

Ueber geometrisch-optische Täuschungen.

Von

Armand Thiéry.

Mit 24 Figuren im Text.

Einleitung.

Je nach ihrem Gegenstande können die optischen Täuschungen in drei Gruppen, Bewegungs-, Farben- und Dimensionstäuschungen unterschieden werden. Schon lange waren die Bewegungs- und Farben- bez. Coloritttäuschungen bekannt. Ebenso waren gelegentlich schon verschiedene Dimensionstäuschungen beobachtet. Der Name »geometrisch-optische Täuschungen« aber ist wohl erst von Oppel, welcher diese Erscheinungen in größerem Umfange studirte, in die Wissenschaft eingeführt worden. Ein weiteres Interesse gewannen dieselben, als im Jahre 1860 Professor Zöllner in Leipzig die berühmte Dimensionstäuschung veröffentlichte, welche seinen Namen trägt (Zöllner'sche Figur). Es war dies das erste sehr auffallende Beispiel einer Dimensionstäuschung, die durch einige einfache gerade Linien bewirkt wurde¹⁾. Seit jener Zeit hat man dieses Thema unaufhörlich in Abhandlungen und wissenschaftlichen Zeitschriften, in Werken und Zeitschriften über Optik, Physiologie und Experimentalpsychologie behandelt. Um die Thatsache zu

1) Schon Oppel hatte die von Zöllner gefundenen Täuschungen an Figuren, welche nur drei gerade Linien enthalten, in ihren Grundzügen erkannt. Kundt, der die Oppel'sche Figur weiter ausführte, theilt mit (Pogg. Annal. Bd. CXX, S. 134), dass er auf diese Weise die ganze Zöllner'sche Figur, ohne dieselbe zu veröffentlichen, schon vor Zöllner entdeckt hatte.

erklären, hat man Theorien auf Theorien gehäuft; gewisse Dimensions-täuschungen zählen mehr als ein Dutzend gelehrter Erklärungen. Diese Theorien werden bald von rein physiologischen, bald von psychologischen oder psychophysischen Grundsätzen geleitet; sie widersprechen sich, bekämpfen sich oder ignoriren sich gegenseitig, und manche Gelehrte, wie z. B. Aubert, erklären diesen Meinungs-verschiedenheiten gegenüber unumwunden, dass sie überhaupt keine Erklärung zu geben wissen¹⁾.

Unsere erste Aufgabe bestand nun darin, die zerstreuten Beobachtungen zu sammeln, um eine vollständige Darstellung der Frage zu geben. Zuweilen waren diese Beobachtungen unzulänglich oder unvollständig, dann versuchten wir, sie durch neue Forschungen zu vervollständigen. Oefters konnten nur quantitative Feststellungen zwischen mehreren Interpretationen entscheiden; ebenso musste zu Messungen gegriffen werden, um die Wirkungen mehrerer bei einer und derselben Figur zusammen auftretender Täuschungsursachen zu sondern.

Umstände und allgemeine Bedingungen der Experimente.

Bei unseren Experimenten haben wir eine Anordnung befolgt, welche derjenigen ähnlich ist, die Kundt, Messer und Aubert anwandten. Der am schmalen Ende eines langen, rechteckigen Tisches sitzende Beobachter hatte eine aus mit schwarzer Pappe belegten Brettern gebildete spanische Wand vor sich. Damit der Beobachter die Figuren auf dem Tische erblicken konnte, war in passender Höhe ein Loch für die Augen in der Wand gemacht, was verbürgte, dass alle Figuren von einem und demselben Punkte aus und unter einem und demselben Winkel gesehen wurden. Wir hielten es für zweckmäßig, dieses Loch mit einem sich in einer wagerechten Gleitbahn bewegendem Brettchen zu versehen, das uns gestattete, nach jeder Beobachtung die Figur zu verbergen. Vermöge dieser Anordnung konnte die beobachtende Person die Abänderungen, welche der Experimentator nach jeder Beobachtung an den Figuren systematisch vornahm, nicht wahrnehmen. Wir experimentirten in

1) Aubert, Physiologie der Netzhaut. 1865. S. 272.

einer sehr hellen Stube; die eine Wand war mit zwei Fenstern und die anstoßende Wand mit einer nach einer Terrasse gehenden Glashüre versehen. Die Beobachtungen fielen regelmäßig in dieselben Nachmittagsstunden, und wir hielten darauf, an einer großen Anzahl von Beobachtern zu experimentiren, um den Beobachtungen die größte Zuverlässigkeit zu geben. Unter den Beobachtern, welche die Güte hatten, mir ihre geschätzte Mitwirkung angedeihen zu lassen, waren viele dazu von Natur aus ganz besonders gut beanlagt, so z. B. Herr Dr. E. Meumann, welcher über Aesthetik und Experimentalpsychologie liest und überdies ein geübter Zeichner ist, und Herr Dr. Cohn, der sich durch psychologische Untersuchungen über das ästhetische Gefühl bei Farbencombinationen bekannt gemacht hat. Beide sind überdies geübte Beobachter, ebenso die Herren Stud. Arrer und Heller, von denen der erste Untersuchungen über die Wahrnehmung der Tiefe oder Entfernung der Gegenstände mittelst der Convergenz- und Accommodationsbewegungen, der zweite solche über die Wahrnehmung der Formen und Größen der Gegenstände mittelst des Tastsinns bei Blinden anstellte. Einige andere Beobachter, wie z. B. Herr Eleutheropoulos, hatten sich mit ähnlichen Arbeiten noch nicht beschäftigt. Selbstverständlich war keiner der Beobachter von den Fragen im voraus benachrichtigt worden, um deren Beantwortung es sich handelte, um ihre Beobachtungen von theoretischen Vorurtheilen frei zu erhalten. Aus demselben Grunde habe ich selbst keine systematischen Beobachtungen ausgeführt, sondern meine Rolle streng darauf beschränkt, die Reihenfolge der Urtheile aufzuzeichnen.

Methoden und Apparate. Die Beobachter, welche über Täuschungen experimentirten, haben sich in der Regel sehr kleiner Figuren bedient. Wir zogen vor, größere Figuren anzuwenden. Wenn auch durch kleine Dimensionen das Experiment erleichtert und Zeit erspart wird, so bringen sie doch bedenkliche Nachteile mit sich, denn es werden dadurch genaue Feststellungen erschwert, und es können dabei die kleinen beim Ablesen begangenen absoluten Irrthümer einen verhältnismäßig bedeutenden Bruchtheil der Figuren darstellen. Für viele unserer Figuren zählten wir daher Dimensionen, welche 15—30 cm betragen. Die Figuren werden mit Contéstiften auf gekörntem Bristolpapier von 60 und 45 cm gezeichnet;

diese Blätter werden in einen Rahmen aus schwarzem Holz gespannt; in den Rändern des Rahmens sind Nuthen angebracht, welche zwei große, rechteckige Glasplatten wagerecht und senkrecht gleiten lassen. Die äußere Breite des Rahmens beträgt 54 cm, die äußere Höhe desselben 67 cm. Die Ränder selbst sind 18 mm dick und 45 mm breit, so dass die Dimensionen des inneren Raumes dieses Rahmens 45 und 58 cm betragen. In ihrer Dicke sind die längeren Ränder von zwei unmittelbar über einander liegenden Spalten durchbohrt, deren eine 59 cm lang und 2,5 mm breit, die andere 60 cm lang und 0,7 mm breit ist. In die letztere kann man seitlich einen Bogen Papier und in die erstere eine Glasplatte schieben, die bei einer Höhe von 59 cm 56 cm breit und 2,5 mm dick ist. Benutzt man eine Glasplatte von geringerer Höhe, so kann dieselbe sowohl in der Richtung der Höhe wie in der der Breite verschoben werden. Die kürzeren Ränder sind von nur einer Spalte durchbohrt, deren Breite 2,5 mm und deren Länge 48 cm beträgt. In derselben befindet sich eine Glasplatte von 48 cm Breite und 72 cm Höhe. Dieselbe ist in der Richtung der Höhe des Rahmens verschiebbar. Die Spalten sind so eingerichtet, dass das Papierblatt zwischen die beiden Glasplatten gedrückt ist. Die Bewegungsweite einer jeden Glasplatte wird auf in Quadratmillimeter getheilte, an den Rahmenrändern befestigte Papierstreifen gezeichnet. Vermittelst der dermatographischen Stifte kann man einen Punkt der einen Linie auf den Glasplatten zeichnen. Durch die Bewegung der Platte kann sich dann der auf diese Weise gezeichnete Punkt von einer unbeweglichen Figur auf dem Papier entfernen oder derselben nähern und so nach Belieben Aenderungen in der Entfernunggröße zeigen. Ein anderes von uns noch öfters angewandtes Mittel wurde uns von Professor Wundt an die Hand gegeben; dasselbe besteht darin, Papierbogen übereinander gleiten zu lassen. Der eine Bogen ist fest und besetzt den ganzen Rahmen; der andere kleinere Bogen ist zwar beweglich, er wird aber durch die Glasplatte auf dem größeren Bogen genau festgehalten. Auf diese Weise verdeckt der bewegliche Bogen einen veränderlichen Theil der Figur, oder es zeigt dieser bewegliche Bogen einen Zeichnungstheil, welcher sich der übrigen Figur anpasst, und er wird so verstellt, dass er die Dimension der Figur sich verändern lässt.

Die Verstellung des Papierbogens wird wie im vorhergehenden Falle mittelst in Quadratmillimeter getheilten Papiers gemessen. Im Laufe vorliegender Aufzeichnungen werden wir übrigens noch einige besondere Anordnungen beschreiben, welche wir bei den Specialfragen anzuwenden veranlasst wurden.

Nach den verschiedenen durch Augenmaß falsch geschätzten Elementen kann man dreierlei Täuschungsgruppen unterscheiden. Falsch schätzen können wir nämlich erstens die Richtungen, zweitens die Größe der Dimensionen, und drittens die Krümmungen von Curven. Diese drei Gruppen (Richtungstäuschungen, Größentäuschungen, Krümmungstäuschungen) wollen wir in drei Capiteln besprechen. Ein viertes Capitel soll einen allgemeinen Ueberblick über die gemeinsamen Täuschungsursachen geben. Die zwei ersten Capitel zerfallen wieder in mehrere Abtheilungen und zwar in folgender Ordnung:

Erstes Capitel (Richtungstäuschungen).

- § 1. Täuschungen an parallelen Linien, welche von parallelen Transversalen geschnitten werden.
- § 2. Aehnliche Täuschungen, wenn die Transversalen convergiren.
- § 3. Täuschung an Transversalen selbst.

Zweites Capitel (Größentäuschungen).

- § 1. Täuschungen an unter einander ähnlichen Figuren, welche von parallelen Transversalen geschnitten werden.
- § 2. Täuschungen an gemessenen Distanzen, welche von convergirenden Transversalen geschnitten werden.
- § 3. Aehnliche Täuschungen an unähnlichen Figuren, bei welchen die Transversalen unter einander parallel sind.
- § 4. Täuschungen an bestimmten Distanzen ohne specielle Rücksicht auf die Transversalen.
- § 5. Allgemeine Täuschungsursachen bei Größenschätzungen.

Capitel I. Richtungstäuschungen.

§ 1. Richtungstäuschungen an parallelen Linien, welche von parallelen Transversalen durchschnitten werden.

Die Zöllner'sche Figur besteht aus drei verschiedenen Systemen gleicher, parallel verlaufender und gleichweit von einander abstehender gerader Linien. Ein erstes System bilden längere Linien; mit diesen bilden die beiden anderen, aus viel kürzeren Linien be-

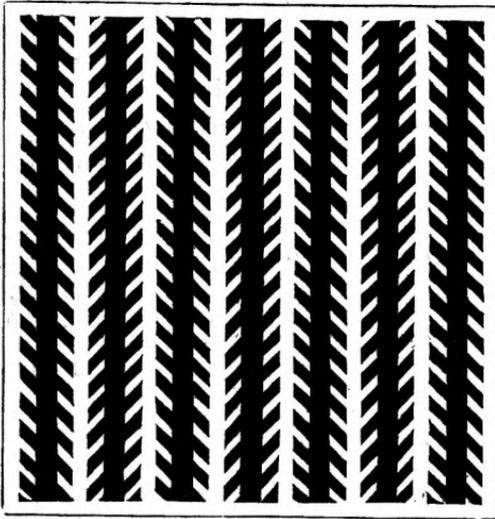


Fig. 1.

stehenden Systeme spitze Winkel von 30° oder 50° . Diese beiden Parallelen-systeme schneiden symmetrisch und abwechselnd die Linien des ersten Systems. Die Täuschung besteht darin, dass die Linien des ersten Systems (Hauptlinien) uns nicht parallel zu sein scheinen. Zwei solche neben einander liegende Linien scheinen aus einander zu gehen in der Richtung, wo die Querlinien zusammenlaufen, und scheinen zusammen zu laufen in der Richtung, wo die letzteren aus einander gehen. Die erste, dritte, fünfte etc. Linie scheinen mit einander parallel, ebenso die zweite, vierte, sechste etc.¹⁾.

1) Die Täuschung wurde zuerst von Montaigne an Ringen beobachtet, auf die der Goldschmied schräge Linien, wie Federfahnen gravirt hatte (R. Blondlet und Egger, *Revue scientifique* 52, p. 252, 1893). Montaigne schreibt nämlich folgendes: Ces bagues sont entaillées en forme de plumes qu'on appelle en devise Pennes sans fin, il n'y a œil qui en puisse discerner la largeur et qui se sût défendre de cette piperie que d'un côté elles n'aillent en élargissant et en s'appointant et s'étrécissant par l'autre même quand on les roule autour du doigt; toutefois au maniement elles vous semblent équables en largeur et partout pareilles. Montaigne, *apolog. de Raymond Sébond*, p. 568 (Edition Jules Leclercq).

Einfache Täuschung beobachtet an plastischen Gegenständen. In den Lehrbüchern der Optik aus dem vorigen Jahrhundert findet sich eine ähnlich beschriebene Täuschung, deren Studium einfacher ist, weil die Täuschung nicht an Zeichnungen, sondern an reellen Gegenständen beobachtet worden ist. In Rougham (England) liegt eine von einem Landhause ab bis zu einer Baumallee allmählich sich erhebende, eine halbe Meile lange Wiese. Die Seiten der Baumallee verlaufen ganz parallel, und doch scheinen ihre äußersten Enden, vom Landhause aus gesehen, zu divergiren¹⁾. Dass die Endpunkte der Allee höher gesehen werden als ihre Anfangspunkte, kann von zwei Ursachen herrühren: entweder der Boden steigt wirklich an (und das ist der reelle Fall), oder die Erhebung kann bloß scheinbar sein und daher rühren, dass ein wirklich horizontal liegender Boden sich mit wachsender Entfernung scheinbar erhebt. In diesem letzten Fall (einer scheinbaren Erhebung), welcher am häufigsten vorkommt und deshalb der vorwiegende ist, überschätzt man bedeutend die Entfernung der Endpunkte. Wenn das Auge sich in einer geringen Entfernung vor einer schwach sich erhebenden Ebene befindet, z. B. vor der Erhebung der Bühne in einem Theater, so wird diese Bühnenebene tiefer, also länger erscheinen, als wenn die Ebene genau wagerecht ginge. Besonders scharf wird dies hervortreten, wenn die seitlich liegenden Coulissen passend nach hinten convergiren. Von der Bühnenerhebung glauben wir dieselbe Vorstellung zu haben, als ob die Bühne eine lange, mit parallelen Seiten versehene Allee wäre. Ebenso überschätzen wir die Entfernung der Endpunkte der oben erwähnten Allee.

Erste plastische Ansicht der Zöllner'schen Figur (Untersuchung von Helmholtz)²⁾. Wenn man über das Zöllner'sche Muster horizontal von rechts nach links, senkrecht zu den Längsstreifen eine Nadelspitze führt und ihr mit dem Blicke folgt, so kommt die Figur in die seltsamste Unruhe; der erste, dritte, fünfte schwarze Streifen steigt aufwärts, der zweite, vierte, sechste abwärts; das Umgekehrte erfolgt, wenn die Richtung der Bewegung umgekehrt wird. Dabei erscheinen die aufwärtssteigenden Streifen den

1) Smith, Lehrbegriffe der Optik. Französische Uebersetz. p. 113. Kaestner's Deutsche Uebersetz. S. 55.

2) Phys. Optik. 1. Aufl. S. 570.

abwärtssteigenden nicht parallel, sondern theils gegen einander, theils auch gegen die Ebene der Zeichnung in entgegengesetzter Weise geneigt, und zwar neigen sich die aufwärtssteigenden mit ihrem oberen Ende nach der Richtung, in der die Nadelspitze bewegt wird, hingegen die abwärtssteigenden mit demselben Ende gegen die genannte Richtung, so dass also in besonders auffallender Weise während dieser Scheinbewegung die eigenthümliche Täuschung durch die beschriebene Figur zum Vorschein kommt¹⁾. Hieraus schloss Helmholtz, dass die Bewegung der Nadelspitze in uns den Eindruck einer Bewegung der Linien hervorruft; dies geschehe vermöge einer Erscheinung, welche er »Richtungscontrast« nannte. Die Bewegung der Spitze erwecke in uns²⁾ den Eindruck einer Divergenz, da die Nadel die Linien in einer mitgetheilten Bewegung mitzuschleppen scheinete. Auf keine Weise erklärt aber Helmholtz den von ihm sogenannten Richtungscontrast. Auch ist der Reliefeindruck und die von Helmholtz in seinem Versuche beobachtete Bewegung nicht unbedingt von einem bewegten Gegenstande abhängig. So hat Hering ohne Mithilfe einer Nadelspitze denselben Reliefeindruck beobachtet an nur zwei der Zöllner'schen Figur ähnlichen parallelen Linien, welche auf eine nicht polirte Glasplatte gezogen waren. Er konnte deutlich sehen, wie diese Parallelen die von Helmholtz beobachtete Lage einnahmen³⁾.

Zweite plastische Ansicht des Zöllner'schen Musters (Guye's Versuch)⁴⁾. Ebendasselbe hat Guye beobachtet: nicht nur an zwei parallelen Linien, sondern an dem vollständigen Zöllner'schen Modell. Er zeichnete die Figur auf ein Blatt gewöhnlichen Papiers, das er passend schief gegen die Visirebene hielt. Er sah auf diese Weise, dass die transversalen Linien nicht mehr schief gegen einander schienen. Die ganze Figur schien wie plastisch gezeichnet. Die Transversalen schienen senkrecht zu den Haupt-

1) Dass die scheinbare Divergenz oder Convergenz der Längsstreifen zunimmt, wenn diese stereoskopische Ansicht deutlich wird, deutet schon an, wie innig die Täuschung mit der plastischen Ansicht verbunden ist, und zwar so, dass diese Ansicht der Täuschung genau entspricht, wie wir später sehen werden.

2) Nach der Meinung von Helmholtz.

