleich durch einen gemeinschaftlichen Punkt der Horizontalprojectionen dieser beiden Geraden und durch einen ihren Verticalprojectionen gemeinsamen Punkt gehe.

Die Horizontalprojectionen zweier Gesichtsstrahlen, welche von zwei entsprechenden Punkten beider Netzhäute ausgehen, treffen sich immer irgendwo. Was die Verticalprojectionen der Gesichtsstrahlen betrifft, so müs-

sen sie alle durch o , den Mittelpunkt des Kreises gehen; allein wir haben uns nicht zu beschäftigen mit den Gesichtsstrahlen, deren Verticalprojectionen sich im Punkte o schneiden; denn diese Strahlen können sich nur auf einer die Mittelpunkte der Augen verknüpfenden Geraden schneiden, und es giebt auf dieser Geraden keinen Punkt, der mit beiden Augen zugleich gesehen werden könnte.

Da die Verticalprojectionen der Gesichtsstrahlen zweier entsprechenden Punkte immer einen gemeinsamen Punkt in o , dem Mittelpunkt des Kreises, haben müssen, so ist es unmöglich, daß diese Projectionen sich an irgend einem andern Ort schneiden. Allein sie können anderswo als in o gemeinsame Punkte haben, sobald die Gesichtsstrahlen sich in der Verticalebene auf dieselbe Gerade projectiren; dieß kann statthaben: 1) wenn die Verticalprojectionen zweier entsprechenden Punkte auf einem selben Radius des Kreises liegen, dessen Mittelpunkt o ist, und 2) wenn zwei entsprechende Punkte dieselbe Verticalprojection haben.

Erster Fall. Haben zwei entsprechende Punkte gleiche Höhe über der Horizontalebene, so müssen ihre Verticalprojectionen auf einer der Bodenlinie parallelen Sehne des Kreises liegen. Diese Projectionen können also nur dann auf demselben Radius des Kreises befindlich seyn, wenn die der Bodenlinie parallele Sehne, auf welcher sie liegen, mit der Geraden ao zusammenfällt. Nun sind aber alle Punkte, deren Verticalprojection sich auf der Geraden ao befindet, in der Ebene der optischen Axen.

Es seyen die entsprechenden Punkte bb' und $\beta\beta'$ auf beiden Netzhäuten in der Ebene der optischen Axen genommen. Weil dieß entsprechende Punkte sind, haben wir $a'b' = a'\beta'$. Ziehen wir die Horizontalprojectionen der Gesichtsstrahlen dieser Punkte; diese Gesichtsstrahlen treffen sich in BB' , und, weil sie in einer

Horizontalebene liegen, stellen die Geraden $b'B'$ und $\beta'B'$ ihre wahre Gröfse dar. Vergleicht man die Dreiecke $A'n\omega'$ und $B'no'$, so sieht man, dafs sie ähnlich sind. Denn die Winkel $A'n\omega'$ und $B'no'$ sind, als am Scheitel gegenüberliegend, einander gleich, und die Winkel $A'\omega'n$ und $B'o'n$ sind es ebenfalls wegen Gleichheit der Bögen $a'b'$ und $\alpha'\beta'$. Daraus folgt, dafs die Winkel $\omega'A'o'$ und $\omega'B'o'$ gleich sind.

Eben so beweist sich, dafs der Winkel zwischen den Gesichtsstrahlen irgend zweier anderen entsprechenden Punkte, die in der Ebene der Axe genommen sind, stets gleich ist dem Winkel $\omega'A'o'$. Wir wollen indefs keinen dieser Punkte betrachten, um nicht die Figuren verwickelt zu machen.

Die Winkel $\omega'A'o'$, $\omega'B'o'$ etc. stützen sich auf eine gemeinschaftliche Sehne $o'\omega'$; man kann also durch die Scheitel aller dieser Winkel und durch die Enden der Sehne einen selben Kreis ziehen. Dieser Kreis ist der geometrische Ort der Punkte des Zusammentreffens der Gesichtsstrahlen, welche von entsprechenden, in der Ebene der optischen Axen liegenden Punkten ausgehen.

Zweiter Fall. Zwei entsprechende Punkte, welche dieselbe Verticalprojection haben, liegen nothwendig in einer und derselben Geraden winkelrecht auf der Verticalalebene; die Horizontalprojectionen dieser Punkte werden also in einer selben, auf der Bodenlinie winkelrechten Geraden befindlich seyn müssen. Nimmt man nun an, der Punkt B' liege im Punkt des Zusammentreffens der Peripherie $o'\omega'A'$ mit der mitten auf $o'\omega'$ errichteten Lothrechten, so sieht man, dafs man eine Gerade senkrecht auf der Bodenlinie nur durch diejenigen Horizontalprojectionen eines Paares von entsprechenden Punkten ziehen kann, die sich auf den Geraden $b'o'$ und $\beta'\omega'$ befinden. Daraus folgt: zwei entsprechende Punkte, durch welche man eine Gerade winkelrecht gegen die Vertical-Projectionsebene ziehen kann, befinden sich immer, jeder

in dem Auge, zu welchem er gehört, auf der Vertical-ebene gelegt durch den Gesichtsstrahl zum Punkte des Zusammentreffens des durch den Sehpunkt und die Mittelpunkte beider Augen gezogenen Kreises mit der Lothrechten errichtet in der Mitte der Geraden, welche die Mittelpunkte beider Augen verbindet.

