

# Quantitative Untersuchungen über die ZÖLLNERSche und die LOEBSche Täuschung.

Von

G. HEYMANS  
in Groningen.

(Mit 18 Figuren im Text.)

Die Untersuchungen, über welche im Nachfolgenden berichtet werden soll, hatten ursprünglich nur den Zweck, durch möglichst exakte und vollständige Herbeischaffung quantitativen Materials eine Erklärung der ZÖLLNERSchen Täuschung entweder zu erreichen oder doch vorzubereiten. Erst als ich im Laufe der Untersuchung auf die Verwandtschaft der LOEBSchen mit der ZÖLLNERSchen Täuschung aufmerksam wurde, erschien es notwendig, jene in den Kreis der Experimente mit hinein zu ziehen.

Der Apparat, den ich bei der Mehrzahl meiner auf die ZÖLLNERSche Täuschung sich beziehenden Versuche verwendete, ist folgenderweise eingerichtet (Fig. 1). Ein quadratisches, nur links oben schief abgeschnittenes Holzbrett von  $50 \times 50$  cm.  $A B C D E$  trägt an der Rückseite einen Metallstreifen  $G H$ , der um einen Punkt  $J$  drehbar ist. Die (in der Figur allein sichtbaren) beiden Enden des Streifens sind rechtwinklig nach oben umgebogen; das eine ragt links oben, das andere durch einen schmalen Ausschnitt  $K L$  über das Brett hervor; beide sind durch einen nahe an der Oberfläche des Brettes gespannten Gummifaden  $G H$  mit einander verbunden. Wird also der Metallstreifen um seinen Befestigungspunkt  $J$  gedreht (wozu derselbe bei  $H$  mit einem gezahnten Metallstück verbunden ist, auf welches der Knopf  $M$  mittelst eines Zahnrades wirkt), so

führt der Gummifaden eine gleiche Drehung aus, deren Gröfse man auf einer in mm eingeteilten Metallplatte *N* ablesen kann. Deckt sich der Gummifaden mit dem Nullpunkte der Einteilung, so ist seine Richtung mit derjenigen zweier anderer Gummifäden *OP* und *QR*, welche in verschiedener Entfernung (2, 2.5, 3 und 3.5 cm) von dem mittleren Faden unbeweglich

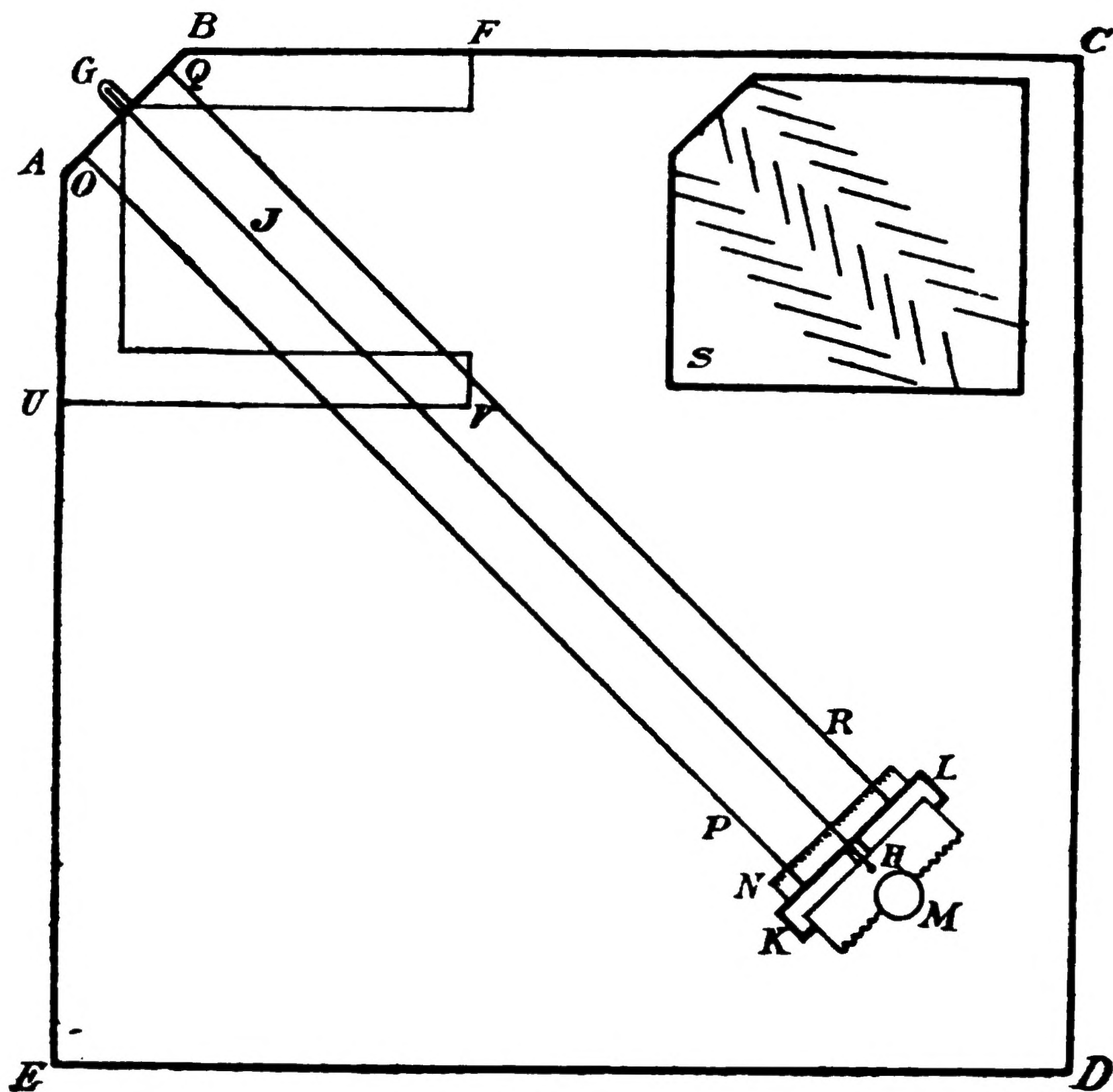


Fig. 1.