3) Hermann's Handb. d. Physiologie Bd. III, Th. I, S. 579.

4) Maan Blad der sectie voor Natuure Wetenschappen No. 6. 1873 Revue scientifique 1893, S. 594.

streifen zu stehen und sich in Ebenen zu befinden, welche mit der Ebene des Blattes einen Winkel von 45° bildeten, so dass sie einander abwechselnd oberhalb und unterhalb der Ebene des Papierblattes begegneten. Es gibt dann einen auffallenden stereoskopischen Effect derart, dass wir die Zeichnung auf einem längsgefalteten Blatte zu sehen glauben; die Querstriche scheinen mit ihren oberen Hälften gegen die Kämme, mit ihren unteren gegen die Thäler der Falten gerichtet.

Zur Erklärung des Versuches von Helmholtz und Guye wollen wir ein von Wundt auf dem Gebiete der Nachbilder ausgeführtes Experiment in Erinnerung bringen.

Wundt'scher Versuch¹⁾. Der Wundt'sche Versuch ist folgender: Man fixirt monocular eine in einer etwas schiefen Ebene sich befindende Linie so lange, bis man ein Nachbild dieser Linie erhält. Für jedes Auge ist die Linie eine andere, d. h. für das rechte Auge ist die Linie nach rechts geneigt und für das linke nach links, so dass die Nachbilder der zwei Augen sich kreuzen. Wird nun die Ebene um eine horizontale Achse gedreht, so fallen die zwei Halbbilder in ein verticales Bild zusammen. Die scheinbare Drehung der Linien ist in dem Helmholtz'schen Versuche dieselbe wie die wirkliche Drehung im Wundt'schen Experimente. Die Netzhautbilder, die wir auf Flächen projiciren, werden verändert je nach den Abständen und den Oberflächen, auf welche die Projection stattfindet. Es ist z. B. eine wohlbekannte Thatsache, dass das Nachbild einer Kerze sehr klein und sehr glänzend erscheint, wenn das Bild auf die Hand projicirt wird; dagegen sehr groß und wenig glänzend, wenn die Projectionsebene eine weit abstehende Wand ist. Wir haben den Versuch variirt. Ein Diaphragma von 1 mm war an ein cylindrisches Rohr von 4 cm Länge und 3,5 cm Durchmesser befestigt. Das eine Auge betrachtete durch dieses Ocular einen Gegenstand, den wir zu gleicher Zeit auch mit dem andern Auge fixirten. Das ganze Sehfeld bietet alsdann an der durch das Ocular gesehenen Stelle einen stärker beleuchteten Kreis, so als ob die Sonne dorthin ein cylinderförmiges Strahlenbündel ausgesendet hätte. Wir haben auf diese Weise verschiedene Gegen-

1) Physiol. Psychol. 4. Aufl. Bd. II, S. 196.

stände in verschiedenen Abständen beobachtet und gesehen, dass die Oberfläche wie auch die Lichtintensität des Kreises stark variirte. Befestigt man, wie Volkmann¹⁾ gethan hat, in diesem Rohre in nächster Nähe des Auges ein Fadenkreuz, so wird dieses nicht selbst gesehen, sondern der von den Fäden gebildete Schatten wird auf die Gegenstände wie ein Nachbild projicirt und verändert. Die Fähigkeit, unsere Nachbilder zu ändern, ist übrigens nicht unbegrenzt²⁾. Man weiß, dass, sobald die Oberflächen, auf die wir projiciren, zu complicirt sind, wir unsern Nachbildern keine entsprechenden Aenderungen mehr beibringen: anstatt auf die wirklichen, unter dem Auge befindlichen Oberflächen, projiciren wir die Bilder auf imaginäre Ebenen. Der Wundt'sche Versuch gelang Volkmann offenbar nicht, weil er die Nachbilder in die Luft projicirte³⁾. Volkmann hat sodann den Wundt'schen Versuch nachgeahmt mit der Veränderung, dass dessen Ebene durch zwei Flächen eines Prismas ersetzt wurden. Auf jede dieser Flächen projicirt man das Nachbild einer verticalen Linie. Befinden sich nun die beiden Flächen in verticaler Richtung, so erscheinen die beiden verticalen Linien parallel, dreht man jedoch das Prisma um eine horizontale Linie in der Weise, dass das obere Ende am weitesten entfernt ist, so scheinen dieselben verticalen Linien nach oben zu divergiren. Es wird so

1) *Physiol. Unters. im Gebiet d. Optik I, S. 169.*

2) Man weiß, dass die Art der Projection mit den Augenmuskelnbewegungen innig verbunden ist, und dass eine schwache Fixation und bestimmte Augenbewegungen ein Hinderniss für die stereoskopische Projection sein können. Volkmann glaubte sogar, es sei nicht möglich, dass das Nachbild einer geraden Linie in den Projectionsflächen gebrochen erscheine. Es waren aber nur die Oberflächen, auf welche er projicirte, zu complicirt, so dass sie nicht mehr continuirlich von dem Auge durchlaufen werden konnten. Wir haben mittels zweier einander senkrecht kreuzender Fäden folgenden Versuch gemacht: Wenn wir von einem oberhalb des Bodens liegenden Punkte aus schauten und den horizontalen Kreuzfaden auf eine durch einen Giebel einerseits und das schiefe Dach eines angrenzenden Stalles andererseits gebildete Linie projicirten, so gelang es uns, den verticalen Kreuzfaden gebrochen zu sehen. Der auf das Dach projicirte Theil schien nach links gerichtet zu sein, wenn wir nach rechts projicirten, und umgekehrt. Die vollständigen, ohne Brechung stattfindenden Directionsabweichungen sind jedoch viel leichter zu beobachten und kommen häufiger vor. Nur mit diesen Abweichungen wollen wir uns hier beschäftigen.

3) Uebrigens dürfte vielleicht für Volkmann dieser Versuch besonders schwer gewesen sein, da für ihn individuell die Halbbilder einer scheinbar verticalen Linie nicht symmetrisch zur wirklichen Verticalen lagen (siehe unten).

die Täuschung der Zöllner'schen Figur ohne Transversale, und nur mittels zweier Prismenflächen dargestellt¹⁾.

Projection auf gezeichnete Gegenstände (Gezeichnete Prismen). Wir beschäftigen uns jetzt mit der Frage, wie die Transversalen die Stelle der zwei Prismenflächen einnehmen können. Dass die Transversalen der Zöllner'schen Figur denselben Einfluss wie die Prismenflächen haben, rührt daher, dass diese Linien perspectivisch ganz den Prismenflächen ähnliche Ebenen vorstellen. Da für dieselbe Täuschung in beiden Fällen dieselbe Ursache vorhanden sein muss, so ist diese nur in den für die beiden Fälle gemeinsamen Umständen zu suchen, d. h. in der Lage der Ebenen, sei es dass diese Ebenen in der Wirklichkeit bestehen, wie am Prisma, oder dass sie nur perspectivisch mittels der Transversalen vorgestellt werden, wie an der Figur von Zöllner. In beiden Fällen projicirt das Auge die langen, parallelen Linien auf die Ebenen und ruft dadurch in diesen Linien eine der Lage der Ebenen entsprechende Aenderung hervor. Diese ist für wirkliche Gegenstände dieselbe wie für perspectivische Zeichnungen.

Im allgemeinen projiciren wir unsere Netzhautbilder, als ob wir, anstatt der Zeichnungen, die durch die Zeichnungen vorgestellten Gegenstände vor uns hätten, und es erfahren dann unsere Bilder dieselben Aenderungen, als wenn die perspectivisch vorgestellten Gegenstände selbst anwesend wären. Auf einer schwarzen Tafel hatte Volkmann ein weißes Blatt so perspectivisch gezeichnet, dass es sich nach einer Richtung vom Beobachter weg zu entfernen schien. Als er darauf das Nachbild eines Kreuzes auf dieses Blatt projicirte, beobachtete er dieselben Aenderungen des Kreuzes, als wenn dasselbe wirklich auf eine nach der Tiefe sich erstreckende Ebene projicirt worden wäre: das rechtwinklige Kreuz erschien

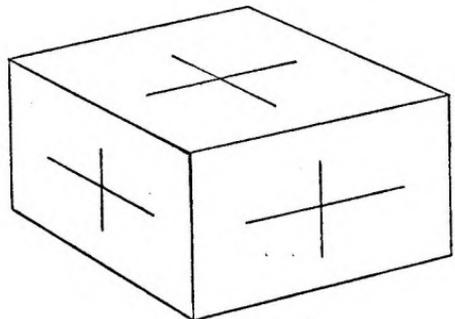


Fig. 2.

das rechtwinklige Kreuz erschien

1) a. a. O. S. 150.

schiefwinklig. Die Fig. 2 zeigt die nämliche Erscheinung in dreifacher Wiederholung an drei Ebenen eines perspectivisch gezeichneten rechtwinkligen Parallelepipedes. Volkmann hat ferner eine Zeichnung ausgeführt, welche die Figur des im vorigen Versuche benutzten Prismas darstellte, und daran dieselben Divergenzen und Convergenzen wie an dem wirklichen Prisma beobachtet. Diese beiden stehenden Kreuze in Fig. 2 geben aber die Grundzüge der Zöllner'schen Figur wieder. Denn die Querstriche der Zöllner'schen Figur kommen in dieselbe imaginäre Ebene zu liegen, in der wir die schiefwinkligen Kreuze erblicken. Wenn man die verticale Linie in denselben verlängert und zu ihren transversalen Linien mehrere Parallelen zieht, so bleiben die imaginären Ebenen dieselben. Die so construirten Figuren würden sich vollständig mit dem Zöllner'schen Muster decken.

Zweideutige Zeichnungen. Alle perspectivischen Zeichnungen haben eine Beziehung zu dem Orte, wo das Auge des Beobachters oder des Zeichners gedacht wird. Je nachdem dieser Ort vorgestellt wird, lassen sich gewisse Zeichnungen auf mehrere Weisen auffassen.

Ein schiefwinkeliges Kreuz kann zwei verschiedene Dinge darstellen: Denkt man sich den Zeichner von oben herabsehend, so stellt die Zeichnung, nach dem oben Gesagten, eine an ihrem oberen Ende vom Beobachter weggeneigte Ebene dar; dagegen zeigt dasselbe Kreuz dem von unten hinaufsehenden Zeichner eine an ihrem oberen Ende dem Beobachter näher kommende Ebene an. Geht man daher von der ersten Auffassung zu der zweiten über, so führt die Ebene des Kreuzes eine Drehung um eine horizontale Achse aus.

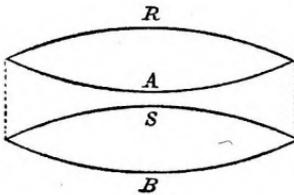


Fig. 3.

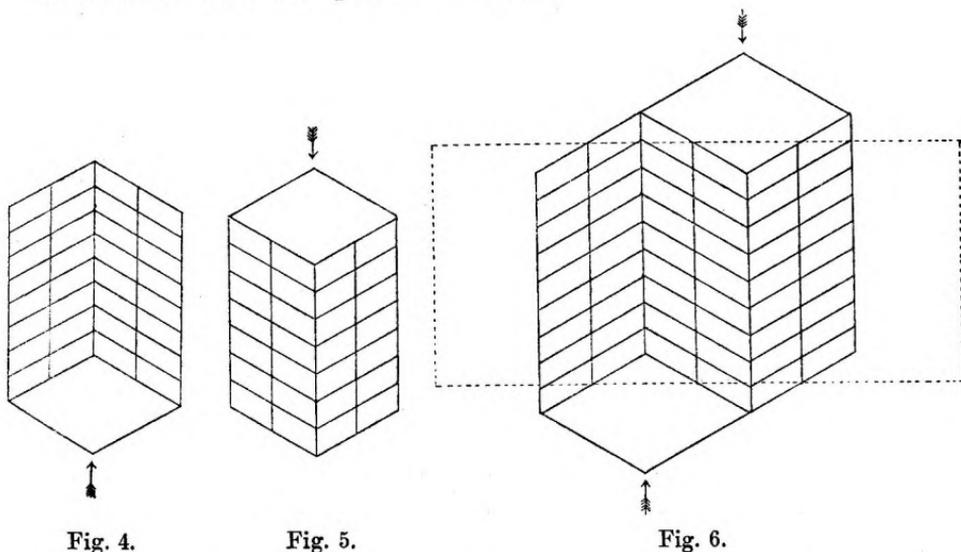
Es gibt vier verschiedene Auffassungen der Figur 3:

1. Die beiden Ellipsenbogen AB treten hervor. Die Figur sieht aus wie ein von oben gesehener Cylinder.
2. Die beiden andern Ellipsenbogen RS treten hervor. Die Figur sieht aus wie ein von unten gesehener Cylinder.

3. Die zwei mittleren Bogen *AS* treten hervor, so dass die Figur eine cylindrische convexe Linse vorstellt.
4. Der obere und der untere Bogen *BR* treten hervor, so dass die Figur einen Cylinder darstellt, dessen vorderer Theil sehr nah und dessen hinterer Theil sehr weit vom Beobachter entfernt liegt.

Bei den zwei letzten Auffassungen werden die vorgestellten Gegenstände nicht mehr von unten oder von oben, sondern von vorn betrachtet, d. h. gerade vor den Augen des Beobachters.

Die zwei ersten Auffassungen, bei welchen die Gegenstände von oben oder von unten gesehen werden, entsprechen der oben erwähnten von Guye beobachteten stereoskopischen Ansicht des Zöllner'schen Musters. Die zwei letzten, in welchen die Gegenstände von vorn gesehen werden, entsprechen der von Helmholtz beobachteten stereoskopischen Ansicht.



Figur 5 ist die Darstellung eines von oben gesehenen und Figur 4 die eines von unten gesehenen Prismas. Diese Zeichnungen werden zweideutig, indem man (Fig. 6) die zwei Figuren 4, 5 so combinirt, dass die zwei Prismen eine gemeinschaftliche seitliche Ebene haben. Wenn die Augen von der ersten seitlichen Fläche zur zweiten nach links sich bewegen, so stellt die Figur 6 eine gefaltete von oben gesehene spanische Wand dar. Man könnte diese

Figur auch als die obere Fläche einer Treppe betrachten, und in der That hat die Figur dieselben Linien, wie die bekannte Schröder'sche Treppenfigur (Fig. 7). So sind denn auch zwei Interpretationen, wie bei dieser, möglich und zwar: Wenn man die Augen von rechts nach links bewegt (Fig. 6), so tritt die gemeinschaftliche Ebene mit ihrer rechten Kante hervor und bildet diese Ebene mit der rechten Ebene das Prisma der Figur 5. Dagegen tritt dieselbe rechte Kante von der gemeinschaftlichen Ebene zurück, wenn die Augen von der zweiten zu der dritten Fläche nach links die Figur durchlaufen. In

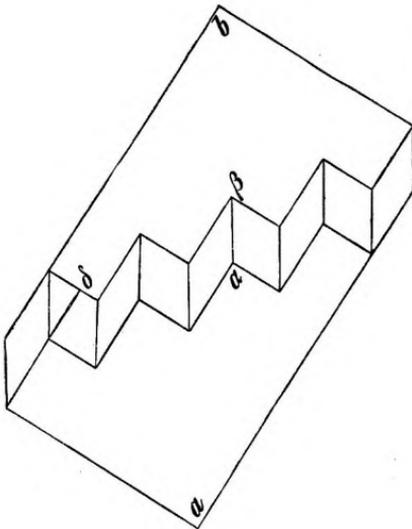


Fig. 7.

diesem Falle scheinen die zwei links liegenden Ebenen das Prisma von Figur 4 darzustellen. Die gemeinschaftliche Ebene hat so nach einander zwei ganz andere Lagen erhalten. Die seitlichen Kanten dieser Ebenen haben die Scheitel zuerst eines convexen und dann eines concaven Flächenwinkels gebildet. Dieselben Erklärungen gelten natürlich auch, wenn man annimmt, dass der Beobachter immer denselben Standpunkt beibehält und das Prisma um eine horizontale Achse sich dreht. Die Figur 4 zeigt dann das Prisma mit dem oberen Ende entfernter und

die Figur 5 das Prisma mit dem unteren Ende entfernter. Bewegt sich der Blick des Auges in Figur 8 (f. S.) in der Richtung ab von der ersten Linie zur zweiten, so scheinen sich die imaginären Ebenen dieser Linien mit ihrem oberen Ende vom Beobachter zu entfernen. Die beiden mit Transversalen versehenen Längsstreifen reproduciren in diesem Falle die beiden entsprechenden Ebenen des Prismas (Fig. 4) und werden so betrachtet die Darstellung eines Flächenwinkels, dessen Flächen nicht senkrecht stehen, sondern um eine horizontale Achse gedreht sind und zwar so, dass das obere Ende vom Beobachter entfernter liegt. Wenn aber das Auge die Strecke zwischen der zweiten und der dritten Linie fixirt, so werden die beiden Linien

in Ebenen gesehen werden, deren obere Enden dem Beobachter näher kommen. Die Linie dd entspricht der gemeinschaftlichen Ebene der Prismen. Diese Linie dd wird folglich in einer Ebene gesehen, welche ganz verschieden ist von derjenigen, in welcher sich diese Linie unmittelbar vorher befand, als das Auge zwischen cc und dd war. Die Linie dd hat so eine Drehung ausgeführt und zwar in einer Ebene, die fast senkrecht zur Linie ab liegt. Eine solche Drehung führt jeder Längsstreifen aus, wenn die Augen von b nach a und von a nach b die Figur durchlaufen. Diese Drehung aller Linien nach einander ruft in der Zeichnung die von Helmholtz beobachtete

unaufhörliche Bewegung und Unruhe hervor. Im obigen Schema bedeutet dann ab die von der Nadelspitze beschriebene Linie. Der wagerechte Pfeil zeigt die Richtung der Bewegung der Nadelspitze an; die an den Linien hinlaufenden Pfeile

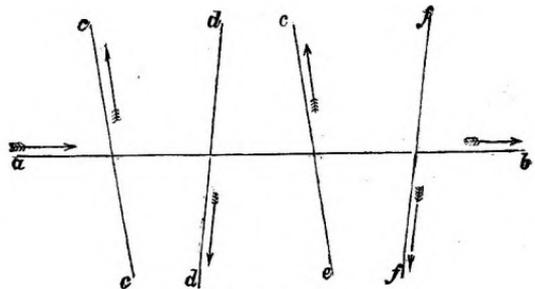


Fig. 8.

bezeichnen die um die Achse ab dem Beobachter entgegenkommenden Drehungen. Anstatt die Nadelspitze zu bewegen, kann man aber auch eine Linie ab in der Richtung der Bewegung mit Tinte ziehen. Diese Linie fixirt dann das Auge in gleicher Weise wie die Nadelspitze in dem Versuch von Helmholtz. Um diese Linie kann die beschriebene Drehung der Linien stattfinden, und deshalb wird die Täuschung größer als bei der gewöhnlichen Form der Zöllner'schen Figur. Die Täuschung nimmt daher auch bei der Zöllner'schen Figur bedeutend ab, wenn diese in der Richtung der Längsstreifen durchlaufen wird, vergrößert sich dagegen, wenn das Auge in einer zu den Längsstreifen senkrechten Richtung sich bewegt.