In welchem Orte treffen sich aber die Gesichtsstrahlen, welche ausgehen von zwei entsprechenden Punkten in den Verticalebenen, deren Horizontalschnitte $b'B'$ und $\beta'B'$ sind? Dieser Ort ist eine durch den Punkt BB' gehende senkrechte Gerade.

In der That seyen z. B. dd' und $d\delta'$ die entsprechenden Punkte. Zieht man die Verticalprojectionen der Gesichtsstrahlen dieser Punkte, so findet man, dafs diese Strahlen sich im Punkte B, B' treffen. Dieser Punkt liegt aber auf der durch BB' gehenden Verticalen.

Dasselbe gilt von den Gesichtsstrahlen aller Paare von entsprechenden Punkten, die wir hier studiren. Diese Strahlen werden sich immer in einem Punkt der Verticalen BB' schneiden; denn ihre Horizontalprojection fällt nothwendig auf die Geraden $o'B'$ und $w'B'$, die man als die Horizontalschnitte der uns beschäftigenden Verticalebenen betrachten kann.

Diese Erörterung der Fälle, in welchen die Gesichtsstrahlen zweier entsprechenden Punkte sich treffen, beweist, dafs der Ort der Punkte des Raums, welche entsprechende Punkte beider Netzhäute afficiren können, besteht: *aus einem durch den Sehpunkt und die Mittelpunkte der Augen gehenden Kreise und einer Lothrechten auf der Ebene der Axen, gelegt durch den Punkt des Zusammentreffens dieses Kreises mit dem Perpendikel, errichtet mitten auf der Geraden, welche die Mittelpunkte der Augen verbindet.*

Nimmt man an, dafs die optischen Axen sich kreuzen auf dem Perpendikel, errichtet in der Mitte der Geraden, welche die Mittelpunkte der Augen verknüpft, so

läßt sich die Angabe des Orts der Punkte des einfachen Sehens kürzer ausdrücken. Alsdann besteht dieser Ort *aus einem durch den Sehpunkt und die Mittelpunkte beider Augen gehenden Kreise und einem Perpendikel, errichtet im Sehpunkt auf der Ebene der optischen Axen*¹⁾. Diefs ist ein sehr gewöhnlicher Fall; man richtet nämlich insgemein den Kopf so, daß man den Gegenstand, den man sehen will, möglichst gerade vor sich habe.

Sind die optischen Axen parallel, so müssen alle Punkte des Raumes verdoppelt erscheinen²⁾. Denn wenn die optischen Axen parallel sind, sind es auch die Gesichtsstrahlen zweier entsprechenden Punkte der Netzhaut. Nun haben wir aber gesehen, daß zwei entsprechende Punkte nicht die Bilder eines selben Punktes aufnehmen können (was nothwendig ist, um diesen Punkt einfach zu sehen), wenn nicht ihre Gesichtsstrahlen sich treffen.

Alle unsere Schlüsse über den Ort der einfach gesehenen Punkte sind gegründet auf die Hypothese, daß die Augen keine drehende Bewegung um ihre optische Axe ausführen, oder wenigstens, daß dergleichen Bewegungen immer vollkommen ähnlich in beiden Augen seyen. Machte eins der Augen eine drehende Bewegung um seine Axe, während das andere unbewegt bliebe, so würden die Bedingungen des Sehens gänzlich verändert seyn, und

1) In meinem *Essai sur la théorie de la vision binoculaire* habe ich nur diesen speciellen Fall betrachtet, immer voraussetzend, daß die Geraden $b'B'$ und $\beta'B'$ die Horizontalprojectionen der optischen Axen vorstellen. Es ist leicht zu sehen, daß, in welchem Punkt des Kreises $o'w'B'$ man auch die Axen sich schneidend annehmen mag, die senkrechte Gerade, welche durch $B'B'$ geht, immer diejenige ist, auf welcher sich die außerhalb der Ebene der Axen einfach gesehenen Punkte befinden.

2) Wenigstens wenn diese Punkte nicht so entfernt sind, daß die Lichtstrahlen, welche sie auf die beiden Netzhäute absenden, nahezu parallel in diesen Organen anlangen.

der Ort der einfach gesehenen Punkte wäre nicht mehr derselbe. Er reducirte sich alsdann auf einen Punkt, auf denjenigen, wo sich die optischen Axen kreuzen. Dieser Fall kommt sehr wenig vor, weil die beiden Augen durch gewisse Gesetze der Sympathie mit einander verknüpft sind, vermöge welcher das eine Auge gewöhnlich keine Drehung um seine Axe vornehmen kann, ohne daß das andere eine ganz ähnliche macht.

Man kann sie jedoch immer hervorbringen, wenn man einen der Augäpfel mit dem Finger drückt; es gelingt dabei zuweilen das Auge um seine Axe zu drehen, während das andere nicht weicht. Dann gewahrt man eine eigenthümliche Erscheinung, die zu sehen unmöglich ist, so lange nicht wenigstens eins der Augen eine unabhängige Drehung um seine Axe ausgeführt hat.