ausgespannt werden können, genau parallel. Die linksoberen Teile dieser drei Fäden vertreten die Hauptlinien einer ZÖLLNER'schen Figur; die Querstriche zu dieser Figur sind in verschiedenen Gröfßen, Richtungen und Entfernungen auf weissen Kartonblättern *S* gezeichnet, welche in einen dünnen auf das Brett befestigten Metallrahmen *FBAUV* unter die Hauptlinien hineingeschoben werden. Ist ein Blatt eingeschoben, so sieht man also eine aus drei Hauptlinien und zugehörigen



Querstrichen bestehende ZÖLLNERSche Figur, in welcher die seitlichen Hauptlinien einen festen Stand haben, die mittlere aber um einen der Mitte der Figur entsprechenden Punkt gedreht werden kann. Während der Versuche wurden diejenigen Teile der Fäden, welche außerhalb der Figur liegen, durch einen Deckel aus schwarzem Karton für die Versuchsperson unsichtbar gemacht. — In Vergleich mit den von ZÖLLNER selbst und von THIÉRY verwendeten Apparaten hat der eben beschriebene den Vorzug, daß die die Täuschung bedingenden Querstrichsysteme sich in beliebiger Anzahl und Verschiedenheit herstellen und während der Versuche schnell und bequem wechseln lassen. Die Verwendung von gespannten Gummifäden für die Hauptlinien sichert die bleibende Geradlinigkeit derselben; die beträchtliche Länge dieser Fäden (40 cm von *J* bis zur Einteilung) gestattet, indem die abzulesenden Täuschungsbeträge sich entsprechend vergrößern, eine sonst nicht erreichbare Genauigkeit der Messung.

Die Versuche wurden nun so eingerichtet, daß, nachdem ein bestimmtes Kartonblatt eingeschoben war, der mittlere Faden zuerst nach der einen, sodann nach der anderen Seite möglichst weit aus der Mittelstellung entfernt wurde und die Versuchsperson jedesmal durch Drehung des Knopfes *M* die Parallelität der drei Fäden wiederherzustellen suchte. Die Abweichung wurde in mm, senkrecht zur Normallage der Fäden, abgelesen; der so erhaltene Betrag, durch die konstante Entfernung des Drehpunktes zum Mittelpunkt der Einteilung dividiert, ergab dann die Tangente des Drehungswinkels, aus welcher dieser Winkel selbst ohne weiteres ermittelt werden konnte. — Im übrigen war die Anordnung der Versuche derjenigen der früheren, auf die MÜLLER-LYERSche Täuschung sich beziehenden (*diese Zeitschrift* IX. S. 221—255) vollkommen analog. Die Versuche zerfielen, ähnlich wie dort, in Gruppen; die einer Gruppe angehörigen Figuren wurden sämtlich den nämlichen Personen vorgelegt; und es wurden zur Ermittlung gesetzlicher Verhältnisse nur die Versuchsergebnisse aus Einer Gruppe miteinander verglichen. Die Anzahl der innerhalb jeder Gruppe an den Versuchen sich beteiligenden Personen ist infolge der schwierigeren Transportabilität des Apparates etwas geringer als damals (15 bis 22); dagegen wurden jetzt, wie oben bemerkt, von jeder Versuchsperson zu jeder Figur zwei

Entscheidungen abgegeben. Die Gesamtzahl der mit diesem Apparate gewonnenen und in der vorliegenden Untersuchung verarbeiteten Einzelentscheidungen beträgt 1818. Es wurden keine Versuchsreihen gestrichen. Die Mittelzahlen und die wahrscheinlichen Fehler derselben wurden in gleicher Weise wie früher berechnet.



Fig. 2.

Schließlich noch ein Wort zur Terminologie. Ich verstehe unter Neigungswinkel den kleineren der beiden Winkel zwischen Hauptlinien und Querstrichen (Fig. 2 :  $\angle ABC$ ); unter Schnittpunktsabstand die Entfernung der Punkte, in welchen zwei benachbarte Querstriche ihre Hauptlinie schneiden ( $AB$ ); unter Abstand der Querstriche das von zwei benachbarten Querstrichen begrenzte Stück einer zu diesen Querstrichen vertikal stehenden Geraden ( $AD$ ). Die beiden letzteren Begriffe dürfen demnach nicht verwechselt werden; die Größen, auf welche sie sich beziehen, verhalten sich wie die Einheit zum Sinus des Neigungswinkels.

Zunächst wandte sich auch diesmal die Untersuchung der Feststellung rein thatsächlicher Verhältnisse zu. Um den Einfluss des Neigungswinkels zu ermitteln, wurde mit fünf Figuren experimentiert, bei denen derselbe bezw.  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  und  $75^\circ$  betrug; der Abstand der Hauptlinien war überall = 2 cm, der Schnittpunktsabstand = 1.5 cm, die Länge der Querstriche = 2 cm. Das Resultat war folgendes:

Tabelle I (1. Gruppe).

Neigungswinkel in Grad	Anzahl der Beobachtungen	Mittlere Täuschung in Minuten	W. F. derselben in Minuten
15	44	71	4.1
30	44	93	5.8
45	44	58	3.9
60	44	29	2.6
75	44	21	3.0



Das Ergebnis ZÖLLNERS, nach welchem die Täuschung bei einem Neigungswinkel von  $30^\circ$  ein Maximum erreicht, wird also durch diese Versuche vollkommen bestätigt.