Projection der Längsstreifen in der Zöllner'schen Figur. Was wir über die perspectivischen Projectionen der Netzhautbilder gesagt haben, können wir jetzt auf die Zöllner'sche Figur anwenden. Man denke sich ein verticales Prisma, von dem bloß zwei Seitenflächen gesehen werden. Das Prisma ist um eine horizontale Achse

beweglich. Auf jede der sichtbaren Flächen des Prismas zeichnet man eine verticale durch horizontale Striche eingetheilte Linie. Wenn das Prisma so gedreht worden ist, dass sein oberer Theil vom Beobachter entfernt liegt, dann wird das Prisma als Figur 4 und die wagerechten Striche werden als Transversalen erscheinen. Die eingetheilten Linien werden jetzt in Folge dessen nach oben convergent gesehen. Da das Auge des Beobachters in der Höhe der Achse liegt, so sind auch die oberen Endpunkte der Linien dem Beobachter näher als die unteren; der Gesichtswinkel der Distanz zwischen den oberen Endpunkten ist also kleiner wie der zwischen den unteren. Ferner: wirklich nach oben divergirende Linien würden in diesem Fall als parallele Linien gezeichnet werden müssen. Denn wie der Gesichtswinkel der Distanz zwischen den oberen Endpunkten, ist auch der zwischen den unteren nach der Drehung des Prismas kleiner geworden. In ähnlicher Weise sieht man, dass die parallelen Linien dem Gesichtswinkel nach an ihren oberen Enden divergiren, wenn das Prisma mit seinem unteren Ende von dem Beobachter sich entfernt, und ferner würden in diesem Falle auch objectiv nach oben convergirende Linien als parallele gezeichnet werden müssen. Man weiß ja, dass unsere Schätzung der Gesichtswinkel an sich selbst sehr mangelhaft ist. Wir bilden uns vielmehr ein Urtheil über die absolute Größe von Gegenständen, indem wir deren Gesichtswinkel nebst ihrer scheinbaren Entfernung in Betracht ziehen ¹⁾. Die scheinbare Entfernung ist also ein zweiter unmittelbar mitwirkender Factor der Größenschätzung. Mit Hülfe dieses zweiten Factors kann man die objectiven Größen erkennen. In der Zöllner'schen Figur sind die Längsstreifen dem Gesichtswinkel nach parallel, und doch scheinen sie nach dem zweiten Factor (der gedachten

1) Wundt, Menschen- u. Thierseele, 2. Aufl., S. 190: »Meine Anschauung der Gegenstände ist also immer abhängig von der Entfernung derselben, aber nicht von ihrer wahren, sondern von ihrer vorgestellten Entfernung. Von umfassendster Bedeutung ist der Umstand, dass wir mit Tiefen rechnen, d. h. dass die wahrgenommenen und vorgestellten Elemente, die die Tiefengröße vertreten, auf Grund der Erfahrung in unserm Denken und Handeln durchaus die Rolle wirklich wahrgenommener oder vorgestellter Tiefengrößen spielen. Nicht die Vorstellungen und Wahrnehmungen an sich, sondern was sie uns in irgend welcher Hinsicht »bedeuten« ist uns ja am Ende in allem Wahrnehmen und Vorstellen das eigentlich Wesentliche.«

Entfernung gemäß) zu convergiren resp. zu divergiren. Sie werden nämlich beurtheilt als Darstellung von Linien, die sich objectiv entfernen oder nähern. Die Gesichtsbilder erscheinen völlig zwingend in der relativen Größe, die thatsächlich nicht den Gesichtsbildern, sondern den entsprechenden wirklichen Objecten zukommt.

Die Zöllner'sche Pseudoskopie wird dadurch verursacht, dass die Gesichtsbilder der Längsstreifen nicht in ihrer wirklichen, sondern in einer scheinbaren Entfernung (den Prismen entsprechend) localisirt werden. Die Zöllner'sche Figur kann daher auch in folgender Weise erklärt werden: Die Längsstreifen, die in der Ebene des Papiers liegen, sind Kreuzfäden ähnlich, die Querstreifen stellen Querebenen etwa wie Prismenflächen dar, deren ebener oberer Theil entweder hervor- oder zurücktritt. Auf diese Ebenen werden die Längsstreifen projicirt und erfahren deshalb eine entsprechende Veränderung, welche die Täuschung hervorruft.

Neigung der Zeichnungsebene zur Visirebene in zweifacher Weise, den zwei verschiedenen stereoskopischen Ansichten entsprechend. Wir betrachten nochmals das Zöllner'sche Modell in seiner gewöhnlichen Form und denken uns die Längsstreifen vertical in der Zeichnung stehend. Neigt der Beobachter die Ebene des Blattes in der Weise, dass er die Figur unter einem sehr kleinen Winkel oder parallel zur Visirebene zu sehen bekommt, so verschwindet die Täuschung. Zöllner hat diese Eigenthümlichkeit auch bemerkt, ohne jedoch eine Erklärung dafür zu geben. Die Erklärung ergibt sich indessen aus dem oben Gesagten. Wenn nämlich das Auge in der erwähnten Lage sich befindet, so liegt scheinbar die Durchschnittslinie der Zeichnungsebene und der Visirebene in der Unendlichkeit, und die Längsstreifen, die sich um diese Durchschnittslinie drehen, müssen demnach in Ebenen zu liegen scheinen, deren Kanten parallel zur Zeichnungsebene sind. In diesem Falle bewegen sich die Augen natürlich in der Richtung der Längsstreifen, was das Verschwinden der scheinbaren Convergenz begünstigt.

Wie bemerkt, stellen die Figuren 4 und 5 entweder ein von oben oder von unten gesehenes Prisma dar; aber dieselben Figuren stellen auch ein vor den Augen liegendes Prisma dar, dessen oberes

Ende nach rückwärts bez. nach vorn liegt, und zwar so, dass das Prisma nicht vertical steht, sondern um eine horizontale Achse eine nach hinten bez. vorn gerichtete Drehung erfahren hat. Gewöhnlich bringt man die Zeichnung in eine annähernd zur Visirebene senkrechte Lage, dann ist natürlich diese zweite Auffassung der Figuren vorhanden. Dagegen ist die erste Auffassung, bei der die Prismen vertical stehen, vorwiegend, wenn Figur 4 von unten und Figur 5 von oben gesehen wird. Betrachtet man umgekehrt Figur 4 von oben und Figur 5 von unten, so erscheinen beide als Hohlprismen, an denen die vordere Kante und die ihr anliegenden Flächen fehlen. Dem entsprechend erscheint Figur 6 in beiden Fällen wie eine gefaltete spanische Wand: beim Blick von oben ist hierbei die Kante links von dem Beschauer weggekehrt, die Kante rechts ist ihm zugekehrt; beim Blick von unten dagegen ist jene convex, während diese concav ist. Die Kanten selbst sind aber in allen diesen Fällen vertical gestellt, parallel der Ebene des Papiers.

Ein Versuch von A. Guey¹⁾ liefert die experimentelle Bestätigung unserer Erklärung. »Ich habe nachgewiesen«, sagt Guey, »dass im Augenblicke, wo die Täuschung in dieser Weise durch passende Neigung der Zeichnungsebene zur Visirlinie verschwindet und der objective Parallelismus der Längsstreifen offenbar wird, gerade dann eine andere Erscheinung hinzutritt. In diesem Augenblicke sieht der Beobachter die Figur wie perspectivisch gezeichnet, die transversalen Linien sehen aus wie senkrecht zu den Längsstreifen stehend, und scheinen in Ebenen projicirt, die mit der Ebene des Blattes einen Winkel von 45° bilden, in der Weise, dass sie sich abwechselnd oberhalb und unterhalb der Ebene des Blattes schneiden.« Dieser Versuch von Guey scheint uns auch in diesem Falle die von uns vertheidigte Meinung direct zu bestätigen. Man kann an der Treppe (Fig. 7) denselben Einfluss hervorrufen. Wenn wir uns zur Treppengur eine schräge Ebene hinzudenken, welche die Ebenen der Treppenstufen parallel zu den Scheiteln der Flächenwinkel schneidet, so entspricht diese schneidende Ebene der Papierfläche in dem Versuche von Guey. Die Durchschnittslinien dieser schneidenden Ebene bilden mit den Ebenen der Treppen die geraden Hauptstreifen der

1) a. a. O. S. 12. Vergl. oben S. 314.

Zöllner'schen Figur. Da diese Linien in der Zeichnungsebene sich befinden, begreift man, dass sie nicht mehr eine scheinbare Convergenz darstellen werden. Wir haben in Figur 6 durch punktirte Linien die schneidende Ebene angedeutet; man sieht, dass die Längsstreifen der Zöllner'schen Figur in dieser Ebene liegen, und da diese Längsstreifen in der Ebene des Papiers gesehen werden, so ist kein Grund mehr vorhanden, sie convergirend oder divergirend zu sehen. Wie in der Treppenfigur die Scheitellinien der Flächenwinkel, welche die Treppenstufen darstellen, abwechselnd hervorspringen und unter der schneidenden Ebene liegen, ebenso werden die Linien in dem Experimente von Guye abwechselnd über und unter der Fläche des Papiers erhabene oder hohle Flächenwinkel bilden. Wenn dagegen die Zeichnungsebene so zur Visirebene geneigt wird, dass die Durchschnittslinie beider Ebenen parallel zu den Längsstreifen liegt, dann ist die Täuschung (scheinbare Convergenz der Längsstreifen) vorhanden, und die Täuschung nimmt mit der Neigung der Ebene zu (Hering)¹⁾. In diesem Falle hat der Beobachter seine Augen nicht mehr über oder unter den Längsstreifen, es ist also nicht mehr möglich, die Figur so aufzufassen, als stelle sie von oben oder unten gesehene Prismen dar, sondern nach der Art und Weise, wie die Figur gesehen wird (Lage der Visirebene), muss sie Prismen darstellen, welche verschiedene Lagen um eine zu den Längsstreifen senkrechte Achse haben. Denn in Wirklichkeit hat der Beobachter die Richtung der Achse *ab* (Fig. 8) vor sich, und er wird natürlich die Figur in einer senkrecht zur Grundlinie liegenden Richtung durchlaufen. Da diese Richtung senkrecht zu den Längsstreifen liegt, so wird wie in dem Versuche von Helmholtz die Täuschung begünstigt.

Projection auf die zweideutigen Flächen der Zöllner'schen Figur. Das obere Ende jedes Längsstreifens tritt, wie schon gesagt, entweder hervor oder zurück, je nachdem man den Längsstreifen mit dem einen oder dem andern der benachbarten Längsstreifen combinirt. Es ist eine physische Unmöglichkeit die beiden Lagen zusammen zu sehen, in Wirklichkeit führt jeder Längsstreifen eine entsprechende Drehung aus, wenn man von einer Auffassung

1) a. a. O. S. 12.

zur andern übergeht. Es sei jedoch bemerkt, dass bei beiden Auffassungen die Richtung der Längsstreifen unverändert bleibt. Dies veranschaulicht die Figur 10, die man jedoch, um die Täuschungen wirklich wahrzunehmen, bedeutend vergrößert zeichnen muss. Wenn man dann die zwei an der linken Seite liegenden Längsstreifen $abab$ betrachtet, so haben diese beiden ihre oberen Enden vom Beobachter am entferntesten, deshalb erscheint die Distanz bb kleiner als die Distanz aa ; die Linien scheinen nach oben zu divergiren im Sinne von $efef$. Wenn man dagegen den zweiten Längsstreifen mit dem dritten betrachtet, so scheinen die oberen Enden der Längsstreifen

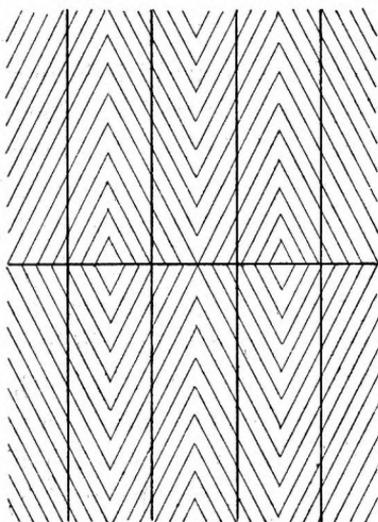


Fig. 9.

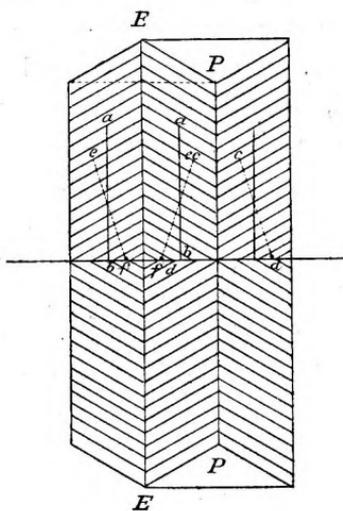


Fig. 10.

nach oben sich zu nähern im Sinne von $cd\ cd$, und in Folge dessen eine scheinbare Converganz zu erfahren. In Folge dieser Converganz ist auch der obere Theil der zweiten Linien nach rechts geneigt, also ist die scheinbare Richtung dieser Linie dieselbe wie für die frühere Auffassung, in der man den zweiten Längsstreifen mit dem ersten betrachtete.

Symmetrische Achse. Pisco's Figur. Die Achse, um welche die Ebene der Längsstreifen resp. die Prismen sich drehen, kann auch wirklich gezeichnet werden und die Täuschung wird dadurch begünstigt (vergl. Fig. 8); noch auffallender wird die Täuschung, wenn die transversalen Linien zu einer Achse symmetrisch liegen

(Fig. 9, Pisco's Figur). Die plastische Ansicht der Ebenen haben wir deutlich gemacht, indem wir Prismen angedeutet haben (Fig. 10). Man denke sich vier Prismen, zwei oberhalb und zwei unterhalb der Achse; die beiden oberen und die beiden unteren haben eine gemeinsame Ebene, die, wie bemerkt, zweideutig ist. Das freie Ende der beiden links liegenden Prismen scheint jenseits der Achse gedreht zu sein, so dass die Achse, die das andere Ende der Prismen bildet, dem Beobachter näher liegt; die beiden rechts liegenden Prismen scheinen hingegen auf den Beobachter zu (also diesseits der Achse) geneigt zu sein, so dass die Drehungsachse die entferntesten Enden dieser beiden Prismen bildet. Dies haben wir in einem Schema dargestellt (Fig. 11), indem wir die Ansicht perspectivisch angedeutet haben; damit man die Zweideutigkeit der gemeinsamen Ebene besser daraus ersehen könne, haben wir diese Ebene etwas höher als den dreieckigen Durchschnitt der rechts liegenden Prismen gezeichnet. Selbstverständlich sind die punktiert gezeichneten Dreiecke der links liegenden Prismen (Fig. 10 u. 11) nicht zu sehen. Die Projection

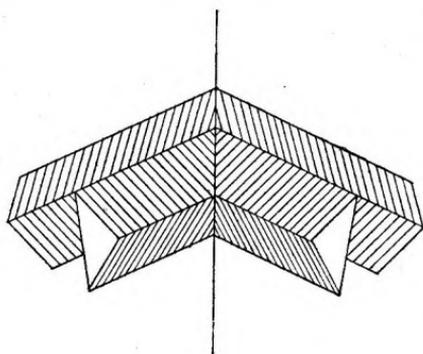


Fig. 11.

der Längsstreifen auf die Prismen findet in der Weise statt, dass die obere Hälfte auf das obere Prisma, die untere auf das untere Prisma projicirt wird, so dass jeder Längsstreifen in der Achse geknickt erscheint. Denn diese zwei Prismen (das obere und untere) sind nicht parallel, sondern symmetrisch zur Achse geneigt.

Wenn man die Figur 9 in horizontaler Lage so betrachtet, dass die Visirebene und die horizontale Zeichnungsebene ihre gemeinsame Durchschnittslinie parallel zu den Längsstreifen haben, während beide Ebenen einen spitzen Flächenwinkel mit einander bilden, dann kommt die soeben beschriebene Ansicht in auffallender Weise zum Vorschein. Es erscheint nämlich dann jeder Längsstreifen als eine an der senkrecht zu den Längsstreifen liegenden Achse gebrochene Linie, und zwar so, dass die beiden Stücke jedes Längs-

streifens die Schenkel eines stumpfen Winkels zu bilden scheinen, dessen Scheitel abwechselnd nach oben oder nach unten gerichtet ist. Diese Ansicht ist derjenigen identisch, welche wir an Prismen soeben beschrieben haben (Fig. 11).

Momentane Beleuchtung. Helmholtz beobachtete, dass, wenn das Gesichtsfeld dunkel ist und das Zöllner'sche Modell nur von einigen elektrischen Funken beleuchtet wird, die Täuschung stark abnimmt, ohne jedoch gänzlich zu verschwinden. Auf die Entwicklung der Tiefenvorstellungen sind vor allem die Bewegungen des Auges von Einfluss¹⁾. Bei einer momentanen Beleuchtung werden diese Bewegungen kaum möglich, also wird in diesem Falle die Täuschung abnehmen. Zöllner hat jedoch das entgegengesetzte Resultat als Helmholtz erhalten. Er hat Versuche veröffentlicht, in welchen die Täuschung bei momentaner Beleuchtung sich vergrößerte. Diese abweichenden Resultate enthalten jedoch nur einen scheinbaren Widerspruch. Dieser erklärt sich leicht, wenn man in Erwägung zieht, dass Zöllner horizontale, Helmholtz dagegen verticale Längsstreifen beobachtete. Denn bei horizontalen Längsstreifen entsprechen die Augenbewegungen, welche an den Längsstreifen entlang in horizontaler Richtung ausgeführt werden, einer gleichen Entfernung beider Enden jedes Längsstreifens, und dadurch wird die Täuschung, wie bemerkt, auf ein Minimum reducirt. Werden dann bei momentaner Beleuchtung die Augenbewegungen kaum oder gar nicht möglich, so wird die Täuschung vergrößert. Gerade das Entgegengesetzte findet aber statt bei Beobachtung der verticalen Längsstreifen; die Täuschung wird nämlich in diesem Falle in Folge der ungleichen Tiefenprojection beider Enden der Längsstreifen durch die mit den entsprechenden Convergänzänderungen verbundenen Augenbewegungen begünstigt. Zöllner beobachtete noch deutlicher die Vergrößerung der Täuschung bei einer Momentbeleuchtung einer pseudoskopischen Figur, deren Querlinien symmetrisch zu einer Achse liegen (Fig. 9). Bei solchen Figuren bemerkte Helmholtz, dass der Einfluss der Augenbewegungen noch auffallender ist, und zwar so, dass die in der Richtung der parallelen Hauptlinien ausgeführte Augenbewegung die Täuschung vermindert. Durch die symmetrische

1) Wundt, Menschen- und Thierseele, 2. Aufl. S. 185.