Wenn irgend ein Gegenstand doppelt erscheint, so sind die beiden Bilder, welche er darbietet, geneigt gegen einander, statt wie gewöhnlich parallel zu seyn. Das ist eine nothwendige Folgerung aus der Theorie der entsprechenden Punkte (*Essai etc.* §. 20, 21 und 22).

Was die Zahl der einfach gesehenen Punkte und deren Lage im Raume betrifft, so ist es keineswegs leicht, die Theorie durch directe Versuche zu rechtfertigen. Dergleichen Versuche erfordern Uebung und Sorgsamkeit; sie verlangen, andere Punkte als den *fixirten* zu beobachten ¹⁾, und dieß ist immer sehr schwierig. Wir wollen hier nur einen einzigen Versuch beibringen, der sich nicht in dem *Essai* befindet, von welchen wir einen Auszug geben.

Man bringe eine Korkplatte horizontal in der Höhe der Augen an, und stecke darin senkrecht, in gleicher Entfernung von beiden Augen, eine Nadel ein. Fixirt

1) Mit *Fixiren eines Punkts* oder *Gegenstands* meinen wir immer die Augen so gerichtet, daß sich die optischen Axen an diesem Punkt oder Gegenstand kreuzen.

man nun die Blicke auf einen Punkt nahe an der Spitze der Nadel, so sieht man den ganzen Gegenstand einfach und mit einem einzigen Knopf. Man stecke darauf eine zweite Nadel ein, fast in gleichem Abstand, allein links oder rechts von der ersten. Richtet man nun, ohne den Kopf zu rühren, die Augen so, daß man einen Theil der zweiten Nadel fixirt, so sieht man sie nicht mehr mit einem einzigen Knopf, sondern man erblickt zwei, einen über dem andern. Das obere Bild gehört dem Auge, dem die Nadel näher ist, das untere Bild dem anderen Auge.

Dieser Versuch bestätigt das folgende Resultat, zu welchem die Theorie führt: Ein Punkt, gelegen auf einem Perpendikel der Axen-Ebene, das durch den Sehpunkt geht, muß einfach erscheinen, wenn der Sehpunkt sich in gleichem Abstände von jedem Auge befindet; dagegen muß er doppelt erscheinen, wenn der Sehpunkt ungleich entfernt ist von jedem der Augen.

Wenn es aber wirklich nur eine sehr kleine Zahl von Punkten des Raumes giebt, welche Lichtstrahlen zu entsprechenden Punkten absenden, wie geschieht es, daß man sie nicht wahrnimmt, und daß man sich einbildet alle Gegenstände einfach zu sehen? Hier bieten sich verschiedene Ideen dar. Man könnte antworten: obwohl es wahr sey, daß man einen Punkt außerhalb des vorhin bestimmten geometrischen Orts nicht einfach sieht, so folge daraus doch nicht, daß man eine nicht darin gelegene Linie oder eine Fläche von irgend einer Lage immer doppelt sehen müsse; es ist z. B. leicht zu erweisen, daß alle Geraden, die senkrecht auf der Ebene der optischen Axen sind und durch einen Punkt des Kreises $o'A'\varpi'$ gehen, einfach erscheinen müssen, sobald sie hinreichend verlängert sind (*Essai etc.* §. 8). Man könnte auch sagen, daß die Nase dem einen Auge die zu weit neben dem Sehpunkt gelegenen Gegenstände verdecke; daß ein unmerklicher Fleck die Bilder von einigen Gegenständen

empfangen, die alsdann nur mit dem andern Auge sichtbar sind, etc.

Allein die wahre Antwort auf die Frage, welche wir uns vorgelegt haben, ergiebt sich aus der Anwendung eines psychologischen Principes auf eine physiologische Thatsache. Das psychologische Princip ist: daß der Geist auf einmal nur auf eine einzige Sache Acht geben kann; die physiologische Thatsache ist: daß die Empfindlichkeit der Netzhaut sehr rasch von der Mitte aus abnimmt. Sobald man einen Gegenstand betrachtet, fixirt man zunächst einen Punkt desselben, und die Aufmerksamkeit wirkt sogleich auf diesen Punkt. Da die übrigen Punkte des Bildes, welches in jedem Auge entsteht, etwas weniger scharf sind, so wirkt sich die Aufmerksamkeit nur successiv auf alle Theile dieses Bildes, und dieß macht gewisse Theile des Gegenstandes doppelt erscheinen. Fixirt man dagegen sogleich, successiv und sehr rasch, alle verschiedenen Punkte des Gegenstandes, so wirkt sich die Aufmerksamkeit immer und alleinig auf den fixirten Punkt.

Hat einmal ein Beobachter die Form des von ihm untersuchten Gegenstandes erkannt, so behält er sie im Gedächtniß und sieht sie, nicht wie seine Augen sie ihm in einem gegebenen Augenblick darbieten, sondern so, wie sein Urtheil ihm erlaubt hat, sie sich vorzustellen.

Wenn er seine Aufmerksamkeit auf einen andern als den fixirten Punkt richtet, so nehmen seine Augen sogleich diesen andern Punkt zum Sehzeichen. Diese Bewegung der Augen ist den meisten Menschen dermaßen natürlich, daß es für sie sehr schwer ist, ihr zuvorzukommen, und irgend einen Punkt zu sehen, ohne die optischen Axen darauf zu richten.