Die Frage, ob in der That die Gröfse des Neigungswinkels in letzter Instanz das Auftreten dieses Maximums bedingt, war damit jedoch noch keineswegs entschieden. Wenn nämlich, wie in den eben besprochenen Versuchen, bei unveränderter Länge der Querstriche und unverändertem Schnittpunktsabstand der Neigungswinkel sich allmählich vergrößert, so gehen damit notwendig noch zwei weitere Veränderungen einher: die Endpunkte der Querstriche entfernen sich von der zugehörigen Hauptlinie, um sich den gegenüberliegenden Endpunkten der anderen Querstrichsysteme anzunähern; und der Abstand der Querstriche nimmt zu. Neben der Möglichkeit, daß die Verschiedenheit der Winkelgrößen die oben festgestellten Ungleichheiten der Täuschungsintensität bedingt, steht also vorläufig als gleichberechtigt die andere, daß dieselben von einem jener beiden mit der Winkelgröfse sich ändernden Umstände abhängen. Diese Möglichkeit zu prüfen, wurden die obigen Versuche unter veränderten Bedingungen wiederholt. Der Abstand zwischen den Hauptlinien betrug wieder 2 cm, und es wurde mit den nämlichen Winkelgrößen wie früher experimentiert; in einer Versuchsreihe waren aber die Querstriche bis zu einer Entfernung von 1 cm von ihrer Hauptlinie (wo sie mit den gegenüberliegenden Querstrichen zusammenstoßen) verlängert; in einer zweiten waren außerdem die Abstände der Querstriche überall = 0.75 cm gemacht worden. In beiden Reihen werden demzufolge die Querstriche kürzer, wenn die Neigungswinkel sich vergrößern; in der zweiten nimmt außerdem bei Vergrößerung des Neigungswinkels der Schnittpunktsabstand ab. Dafür ist aber in der ersten Reihe die Variation des ersteren und sind in der zweiten Reihe die Variationen der beiden früher mit der Winkelgröfse sich ändernden Umstände beseitigt. Es ergaben sich die in Tabelle II (s. S. 106) mitgetheilten Zahlen.

Auch in diesen beiden Reihen handhabt sich also das ZÖLLNERSche Maximum. Bis auf weiteres läfst sich nur schliessen, daß nicht die seitliche Ausbreitung oder die gegenseitige Entfernung der Querstriche, sondern daß ausschliesslich die Gröfse des Neigungswinkels das Auftreten



Tabelle II (1. Gruppe).

	Neigungs- winkel in Graden	Anzahl der Beobachtungen	Mittlere Täuschung in Minuten	W. F. derselben in Minuten
a. Querstriche zusammen- stoßend; Schnittpunktsab- stand konstant.	15	44	101	4.7
	30	44	106	5.3
	45	44	67	4.2
	60	44	39	3.4
	75	44	21	3.0
b. Querstriche zusammen- stoßend; Abstand der Quer- striche konstant.	15	44	95	5.1
	30	44	106	5.3
	45	44	77	4.2
	60	44	41	3.3
	75	44	23	2.4

eines Maximums bei  $30^\circ$  bedingt. Dieses Ergebnis wird aber später einzuschränken sein (S. 124 ff.); vorläufig mache ich nur darauf aufmerksam, daß, wie ein Blick auf die in Tab. III übersichtlich zusammengestellten Zahlen der beiden vorigen Tabellen lehrt, die Verlängerung der Querstriche der Täuschung bei  $15^\circ$  weit mehr als derjenigen bei  $30^\circ$  zu gute kommt, demzufolge in Tab. IIa die Differenz der beiden Täuschungsbeträge schon unter die Summe der zugehörigen wahrscheinlichen Fehler gesunken ist.

Tabelle III (1. Gruppe).

Neigungswinkel in Graden	Länge der Querstriche konstant; Schnittpunktsabstand konstant. (Tab. I)	Querstriche zusammenstoßend; Schnittpunktsabstand konstant. (Tab. IIa)	Querstriche zusammenstoßend; Abstand der Querstriche konstant. (Tab. IIb)
15	71	101	95
30	93	106	106
45	58	67	77
60	29	39	41
75	21	21	23

Über die Abhängigkeit der Täuschung von der Länge der Querstriche und vom Schnittpunktsabstand, welche an zweiter Stelle untersucht wurde, läßt sich aus den bisherigen Versuchen schon einiges ableiten. Vergleicht man nämlich die Zahlen aus Tab. I mit denjenigen aus Tab. IIa, so findet man, daß Verlängerung der Querstriche überall eine Zunahme der Täuschung mit sich führt, und zwar bei den kleineren Winkeln, wo sie am beträchtlichsten ist, am meisten (die Zahlen für Neigungswinkel von  $75^\circ$  in Tab. I und IIa beziehen sich auf die nämliche Versuchsreihe, da bei dieser Winkelgröße die Querstriche bei einer Länge von 2 cm faktisch schon zusammenstoßen). Ebenso ergibt eine Vergleichung der Zahlen aus Tab. IIa und Tab. IIb, daß Vergrößerung der Schnittpunktsabstände regelmässig eine Abnahme der Täuschung zu stande bringt; denn diese Abstände sind für Winkel von  $15^\circ$  in Tab. IIa kleiner als in Tab. IIb, für Winkel von  $30^\circ$  in beiden Tabellen gleich groß, für größere Winkel in Tab. IIa größer als in Tab. IIb. — Es fragt sich, ob die hier sich ergebenden Abhängigkeitsverhältnisse allgemein und ausnahmslos gelten.