Achse wird nämlich in diesem Falle die Richtung, nach welcher die beiden symmetrischen Hälften der Figur zusammen sich entfernen oder sich annähern, deutlich markirt. Bewegt man nun die Augen an einer Linie entlang, welche nicht die Richtung der Achse einhält, so muss dies der perspectivischen Auffassung der Figur hinderlich sein, denn die einheitliche Auffassung der Figur, d. h. deren perspectivisches Gesamtbild, tritt nur ein, insofern die verschiedenen Theilbilder von ihrem gemeinschaftlichen Beziehungspunkte aus aufgefasst werden. Verliert das Auge diesen Punkt, so erhält man auch das perspectivische Gesamtbild nicht mehr. Man hat übrigens hierbei kein totales Verschwinden der Täuschung beim momentan Beleuchten beobachtet, sondern die Resultate, welche Helmholtz und Zöllner fanden, sind analog denjenigen, die man erhält, wenn man beliebige stereoskopische Bilder momentan erleuchtet. Mit Bezug auf solche stereoskopische Bilder sagt Wundt: »Meist sind mehrere auf einander folgende Erleuchtungen mit wechselndem Blickpunkt erforderlich, um den stereoskopischen Effect zu erzielen. Nur dann ist man überhaupt im Stande bei einer einzigen momentanen Erleuchtung die Tiefenvorstellung zu vollziehen, wenn zwei zusammengehörige Deckpunkte der beiden Bilder bereits vorher als Lichtpunkte bemerklich gemacht und fixirt werden. Doch ist hierbei immerhin die Vorstellung unsicherer als nach wiederholter Erleuchtung«¹⁾. Diese Versuche bestätigen, dass in der Zöllner'schen Figur die Täuschung in derselben Weise variirt, wie die stereoskopische Ansicht in irgend einer perspectivischen Figur. Die weiteren Thatsachen werden das noch deutlicher zeigen.

Täuschung an Nachbildern des Zöllner'schen Musters. Das Experiment zeigt, dass unter bestimmten Bedingungen Nachbilder der Zöllner'schen Figur dieselbe Täuschung wie die Figur selbst hervorrufen, aber mit der Einschränkung, dass die Täuschung nur für ein Stück der Figur, bestehend aus nur zwei mit Transversalen versehenen Längsstreifen, stattfindet, dagegen für Nachbilder des vollständigen Zöllner'schen Modells (mehrere Längsstreifen) verschwindet. Man weiß, dass, wenn die partielle Figur auf Glas gezeichnet oder aus gespannten Drähten zusammengesetzt ist, die

1) Wundt, Grundzüge, Band II, 4. Aufl., S. 198.

zwei Längsstreifen die Ebene zu verlassen scheinen und eine Drehung wie in dem Versuche von Helmholtz erfahren in der Weise, dass bald das obere Ende des ersten Streifens dem Beobachter entgegenkommt, während das obere Ende des zweiten zurücktritt, bald das Entgegengesetzte stattfindet, je nach der Richtung der Augen.

Hering¹⁾, der diesen Versuch ausführte, hat beobachtet, dass dieselbe Erscheinung für ein Nachbild der Figur wahrnehmbar ist. Das Nachbild wird in derselben Weise aufgefasst wie die Figur selbst. Da die Nachbilder der Figur dieselben perspectivischen Vorstellungen wie die Figur selbst hervorrufen, so müssen diese Bilder auch dieselbe scheinbare Convergenz mit sich bringen. Solches findet in der That statt, aber nur für eine partielle, aus bloß zwei Längsstreifen bestehende Figur. Die Täuschung verschwindet dagegen gänzlich, wenn wir das Nachbild der ganzen Zöllner'schen Figur untersuchen. Denn wir haben aus Experimenten ersehen, dass, sobald wir versuchen, Nachbilder auf eine aus mehreren Ebenen bestehende Figur zu projiciren, es uns nicht möglich ist, in diesen Nachbildern die Deformationen hervorzurufen, welche den verschiedenen Ebenen entsprechen, auf die sie projicirt werden (siehe oben S. 315 f.). In der Zöllner'schen Figur hat aber jeder Längsstreifen eine andere Ebene und für mehr als zwei Streifen, d. h. für mehr als zwei Ebenen wäre die stereoskopische Projection zu complicirt. Sie findet daher in der That nicht statt.

Anzahl der Transversalen. Die Täuschung wächst bis zu einer gewissen Grenze mit wachsender Anzahl der Transversalen. Da die Transversalen den Eindruck der Lage der verschiedenen die Täuschung veranlassenden Ebenen geben müssen, so begreift man, dass sie einen unmittelbaren Einfluss auf die Täuschung ausüben, indem diese größer wird, wenn eine wachsende Anzahl von Transversalen das deutlichere Hervortreten der Ebenen veranlasst. Zöllner meinte, dass die Täuschung überhaupt zunähme mit der Anzahl der Transversalen. Das ist jedoch nicht der Fall. Wenn man die Anzahl der Transversalen in der Figur von Pisco stärker vermehrt, so wird man bald eine Verkleinerung der Täuschung beobachten.

1) Hering, Beiträge zur Physiologie 1861. Heft I. Zur monocularen Stereoskopie.

Ergänzende quantitative Bestimmungen. Wir wollen jetzt einige ergänzende Untersuchungen mittheilen, die wir zu machen Gelegenheit hatten. Wir hätten dabei den Apparat benützen können,

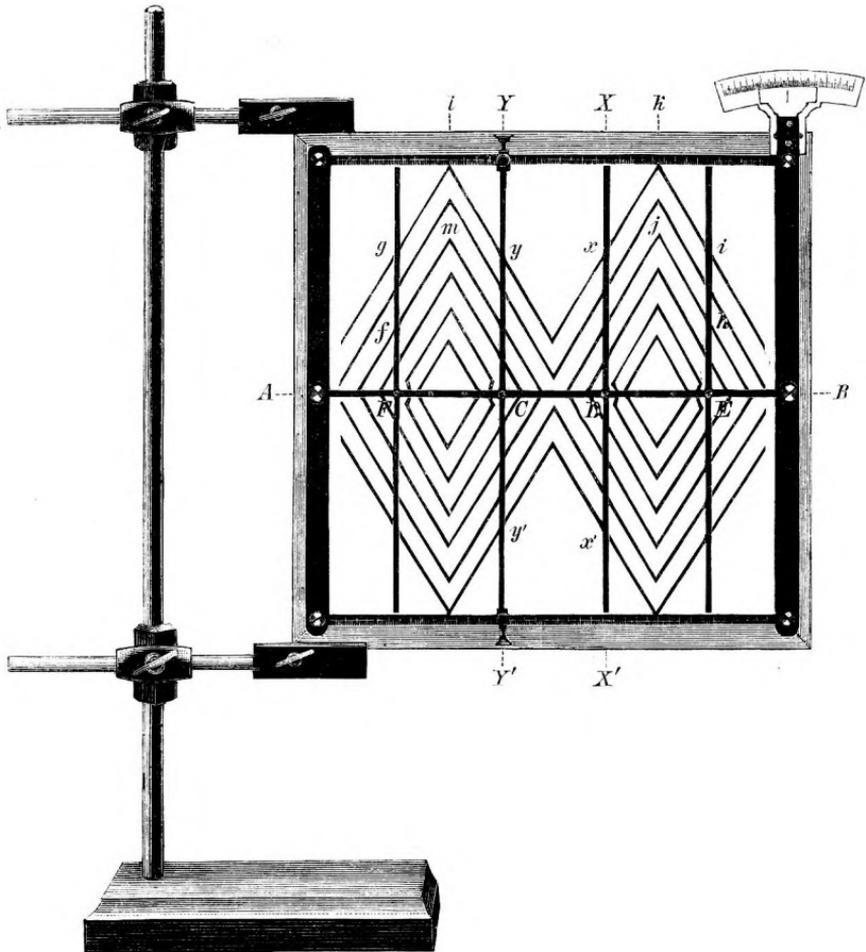


Fig. 12.

dessen sich Zöllner bei seinen Beobachtungen bediente und welcher sich auf dem Leipziger psychologischen Laboratorium befindet¹⁾.

1) Siehe die Beschreibung, welche Zöllner von diesem Apparat in Poggen-
dorff's Annalen veröffentlicht hat. (Pogg. Ann. 1860. Bd. CIX, S. 500—525;
1862 Bd. CXIV, S. 587—591.)

Wir haben aber den folgenden Apparat vorgezogen, dessen erste Idee von Donders ausgeht, welcher ihn aber für andere Untersuchungen brauchte.

Man denke sich einen quadratischen Rahmen aus Stahl (Fig. 12), welcher 33 cm im Lichten misst und bei 3 cm Breite 3 mm Dicke besitzt. Der Rahmen ist aus einem Stück gearbeitet. Einer der äußeren Ränder des Rahmens ist verlängert und trägt einen Kreisbogen, welcher in Viertelgrade getheilt ist. Ein anderer Rahmen von denselben Dimensionen wird durch vier Stahlstäbe gebildet, welche durch Stifte in der Weise verbunden sind, dass sie ein bewegliches Ganze bilden. Zwei parallele Seiten des beweglichen Rahmens (man könnte ihn auch gegliederten Rahmen nennen) sind in ihrer Mitte auf der Mitte des festen Rahmens befestigt, und zwar so, dass sie sich um den Befestigungspunkt drehen können. Auf einem dieser Stäbe ist ein kleinerer Kreisbogen befestigt, der in seiner Mitte einen Strich trägt, welcher als Zeiger dient. Der bewegliche Bogen bewegt sich auf der Theilung des festen Bogens und zeigt durch seinen Zeiger die Amplitude der Rotation des gegliederten Rahmens an. Steht der Zeiger auf Null, so bildet der gegliederte Rahmen ein Quadrat; entfernt sich der Zeiger nach rechts oder nach links von Null, so bildet der bewegliche Rahmen einen Rhombus. Die drehbar befestigten Seiten des beweglichen Rahmens stehen immer schräg zu den Seiten des festen Rahmens, außer wenn man dieselben übereinander legt; hingegen stehen die nicht befestigten Seiten immer parallel zu den correspondirenden Seiten des festen Rahmens. Dem soeben beschriebenen Apparate haben wir die Zöllner'sche Figur angepasst in folgender Weise: An den Drehpunkten der beiden Rahmen haben wir eine horizontale feste Achse befestigt, gebildet durch einen Kupferstreifen von 4 mm Breite; dieser Streifen misst innerlich im Rahmen 30 cm. Daran befestigten wir, 6 cm von einander entfernt, 4 Streifen, welche senkrecht zur Achse stehen. Die beiden äußeren Streifen sind ebenfalls 6 cm vom inneren Rande des Rahmens entfernt. Diese Streifen haben eine Länge von 30 cm und können sich um ihren Befestigungspunkt an der Achse drehen. Weiter kann ihr freies Ende nach Belieben an einem Punkte des beweglichen Rahmens befestigt werden; ein Streifen, welcher auf diese Weise befestigt worden ist, wird mit in die

Bewegung des beweglichen Rahmens hineingezogen und bleibt immer parallel zu der Seite dieses Rahmens, so dass der Zeiger auch die Rotation dieses Streifens anzeigt. Die Streifen bestehen aus zwei unabhängigen Hälften, von denen jede sich um den Befestigungspunkt an der Achse drehen kann, von denen ferner jede Hälfte für sich am beweglichen Rahmen befestigt werden kann oder nicht. Die nicht befestigten Ränder des beweglichen Rahmens sind in Millimeter eingetheilt; an diesen Rändern gleiten in Holzwerk cubische Schlitten von 1 cm Kantenlänge, welche man durch eine Schraube auf dem beweglichen Rahmen befestigen kann. An diesen Schlitten nun werden die Streifen befestigt. Sie tragen an ihrem freien Ende einen Längseinschnitt, in dem die Schraube geht, welche den Streifen am Schlitten befestigt. Um die Figur von Zöllner zu vervollständigen, haben wir geschwärzte Kupferstreifen machen lassen, welche den ersteren gleich und in einem Winkel von 30 Grad transversal gegen dieselben geneigt sind. Jeder Querstreifen ist 3 cm von seinem Nachbarstreifen entfernt. Wir haben für nützlich gehalten, die transversalen Streifen nicht auf denjenigen Streifen zu befestigen, von welchen wir oben gesprochen haben und welche wir Hauptstreifen oder Längsstreifen nennen wollen im Gegensatz zu den transversalen oder Querstreifen. Wir haben diese Querstreifen paarweise an einander gelöthet, so dass sie einen Winkel von 60 Grad mit einander bilden. Nachdem nun die Querstreifen in dieser Weise zusammengelöthet waren, haben wir sie an den Hauptstreifen gelöthet und zwar in der Mitte der äußeren Stäbchen vom Paare, so dass die beiden mittleren Hauptstreifen aufliegen auf den Querstreifen, aber ohne daran befestigt zu sein und ohne sie in ihre Bewegung um die Achse hineinzuziehen. AB sei die Achse; die äußeren Hauptstreifen werden in E und F , die mittleren in C und D befestigt; die Querstreifen werden unter sich zusammengelöthet in j , k , l und m ; sie werden mit den Hauptstreifen zusammengelöthet in den Punkten f , g , h , i . Es wird nun zum Beispiel genügen, an dem beweglichen Rahmen das äußere Ende Y eines mittleren Hauptstreifens zu befestigen. Zu diesem Zwecke haben wir den passenden Mechanismus in der Zeichnung angedeutet. Wenn wir das benachbarte äußere Ende X frei lassen, begreift man, dass man den Apparat zur Messung der optischen Täuschungen

anwenden kann. Die Streifen XD und YC , die in Wirklichkeit parallel sind, werden in Folge von Zöllner's optischer Täuschung nicht parallel erscheinen. Man kann alsdann, indem man den beweglichen Rahmen in Bewegung setzt, die Seite DX in die Bewegung hineinziehen, bis dass diese Seite parallel erscheint zu der Seite CY . Man wird alsdann auf dem Quadranten, von welchem wir gesprochen haben, die Amplitude der Täuschung ablesen.

Bei unseren Versuchen hatte der Beobachter den Parallelismus der Hauptstreifen DX und CY zu beurtheilen; die Theile Yy Xx erleiden, da sie nicht mit Querstreifen versehen sind, die scheinbare Ablenkung nicht, welche diese bewirken. Auch erscheinen sie, obwohl sie genau gerade sind, in den Punkten x und y geknickt. So erscheint z. B. DX im Punkte x getheilt in ein Stück Dx und in ein zweites Stück xX , welche beide verschiedene Richtung haben. Merken wir außerdem, dass 1) der Beobachter nur den Theil Cy Dx betrachtete und absah von den symmetrischen Theilen Cy' und Dx' , 2) dass er als Fixationsstrecke die Achse CD betrachtete, gegen welche die Querstreifen convergirten.

Der Versuch lehrt nun, dass die Resultate wechseln, je nachdem der Blick sich richtet auf XY oder sich bewegt von xy gegen DE oder von DE nach xy .

Wie in dem Modell von Zöllner wird der Rahmen gehalten durch ein auf den Tisch gestelltes Stativ, so dass der Beobachter die Streifen, welche die Zeichnung bilden, als ein durchbrochenes Gebilde sieht. Ein Schirm von grauem Carton wird in einiger Entfernung dahinter gestellt, um als Hintergrund zu dienen.

Wie schon Zöllner und Helmholtz darauf aufmerksam machen, begünstigt diese Darstellung als durchbrochenes Gebilde sehr die Täuschung; und in Folge dieser Einrichtung der Zeichnung glaubt man leicht, gewisse Streifen hätten verschiedene Entfernungen und deshalb verschiedene Richtungen, die der Wirklichkeit nicht entsprechen. Wenn die Figur, anstatt als durchbrochenes Gebilde dargestellt zu sein, auf Papier gezeichnet ist, so fällt auf, dass die Linien alle in der Fläche des Papiers sich befinden, wodurch die Täuschung offenbar vermindert wird.

Hering hat übrigens an bemerkenswerthen Beispielen gezeigt,

dass man, damit die Täuschung hervorstechend werde, es möglich machen muss, die verschiedenen Elemente der Figur auf verschiedene Entfernungen zu beziehen. Sobald durch die Einrichtung seines Versuches die verschiedene Entfernung aufhörte, die wahrscheinliche Erklärung der Zeichnung zu sein, verminderte sich die Täuschung in gleichem Maße. Wir suchten nun diese Bedingung näher zu prüfen, indem wir uns nicht darauf beschränkten, die Zöllner'sche Figur in einer einzigen Ebene zu studiren (senkrecht zur Sehlinie), sondern indem wir die Amplitude der Täuschung bestimmten, wenn man die Fläche der Zeichnung in Lagen brachte, wo es leichter möglich scheinen konnte, dass die verschiedenen Elemente der Zeichnung nicht mehr genau in einer und derselben Ebene sich befänden. Schon Zöllner hatte festgestellt, dass die Täuschung zunimmt, wenn die Hauptstreifen sich einer Richtung nähern, die 45 Grad gegen den Horizont geneigt ist; wir haben uns nun die Frage gestellt, ob eine derartige Variation der Täuschung nicht auch sich zeigen werde: 1) wenn die Fläche des Modells mehr oder weniger schräg geneigt ist gegen die Sehlinie, d. h. die Fläche der Zeichnung senkrecht zur Fläche des Tisches bleibt, aber mit der Verbindungslinie der beiden Augencentren, der Grundlinie, beliebig zu verändernde Winkel bildet, so dass sie dem Blick immer schräger erscheint, so als wenn der Beobachter sich immer mehr nach der Seite entfernte; 2) wenn die Fläche des Modells nicht senkrecht zum Tische bleibt, sondern sich um eine zur Grundlinie parallele Achse dreht, so dass sie dem Blick immer schräger erscheint, so als wenn der Beobachter senkrecht immer höher stiege. In diesen beiden Fällen hat der Beobachter nicht mehr alle Punkte der Figur in derselben Entfernung vor sich. Um zu beurtheilen, dass die Hauptstreifen parallel sind, genügt es nicht mehr, geradlinig zu messen, dass die Entfernung von der einen zur anderen eine und dieselbe ist, sondern man muss sich Rechenschaft geben von der Entfernung der beiden Enden eines und desselben Hauptstreifens; denn infolge dieser Entfernung können objectiv parallelen Linien divergirende Netzhautbilder entsprechen. Dadurch kommt ein neues Element hinzu, da es schwerer ist, durch Versuch in jedem Falle zu schätzen, welches die Neigung der Fläche des Modells ist, und welchen Grad von

Convergenz Linien zeigen müssen, die in Wirklichkeit parallel sein würden. In der ersten Serie von Versuchen, in denen das Modell senkrecht zur Tischfläche bleibt, haben wir drei Unterabtheilungen oder Gruppen bilden müssen. In der That, wenn wir die Fläche des Modells sich drehen ließen um eine senkrechte Achse, so war es nicht gleichgiltig, ob diese Achse parallel, senkrecht oder schräg zu den großen Hauptstreifen stand, deren Parallelismus der Beobachter bestimmen soll. Wenn die Achse parallel zu den Hauptstreifen stand, so folgte daraus, dass alle Theile eines und desselben großen Streifens gleichweit entfernt vom Beobachter waren. Wenn hingegen die Achse senkrecht oder schräg zu den Hauptstreifen stand, so hatte jeder der letzteren das eine seiner Enden dem Beobachter genähert, das andere entfernt. Wenn es nun wahr ist, dass diese Entfernung hauptsächlich dazu beiträgt, dass die Täuschung entsteht, so müssen die Resultate in den drei Serien von Versuchen verschieden sein. Und in Wirklichkeit kann man dies aus den weiter unten mitgetheilten Tabellen ersehen, welche die Versuche der drei Gruppen unserer ersten Serie vorführen. Die Rotationsachse in diesen drei Gruppen war der senkrechte Arm des Stativs, welcher nach der Seite hin das Modell hält. Das Modell wurde an dem Arm des Stativs durch zwei Metallzangen befestigt, welche durch Schrauben geschlossen wurden.