Schreiten wir jetzt zur Untersuchung verschiedener Erscheinungen, welche sich auf die von uns so eben auseinandergesetzte Theorie des Sehens mit zwei Augen beziehen. Diese Untersuchung wird uns Gelegenheit geben, einen neuerlich von Hrn. Wheatstone erfunde-

nen Apparat zu beschreiben. Folgendes ist fast wörtlich aus der Abhandlung desselben in den *Phil. Transact. f. 1838* genommen ¹).

»Betrachtet man einen Gegenstand aus hinreichender Entfernung, damit die optischen Axen beider Augen nahe parallel seyen, so sind die von jedem Auge für sich gesehenen Projectionen ähnlich, und der Gegenstand erscheint den beiden Augen eben so, wie wenn er nur mit einem Auge gesehen würde. In diesem Fall ist zwischen dem Ansehen eines in Relief gesehenen Gegenstandes, und dem, welches aus seiner, nach dem Gesetz der Perspective, auf eine Ebene gemachten Projection erfolgt, kein Unterschied. Dieses macht, dafs, wenn man sorgfältig alle Umstände ausgeschlossen hat, welche die Täuschung zerstören oder schwächen können, sich auf einer ebenen Fläche entfernte Gegenstände darstellen lassen, mit so vollkommener Aehnlichkeit, dafs man Mühe hat das Gemälde von der Wirklichkeit zu unterscheiden. Die Dioramen sind davon ein Beispiel. Allein diese Aehnlichkeit ist nicht mehr vorhanden, wenn der Gegenstand den Augen so nahe gebracht ist, dafs beim Fixiren desselben die optischen Axen merklich convergiren. Jedes Auge sieht alsdann eine andere Projection des Gegenstandes, und dieser Unterschied im Ansehen ist desto gröfser, je näher der Gegenstand ist. Diese Thatsache weist sich leicht nach, wenn man irgend eine Figur von drei Dimensionen in kleinem Abstände von den Augen aufstellt und sie, eins um das andere, mit jedem Auge fixirt, während man das andere geschlossen hält.«

»Die Erscheinungen, welche diese recht einfache Versuche augenfällig macht, ergeben sich leicht aus den Gesetzen der Perspective. In der That sieht man mit beiden Augen eine körperliche Gestalt von zwei verschie-

1) Eine vollständige Uebersetzung dieser Abhandlung findet sich im Ergänzungsband dieser Annalen, S. 1 etc. P.

denen Standpunkten, die um den Abstand zwischen den Mittelpunkten der Augen von einander entfernt sind.«

»Gewöhnlich befindet sich der betrachtete Gegenstand im Kreuzungspunkt der optischen Axen; die Bilder dieses Gegenstandes sind alsdann auf entsprechende Punkte beider Netzhäute projicirt. Allein man kann zwei vollkommen ähnliche Gegenstände auf entsprechende Stellen der Netzhaut projiciren lassen, wenn man sie in Richtung jeder Axe in gleichem Abstand von dem Kreuzungspunkt aufstellt. Fig. 8 Taf. I stellt die gewöhnliche Lage des Gegenstandes im Durchschnittspunkt der optischen Axen vor. Zwei ähnliche Gegenstände sind, in Richtung der Axen, in Fig. 9 vor deren Kreuzung, und in Fig. 10 hinter deren Kreuzung aufgestellt. Richtet man es nun so ein, daß jedes Auge nur den auf seiner Axe gelegenen Gegenstand sieht, so erblickt man in diesen drei Fällen nur einen einzigen Gegenstand, den man im Zusammentreff der beiden Axen befindlich glaubt.«

»Wenn, statt zwei vollkommen ähnliche Gegenstände in die durch Fig. 9 und 10 Taf. I abgebildete Lagen zu bringen, auf diese Weise von einem und demselben Gegenstande die beiden perspectivischen Projectionen, wie man sie mit jedem Auge sieht, aufgestellt werden, so erblickt man noch einen einzigen Gegenstand, welcher ganz so aussieht wie die körperliche Figur und die genaue Darstellung des Gegenstandes ist, von dem die Zeichnungen die Copie sind.«

Es ist die Fähigkeit des Auges, sich der Entfernung der Gegenstände zu ajustiren, welcher man es verdankt, in verschiedene Fernen deutlich zu sehen, und die Gewohnheit macht, daß diese Adjustirung gewöhnlich abhängt von dem Winkel, den die optischen Axen mit einander machen. In den besprochenen Versuchen convergiren die optischen Axen nach einem Punkt, welcher sich in einer anderen Entfernung befindet als die der Gegenstände, die man sehen soll; daraus folgt, daß diese Gegen-

genstände verworren und undeutlich erscheinen. Ueberdies können diese Versuche nur gelingen, wenn die Zeichnungen den Abstand zwischen den beiden Axenpunkten, auf welchen sich ihre Mitte befindet, in Breite nicht überschreiten. Um diesen Uebelstand abzuheben, hat Hr. Wheatstone ein Instrument construiren lassen, welches er *Stereoskop* nennt.