Dieses zu ermitteln, wurden weitere Versuche mit zwölf Blättern angestellt, auf welchen der Neigungswinkel regelmässig  $30^\circ$  und der Abstand der Hauptlinien 2.5 cm betrug, die Querstrichlänge aber zwischen 2 und 4 cm, und der Schnittpunktsabstand zwischen 1 und 4 cm wechselte. Die Ergebnisse sind in Tab. IV mitgeteilt und in Tab. V übersichtlich zusammengestellt worden.

Mit Rücksicht auf die ausnahmslose Regelmässigkeit, welche sich in diesen Zahlen ausspricht, schien es mir unnötig, durch Fortsetzung der Versuche die wahrscheinlichen Fehler noch weiter herunterzudrücken. In der That beruht der verhältnismässig hohe Betrag derselben auch hier, wie bei meiner früheren Untersuchung, auf dem Umstand, daß sämtliche Täuschungsbeträge bei der einen Versuchsperson viel höher sind als bei der anderen, während doch die Verhältnisse zwischen den auf verschiedene Figuren sich beziehenden Zahlen im großen und ganzen sich gleich bleiben. Daher lassen sich denn auch, wenn sämtliche Zahlen jeder Versuchsperson um die mittlere Differenz zwischen den von ihr erhaltenen und den Mittelzahlen vermehrt oder vermindert werden, die wahr-

scheinlichen Fehler auf wenig mehr als die Hälfte der hier eingetragenen Werte zurückbringen.

Tabelle IV (2. Gruppe).

Länge der Querstriche in cm	Schnittpunkts- abstand in cm	Anzahl der Beob- achtungen	Mittlere Täuschung in Minuten	W. F. derselben in Minuten
2	1	42	99	6.2
2	2	42	88	5.6
2	3	42	67	5.0
2	4	42	52	4.5
3	1	42	137	7.0
3	2	42	102	5.1
3	3	42	85	4.8
3	4	42	63	4.7
4	1	42	139	7.4
4	2	42	118	6.2
4	3	42	86	5.2
4	4	42	71	5.4

Tabelle V (2. Gruppe).

Länge der Querstriche in cm	Schnittpunktsabstand in cm			
	1	2	3	4
2	99	88	67	52
3	137	102	85	63
4	139	118	86	71

Als vorläufiges Ergebnis sämtlicher vorhergehenden Untersuchungen verzeichnen wir demnach die Sätze, daß die Täuschungsintensität erstens bei einem Neigungs-



winkel von  $30^\circ$  ein Maximum erreicht, von welchem sie nach beiden Seiten abfällt, und daß sie zweitens regelmäßig zunimmt, wenn entweder die Querstriche verlängert oder die Schnittpunktsabstände verkürzt werden.

Der Verlauf der weiteren, auf eine Erklärung der festgestellten Thatsachen abzielenden Experimente gestaltete sich einigermaßen anders als früher bei der Untersuchung der MÜLLER-LYERSchen Täuschung. Letztere wurde angefangen und ihrem Abschlufs nahe gebracht, ohne daß eine leitende Hypothese Richtung und Verlauf derselben bestimmte; nachdem die Maßverhältnisse der Täuschung bei normalen Figuren festgestellt waren, blieb mir also nur übrig, möglichst entscheidende experimenta crucis zu ersinnen, durch welche die vorliegenden Erklärungshypothesen auf ihren Wert oder Unwert geprüft werden konnten. Bei der Erforschung der ZÖLLNERSchen Täuschung dagegen ging ich von einer bestimmten, im wesentlichen schon von HELMHOLTZ herrührenden Vermutung über den Grund derselben aus, deren Inhalt ich am Schlusse meiner Abhandlung über das optische Paradoxon bereits kurz angedeutet habe (a. a. O. S. 254—255). Hier konnte ich also, nachdem die rein thatsächlichen Feststellungen abgeschlossen waren, die weiteren Versuche sofort nach der zu prüfenden Hypothese einrichten; umsomehr, da diese Versuche, wie sich später zeigen wird, die betreffende Hypothese nicht bestätigen konnten, ohne gleichzeitig die anderen, mit derselben konkurrierenden, zu widerlegen. Dementsprechend habe ich nur über Eine Versuchsreihe und Eine gelegentliche Beobachtung zu berichten, welche ausschließlich im Interesse der Prüfung fremder Ansichten mitgeteilt werden; während ich fürs Übrige nur darauf ausging, Thatsachen festzustellen, welche sich in möglichst exakter Weise mit jener Hypothese vergleichen ließen.

Die eine Versuchsreihe, von welcher eben gesprochen wurde, ist dazu bestimmt, die von HERING angeführte und später von GUYE verteidigte Ansicht, nach welcher die ZÖLLNERSche Täuschung und allgemein die Überschätzung spitzer Winkel aus den Gewohnheiten des perspektivischen Sehens