I. Serie. Erste Gruppe. Für die erste Gruppe der Versuche befestigte man die beiden Zangen an dem Rande des Rahmens, der parallel zu den Hauptstreifen geht. Die erste Tabelle bringt die Resultate der ersten Gruppe von Versuchen und ist in vier große senkrechte Columnen eingetheilt, welche die Resultate für vier Beobachter geben: Herr Dr. Meumann, Herr Dr. Spitzer, Herr Dr. Cohn, Herr stud. phil. Arrer. Jede dieser Columnen ist wiederum in zwei Unterabtheilungen getheilt; die erste davon gibt die mittlere Amplitude der Täuschung, die zweite die mittlere Variation für 12 Beobachtungen. Diese beiden Maßbestimmungen sind in Graden, Minuten und Secunden ausgedrückt. Gegenüber von jeder wagerechten Linie befindet sich in einer ersten Columne in Graden angezeigt, in welchem Maße die Fläche des Modells gedreht worden ist im Verhältniss zu einer senkrechten Ebene, die durch die Verbindungslinie der Augencentren (Grundlinie) des

Beobachters geht. Dieser Winkel zwischen beiden Flächen ist es, den wir in der 1. Columne mit Flächenwinkel (Fl.-W.) bezeichnen.

Tabelle I.

Fl.-W.	M.		S.		C.		A.	
0°	19,5	7,5	17,0	21,1	125,0	17,1	127,1	37,0
10°			24,2	13,2	132,5	22,5	129,3	32,3
20°	41,4	19,4	36,9	17,3	135,3	22,5	144,9	32,2
30°			38,5	13,5	195,1	16,4	142,5	40,2
40°	115,8	15,0	44,9	24,2	217,5	26,3	168,9	53,3
50°			109,3	16,0	210,3	21,2	199,9	22,1
60°	144,9	17,2	96,2	13,2	201,1	18,2	202,5	31,4
70°			96,2	10,2	136,1	46,5	177,5	58,2
80°			12,1	48,3	167,4	39,7	97,5	22,1

Ergebnisse: 1) Die Täuschung ist nicht constant. 2) Sie zeigt ein Fortschreiten oder eine Abnahme, welche verhältnissmäßig bei den verschiedenen Beobachtern dieselben sind. 3) Sie erreicht ein Maximum bei ungefähr 50° (genau bei 40° für den Beobachter C., 50° für S., 60° für A.). Leider konnten die Beobachtungen mit Herrn Dr. Meumann nicht zu Ende geführt werden; aber die theilweisen Ergebnisse scheinen die der übrigen Beobachter zu bestätigen. Die beiden ersten Beobachter M. und S. sind kurzsichtig, C. und A. haben beide sehr gute normale Augen.

Die Täuschung ist an absoluter Größe viel geringer für die kurzsichtigen Beobachter. Bei S.¹⁾, welcher am meisten kurzsichtig ist, ist dieselbe auf ein Minimum reducirt. Es ist übrigens eine allgemeine Erscheinung, welche man bei allen diesen Untersuchungen beobachten wird, dass sehr kurzsichtige Personen in geringerem Grade den Täuschungen unterworfen sind. Herr Rostosky,

1) Die Myopie des Dr. Spitzer beträgt 4,5 Dioptrien, also nach alter Berechnung fast 9.

welcher für das rechte Auge fünf Dioptrien, für das linke zehn braucht, scheint in gleicher Weise in sehr geringem Grade diesen optischen Täuschungen unterworfen zu sein, aber leider konnten wir in dieser Beziehung keine systematischen Beobachtungen anstellen.

Die vorhergehenden Resultate würden ohne Zweifel kaum verschieden sein, wenn es sich anstatt um Beobachtungen, die bei binocularem Sehen gemacht wurden, um monoculare Beobachtungen gehandelt hätte. Experimente, die bei monocularem Sehen mit zwei Beobachtern (Arrer und Heller) gemacht wurden, haben nämlich folgende Resultate ergeben:

Tabelle II.

Fl.-W.	A.		H.	
0°	58,3	15,0	75,0	31,1
20°	84,9	17,3	52,5	30,2
40°	129,9	13,8	120,3	24,2
60°	198,8	18,3	197,3	32,5
80°	127,5	33,8	175,4	33,8

Wenn man diese Beobachtungen vergleicht mit den Beobachtungen von A. bei binocularem Sehen, so findet man, dass die Differenz hauptsächlich darin besteht, dass für wenig bedeutende Rotationen (bis 40°) die Täuschung weniger stark ist als bei binocularem Sehen, während bei größeren Rotationen (bis zu 80°) das Gegentheil der Fall ist.

Zweite Gruppe. Für die zweite Gruppe von Versuchen befestigt man die Zangen an dem Rande des Rahmens, welcher senkrecht zu den Hauptstreifen geht, so dass diese letzteren auch senkrecht zur Rotationsachse stehen. Da in der zweiten Gruppe das eine Ende jedes Hauptstreifens vom Beobachter weiter entfernt und das andere demselben mehr genähert ist, so darf man nicht bloß die Rotation in Betracht ziehen, welche die äußeren Enden der Hauptstreifen dem Beobachter nähern und welche wir mit — 10° bis — 80° bezeichnen, sondern auch die entgegengesetzte

Rotation, welche die äußeren Enden der Hauptstreifen vom Beobachter entfernt, und welche wir mit $+ 10^\circ$ bis $+ 80^\circ$ bezeichnen wollen. Das Zeichen $-$ findet sich auch vor gewissen Resultaten der Columnne, welche die Größe der Täuschung anzeigt; dieses Zeichen deutet an, dass die Täuschung, anstatt im gewöhnlichen Sinne erfolgt zu sein, im entgegengesetzten Sinne stattgefunden hat, d. h. dass in diesem Falle die Parallelen nicht mehr nach der Richtung zu convergiren scheinen, nach welcher die Querstreifen divergiren, sondern nach derselben Seite, nach welcher auch die Querstreifen convergiren.

Tabelle III.

Fl.-W.	A.	
80°	— 45,0	3,2
70°	— 7,0	7,2
60°	43,0	2,1
50°	45,0	9,9
40°	63,0	7,2
30°	99,0	22,8
20°	157,5	15,0
10°	95,3	20,5
0°	135,1	2,1
$- 10^\circ$	117,0	13,0
$- 20^\circ$	165,8	10,0
$- 30^\circ$	135,0	7,5
$- 40^\circ$	63,5	3,7
$- 50^\circ$	56,3	7,5
$- 60^\circ$	— 1,5	2,2
$- 70^\circ$	— 45,5	6,5
$- 80^\circ$	— 67,5	7,4

Tabelle IV.

Fl.-W.	S.	
	80°	— 2,3
70°	7,4	29,2
60°	19,5	30,1
50°	32,0	19,1
40°	42,0	33,6
30°	31,1	28,5
20°	29,7	23,3
10°	34,4	19,5
0°	52,5	22,5

Ergebnisse: 1) Die Täuschung ist nicht constant, aber sie zeigt eine Abnahme, welche proportional dieselbe ist bei beiden Beobachtern. 2) Diese Abnahme ist constant bei dem Beobachter A. von 0° bis + 80° und von 0° bis zu — 80°; sie ist schärfer hervortretend von 0° bis zu — 80°. Die Abreise des zweiten Beobachters gestattete uns leider nicht, die Beobachtungen von 0° bis — 80° mit demselben zu machen. Aber die gemachten Beobachtungen von 0° bis + 80° zeigen ein Fortschreiten, welches dasselbe ist wie bei A. 3) Wie in der ersten Gruppe sind die Ziffern, welche die Intensität der Täuschung angeben, bei A. höhere als bei S. Doch ist im Gegensatz zur ersten Gruppe die mittlere Variation eine bedeutendere für S. als für A.

Dritte Gruppe. Die Hauptstreifen sind 45° geneigt gegen die senkrechte Achse, um welche die Fläche des Modells rotirt.

Tabelle V.

Fl.-W.	S.		A.		H.	
0°	79,5	34,5	144,1	23,2	188,4	33,3
30°	32,5	27,2	145,1	31,2	97,5	30,0
40°	4,2	8,2	247,2	34,2	194,2	30,6
60°	77,1	41,0	151,2	37,3	247,5	25,5
80°	90,1	41,3	107,1	32,4	265,2	15,4

Ergebnisse: 1) Die Täuschung ist nicht constant. 2) Anstatt ein gleichförmiges Fortschreiten bei den verschiedenen Beobachtern aufzuweisen wie in den beiden vorhergehenden Gruppen, ist hier die Abstufung verschieden. Bei dem Beobachter S. nimmt die Täuschung beständig ab von 0° bis zu 40°, wo sie ein Minimum erreicht, und wächst dann beständig von 40° bis 80°. Für den Beobachter H. ist das Minimum bei 20° erreicht, und alsdann nimmt die Täuschung beständig zu. Für den Beobachter A. ist das Maximum bei 40° erreicht. Im Großen und Ganzen hält die Täuschung bei S. und ungefähr auch bei H. dieselbe Abstufung ein, welche sich in der ersten Gruppe von Versuchen zeigte, als die Rotationsachse parallel zu den Hauptstreifen ging.

Bei dem Beobachter A. hingegen schließt sich die Täuschung der Abstufung der zweiten Gruppe von Versuchen an, da diese Achse senkrecht zu den Hauptstreifen stand. Wir werden darauf zurückkommen, zu diesen vermittelnden Resultaten die Erklärung zu geben; beachten wir nur, dass sie sich in Uebereinstimmung befinden mit den Umständen, unter welchen die Versuche der dritten Gruppe stattfanden; denn in dieser Gruppe hatte die Rotationsachse eine Mittellage zwischen der parallelen Lage [erste Gruppe] und der senkrechten Lage [zweite Gruppe].

Wir wollen als Anhang zu dieser Gruppe die Versuche erwähnen, die wir nach Zöllner wiederholt haben. Bei diesen Versuchen bleibt die Fläche des Modells parallel zu der senkrechten Ebene, welche durch die Verbindungslinie der Augencentren (Grundlinie)

geht; die Hauptstreifen erhalten verschiedene Neigungen zur Senkrechten von 0° bis 90° . Die Resultate bestätigen diejenigen von Zöllner, nämlich dass die Täuschung ein Maximum erreicht bei 45° , sie zeigen weiter, dass die Täuschung weniger stark erscheint bei einer wagerechten Richtung (Neigung von 90°) als bei der senkrechten Richtung der Längsstreifen.

Im allgemeinen wird der Parallelismus zweier beliebiger gerader Linien am genauesten geschätzt, wenn dieselben horizontal oder vertical liegen (Mach, Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. XIII. S. 215—224). Für eine Neigung von 45° , welche von der verticalen oder horizontalen Lage am weitesten abweicht, ist die Ungenauigkeit der Schätzung also am größten. Hering hat in seinen weiter unten beschriebenen Untersuchungen angegeben, dass horizontale und verticale Linien in der Regel in der Zeichnungsebene zu bleiben, schräge dagegen dieselbe zu verlassen scheinen, und zwar so, dass durch diese plastische Ansicht das obere oder untere Ende der schrägen Linien hervor- bez. zurücktritt, was eine entsprechende Richtungsveränderung der Linien hervorruft. Bei einer schrägen Richtung der Parallelen ist es daher wahrscheinlicher, dass die beiden Enden jeder Linie vom Beobachter ungleich entfernt liegen, und die ungleiche Entfernung, welche in der Zöllner'schen Figur perspectivisch dargestellt ist, wird dadurch verstärkt. Darum ist auch die Täuschung größer bei einer senkrechten als bei einer wagerechten Richtung der langen Linien der Zöllner'schen Figur. Denn die Entfernung eines Gegenstandes beurtheilen wir nach dem scheinbaren Ansteigen der ebenen Bodenfläche oder bei über uns gelegenen Objecten, die wir mit aufwärts gewandtem Blick betrachten müssen, nach ihrem scheinbaren Abfall gegen den Horizont (Wundt, Grundzüge 4. Aufl. II. Bd. S. 199). Sind die Parallellinien der Zöllner'schen Figur wagerecht, so sind wir eher geneigt die beiden Enden jeder Linie vom Beobachter gleich entfernt zu schätzen; daher muss die Täuschung in diesem Fall am geringsten sein.

Auch aus den directen Untersuchungen von Holtz geht hervor, dass bei seitlicher horizontaler Lage die Vorspiegelung einer ungleichen Entfernung viel schwieriger ist (Göttinger Nachrichten 1893. S. 50). Übrigens bestanden diese Versuche in einer Art

Umkehrung der Zöllner'schen Figur. Bei dieser sind alle Enden der Linien in Wirklichkeit in einer und derselben Ebene, und die Täuschung besteht darin, dass der Abstand der Parallelen von einander an einem Ende entfernter und daher größer geschätzt wird. Umgekehrt waren bei Holtz zwei vom Beobachter ungleich entfernte Scheiben ihrer objectiven Größe nach ungleich, und die Täuschung bestand darin, dass sie gleich entfernt, nämlich gleich groß erschienen. Quantitative Messungen mit Scheiben von verschiedenen Größen ergaben, dass zwei ungleich entfernte Gegenstände (bei gleichem Schwinkel) leichter gleich entfernt erscheinen, wenn man sie neben einander in derselben horizontalen Lage sieht.

II. Serie. In dieser zweiten Serie wollen wir untersuchen, welche Modification die Täuschung erleidet, wenn die Fläche des Modells sich um eine horizontale Achse dreht, welche parallel zur Verbindungslinie der Augencentren geht. Weiter ist in den folgenden Versuchen die Rotationsachse senkrecht zu den Hauptstreifen.

In der ersten Columne der folgenden Tafeln zeigen wir in Graden die Winkel an, welche die Fläche des Modells mit einer senkrechten Ebene bildet, die parallel zur Verbindungslinie der Augencentren liegt. Wir bezeichnen mit 0° die senkrechte Lage der Fläche des Modells; das Verlassen dieser Lage bezeichnen wir mit positiven Zeichen, wenn die Neigung in der Weise stattgefunden hat, dass der obere Theil des Modells vom Beobachter weiter entfernt liegt als der untere Theil; im entgegengesetzten Falle wenden wir negative Zeichen an. In der zweiten Columne bedeutet, wie in den vorhergehenden Tabellen, ein negatives Zeichen, dass die Täuschung im entgegengesetzten Sinne stattgefunden hat, als dies gewöhnlich der Fall war.

Tabelle VI.

Fl.-W.	A.	
100°	0,2	7,5
90°	30,0	15,1
80°	79,2	20,1
70°	97,1	19,8
60°	109,5	20,7
50°	81,5	38,4
40°	77,2	12,1
30°	52,8	15,4
20°	52,3	23,3
10°	105,3	27,2
0°	127,1	37,0
— 10°	120,0	15,1
— 20°	129,4	23,7
— 30°	72,5	15,1
— 40°	112,7	10,5
— 50°	52,5	22,5
— 60°	39,9	22,7

Ergebnisse: 1) Die Täuschung nimmt ab nach beiden Seiten von 0°, in welcher Lage keine Neigung stattfindet. Hier weist die Täuschung ein Maximum auf. 2) Auf der Seite, wo die Neigungen negativ bezeichnet sind, nimmt die Täuschung viel mehr und viel schneller ab als auf der Seite, wo die Neigungen positive Vorzeichen haben. 3) Die Täuschung erreicht ein zweites Maximum bei + 60°, während sie beständig im Abnehmen begriffen ist und kein Maximum erreicht bei den Neigungen mit negativen Vorzeichen.

Eine Beobachtung auf abschüssigem Terrain ergab dasselbe Resultat. Priestley (Geschichte der Optik. Uebers. v. Klügel. Leipzig

1776. S. 501) schreibt nämlich Folgendes: »An einem abhängenden Grunde wird der Winkel der wahren und scheinbaren Grundfläche zuerst immer kleiner bis auf einen gewissen Grad des Abhanges, da beide in einander fallen, so dass parallele Linien, die man auf einer Fläche in dieser Lage zöge, immer parallel zu bleiben scheinen würden. Senkt sich aber der Grund noch tiefer herunter, so wird die Abweichung der scheinbaren Grundfläche von der wahren wieder zu wachsen anfangen, und zwar wird, was merkwürdig ist, die scheinbare Ebene unter der wahren liegen, so dass die scheinbar parallelen Linien auf letzterer zusammenlaufen werden.« Leider hat Priestley über quantitative Bestimmungen keinerlei Mittheilungen gemacht¹⁾.

Die folgende Tabelle berichtet über dieselben Versuche, nur mit dem Unterschiede, dass sie nur von 0° bis $+140^\circ$ stattfinden konnten. Die Abreise des Herrn Dr. Spitzer ermöglichte es nicht, auch von 0° bis -60° zu experimentiren. Die Resultate entsprechen denjenigen der vorhergehenden Tabelle. Doch wird man daraus ersehen, dass die absolute Größe der Täuschung eine geringere ist als bei dem Beobachter A. Dies war ja immer der Fall, wie oben bemerkt wurde.

Tabelle VII.

Fl.-W.	S.	
140°	— 125,2	32,5
120°	— 120,3	21,5
100°	— 114,3	30,0
80°	22,3	30,0
60°	86,2	19,5
40°	26,8	8,7
20°	34,5	22,5
0°	17,0	21,1

1) Bei steigenden Ebenen bemerkte Priestley, dass eine Steigerung von 30° auffallender Weise überschätzt und sogar für eine von 60° gehalten wurde.