Das Stereoskop (Fig. 11 Taf. I) besteht aus zwei kleinen ebenen Spiegeln ab und ac , welche mit einander einen rechten Winkel bilden, die reflectirenden Flächen nach aufsen gekehrt. Der Beobachter stellt sich den Spiegeln möglichst nahe, dem ebenen Winkel, den sie bilden, gegenüber, so dafs er mit dem rechten Auge in den rechten Spiegel und mit dem linken Auge in den linken sieht. Man stellt alsdann vor jedem Spiegel eine Zeichnung auf, so beschaffen, dafs sie, reflectirt zu dem auf derselben Seite liegenden Auge, diesem einen gleichen Anblick darbietet, wie der körperliche Gegenstand gewähren würde ¹⁾. Die Zeichnungen n' und n'' müssen in zweckmäfsiger Entfernung aufgestellt seyn, damit der Beobachter mit seinen beiden Augen einen einzigen Gegenstand n vollkommen deutlich sehe.

Sich stützend auf die vorstehenden Betrachtungen und die Eigenschaften des Stereoskop, behauptet Herr Wheatstone, dafs die allgemein angenommene Theorie des Binocular-Sehens den Thatsachen widerspreche. Er behauptet, man könne die Wirkungen des Stereoskops nicht anders begreifen, als wenn man die Theorie der entsprechenden Punkte aufbe.

In unserem »*Essai*« haben wir die Meinungen des Hrn. Wheatstone zu widerlegen gesucht. Damals kann-

1) In Praxis braucht man nur einen solchen Gegenstand zu zeichnen, wie man ihn mit jedem Auge für sich sieht, dann vor dem Spiegel auf der Rechten die mit dem linken Auge gesehene Projection des Gegenstandes, und vor dem auf der Linken die mit dem rechten Auge gesehene Projection desselben Gegenstandes aufzustellen.

ten wir noch nicht eine in Müller's Archiv von 1841 eingerückte Abhandlung des Hrn. Dr. E. Brücke ¹⁾, welche die Versuche des englischen Physikers im Detail und übereinstimmend mit der Theorie erklärt. Diese Arbeit ist älter als unser *Essai*, und die Priorität der Erklärung der stereoskopischen Erscheinungen gehört ohne Widerrede Hrn. Brücke. Es ist uns sehr angenehm, selber einer in dieser Beziehung an die *Bibliothèque universelle* gerichteten Reclamation Gerechtigkeit widerfahren lassen zu können.

Folgendes ist die Erklärung der stereoskopischen Erscheinungen. Wir haben gezeigt, daß man gewöhnlich nicht die Empfindung der Gesammtheit der auf beiden Netzhäuten gebildeten Bilder empfängt, indem sich die Aufmerksamkeit insgemein nur auf das Sehzeichen wirft. Obgleich es richtig ist, daß ein körperlicher Gegenstand auf den Netzhäuten zwei verschiedene Bilder erzeugt, so bekommt man doch nicht die Empfindung der beiden verschiedenen perspectivischen Projectionen des Gegenstandes. Was einen körperlichen Gegenstand sogleich von einer Abbildung desselben unterscheiden läßt, ist die Verschiedenheit, welche man in der Neigung der optischen Axen empfindet, je nachdem man einen mehr oder weniger entfernten Punkt des Gegenstandes fixirt. Diese Verschiedenheit kann bei Betrachtung einer Zeichnung nicht vorhanden seyn. Setzt man den Gegenstand als sehr entfernt voraus, so wird der Winkel der Axen sehr klein und beinahe gleich, welchen Punkt man auch fixiren möge. In diesem Falle wird man den Gegenstand nur schwer von einer Abbildung desselben unterscheiden können.

- 1) J. Müller's *Archiv für Anatomie, Physiologie etc.* Berlin 1841. S. 459. Auch Hr. Dr. Tourtual hat eine Widerlegung der Ideen des Hrn. Wheatstone veröffentlicht, in einem sehr interessanten Werke, betitelt: *Die Dimensionen der Tiefe im freien Sehen etc.* Münster 1842. Dieses Werk war uns gleichfalls unbekannt, als wir unseren *Essai* veröffentlichten; dieser wurde gelesen am 15 Dec. 1842 in der *Société de physique et d'histoire naturelle de Genève*.

Untersuchen wir jetzt den Vorgang in dem Stereoskop. Denken wir uns, man bringe einen kleinen abgestumpften Kegel in solche Stellung, daß seine Axe auf der Geraden, welche die Mitten beider Augen verbindet, winkelrecht, und die kleinere Grundfläche dem Beobachter zugewandt sey. Hält man Jemanden mittelst des Stereoskops die perspectivischen Projectionen des abgestumpften Kegels vor, wie er sie mit jedem Auge einzeln sieht, so wird er nur eine einzige Relief-Gestalt wahrnehmen, ganz der ähnlich, welche der wirkliche Gegenstand darbietet. Was geschieht mit ihm? Indem er eine Sache an demselben Ort mit jedem der Augen sieht, muß der Beobachter glauben, daß nur ein einziger Gegenstand da sey, und er sucht daran successiv die verschiedenen Punkte zu fixiren. Sieht er alle Punkte der beiden kleinen Kreise zusammenfallen, so wird er glauben, einen einzigen kleinen Kreis zu sehen. Strengt er sich darauf an, irgend einen Punkt der großen Kreise zu sehen, so sieht er auch hier successiv alle Punkte zusammenfallen. Allein, um dahin zu gelangen, wird er den Winkel seiner optischen Axen verringern müssen. Daraus wird er schließeln, daß er einen großen Kreis vor sich habe, entfernter von seinen Augen als der kleine. Er wird folglich denken, er sehe zwei ungleiche Kreise, einen vor dem andern, und den größeren entfernter von sich; oder vielmehr, indem er beide Umstände verknüpft, wieder sich einbilden, er sehe einen abgestumpften Kegel (eine Papiertute mit abgeschnittener Spitze) ein Gegenstand, der wirklich einen ganz gleichen Anblick gewährt.