zu erklären wäre, auf die Probe zu stellen.<sup>1</sup> Die Erfahrung bietet, wie diese Ansicht hervorhebt, zahlreiche Beispiele objektiv rechter Winkel, welche jedoch meistens als spitze oder stumpfe sich auf die Netzhaut projizieren; wir gewöhnen uns demzufolge daran, diesen Fehler zu korrigieren und jeden Winkel einem rechten anzunähern, also die spitzen zu überschätzen, die stumpfen zu unterschätzen. — Nun besteht aber ein ganz ähnliches Verhältnis wie zwischen objektiver Rechtwinkligkeit und wahrgenommener Schiefwinkligkeit auch zwischen objektiver Kreis- und wahrgenommener Ellipsengestalt. Auch jene ist uns an zahlreichen Gegenständen gegeben, projiziert sich aber meistens als Ellipse auf die Netzhaut; aus den nämlichen Gründen, wie der spitze gegenüber dem stumpfen Winkel, müßte demnach auch die kurze gegenüber der langen Achse einer gegebenen Ellipse überschätzt werden. Ob dem so ist, läßt sich ohne Schwierigkeit experimentell ermitteln. Ich konstruierte mir dazu zwei Apparate, genau so wie die früher bei der Untersuchung der MÜLLER-LYERSchen Täuschung verwendeten eingerichtet; auf das linke, festliegende Blatt des einen war eine liegende, auf dasjenige des anderen eine stehende, übrigens mit jener kongruente Ellipse gezeichnet; und das rechte, bewegliche Blatt enthielt eine durch Ein- und Auschieben des Blattes variierbare Gerade, welche genau mit der Richtung der horizontalen Ellipsenachse zusammenfiel. Es wurde nun den Versuchspersonen die Aufgabe gestellt, diese Gerade der entsprechenden (kurzen oder langen) Ellipsenachse gleich zu machen. Von vornherein war zu erwarten, daß in den Resultaten auch die MÜLLER-LYERSche Täuschung mitspielen würde, da ja die Strecke, welcher die gerade Linie gleich gemacht werden soll, beiderseits von einwärts gekehrten Linien umschlossen wird. Aber dieser Einfluß ließ sich nach Richtung und GröÙe wenigstens insoweit aus früheren Versuchen bestimmen, daß er für die Verwertung der Versuchsergebnisse unschädlich gemacht werden konnte. Denn erstens wissen wir, daß er in beiden Fällen eine scheinbare Verkürzung der Strecke zu stande bringen muß; zweitens daß, sofern wir gleiche

---

in *Hermanns Handbuch der Physiologie* III. 1. Leipzig 1879, De verklaring van de pseudoscopische figuur van ZÖLLNER, in *het vierde Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres*, 1893, S. 236—239.



Wirksamkeit der täuschungerzeugenden Umstände voraussetzen dürfen, der Täuschungsbetrag der Länge der beurteilten Strecke proportional verläuft (siehe meine Untersuchungen über das optische Paradoxon, a. a. O. S. 233). Achtet man aber auf die Möglichkeit, daß der verschiedene Verlauf der umschließenden Linien eine Ungleichheit der Täuschungsbeträge bedingen sollte, so scheint diese Ungleichheit doch nur in dem Sinne ausfallen zu können, daß sie die von HERING und GUYE vermutete Wirkung verstärken, nicht daß sie derselben entgegenarbeiten würde. Denn die nach jener Vermutung zu überschätzende kurze Achse wird von Linien umschlossen, welche steiler aufsteigen, also einem stumpferen Winkel entsprechen, als die Linien, welche die lange Achse umschließen; die MÜLLER-LYERSche Täuschung wird also dort voraussichtlich in geringerer Intensität auftreten als hier; und diese geringere Unterschätzung wird die angebliche relative Überschätzung nicht verdunkeln, sondern eher schärfer hervortreten lassen. Wenn demnach die geplante Versuchsreihe wirklich als Gesamtergebnis eine relative Überschätzung der kurzen Achse ergeben sollte, so dürfte daraus noch keineswegs ohne weiteres auf die Wirksamkeit des von HERING und GUYE vermuteten Faktors geschlossen werden; umgekehrtenfalls aber dürfte die Unwirksamkeit oder doch die Unmerklichkeit der Wirkung jenes Faktors als erwiesen betrachtet werden. Thatsächlich war nun das Ergebnis ein durchaus negatives:

Tabelle VI (7. Gruppe).

	Anzahl der Beob- achtungen	Wirkliche Länge in mm	Mittlere geschätzte Länge in mm	Wahrsch. Fehler derselben in mm	Mittlere geschätzte Länge
					Wirkliche Länge
Kurze Achse	20	75.5	66.2	0.96	0.88
Lange Achse	20	95.5	85.9	0.99	0.90

Ich halte es demnach für äußerst unwahrscheinlich, daß die Gewohnheiten des perspektivischen Sehens, welche sich in diesem Falle vollkommen wirkungslos erweisen, unter ganz



analogen Umständen eine so bedeutende Wirkung hervorbringen sollten, wie wir sie an der ZÖLLNERSchen Figur wahrnehmen.

Die gelegentliche Beobachtung, von welcher oben zweitens die Rede war, stammt aus einem Aufenthalt auf der Insel Norderney im vorigen Jahre. Ich sah dort eine niedrige, treppenförmig an einem Dünenabhang sich hinstreckende Mauer und bekam in ganz auffallender Weise den Eindruck, als ob die horizontalen Platten, welche diese Mauer nach oben abschlossen, in einem der Neigung des Abhanges entgegengesetzten Sinne von der Horizontalen abwichen (Fig. 3). Diese Beobachtung erregte mein Interesse, weil sie mir mit einer Theorie, welche mich gerade damals beschäftigte, derjenigen von LIPPS, unvereinbar erschien. Bekanntlich denkt LIPPS sich den Grund der ZÖLLNERSchen Täuschung so, daß wir die Querstriche als Träger von Kräften auffassen, welche zunächst durch entgegengesetzte Kräfte der Hauptlinien gebunden sind,

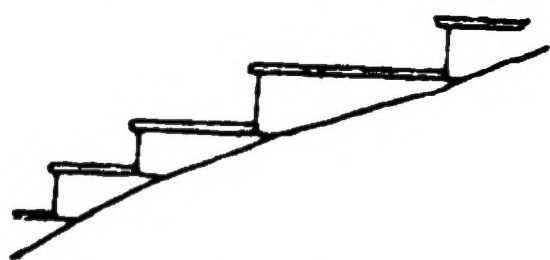


Fig. 3.