Wenn das Gesichtsfeld ungleich entfernte Gegenstände enthält, so geht der Blick natürlicher Weise von den näheren zu den entfernteren Punkten. Wird in unseren Experimenten der Apparat um eine verticale Achse gedreht, dann sind seine beiden seitlichen Kanten vom Beobachter ungleich entfernt, und der Blick geht von der einen zur anderen seitlichen Kante, d. h. in wagerechter Richtung. Stehen dann die Längsstreifen auch vertical, so wird die Täuschung vergrößert. Denn wir haben gesehen, dass diese größer ist, wenn die Augen senkrecht zu den Längsstreifen die Figur durchlaufen. Liegen dagegen die Längsstreifen horizontal, so nimmt die Täuschung ab. Denn die Augen bewegen sich an den Längsstreifen entlang, und dann wird, wie wir gesehen, die Täuschung geringer. Befinden sich die Längsstreifen endlich in einer Zwischenlage, d. h. zum Horizont geneigt, so ergibt sich entweder eine constante Verminderung oder eine constante Vergrößerung der Täuschung, je nach der Augenbewegung der verschiedenen Versuchspersonen. In allen anderen Versuchen, von denen wir berichteten, haben die Hauptstreifen ihre Theile nicht mehr gleichweit vom Beobachter entfernt. Für alle anderen Neigungen wirkt daher die wirkliche Entfernung der vorgestellten entgegen und vermindert so die Täuschung.

Das zweite relative Maximum erscheint in den Versuchen der 2. Serie bei 60° und erklärt sich leicht. Die Täuschung besteht darin, dass in Folge der Querstreifen die Geraden parallel scheinen, während sie in Wirklichkeit nach der Seite hin convergiren, nach welcher auch die Querstreifen convergiren. Nehmen wir an, die Fläche des Papiers werde dargestellt durch die Neigung von 0° . Bei der Neigung von 60° um die Achse wird diese in der Fläche des Papiers geblieben sein, aber die oberen Enden werden in Wirklichkeit weiter entfernt sein vom Beobachter, während die Entfernung der beiden unteren Enden dieselbe geblieben ist. Daraus geht hervor, dass die Entfernung der oberen Enden in dem Netzhautbilde eine kleinere werden wird. Man wird wahrnehmen, dass die Divergenz der Längsstreifen gleich ist einer größeren Divergenz bei der Neigung 0° . In derselben Weise wird diese Ursache bei den Neigungen von 0° bis 90° zunehmen beim Verlassen von 0° . Sie wird um so mehr einwirken, als die Entfernung der beiden unteren Endpunkte verschieden ist von derjenigen der beiden oberen. Beim

Verlassen von 60° hört sie auf sehr bemerklich zu wachsen. Da nun die Täuschung fortfährt unabhängig von dieser Ursache abzunehmen, wie vorher bemerkt, so bezeichnet 60° ein Maximum.

Dieselbe Ursache wirkt in entgegengesetztem Sinne von 0° bis -90° . Anstatt die Abnahme der Täuschung aufzuhalten, beschleunigt sie diese Abnahme. Bei -60° z. B. wird eine wirkliche Divergenz ein Netzhautbild ergeben, welches einer größeren Divergenz bei einer Neigung von 0° entspricht; denn in Wirklichkeit sind die oberen Endpunkte dem Beobachter näher. Wenn die Längsstreifen objectiv parallel wären, so würden diese beiden Linien divergent erscheinen. Zieht man nun diese absolute Veränderung des Gesichtswinkels je nach der Lage des Modells in Betracht, so kann man annehmen, dass die Täuschung in dieser Serie von Versuchen, wie in allen Gruppen, wo die Rotationsachse nicht parallel zu den Hauptstreifen stand, abnimmt.

In allen unseren Versuchen war es die ungleiche Entfernung der beiden Enden, welche wir abwechselnd sich verändern ließen, und wie wir gesehen haben, zeigten die Resultate in jedem Falle die entsprechenden Variationen in der quantitativen Intensität der Täuschung, je nachdem die Rotationsachse zu den Hauptstreifen parallel war oder nicht. Das ist also ein weiterer Umstand, welcher die Richtigkeit unserer Ausführungen bestätigt.

Es erübrigt nun noch zum Schlusse, mehrere von verschiedenen Forschern über die Zöllner'sche Figur aufgestellte Theorien zu überblicken. Die Hypothese von Helmholtz haben wir schon erwähnt.

Lipps¹⁾ folgt in vielem der Ansicht von Helmholtz, weicht aber von ihm dadurch ab, dass er die Längsstreifen als Bewegung betrachtet, welche in der Richtung dieser Linien erfolgt. Außerdem sagt er, dass die Transversalen eine Abweichung der Bewegung der großen Striche darstellen, dass diese Abweichung aber allmählich und dergestalt unmerklich sei, dass wir sie nicht wahrnehmen können. Die Transversalen schienen uns die Verlängerung der Längsstreifen zu sein, und daher rühre es, dass die Längsstreifen

1) Lipps, Aesthetische Factoren der Raumschauungen. Helmholtz' Festschrift 1891.

im entgegengesetzten Sinne der Transversalen geneigt zu sein scheinen. Ebenso wenig, sagt Lipps, merkt man eine kleine Aenderung in der Höhe eines musikalischen Tones. Dieser Vergleich ist aber ganz unzulässig, da der Längsstreifen 1) nicht in sich selber eine Kraft, eine Bewegung oder eine Vorstellung ist, wie die Vorstellung einer Tonhöhe, obgleich dies von Lipps vom ästhetischen Standpunkte aus behauptet wird, und da 2) selbst wenn dies der Fall wäre, doch die Richtung des Längsstreifens in Wirklichkeit unverändert geblieben ist, während die Tonhöhe eine wirkliche Veränderung erfahren hat.

Diese allgemeine psychologische Theorie erklärt also auf keine Weise die untersuchten Einzelheiten der Zöllner'schen Figur; übrigens setzt sie voraus, dass die Figur vom Auge in der Richtung der Längsstreifen durchlaufen werde. Die bekannte Thatsache, dass die Täuschung gerade kleiner wird, wenn das Auge in der erwähnten Richtung sich bewegt¹⁾, widerspricht schon der Lipps'schen Theorie. Schließlich, wenn selbst die Hypothese von Lipps anzunehmen wäre, würde sie doch die Täuschung nicht erklären. Wenn wir auch nach Lipps vermöge eines unerhörten und beispiellosen Irrthums die Transversalen als die Verlängerung der Längsstreifen ansehen sollten²⁾, so könnten in Folge dessen die Theile des Hauptstreifens doch nur in einem Bruchtheile von ihrer Richtung abweichen; in der Zöllner'schen Figur aber scheint der Hauptstreifen in seiner ganzen Länge nach links abzuweichen.

Hoppe³⁾ hat die Helmholtz'sche Theorie theilweise geändert. Anstatt eines Bewegungscontrastes, welcher die Transversalen mitführe und die Längsstreifen in entgegengesetzter Richtung neige, nimmt er einen Richtungscontrast an.

Die Erklärungen von Helmholtz und Hoppe nehmen eine gewisse Analogie zwischen der Täuschung der Zöllner'schen Figur und den Bewegungs- und Farbencontrasten an. Wenn gewisse Elemente eines aus verschiedenen Objecten zusammengestellten Ganzen uns zu der Vorstellung veranlassen, dass das gesammte Ganze von einer

1) Helmholtz' oben erwähnter Versuch.

2) Niemals hat man ein Beispiel von zwei sich unter einem Winkel von 30° schneidenden Geraden gesehen, die dennoch als eine Linie erschienen wären.

3) Hoppe, Physiol. Optik. 1887.

gemeinsamen Bewegung ergriffen sei, so sollen wir glauben, dass gewisse Elemente, welche wir unbewegt bleiben sehen, eine Eigenbewegung nach einer Richtung haben, die entgegengesetzt zu der Bewegung des ganzen Systems ist. In gleicher Weise, wenn gewisse Elemente einer Zeichnung uns annehmen lassen, dass die ganze Zeichnung eine wachsende Entfernung nach einer gegebenen Gegend hin darstelle, sollen nach dieser Gegend gerichtete Parallelen, welche nicht gegen diesen Punkt convergiren, als divergirende Grade erscheinen, wie dies in der Zöllner'schen Figur stattfindet. Dies entspricht ganz der Helmholtz'schen Erklärung des Farbencontrastes: wenn wir uns vorstellen, das ganze Sehfeld werde durch eine farbige Substanz hindurchgesehen, so ist es nothwendig, damit gewisse Theile weiß erscheinen, dass sie in Wirklichkeit die Complementärfarbe der durchsichtigen Substanz haben, und wir sehen sie daher in der That in dieser Complementärfarbe.

Kundt¹⁾ schlug vor, die Zöllner'sche Figur mittelst eines hypothetischen Gesetzes zu erklären: Nach dieser Hypothese soll das Auge die Abstände nach der Länge der Linien beurtheilen, welche die äußeren Enden des Bildes auf der Netzhaut verbindet. Im Gegensatz zu der zuvor erwähnten Hypothese lässt sich nun die Kundt'sche Theorie sehr leicht experimentell prüfen. Die in diesem Sinne mehrfach gemachten Beobachtungen stimmen aber mit ihr so wenig überein, dass dieselbe definitiv aufgegeben worden ist.

Hering²⁾, der früher die Kundt'sche Hypothese angenommen hatte, hat sie in seinen späteren Arbeiten nicht mehr beibehalten; er neigt zur perspectivischen Erklärung hin, von welcher er in seinen Studien über monoculare Stereoskopie mehrere Grundzüge festgestellt hat.

Mehrere Forscher haben auch eine Ueberschätzung der spitzen Winkel als Täuschungsursache der Zöllner'schen Figur angenommen. Diese Ueberschätzung an sich werden wir weiter unten untersuchen.

Größe der Täuschung bei monocularem und binocularem Sehen. Die Täuschung findet sowohl monocular wie binocular statt (Zöllner). Bei binocularem Sehen sind wir im Stande,

1) a. a. O. S. 1.

2) a. a. O. S. 12.

das wirkliche Relief direct wahrzunehmen. Beim binocularen Anblick eines nahe liegenden Gemäldes ist es daher augenfällig, dass dasselbe überhaupt kein Relief besitzt, sondern wirklich eine Ebene ist, und dadurch wird es schwieriger, die dargestellten Gegenstände perspectivisch zu sehen¹⁾, so dass die Eindrücke des binocularen Sehens der monocularen Stereoskopie vielmehr schaden. Kunstfreunde und Maler wissen, dass das perspectivische Relief eines Gemäldes niemals auffallender ist, als wenn man ein Auge schließt. Dasselbe muss für das Zöllner'sche Muster gelten, welches ebenfalls eine perspectivische Figur ist.

Auf Grund von quantitativen Messungen haben wir nur bestätigen können, dass in der Zöllner'schen Figur die Täuschung in der That größer sein kann für das monoculare Sehen.

Ist der Gegenstand sehr weit entfernt, so kommt der Abstand der zwei Augen nicht so sehr in Betracht. Die Halbbilder sind in beiden Augen fast identisch, und es fehlt auch die starke Variation der Convergenz zur Feststellung des wahren Reliefs; es bleiben daher einfach die Bedingungen der monocularen Stereoskopie.

Dieser Umstand erklärt, wie es kommt, dass die Täuschung bei binocularem Sehen in weiter Entfernung so groß ist, während für das monoculare Sehen ein größerer Abstand des Apparates einer solchen Steigerung der Täuschung nicht entspricht. Wir haben selbst diese Differenz mittels des Donders'schen Rahmens beobachten können, welchem die Zöllner'sche Figur in der auf Seite 332 beschriebenen Weise angepasst war. Je nachdem sich die Figur nahe oder weit vom Beobachter befand, wurden bedeutende Differenzen in der Täuschung constatirt. Man kann dies aus der folgenden Tabelle ersehen, in welcher oben die Resultate für eine Distanz von 80 cm, unten für eine doppelt so große verzeichnet sind. (S. Tab. VIII.)

Figur nahe oder fern. Vielleicht muss man einem analogen Umstände die Thatsache zuschreiben, dass die Täuschung über die absolute Größe weniger stark ist für Kurzsichtige. Indem diese die Bilder (Objecte) in eine sehr kleine Entfernung bringen, sind

1) Zwei ungleich entfernte Gegenstände erscheinen bei gleichem Schwinkel am ehesten gleich groß bei monocularem Sehen; sonst um so eher, je größer die absolute Entfernung ist. (Holtz, Göttinger Nachrichten. 1893. S. 500.)

Tabelle VIII.

	H.		A.		C.	
80 cm	120,2	22,1	127,1	34,0	228,0	19,5
160 cm	176,3	34,2	202,5	213,0	294,2	48,1

sie an sehr verschiedene Bilder für beide Augen gewöhnt, und andererseits, da sie nicht genau die Linien und Einzelheiten sehr entfernter Objecte unterscheiden, sind sie nicht so gewöhnt, das Erhabene, Körperliche weit entfernter Gegenstände mittels der secundären Kriterien¹⁾, nämlich mittels der perspectivischen Linien zu reconstruiren; sie sind also der Täuschung der Zöllner'schen Figur nicht so ausgesetzt.

Neigung der Querstriche. Als Zöllner seinen ersten Aufsatz veröffentlichte, waren in der von ihm gezeichneten Figur die Transversalen $22^{\circ} 30'$ zu den Längsstreifen geneigt, so dass die Transversalen mit einander einen Winkel von 45° bildeten. In seinem zweiten Artikel aber hat Zöllner bewiesen, dass diese Neigung nicht dem Maximum der Täuschung entspricht, sondern dass diese größer erscheint für eine Neigung von 30° . Ebenso ist für jede andere perspectivische Zeichnung die Neigung von 30° am günstigsten. So ist z. B. in der Treppenfigur (Fig. 7, S. 320) 30° die Größe des Winkels, welcher von der Querlinie $\alpha\beta$ und der bei normaler Lage der Treppe horizontalen Linie gebildet wird. Auf dieser horizontalen Linie würde die Querlinie $\alpha\beta$ als Punkt erscheinen, wenn die Treppe nicht, als von rechts oben gesehen, gezeichnet würde, sondern geradeaus gesehen, so dass die ganze Treppe im Profil als eine einzige gebrochene Linie erscheinen würde. Als dann würde jede senkrechte Ebene als eine senkrechte Linie, jede wagerechte Ebene aber als eine wagerechte Linie erscheinen.

Ebenso wird jede Ebene der Zöllner'schen Figur durch einen der Längsstreifen der Figur dargestellt werden, wenn diese Ebene

1) Nach der Bezeichnung von Wundt sind die Augenbewegungen und die Disparität der Bilder das primäre Kriterium des Reliefs der Körper, die perspectivischen Linien, Farben, Schatten sind secundäre Kriterien.

o ge dreht wird, dass sie in eine verticale Ebene zu liegen kommt und dem Auge im Profil als eine einzige Linie erscheint. Über die von einem derartigen Winkel (30°) am stärksten hervorgerufene Stereoskopie wird unten mehr die Rede sein.

Abstand der Zeichnungsebene vom Beobachter. Kundt¹⁾ hat beobachtet, dass die Täuschung verschwindet, 1) wenn das Zöllner'sche Modell diesseits eines gewissen Abstandes vom Beobachter sich befindet, und 2) wenn der Abstand zwischen dem Beobachter und dem Modell eine gewisse Größe überschreitet. »Dass das Maximum der Täuschungen nicht ganz in der Nähe, sondern in einiger Entfernung stattfindet, muss unerklärt bleiben«²⁾, meint Kundt.

Man wird aber diese Eigenthümlichkeit sehr leicht mit der oben erwähnten in Einklang bringen, wenn man sich nur erinnern will, dass sie für jede perspectivische Zeichnung beobachtet werden kann. Diesseits eines gewissen Abstandes ist es uns unmöglich, die gesamte Ansicht eines Gemäldes perspectivisch zu sehen; überschreitet der Abstand eine gewisse Größe, so verschwindet der Effect der Perspective. Man weiß, dass jede perspectivische Zeichnung in der Weise ausgeführt ist, dass sie von einem gewissen Abstände aus betrachtet werden soll. Außerhalb dieses Abstandes verschwindet mehr oder weniger der perspectivische Effect.

In einer letzten Serie von Experimenten haben wir untersucht, ob, wenn das Modell platt auf den Tisch gelegt wird, die Täuschung variirt, je nachdem die Querstreifen gegen den Beobachter convergiren oder divergiren. Den oben beschriebenen Rahmen benützten wir auch für diese neue Serie von Experimenten. Während wir die Achse mit den Stäben, welche die Hauptstreifen und die Querstriche der Zöllner'schen Figur darstellten, entfernt hatten wurden die beiden beschriebenen cubischen Schlitten beibehalten. Diese trugen jeder ein Stahlhäkchen, an welchem ein dicker schwarzer Faden in der Mitte von kleinen elastischen Fäden aus Gummi in der Weise befestigt war, dass er immer gespannt war, wenn der gegliederte Rahmen um seine beiden Befestigungspunkte

1) a. a. O. S. 1.

2) Pogg. Ann. CXX. S. 154.

auf dem festen Rahmen bewegt wurde. Wenn der Zeiger auf 0 stand, hatte der Faden eine zu den Seiten des festen Rahmens parallele Richtung. Wenn der bewegliche Rahmen sich drehte, bewegte sich auch der Faden in dem Maße, wie durch den Zeiger angegeben wurde. Der mit dem Faden versehene Rahmen wurde platt auf den Tisch gelegt, so dass er ein quadratförmiges Brettchen aus dünnem Holz von 24 cm Seitenlänge einfasste. Auf diesem Brettchen war ein schwarzer Faden gleich dem ersten gespannt; doch bewegte sich dieser feste Faden nicht auf dem Brettchen mit dem gegliederten Rahmen. Die beiden Fäden waren in einer Entfernung von 6 cm angebracht und zwar so, dass sie parallel waren bei der Rotation 0° des gegliederten Rahmens. Unter den beiden schwarzen Fäden glitt nun ein Blatt Papier, auf dem zwei Systeme kleiner paralleler Striche gezeichnet waren, in der Weise angeordnet, dass sie Querstriche zu den beiden schwarzen Fäden bildeten. Die beiden Systeme dieser Querstreifen waren convergent, so dass sie mit den beiden schwarzen Fäden das Modell von Zöllner darstellten.

Es folgen die Resultate, bei welchen jede Ziffer das Mittel von zwölf Beobachtungen ist.

Tabelle IX.

	H.		E.	
Convergenz	15,1	3,8	25,3	11,3
Divergenz	33,1	7,4	31,5	20,2

Die Täuschung wechselt demnach; sie steigert sich, wenn die Querstriche gegen den Beobachter divergiren.

§ 2. Richtungstäuschungen an parallelen Linien, welche durch convergirende Transversalen durchschnitten werden.