Diese Operation, die zu beschreiben einige Zeit erfordert, macht sich fast instantan, gleichsam auf den ersten Blick; und hat einmal ein Beobachter die Form des imaginären Gegenstandes sonach bestimmt, so glaubt er hernach ihn immer vor sich zu sehen.

Fixirt man im Stereoskop den kleinen Kreis des ab-

gestumpften Kegels recht aufmerksam, so kann man dahin gelangen, die beiden großen Kreise sich schneiden zu sehen. Alsdann verschwindet aller Relief-Anschein sogleich, was nicht geschieht, wenn es beim Fixiren des kleinen Kreises am wirklichen abgestumpften Kegel gelingt, dessen Grundfläche horizontal vergrößert zu sehen. Diefß entspringt daraus, daß man im Stereoskop die beiden großen Kreise vollkommen deutlich sieht, woraus man schließt, daß sie in derselben Entfernung vom Auge befindlich seyn müssen, als der kleine einfach gesehene Kreis. Im Raum dagegen bietet die Grundfläche des Kegels, wenn man den kleinen Kreis fixirt, einen ganz verworrenen Anblick dar.

Die verschiedenen Theile des im Stereoskop in Relief gesehenen Kegels erscheinen, wie gesagt, gleich deutlich. Diese Thatsache müßte, wie es scheint, immer die Täuschung verhindern, und zeigen, daß die Kreise gleichen Abstand vom Beobachter haben. Allein man beurtheilt die Entfernung verschiedener Gegenstände im Raum weniger aus der Weise, wie sich das Auge adjustirt, um jeden derselben deutlich zu sehen, als durch den Winkel, welchen zum Fixiren eines jeden Gegenstandes die optischen Axen mit einander machen müssen. Auch giebt man, wenn die beiden Kennzeichen (die Adjustirung und der Winkel der Axen) einander widersprechen, den Angaben des Axenwinkels den Vorzug. Nichts destoweniger muß die Abwesenheit an Verworrenheit im Ansehen der nicht coïncidirenden Theile, oder, anders gesagt, die Identität der Adjustirung für verschiedene Theile der im Stereoskop gesehenen Gegenstände, wohl der Hauptgrund seyn, daß man oft Mühe hat, diese Objecte im Relief zu sehen.

Die Erklärung des Vorgangs bei Repräsentation des abgestumpften Kegels im Stereoskop läßt sich auf die eines jeden andern Gegenstandes anwenden. Wir hoffen zur Erläuterung dieser Phänomene genug gesagt zu haben.

Ehe wir diesen Gegenstand verlassen, wollen wir noch einige Worte über folgenden Versuch sagen. Man zeichne zwei Kreise von etwas verschiedenem Radius, und stelle im Stereoskop einen vor jedes Auge. Man wird die beiden Bilder coïncidiren sehen, und glauben, man habe einen einzigen Kreis vor sich, an Gröfse zwischen den beiden ursprünglichen stehend.

Um zu erklären, warum ein einziger Kreis von dieser Gröfse erscheine, nimmt Hr. Brücke ein Adjustirungsphänomen an ¹⁾; wir glauben mit Hrn. Tourtual, dafs es nicht nöthig sey, diese Ursache zu Hülfe zu nehmen ²⁾. Man beurtheilt die Gröfse eines Gegenstandes aus der Bewegung, welche die Muskeln der Augen diesen Organen einprägen müssen, damit man alle Punkte des Gegenstandes fixire. Bei dem Versuch, der uns beschäftigt, sind die Bewegungen, welche die Augen ausführen müssen, um successive alle Punkte beider Kreise zusammenfallend zu machen, einerseits weniger beträchtlich als die, welche zur Bestimmung der Gröfse des gröfseren Kreises erfordert würden, und andererseits bedeutender als die, welche zur Bestimmung der Gröfse des kleinen Kreises nöthig wären. Man mufs also dem einzigen Kreise, welchen man im Stereoskope sieht, eine, gegen die beiden ursprünglichen Kreise, intermediäre Gröfse zuschreiben.

Das Studium der Empfindung, welche zwei verschiedene Farben hervorbringen, deren eine im rechten Auge einen entsprechenden Theil der Netzhaut wie die andere im linken Auge afficirt, hat Hr. Wheatstone einen zweiten Einwurf gegen die Theorie der entsprechenden Punkte geliefert. Derselbe behauptet, wenn zwei verschieden gefärbte Scheiben im Stereoskop zur Coïnci-

1) J. Müller's *Archiv*, Berlin 1841, S. 473.

2) *Die Dimensionen der Tiefe im freien Sehen*. Münster 1842, S. 88.

denz gebracht sind, immer die eine von beiden Farben zu sehen, und niemals die dazwischenliegende, aus deren Mengung entstehende.