sodann aber sich frei machen und dadurch auch jene zu freier Wirksamkeit befähigen.<sup>1</sup> Daß solche Vorstellungen sich uns aufdrängen sollten, ist an und für sich plausibel genug; auch wäre es im Prinzip gewiß nicht unmöglich,

die scheinbare Richtungsänderung der Hauptlinien einer ZÖLLNERSchen Figur daraus zu erklären. Aber ich sehe nicht ein, wie sich aus dem nämlichen Grunde auch eine scheinbare Richtungsänderung der Querstriche sollte ableiten lassen. Den Gesetzen des mechanisch-ästhetischen Gleichgewichts, auf welche LIPPS sich beruft, entspricht es ohne Zweifel, wenn die Hauptlinien durch eine scheinbare Abbiegung nach einer Seite die reale Abbiegung der Querstriche nach der entgegengesetzten Seite teilweise kompensieren; aber ebenso sicher widerspricht es denselben, wenn nun die Querstriche ihre reale Abbiegung nach einer Seite durch eine weitere scheinbare Abbiegung nach der nämlichen Seite noch mehr hervortreten lassen. Also: die scheinbare Vergrößerung der von einer Hauptlinie und mehreren Querstrichen gebildeten scharfen Winkel müßte, wenn LIPPS Recht hätte, ausschließlich von einer Richtungsverände-

<sup>1</sup> LIPPS, *Ästhetische Faktoren der Raumanschauung*. Hamburg und Leipzig, 1891.

rung der Hauptlinie, nicht auch von einer entgegengesetzten Richtungsveränderung der Querstriche herrühren; die Düne dürfte uns durch die angesetzten Mauertreppen etwas steiler erscheinen, aber die Deckplatten der letzteren müßten entweder ihre horizontale Lage behaupten oder eine derjenigen des Abhanges entsprechende Neigung erkennen lassen. Das Eintreten der entgegengesetzten Täuschung scheint mir darauf hinzudeuten, daß der wesentliche Grund der hier besprochenen Erscheinungen nicht in den von LIPPS hervorgehobenen Faktoren zu suchen ist.

Die Hypothese, welche die nachfolgenden Untersuchungen beherrscht, läßt sich am einfachsten und verständlichsten in Anschluß an die von mir vorgetragene Erklärung des optischen Paradoxons entwickeln. Wenn man die Strecke  $AB$  (Fig. 4) in der Richtung von  $A$  nach  $B$  mit dem Blicke abmisst, so

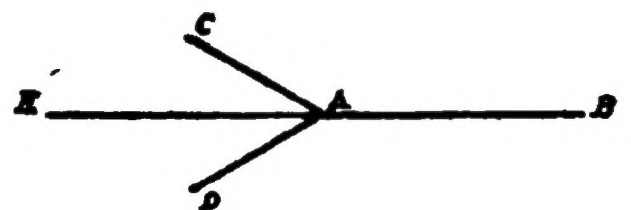


Fig. 4.

drängt sich im Anfangsmoment der Blickbewegung die Vorstellung von entgegengesetzt verlaufenden Bewegungen  $AC$  und  $AD$  dem Bewusstsein auf; demzufolge erscheint, wie ich annehme und zu begründen versucht habe, die wirklich ausgeführte Bewegung von  $A$  nach  $B$  durch Kontrast länger als sonst der Fall sein würde. Umgekehrt, wenn man die Strecke  $AE$  von  $A$  nach  $E$  verfolgt, so erscheint die wirklich ausgeführte Bewegung durch die Vorstellung der gleichgerichteten Bewegungen  $AC$  und  $AD$  verkleinert. Oder allgemein: die lebhaftere Vorstellung einer in bestimmter Richtung verlaufenden Bewegung erzeugt den Schein einer entgegengesetzten Bewegung, welche sich zu einer beliebigen thatsächlich ausgeführten Bewegung algebraisch addiert. Daß dieser Satz auch gilt, wenn thatsächlich keine Bewegung ausgeführt wird, beweisen zahlreiche optische Täuschungen, wo die durch andauernde Wahrnehmung erzeugte lebhaftere Vorstellung einer Bewegung eine Scheinbewegung ruhender Objekte zu stande bringt; also die bekannten Erscheinungen, welche nach längerem Fixieren strömenden Wassers, einer langsam gedrehten archimedischen Spirale, einer Reihe fortwährend zu nichts einschrumpfender und sich wieder erneuernder Rhomben u. dergl. auf-



treten.<sup>1</sup> — Nehmen wir nun an, was von vornherein als wahrscheinlich gelten darf, daß auch die Ausführung einer zur vorgestellten senkrechten Bewegung diese Wirkungen unverändert bestehen läßt, so haben wir prinzipiell die Erklärung der ZÖLLNERSchen Täuschung in der Hand. Bei der Betrachtung der betreffenden Figur hat man nämlich über die Richtungsgleichheit oder -verschiedenheit der Hauptlinien zu urteilen; man muß also diese mit dem Blick verfolgen, um das Gleichbleiben oder Nichtgleichbleiben ihrer gegenseitigen Abstände festzustellen. Dabei ziehen aber fortwährend neue Teile der Querstriche die Aufmerksamkeit auf sich und erzeugen, da die physiologische Fixation stets der psychischen zu folgen bestrebt ist, wenigstens die Vorstellung einer seitlichen Bewegung. Während beispielsweise der Blick von *A* nach *B* (Fig. 5) wandert, wird er fortwährend durch rechtsliegende, sich stets weiter von der Strecke



Fig. 5.