Wir haben nun das vorige Experiment variirt, indem wir die auf das Blatt Papier gezeichnete Figur auf verschiedene Weise veränderten. Anstatt die Querstriche parallel unter sich zu zeichnen,

ließen wir dieselben sich in Bündeln schneiden, wie es die Figuren 13, 14, 15 unten darstellen. Je nachdem der Knotenpunkt dieser Bündel innerhalb (Fig. 13) oder außerhalb der Parallelen (Fig. 14, 15) gelegen war, erhielten wir zwei verschiedene Figuren. Jede Figur wurde in zwei Lagen beobachtet, je nachdem die Knotenpunkte nahe (Fig. 13, 15) oder entfernt (Fig. 14) vom Beobachter gelegen sind.

Tabelle X.

Figur	Beobachter A.		Beobachter E.	
Fig. 13	1,1	12,1	30,3	22,1
Fig. 13	7,5	3,2	72,1	45,3
Fig. 14	31,9	10,0	12,1	35,2
Fig. 14	47,0	22,6	24,2	20,2

1) Für die Fig. 13 variiert die Täuschung wie in der vorhergehenden Tabelle, wo die Querstriche parallel sind. 2) Für die Fig. 14 variiert die Täuschung nicht in derselben Weise bei den beiden Beobachtern. Woher kommt es, dass in diesem Fall die Resultate

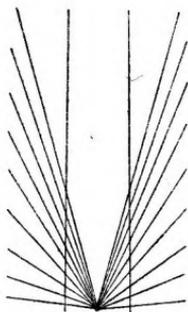


Fig. 13.

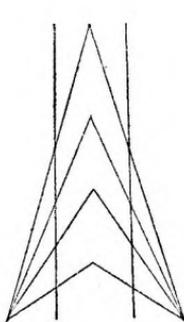


Fig. 14.

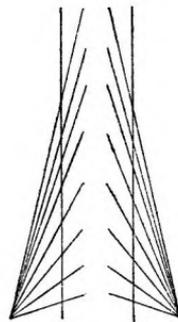


Fig. 15.

nicht für beide Beobachter übereinstimmen? Wir haben diese Frage durch Veränderung der Fig. 14 zu beantworten gesucht. Anstatt die Querstriche bis dahin fortzusetzen, wo die Linien des einen Bündels die des andern schneiden, haben wir sie nur gezeichnet bis

zu einer Entfernung von 2 cm von dem Faden, welchen sie durchschneiden (Fig. 15).

Hier die Beobachtungen, welche wir jetzt erhielten:

Tabelle XI.

	A.		C.		H.		E.	
Fig. 15	60,3	9,5	56,3	7,4	54,2	7,4	6,3	14,0
Fig. 15	62,6	15,2	57,1	11,2	127,3	8,3	60,1	9,7

Diese Zahlen befinden sich in Übereinstimmung mit denen auf den vorhergehenden Tabellen; d. h. die Täuschung ist größer, wenn die Bündel vom Beobachter entfernter sind. In den Tabellen, welche vorhergehen, ist die Täuschung stärker, wenn die Querstriche sich schneiden, und wenn sie gegen den Beobachter divergieren. Die Ursache dieser Thatsache kann nicht veranlasst werden durch die Convergenz, welche das Netzhautbild der Hauptstreifen nach den entfernteren Enden dieser Hauptstreifen hin zeigt, und zwar wegen der objectiv größeren Entfernung dieser Enden. Man erkennt leicht, dass diese Ursache den entgegengesetzten Erfolg haben würde. Denn sie wirkt in derselben Weise ein, wenn es sich handelt um Querstriche, die divergieren, als um solche, die convergieren gegen den Beobachter. In beiden Fällen würde diese Ursache die Netzhautbilder der beiden Hauptstreifen gegen den Beobachter hin divergieren lassen, was die Täuschung begünstigen würde im Fall gegen den Beobachter convergenter Querstriche und vermindern würde im Falle divergenter Querstriche. Aber genau das Entgegengesetzte findet statt, nämlich bei divergenten Querstrichen ist die Täuschung am stärksten. Es muss also eine andere stärkere Ursache geben, die im entgegengesetzten Sinne wirkt. Vermöge der Perspective stellen die gegen den Beobachter divergenten Querstriche eine Entfernung gegen den Horizont dar, und zwar nach der Richtung, nach welcher die Querstriche convergieren. Nun aber begünstigen in den von uns angestellten Versuchen die Umstände diese Vorstellung; denn in der Zeichnung haben die Hauptstreifen in Wirklichkeit ihr entferntestes Ende in

der Richtung, nach welcher die Querstreifen eine wachsende Entfernung darstellen. Umgekehrt haben im Falle gegen den Beobachter convergenter Querstriche die Hauptstreifen in Wirklichkeit ihr nächstes Ende in der Richtung des Beobachters. In diesem Falle muss also die Täuschung geringer werden. Es erübrigt noch ein Wort zu sagen über die Fig. 14 und 15.

In der Figur 14 schneidet jeder Querstrich des einen Bündels einen Querstrich des andern in der Weise, dass er mit demselben gegen den Beobachter convergirt. Aber weiter schneiden sich die Querstriche jedes Bündels unter sich im Knotenpunkte in der Weise, dass sie in Bezug auf den Beobachter divergiren. Wenn also dieser an erster Stelle die beiden Bündel sah, so folgte er den Querstreifen der beiden Hauptstreifen, beim Verlassen dieser beiden Bündel sah er sie convergiren gegen sich.

Wenn hingegen der Beobachter an erster Stelle irgend einen der Kreuzungspunkte der Querstriche sah, folgte er diesen bis zu ihren zwei Bündeln, und er sah so die Querstriche divergiren gegen sich. Je nach der Richtung, in welcher er die Figur durchlief, hatten also die Querstriche einen anderen Einfluss auf die Täuschung. Daher die nicht übereinstimmenden Resultate der verschiedenen Beobachter.

In der Figur 15 hingegen war diese Zweideutigkeit nicht mehr möglich. Das Auge durchlief die Hauptstreifen, wurde viel mehr angezogen durch das freie Ende der Querstriche und durch den zwischenliegenden leeren Raum, und das hatte eine Gleichförmigkeit in den Resultaten zur Folge.

In der Lage der Fig. 15 z. B. stellten die gegen den Horizont convergenten Querstriche eine Entfernung in dieser Richtung dar, und da die Fig. sich in Wirklichkeit nach dieser Richtung hin entfernte, so wurde die Täuschung entsprechend den Resultaten vergrößert, die jene uns bot. Beachten wir, dass die Fig. 13 die Hälfte einer sogenannten »Hering'schen« Figur ist, so wird man leicht sehen, dass die Täuschung in der Figur von Hering derselben Natur ist, wie in der von Zöllner. Dasselbe gilt für die Figur 14, die die Hälfte einer Wundt'schen Figur ist, von der wir unten sprechen werden.

§ 3. Richtungstäuschungen an den Transversalen selbst (Poggendorff's Figur.)

Poggendorff hat beobachtet, dass, wenn die Längsstreifen der Zöllner'schen Figur etwas breit sind, wie in der Figur 1 (S. 8), die Transversalen eine scheinbare Abweichung zeigen, indem die beiden Stücke jeder Transversalen zu beiden Seiten eines Längsstreifens nicht mehr zu einander gehörige Verlängerungen zu sein scheinen. Die Punkte, in denen jedes Stück den Längsstreifen berührt, scheinen längs des Striches verschoben zu sein, so aber, dass beide Stücke zu einander parallel zu bleiben scheinen. Nicht das Stück *b* (Fig. 16), sondern *c* scheint also die Verlängerung von *a* zu sein. Diese Täuschung haben wir quantitativ festzustellen gesucht. Für diese Bestimmung bedienten wir uns der anfangs beschriebenen Einrichtung: In den großen Holzrahmen brachten wir eine Zeichnung auf Papier, welche zwei gerade Parallelen von 20 cm Länge darstellte, die 2 cm von einander entfernt waren; auf derselben Zeichnung war ein gerader Querstreifen gezogen, welcher in einer der Parallelen endigte und mit derselben einen Winkel von 30° bildete, längs der anderen Parallelen ließ man einen Papierstreifen hin und her gleiten, welcher einen Querstreifen trug, parallel zu dem ersten. Wenn man nun den Papierstreifen bis dahin gleiten lässt, wo sich, wie der Beobachter glaubt, der Querstreifen auf dem beweglichen Papier in der Verlängerung des festen Querstreifens befindet, so wird man stets finden, dass der bewegliche Querstreifen nicht mit der Geraden zusammenfällt, die in Wirklichkeit die Verlängerung des Querstreifens ist, und die Größe der Täuschung wird durch den Abstand der wirklichen von der scheinbaren Verlängerung gemessen werden können. Um diese Distanz aus dem Abstände der beiden Verlängerungen auf den Parallelen zu berechnen, genügt es, durch den Sinus des Winkels zu dividiren. Da hier der Winkel 30° beträgt, so hat man einfach jenen Abstand mit 2 zu multipliciren. Umgekehrt erhält man aus dem abgeschnittenen Stück auf den Parallelen die senkrechte Distanz, indem man durch 2 dividirt. Wir haben der Einfachheit wegen letzteres vorgezogen, da

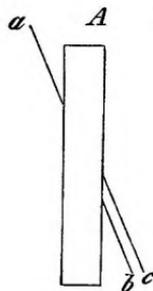


Fig. 16.

ja in der Richtung der Parallelen der Querstreifen sich bewegt und die Täuschung in dieser Form an dem Apparate gemessen werden kann.

Erste Gruppe. Wir benützten nach einander verschiedene Streifen und Zeichnungen, indem wir die Länge der Querstreifen von 2,5 bis 7,5 cm variiren ließen; weiter wurden die Experimente wiederholt, indem wir den Parallelen Entfernungen von 2, 4, 6, 8 cm gaben.

Im Folgenden ist jede Ziffer das Mittel aus 12 Beobachtungen. In einer ersten Columne ist der Abstand der Parallelen in cm angegeben, in den andern die Größe der Täuschung in mm. Am Kopf jeder Columne steht die Länge der Querstreifen in cm. Die Zeichnungen befanden sich platt auf dem Tisch, und die Parallelen hatten eine Richtung, welche vom Beobachter nach dem ihm gegenüberliegenden Horizonte ging. Von den zwei Längen, welche durch eine Parenthese verbunden sind, gilt die erste für die vom Beobachter am weitesten entfernten Transversalen.

Tabelle XII.

Beobachter E.

	{ 2,5 2,5		{ 2,5 7,5		{ 7,5 7,5	
2	11,5	1,5	8,6	1,4	10,3	1,4
4	28,3	3,2	20,0	2,1	23,7	2,9
6	33,2	6,4	19,2	3,2	38,2	5,2
8	35,7	5,7	28,0	5,6	42,0	7,4

Ergebnisse: 1) Die Täuschung wächst mit dem Abstand der Parallelen. 2) Die Täuschung erreicht ein Maximum, wenn die beiden Querstreifen gleich sind. 3) Für den Abstand 2 und 4 cm wird das Maximum erreicht, wenn die Querstreifen 2,5 cm messen, hingegen für den Abstand 6,8 cm findet sich das Maximum bei einer Länge derselben von 7,5 cm.

Tabelle XIII.

Beobachter A.

	{ 2,5 7,5		{ 7,5 7,5		{ 7,5 2,5	
6	32,5	2,5	34,2	4,2	22,5	2,2

Diese Tabelle bestätigt die Ergebnisse der vorhergehenden; weiter sieht man daraus, dass die Täuschung geringer ist für $\left\{ \begin{matrix} 7,5 \\ 2,5 \end{matrix} \right.$ als für $\left\{ \begin{matrix} 2,5 \\ 7,5 \end{matrix} \right.$, d. h. wenn der entferntere Querstreifen länger ist als der nähere.

In einer andern Folge von Versuchen blieb die untere Transversale constant und zwar gleich 2,5 mm.

Tabelle XIV.

Beobachter A.

	{ 5,0 2,5		{ 2,5 2,5		{ 7,5 2,5	
4	14,5	1,7	30,7	2,7	25,4	1,9

Die Täuschung sinkt also auf ein Minimum bei einer Größe der Transversalen von 50 mm und nicht, wie man annehmen könnte, bei einer Größe von 75 mm.

Zweite Gruppe. Wir werden jetzt die Lage variiren lassen, welche die Parallelen in Bezug auf den Beobachter einnehmen; deswegen lassen wir die Figur sich drehen in der Ebene des Tisches. Wir geben in Graden diese Rotation an; 0° entspricht der Lage, welche die Figur in den vorhergehenden Versuchen einnahm. 30° entspricht einer Lage, in welcher die Transversalen gegen den Horizont gegenüber dem Beobachter gerichtet sind, d. h. einer Lage, in welcher die Transversalen dieselbe Richtung haben wie die Parallelen in den vorhergehenden Versuchen. 90° entspricht einer Parallelen, die parallel zur Verbindungslinie der Augencentren gezogen ist. Wir haben für diese Experimente eine constante Länge von 50 mm für die beiden Transversalen angenommen.

Kegelmantel beschreibt. Der Gesichtswinkel, unter dem der Winkel hEe gesehen wird, erreicht ein Maximum, wenn die Linie Ee in die Zeichnungsebene fällt; sobald die Linie Ee die Zeichnungsebene verlässt, indem das Dreieck heE sich auf den Beobachter zu oder vom Beobachter weg bewegt, wird dieser Gesichtswinkel sich fortgesetzt verkleinern und gleich 0 werden, sobald die Linie eE mit dem Dreieck heE in eine Ebene zu liegen kommt, die senkrecht zur Zeichnungsebene liegt. Obgleich nun aber dieser Gesichtswinkel abnimmt, halten wir doch den Winkel selbst nicht für verkleinert, sondern wir wissen, dass z. B. eine Lage der Linie eE in eE'' (vor der Zeichnungsebene) oder in eE' (hinter der Zeichnungsebene) immer dem wirklichen Winkel hEe entspricht, und wir schätzen in Folge dessen den Winkel hEe'' wie auch den Winkel hEe' immer entsprechend groß. In gleicher Weise verhält es sich mit dem untern Dreieck $v'NR$ und mit der Linie RN . Beide Stücke der Transversalen scheinen nun in derselben Weise die Zeichnungsebene zu durchbohren; wir werden also diese Winkel, die sie mit den Parallelen bilden, aus den oben angeführten Gründen überschätzen. Wir schätzen den Winkel nicht nach seinem Gesichtswinkel, sondern in der Größe, welche er haben würde, wenn der eine Schenkel, nämlich das Stück der Transversalen, in die Zeichnungsebene zu liegen käme. Und das entspricht geometrisch einer Drehung, welche wir in Gedanken so lange vollziehen, bis die Figur in der zur Grundlinie parallelen Ebene liegt. Dadurch werden auch die spitzen Winkel vergrößert und die stumpfen Winkel verkleinert. Wenn bestimmte Theile einer Figur die Zeichnungsebene zu verlassen scheinen, erfahren auch diese Theile Veränderungen, welche einer solchen Drehung entsprechen.

Man denke sich in Figur 17 zwei senkrecht liegende parallele Linien, die wie das Rechteck $aac'c'$ eine zur Grundlinie parallele Ebene darstellen. Diese Ebene wird also in der Papierebene erscheinen. Dagegen eine Linie eE' , deren oberes Ende vom Beobachter entfernter erscheint, entspricht auf der Papierebene einer Richtung eE und wird von uns als solche geschätzt; denn wäre E' wirklich in der Entfernung, dann wäre eE der objective Winkel zwischen dieser Linie eE' und der Verticalen. Dass die Enden der Transversalen nicht in der Ebene der beiden Linien erscheinen,

wurde experimentell von Hering bestätigt, indem er die auf der Rückseite einer nicht polirten Glasplatte gezeichnete Figur monocular betrachtete. »So sehe ich«, schreibt er, »in überraschender Weise ein körperhaftes Bild: der dicke Strich (er hatte die Fläche zwischen den Parallelen mit Tinte ausgefüllt, so dass ein rechteckiger dicker Strich entstand) liegt in der Glasebene, das obere Ende des Querstrichs dahinter und das untere davor, oder beide vorn oder beide hinten, was hier alles gleichwerthig ist und theils von Neben Umständen, theils von meiner Willkür abhängt¹⁾.«

Dasselbe kann man an zwei etwas breiten Stäbchen, z. B. zwei Bleistiften, beobachten. Da die zwei vertical liegenden Parallelen in der Ebene der Zeichnung liegen, so wird von uns dieser Theil unmittelbar nach dem Gesichtswinkel geschätzt, während die Theile, die außerhalb dieser zwei Linien liegen, außerdem nach ihrer vorgestellten Entfernung geschätzt werden. Daher kommt es, dass die Richtung einer solchen Querlinie, deren mittlerer Theil nicht gezeichnet wird, an den beiden gezeichneten Theilen eine solche Richtungsveränderung zu erfahren scheint, dass diese beiden Theile um die Punkte, in denen sie die Ebene erreichen, eine Drehung in dem Sinne einer Vergrößerung des spitzen Winkels erfahren. Dass die scheinbare Drehung des oberen und des unteren Theiles um diese zwei Punkte sich vollzieht, hat zur Folge, dass die Täuschung proportional sein muss der Distanz, welche zwischen den zwei parallelen Linien liegt.

Neigung der Figur in der Zeichnungsebene. Solche durch die Gewöhnung eingewurzelte Associationen machen sich auch noch in anderer Beziehung bei der Erscheinung geltend. So beruht es auf einer bekannten Association von Bildern, welche bewirkt, dass die Parallelen, welche die Transversalen unterbrechen, mit dem Eindrucke verknüpft werden, als bildeten sie eine Figur, die vor einer andern gelegen ist und einen Theil davon unsichtbar macht. Sully citirt nach Helmholtz²⁾ mehrere derartige Beispiele. Eine andere Association ist die, welche bewirkt, dass schräge Linien den

1) Hering, Von der einäugigen Stereoskopie. Beiträge 1861. S. 71. Diese verschiedenen Auffassungen hängen von Augenbewegungen ab. Wir werden sehen, dass die erste Auffassung den meisten Fällen entspricht.

2) Sully op. cit. pag. 58 Fig. 4 und 2.