Viele Physiker sind beschäftigt gewesen mit der Frage über die Mengung der Farben, die entsprechende Punkte beider Netzhäute afficiren; einige behaupten, wie der englische Gelehrte, daß sie niemals eine intermediäre, von der jedem Auge zugleich dargebotenen Farben sehen konnten; allein die meisten behaupten, daß man häufig ein Gemeng der beiden Farben sehe. Wir glauben, daß wenn zwei verschiedene Farben auf entsprechende Punkte der Netzhäute wirken, man immer die Empfindung von einer aus der Mengung beider Farben entspringenden Nüance haben müsse. Indefs muß man sich darüber erklären, was die intermediäre Farbe sey, die man in diesem Falle sieht. Einige Physiker, die kein Grün gesehen haben, wenn sie dem einen Auge Gelb und dem andern Blau darboten, sagen aus, daß keine Mengung der Farben stattfinde. Allein die Farben, die man für gewöhnlich anwendet, sind weit davon entfernt rein zu seyn und nur eine Art von Farbenstrahlen zu reflectiren; daraus folgt, daß ihre Mengung nicht diejenige Farbe giebt, die *a priori* scheint daraus erfolgen zu müssen. Man erhält in vielen Fällen eine schmutzige Farbe, der man keinen Namen zu geben weiß, eine Art von mehr oder weniger dunklem Grau. Die Mengung von Blau und Gelb z. B. giebt oft ein bronzfarbenes Grau.

Diese Unvollkommenheit in der Reinheit der Farben hindert nicht, daß eine Mengung im Stereoskop stattfinde, und davon kann man sich überzeugen, wenn man mit jeder der beiden Farben diejenige vergleicht, die aus ihrer Mengung entsteht.

Man lasse im Stereoskop eine blaue Scheibe mit einer gelben zusammenfallen, zeichne hierauf oberhalb der gelben Scheibe eine zweite von derselben Farbe, und unterhalb der blauen Scheibe eine andere blaue. Wirft

man nun die Augen auf die vom Stereoskop dargebotenen Bilder, so sieht man drei Scheiben über einander. Die obere Scheibe ist gelb, die untere blau, und die mittlere ist weder blau noch gelb, sondern von intermediärer Nüance, die nach der Reinheit der angewandten Farben verschieden ist. Sie ist grün, wenn das Blau und das Grün recht einfach sind, und möglichst wenig Strahlen von anderer Farbe reflectiren; sie zeigt aber eine Schmutzfarbe, gewöhnlich ein bronzfarbenes Grün, wenn Blau und Gelb unrein sind. Ein analoges Phänomen beobachtet man bei Anwendung irgend anderer Farben.

Bei Anstellung von Versuchen über die Mengung der Farben, die auf entsprechende Theile beider Netzhäute wirken, beobachtet man zuweilen ein auffallendes Phänomen. Sucht man nämlich die Farbe zu erkennen, welche man mit beiden Augen sieht, so erblickt man zunächst die eine der ursprünglichen Farben, plötzlich darauf ist sie durch die andere ersetzt, alsdann erscheint wieder die erste, und solchergestalt findet während einer mehr oder weniger langen Zeit ein beständiger Wechsel zwischen beiden Farben statt. Woher nun diese Art Kampf zwischen beiden Augen, und wie ist diese Erscheinung vereinbar mit der Mengung von Farben, die, nach uns, doch stattfinden muß?

Erwägen wir, daß mehrere Umstände beitragen, diese Art Kampf zwischen beiden Augen zu erhöhen. Man bemerkt ihn vor Allem, wenn die beiden farbigen Gegenstände nicht genau in gleicher Entfernung vom Beobachter sind. In diesem Falle verändert sich die Adjustirung der Augen dermaßen, daß man deutlich bald die eine, bald die andere Farbe sieht, und diejenige Farbe, die den deutlichen Eindruck macht, waltet nothwendig vor, fast bis zum Ausschluß der andern. Die Ungleichheit der Augen des Beobachters bringt dieselbe Erscheinung aus analogen Gründen hervor. Auch die Verschiedenheit in der Beleuchtung der farbigen Gegenstände

kann dieselbe Wirkung haben, indem sie wahrscheinlich das Vorwalten der Farbe bedingt, die mit demjenigen Auge wahrgenommen wird, dessen Pupille eine zu der empfangenden Lichtmenge verhältnißmäßige Gröfse angenommen hat.

Diese Thatsachen, die man leicht durch den Versuch bewähren kann, lassen uns glauben, dafs man die Ursache des erwähnten Kampfes zwischen beiden Augen immer in einem dieser drei Umstände suchen müsse. Vielleicht mufs man auch mit Müller annehmen ¹⁾, dafs die Aufmerksamkeit sich fast ausschliesslich auf die von einem der Augen gesehenen Erscheinung werfen könne. Wie dem auch sey, selbst wenn die Erscheinung des Kampfes zwischen beiden Augen sich einstellt, bemerkt man noch eine gewisse Mengung der Farben; denn wenn man nur eine der Farben zu sehen glaubt, erscheint sie nicht vollkommen von derselben Nüance, wie wenn man sie allein sieht. Davon kann man sich mittelst des Stereoscops überzeugen, wenn man darin den Versuch wiederholt, der uns zum Erweise der Farbenmengung gedient hat, und wenn man dabei sucht die Erscheinung des Kampfes hervorzubringen.