*AB* entfernende Punkte zu Rechtsbewegungen von zunehmender Größe sollicitiert; es werden also fortwährend Vorstellungen von entsprechenden Bewegungen erzeugt; und es muß nach dem Vorhergehenden der Schein entstehen, als ob thatsächlich eine Bewegung nach links stattfände. Beim Übergang von *B* nach *C* liegen umgekehrt die ablenkenden

Punkte links und in regelmäßig abnehmender Entfernung von der Strecke der Blickbewegung; hier werden also Vorstellungen von Linksbewegungen abnehmender Größe erregt; und es muß scheinen, als ob auch in diesem Teil der Strecke jeder höherliegende Punkt weniger rechts, also mehr links, läge als der vorhergehende. Die ganze Linie *AC* scheint also nach links zu neigen; und da in der ZÖLLNERSchen Figur jede Hauptlinie mit zugehörigen Querstrichen aus Teilen, welche der Fig. 5 entsprechen, zusammengesetzt ist, muß sie, besonders im Vergleich mit einer entgegengesetzten Wirkungen unterworfenen

<sup>1</sup> Aus den zuletzt erwähnten Beispielen geht hervor, daß auch wo sämtliche den Prozeß konstituierenden Bewegungen bloß vorgestellt, nicht wirklich ausgeführt werden, die Kontrastwirkung nicht ausbleibt. Daraus dürfte begreiflich werden, was gegen meine Erklärung der MÜLLER-LYERSchen Täuschung angeführt worden ist, daß dieselbe nämlich auch bei Momentbeleuchtung, welche Augenbewegung ausschließt, bestehen bleibt. Vergl. das Referat über meine betreffende Untersuchung in den *Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde.* Mai 1896.



Nachbarlinie, die bekannte Richtungsveränderung erkennen lassen. Man könnte allerdings glauben, daß nun auch ein wenig oberhalb *B* liegender Punkt im Verhältnis zu einem anderen etwas unterhalb *B* liegenden scheinbar bedeutend nach rechts rücken und also *AC* sich als eine Zickzacklinie ausnehmen müßte. Dieser Schein ist in der That vorhanden, wenn die Querstriche in Verhältnis zu ihrer Länge weit auseinander liegen, wie leicht zu erkennen ist, wenn man die Hauptlinie in Fig. 6 langsam mit dem Auge verfolgt. Schließen sich aber die Querstriche enge aneinander, so verschwindet dieser Schein; wohl deshalb, weil sich jetzt die Wirkungen benachbarter Querstriche miteinander vermischen, sofern sie entgegengesetzte Vorzeichen haben, sich aufheben, und nur sofern sie zusammenstimmen, ihren Einfluß in der Beobachtung geltend machen.

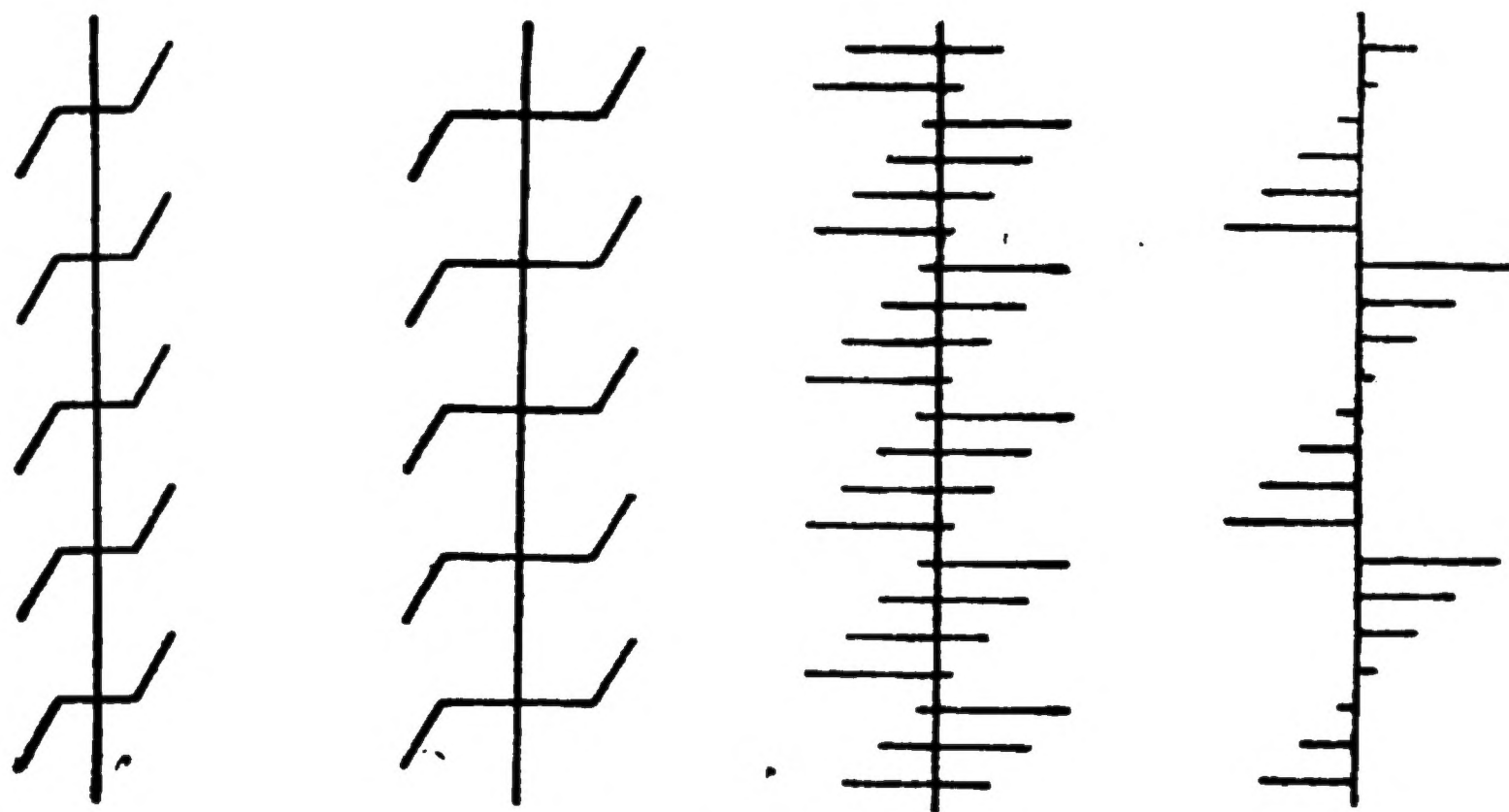
Die hier vorgetragene Erklärung der ZÖLLNERSchen Täuschung scheint mir mit der HELMHOLTZ-LOEBSchen aus „Richtungscontrast“ im wesentlichen identisch zu sein.<sup>1</sup> Allerdings haben die betreffenden Forscher nicht so sehr den Bewegungssinn als den Raumsinn der Netzhaut für die vorliegenden Erscheinungen verantwortlich gemacht; wenn aber, wie ich mit Vielen für wahrscheinlich halte, die räumliche Bedeutung der Netzhautindrücke nur auf assoziierten Bewegungsvorstellungen beruht, so ist der Unterschied nur scheinbar. Jedenfalls wurzeln jene Theorien mit der von mir vertretenen in dem gemeinschaftlichen Grundgedanken, „daß zwei Punkte oder Linien mit verschiedenen Raumwerten, die gleichzeitig der Aufmerksamkeit unterliegen, sich so beeinflussen, als ob sie sich gegenseitig abstießen, wodurch ihr scheinbarer Abstand vergrößert wird“ (LOEB, a. a. O. S. 515).