Eindruck hervorrufen, als seien sie Gerade, die sich entfernen. Einen interessanten Umstand erfahren wir durch Wundt. Er weist nämlich darauf hin, dass die Täuschung, wenn auch viel schwächer, fortbesteht, wenn die Parallelen verschwinden (Fig. 18). Das von uns Gesagte lässt sich in gleicher Weise auch auf diesen Fall anwenden. Denn wenn mit den schrägen Linien durch Association der Eindruck einer Entfernung verbunden ist, so werden die Stücke NN' , EE' (Fig. 17), von denen das eine in der Verlängerung des andern liegt, um die Punkte N und E Rotationen erleiden, welche die betreffenden Stücke gemäß dem von uns Gesagten (übertrieben dargestellt) in EE'' und NN'' erscheinen lassen. Eine Erklärung, welche sich darauf beschränken würde, die Uberschätzung der spitzen Winkel als Grund der Täuschung anzuführen, würde über die Figur nicht Rechenschaft geben, da es in dieser Figur keine spitzen Winkel gibt. Querlinien entsprechen gewöhnlich Linien, die nach dem Horizont zu sich entfernen. Diese Querlinien werden also auch auf Grund von Associationswirkungen unter diesem Gesichtspunkte gesehen. Versuche von Hering bestätigen dies. Wenn man die auf Glasplatten gezeichneten oder aus seidenen Drähten resp. dünnen Metallstäbchen zusammengesetzten Kreuze betrachtet, so sieht man den horizontalen und den verticalen Theil in der Ebene bleiben, während die schiefen Arme aus der Ebene herausgehen¹⁾.

Daraus erklärt sich, dass in unseren Versuchen, wenn die transversale Linie in der Zeichnungsebene um 30° resp. 120° gedreht wird, keine Täuschung mehr zu beobachten ist; denn in diesem Falle liegt die Transversale senkrecht resp. wagerecht. Die stereoskopische Ansicht erreicht dagegen ein Maximum, wenn die eine Linie senkrecht oder wagerecht, und die andere um 30° geneigt ist²⁾.

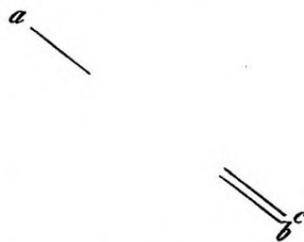


Fig. 18.

1) Hering's Physiol. Optik S. 580. Hermann's Handb. d. Physiol. 1879. Bd. III, 1. S. 579. Fig. 61.

2) Vergl. das oben Gesagte über die Neigung der Transversalen in der Zöllner'schen Figur, ebenso die späteren Ausführungen (Cap. II) über die Neigung der Schenkel in den Müller-Lyer'schen Figuren.

Hering beobachtete z. B., dass die Stereoskopie der Ansicht geringer wird, wenn beide Linien geneigt sind. Dass die Täuschung proportional der stereoskopischen Ansicht ab- und zunimmt, geht aus unsern Untersuchungen hervor. Wenn die Parallelen, wie in den vorhergehenden Versuchen, eine Rotation um 30° oder 120° erleiden, so vermindert sich die Association, welche uns diese Linien in einer vom Beobachter gleichweit entfernten Ebene sehen lässt; denn nun liegen die Parallelen schräg im Verhältniss zu der transversalen Linie, welche bei 30° vertical, bei 120° horizontal geworden ist, und wir haben gesehen, dass mit schrägen Linien der Eindruck verknüpft ist, als seien ihre Enden in ungleicher Entfernung vom Beobachter.

Größe der Schenkel der Transversalen. In den Versuchen von Recklinghausen und Hering wird die stereoskopische Ansicht noch schärfer sichtbar, wenn das Auge sich auf den Ort heftet, wo die Geraden sich schneiden, ebenso in dem oben citirten Versuche, welchen Helmholtz an der Zöllner'schen Figur anstellte. Die Täuschung wurde erzeugt, wenn das Auge sich auf die Achse heftete, welche Hauptstreifen schnitt. Aus demselben Grunde, wie in den Versuchen von Helmholtz, vergrößert sich die Täuschung, welche die senkrechten Distanzen überschätzen lässt, wenn man in der Mitte der senkrechten Distanz eine horizontale Linie in Kreuzesform anbringt (Wundt). Wenn nun aber eines der Stücke kurz (2,5 cm) und das andere sehr lang (7,5 cm) ist, werden die Augen nicht die mittlere Lage innehalten, welche den Punkten entspricht, in denen die Parallelen die Transversalen schneiden, vielmehr werden sie die ganze Transversale durchlaufen, und dies erklärt, dass dieser Fall einem Minimum der Täuschung entspricht. Bringt man in der Richtung der Transversalen zwei Gegenstände an, welche man fixirt, z. B. die zwei Zeigefinger, so verschwindet die Täuschung fast ganz, wenn man sich bestrebt, die Transversale zu durchlaufen und dabei zuerst den Finger zu fixiren, von welchem man ausgeht, und dann denjenigen, bei welchem man ankommt. Ebenso haben wir gesehen, dass die Täuschung der Zöllner'schen Figur bedeutend abnimmt, wenn man dieselbe in der Richtung der Hauptstreifen durchläuft. Verlängert man die Transversalen (Fig. 19), so kann man die vom Scheitel-

punkte entfernteren Theile derselben besonders fixiren. In der Nähe der schwarzen Linie erscheint dann die Transversale so eingebogen, wie wir etwas übertrieben in Fig. 19 *B* gezeichnet haben; während zugleich, wie Helmholtz fand, die vom Scheitelpunkte entfernteren Enden der transversalen Linie ganz richtig als Verlängerungen von einander erscheinen, so dass nur durch jene Einbiegungen in der Nähe der sie schneidenden starken Linie der Schein entsteht, als träfen sie nicht aufeinander¹⁾. Es ist zu vermuthen, dass schon die Griechen sich hiervon Rechenschaft gegeben haben, indem sie an der Stirnseite der Tempel die schrägen Kanten (Geisa) des Giebels gegen ihre unteren Enden hin abflachten²⁾, so dass durch diese objective Krümmung die beiden schrägen Geisa in ihrer ganzen Ausdehnung als genau gerade erscheinen³⁾.

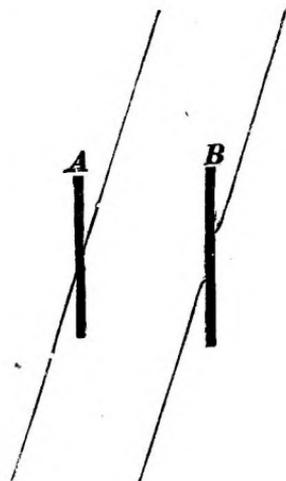


Fig. 19.

Größe des obern und untern Theiles der Transversalen. Falls die Stücke der Transversalen ungleich sind und zwar 7,5 cm und 2,5 cm, so haben wir gesehen, dass die Täuschung ein wenig stärker ist, wenn das kleinere Stück sich oben an der Figur befindet. (Tab. XIII.)

Der gewöhnlichen Perspective gemäß verknüpft sich der Eindruck der Entfernung leichter mit dem Ende, welches gegen die Höhe der Figur gerichtet ist, und dies wird leichter sein, wenn dieser Theil eine geringere Größe hat. Wir werden später auf die Thatsache zurückkommen, dass die obere Hälfte des Sehfeldes gewöhnlich entfernteren Gegenständen entspricht. Wir haben außerdem gesehen, dass diese Ansicht von Hering stereoskopisch beobachtet wurde, und nicht die umgekehrte, in welcher der untere Theil hinter die Zeichnungsebene zurück und der obere Theil vor

1) Phys. Opt. I. S. 564.

2) Vergl. Hoffer, Förster's Bauzeitung, 1838 S. 388.

3) Wir sprechen hier bloß von der Krümmung der schrägen Kanten; von der Krümmung der horizontalen Kante an demselben Giebeldreiecke werden wir später eine andere Erklärung kennen lernen.

dieselbe herausgetreten wäre. Die Zöllner'sche Täuschung findet gleichwohl das eine wie das andere Mal statt.

Verhältniss der Größe der Transversalen zur Distanz der Parallelen. Wenn die Stücke gleich sind, hängt das Maximum der Täuschung von dem Abstände der Parallelen ab. Bei einem Abstände von zwei oder vier cm findet das Maximum für eine Größe der Stücke von 2,5 cm statt, während bei einem Abstände von 6 oder 8 cm das Maximum eintritt für Stücke von 7,5 cm. Da in unsern Versuchen die Parallelen constant gleich 20 cm bleiben, so wird man bemerken, dass, wenn der Abstand der Parallelen von einander 2 cm beträgt, zwischen dem Ende der einen Parallelen und dem Punkte, wo die Transversale diese Parallele erreicht, eine Distanz von 8 cm liegt (genau 8,268 cm). Wenn hingegen der Abstand 8 cm beträgt, so liegt zwischen dem Endpunkte der Parallelen und dem Punkte, wo diese von der Transversalen erreicht wird, nur eine Distanz von 3 cm (genau 3,017 cm). Man sieht thatsächlich, dass die Täuschung ihr Minimum erreicht, wenn die Stücke der Transversalen dieselbe Größe haben wie die Distanz zwischen dem oberen Ende der Parallelen und dem Punkte, wo sie von der Transversalen getroffen werden. Die Ursache davon ist verwandt mit derjenigen, welche wir soeben betrachtet haben. Wenn das Stück der Transversalen von derselben Größe ist wie der Theil der Parallelen, so heftet sich das Augenmerk auf den Vereinigungspunkt der Parallelen und der Transversalen¹⁾.

Lipps hat in Zweifel gezogen, dass die spitzen Winkel größer und die stumpfen Winkel kleiner gesehen würden, als sie in Wirk-

1) Eine letzte Bemerkung über die mittlere Variation sei hier noch beigefügt. Wir haben gesehen, dass die Täuschung wächst im Verhältniss zum Abstände der Parallelen; wir haben ebenso gesehen, dass die Täuschung ein Maximum war für eine Größe der Stücke der Transversalen, die gleichkam dem abgeschnittenen Stücke der Parallelen; man sieht in gleicher Weise (Tab. XIII), dass in diesen Fällen die mittlere Variation in ähnlicher Weise wie die Täuschung selbst wächst. Diese Resultate scheinen anzudeuten, dass die Täuschung in Bezug auf ihre Elemente das Weber'sche Gesetz befolgt. Aber die Constanten in unseren Experimenten müssten noch weiter verändert werden, um die Untersuchungen nach dieser Richtung hin fortzusetzen; über 8 cm Abstand hinaus würde die Transversale die Parallelen nicht mehr erreichen. Diese Frage ist übrigens zu umfangreich, um in unserer Arbeit erschöpfend behandelt zu werden.

lichkeit sind, weil er zwei Ausnahmen gefunden zu haben glaubte¹⁾. Hering machte nämlich darauf aufmerksam, dass ein in einen Kreis eingeschriebenes Quadrat in Beziehung auf das Centrum ein wenig convex erscheint, und dass der umschriebene Kreis an den Winkeln des Quadrates eine Abplattung zeigt (Fig. 20). Wundt hat nun bemerkt, dass diese Pseudoskopie sich durch die Ueberschätzung der spitzen Winkel erklärt, welche durch die an jeder Ecke des Quadrates sich schneidenden Bogen und Sehnen gebildet werden. Lipps hält dem eine Figur entgegen, in welcher man

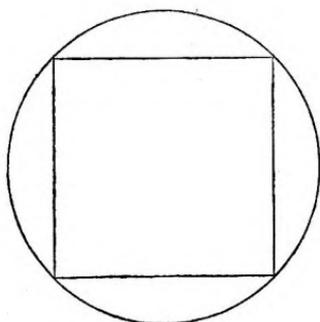


Fig. 20.

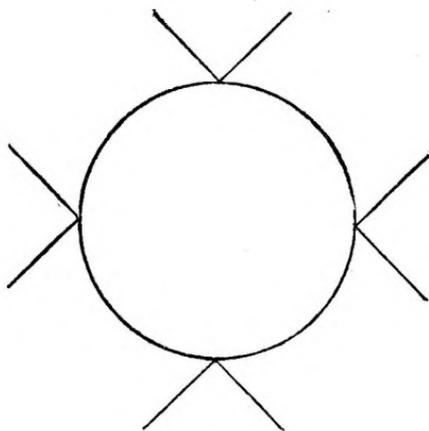


Fig. 21.

dieselbe Abplattung bemerkt, wo indessen nach Lipps die Erklärung von Wundt nicht anwendbar sein würde (Fig. 21). Jeder der vier Bogen, sagt Lipps, bildet mit der anliegenden Graden einen spitzen Winkel. Wenn nun die Erklärung von Wundt richtig wäre, so würde in Folge der Ueberschätzung dieses spitzen Winkels der Kreis an dem Berührungspunkte nicht abgeplattet erscheinen, sondern die Krümmung würde im Gegentheil daselbst stärker zu sein scheinen. Die Schlussfolgerung von Lipps lässt indessen die Thatsache außer Acht, dass das Auge naturgemäß, um z. B. den links oben gelegenen Viertelskreis zu durchlaufen, nicht den Weg von der oben links gelegenen Schrägen zu der am unteren Ende des Bogens links oben gelegenen einschlägt, sondern vielmehr bei ungezwungener Bewegung die Richtung von der oben rechts gelegenen Schrägen zur links unten

1) Lipps, Aesthetische Factoren der Raumschauung, S. 52 ff.

gelegenen nimmt. Es wird folglich der Bogen in Beziehung auf diejenigen beiden Geraden gesehen werden, mit welchen er stumpfe Winkel bildet, und der Bogen wird daher wegen der Unterschätzung der stumpfen Winkel abgeplattet erscheinen. Um sich zu überzeugen, dass dem wirklich so ist, genügt es, die Figur so zu bedecken, dass man nicht mehr als einen einzigen Bogen mit zwei anstoßenden Schrägen sieht: eine Art bildlicher Darstellung des Buchstabens K, wenn dessen senkrechter Strich gekrümmt wird. Man sieht alsdann, da das Auge nicht mehr die ganze Figur zu durchlaufen hat, dass jedes Bogenstück, vom Scheitelpunkt an gerechnet, nur durch die benachbarte Gerade beeinflusst wird; der Einfluss der spitzen Winkel zeigt sich dann, und die Krümmung des Kreises scheint nun bedeutend stärker zu sein an dem Scheitelpunkte, genau entsprechend der Erklärung von Wundt¹⁾.

Wir werden sogleich sehen, dass dieselbe Grundursache die zweite Thatsache erklärt, welche von Lipps gegen Wundt ins Feld geführt wurde. Wenn man nach Lipps an den zwei Winkeln eines seitlich offenen Rechtecks symmetrisch zwei gleiche schräge Linien zeichnet, an dem Endpunkte der einen eine verlängerte Horizontale und an dem Ende der andern ein gleichfalls offenes sehr niedriges Rechteck anbringt (Fig. 22), so wird die an dem letzteren endigende Schräge länger und steiler erscheinen. Indem nämlich die Verticale zugleich Fixationslinie ist, also nothwendigerweise vorher von dem Blick durchlaufen wird, der von einer Schrägen

1) Diese Täuschung ist sehr intensiv bei der Construction einer Brücke: wenn die Straße, welche über die Brücke führt, horizontal ist, wird sie eine leichte gegen den Himmel concave Krümmung zu haben scheinen, sie wird sich also zu senken scheinen in der Höhe des Brückenbogens. Bei einigen alten Brücken haben die Ingenieure unterlassen, dieser Täuschung dadurch abzuhelfen, dass sie auf der Mitte der Brücke das Niveau derselben erhöhten; diese Brücken scheinen sich in Folge dessen zu senken. Ebenso erscheinen die wagerechten Reihen der Mauersteine, wenn sie von einem Bogen tangirt werden, gekrümmt und an ihren Endpunkten gegen den Himmel erhöht. In der Markthalle zu Leipzig wird diese Täuschung noch dadurch verstärkt, dass diese Enden die Seiten eines triangulären Giebels berühren. Aehnliche, doch kleinere Krümmungen bemerkt man auch an Brücken, wo überhaupt keine spitzen Winkel vorhanden sind. Die Ueberschätzung der spitzen Winkel ist also nicht die einzige Ursache, welche diese Täuschung veranlasst. Wir werden sehen, wie diese scheinbaren Krümmungen von einer anderen Täuschungsursache hervorgerufen werden (Cap. III'

zur anderen geht, so wird der Blick von ihr aus vorzugsweise auf die obere Schräge hingelenkt, da das kleinere Rechteck hier die Horizontale stärker hervorhebt. Die obere Schräge wird daher in ihrer Richtung weniger von der Verticalen abweichen als die untere, und die untere Ecke wird demnach, wie Lipps bemerkt hat, weiter nach rechts heraustreten als die obere.

Man kann in den folgenden von Wundt herrührenden Figuren ein überaus treffendes Beispiel derselben Art sehen. Man denke sich zwei gleiche Figuren 23 und 24, in welchen die Bruchstücke der Linien ab in der Verlängerung von einander liegen. Diese Linien ab sind in gleicher Weise geneigt. Die imaginären Horizontalen, welche durch die Endpunkte der senkrechten Striche gehen, sind in Figur 24 ebenso weit entfernt wie die wirklichen Horizontalen in Figur 23.

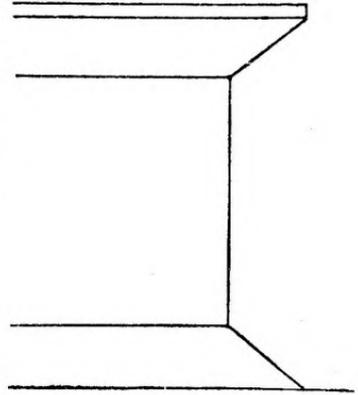


Fig. 22.

Aber in Figur 23 erscheint b nach rechts, in Figur 24 nach links

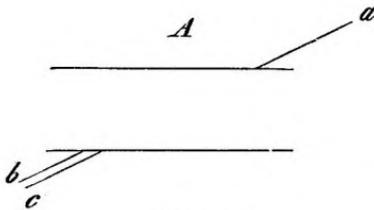


Fig. 23.

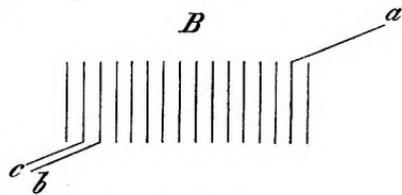


Fig. 24.

verschoben, weil in dem ersteren Falle a und b als Linien gesehen werden, die spitze Winkel mit den wirklich vorhandenen Horizontalen bilden, während in dem zweiten Falle die imaginären Horizontalen nicht den Blick fesseln und die Linien a und b infolgedessen als Linien gesehen werden, die stumpfe Winkel mit den senkrechten Strichen bilden. Wenn der Endpunkt von a und b mit dem Endpunkt eines senkrechten Striches sich nicht deckt, so wird

die Täuschung geringer, was mit der gegebenen Erklärung übereinstimmt, weil in diesem Falle die Beziehung des senkrechten Striches zu der Linie ab weniger direct ist.

Wir werden unten weiter prüfen, wie die Verticale des kleinen Rechtecks und die Verlängerung der untern Horizontalen zu der Täuschung in der Figur von Lipps (Fig. 22) beitragen. Einstweilen sei bemerkt, dass die Täuschung fast vollständig verschwindet, wenn man die Figur in der Weise bedeckt, dass die Verticale des großen Rechtecks und deren Schnittpunkt mit den schrägen Linien unsichtbar werden, was direct zu Gunsten der von uns geäußerten Meinung spricht.