Man hat gesucht den Einwurf gegen die Theorie des Binocular-Sehens zu widerlegen, darauf gegründet, dafs zwei Farben sich nicht mengen, wenn sie entsprechende Punkte afficiren, indem man zu beweisen suchte, dafs dasselbe statthinde, wenn beide Farben einen einzigen Punkt einer selben Netzhaut afficiren ²⁾. Diese Widerlegung scheint mir falsch zu seyn (*Essai etc.* §. 19). In der That haben wir gezeigt, dafs wirklich eine Mengung der entsprechenden Punkte afficirenden Farben stattfindet; wir glauben mit desto gröfserem Recht, dafs man auch immer die Empfindung einer intermediären Farbe

1) J. Müller, Physiologie, Coblenz 1840, Bd. II S. 387.

2) A. W. Volkmann, Müller's Archiv, Berlin 1838, S. 373.

habe, wenn zwei verschiedene Farben auf den nämlichen Punkt der Netzhaut einwirken.

Um uns davon zu überzeugen, mußten wir ein Mittel aufsuchen zwei Gegenstände an demselben Ort zu sehen. Wenn Lichtstrahlen auf eine durchsichtige Glasplatte fallen und dabei einen beträchtlichen Einfallswinkel bilden, geht ein Theil derselben hindurch und der andere wird reflectirt. Je größer der Einfallswinkel ist, desto mehr Strahlen werden reflectirt; je kleiner er ist, desto mehr werden dagegen durchgelassen; und es giebt einen solchen Einfallswinkel, daß, wenn bei diesem ein Lichtstrahl auf eine Glasplatte fällt, derselbe in zwei gleiche Bündel zerfällt, von denen der eine reflectirt wird und der andere das Glas durchdringt, um an der andern Seite herauszutreten.

Man zeichne auf ein horizontal gelegtes Blatt Papier zwei Scheiben von gleicher Größe, aber verschiedener Farbe. Dann stelle man auf dies Papier zwischen beide Scheiben eine Glastafel senkrecht auf, und zwar winkelrecht gegen die Gerade, welche die Mittelpunkte beider Scheiben verbinden würde. Endlich halte man das Auge oberhalb der Glastafel, solchergestalt, daß die beiden Scheiben, die man sieht, die eine durch Reflexion, die andere durch Transmission, an demselben Ort erscheinen. Man sieht alsdann zwei Farben sich mit einander combiniren; doch wird die eine vielleicht die andere überwiegen. Man bringt sie zur Gleichheit, indem man, ohne den Kopf zu rücken, die Glastafel ein wenig nach Seite der minder auffälligen Farbe neigt; oder indem man das Auge senkrecht vom Papier entfernt, wenn die durchgelassene Farbe vorwaltet, oder es dem Papier nähert, wenn die reflectirte Farbe überwiegt.

Bei diesem Versuch sieht man zwei Farben sich mengen, und man erkennt eine intermediäre Farbe. Diese ist nicht diejenige, welche theoretisch aus einem Gemenge von zwei vollkommen einfachen Farben hervorginge; es

ist eine oft schlecht bestimmte Farbe, verschieden von jeder der sie zusammensetzenden Farben, und gebildet aus deren Mengung. So geben Gelb und Blau nicht immer Grün, sondern oft eine schmutzige, bronzähnliche, ähnlich der, welche man bei Mengung der ersteren im Stereoskop erblickt. Diese Versuche dienen also zur Bestätigung der Meinungen, welche wir über die Mengung der Farben in den beiden Augen ausgesprochen haben; sie streben zu beweisen, daß die auf zwei entsprechenden Punkten erhaltenen Eindrücke auf dieselbe Weise empfunden werden, wie wenn diese Eindrücke einen einzigen Punkt derselben Netzhaut afficirten.

Schließlich wollen wir in wenigen Worten die Ideen zusammenfassen, welche wir uns über die Theorie des Binocular-Sehens haben bilden können. Es giebt nach uns auf den beiden Netzhäuten entsprechende Punkte. Alle Einwürfe, die man gegen diese Theorie erhoben hat, können leicht widerlegt werden. Was den Act des Sehens betrifft, der uns die Form und die Natur der Gegenstände erkennen läßt, so wird er kaum anders als von den Mitten der Netzhäute ausgeübt. Die übrigen Theile dieser Organe dienen gewöhnlich nur dazu, die Aufmerksamkeit auf die darauf sich abbildenden Gegenstände zu richten; weiter geht ihr Nutzen nicht. Sobald die Aufmerksamkeit auf einen dieser Gegenstände gerichtet worden ist, machen die Augenmuskeln die optischen Axen convergiren, und es sind immer die Mitten der Netzhäute, mit denen wir ihn untersuchen. Man müßte noch erklären, welchen Zweck die Correspondenz von außer der Mitte liegenden Punkten beider Netzhäute habe. Wozu dient diese sonderbare Correspondenz, welche, im gewöhnlichen Acte des Sehens, keine Art von Nutzen darzubieten scheint? Das ist ein Problem, welches uns beim gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft noch nicht gelöst zu seyn scheint.