Von anderen vorliegenden Erklärungsversuchen unterscheidet sich nun der auf diesem Grundgedanken aufgebaute zunächst dadurch, daß nach ihm dem Winkel, unter welchem Hauptlinien und Querstriche sich schneiden, nur sekundäre, der ungleichen Entfernung, in

Fig. 6.

<sup>1</sup> v. HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*, 2. Aufl. S. 714; LOEB, Über den Nachweis von Kontrasterscheinungen im Gebiete der Raumempfindungen des Auges. *Pflügers Arch.* LX. S. 516.

welcher sich die Teile der letzteren von den ersteren befinden, dagegen primäre Bedeutung zukommt. Ich hielt es für geboten, an erster Stelle diesen Satz in seiner Allgemeinheit zu prüfen. Zu diesem Zwecke zeichnete ich



*Figg. 7—10.*  
( $\frac{1}{2}$  wirkliche Grösse.)



*Figg. 11—14.*  
( $\frac{1}{2}$  wirkliche Grösse.)

mehrere Figuren, in denen die Querstriche durch andere Linien ersetzt waren, dergestalt, daß in analoger Weise wie beim ZÖLLNERSchen Muster seitlich liegende, von den Hauptlinien ungleich weit entfernte Teile oder Punkte die Aufmerksamkeit auf sich zogen, ohne daß jedoch irgendwo eine schiefe Schneidung der Hauptlinien stattfand. Die Art und Weise, wie dies



geschah, läßt sich am einfachsten aus den Figg. 7 bis 14 erkennen, deren jede die Hauptlinie mit zugehörigen Nebenlinien, wie sie auf einem der verwendeten Blätter die mittlere Stelle einnimmt, zur Darstellung bringt. Zu beiden Seiten derselben hat man sich also ein genau symmetrisches System hinzuzudenken, und weiter in der Vorstellung die gezeichneten Hauptlinien durch gespannte Gummifäden zu ersetzen. Die Abstände zwischen den Hauptlinien betrugen bei Figg. 9—11 3 cm, bei den übrigen 3.5 cm; alle weiteren Dimensionen kann man in den Figuren nachmessen. Zur Unschädlichmachung etwaiger konstanter Fehler wurde eine Versuchsreihe ohne Nebenlinien (wo also ein weißes Kartonblatt unter die Hauptlinien hineingeschoben wurde) hinzugefügt.

Tabelle VII (3. und 6. Gruppe).

	Anzahl der Beob- achtungen	Mittlere Täuschung in Minuten	Wahrsch. Fehler derselben in Minuten
Keine Nebenlinien	36	1.5	2.6
Fig. 7	30	107	5.3
Fig. 8	30	61	5.6
Fig. 9	36	11	3.5
Fig. 10	36	16	3.1
Fig. 11	36	36	3.7
Fig. 12	30	23	4.1
Fig. 13	30	35	3.7
Fig. 14	30	30	4.4

Das Ergebnis (Tab. VII) ist ein unzweideutiges. Während bei der Versuchsreihe ohne Nebenlinien die mittlere Abweichung wenig mehr als die Hälfte ihres wahrscheinlichen Fehlers beträgt, steigt sie bei den übrigen Figuren, ausnahmslos im Sinne der ZÖLLNERSchen Täuschung verlaufend, bis auf das Drei- bis Zwanzigfache desselben; und auch die absoluten Täuschungsbeträge sind, obgleich im Durchschnitt etwas kleiner, offenbar von der nämlichen Ordnung wie die früher festgestellten. Für das Zustandekommen einer der ZÖLLNERSchen entsprechenden

Urteilstäuschung ist demnach schiefwinklige Schneidung der Haupt- und Nebenlinien nicht erfordert; sondern dieselbe tritt überall auf, wo Elemente der letzteren so gelagert sind, daß sie beim Verfolgen der Hauptlinien abwechselnd in zunehmender Entfernung an einer Seite und in abnehmender Entfernung an der anderen Seite derselben sich dem Auge darbieten.

Es giebt aber noch andere, bereits bekannte pseudoptische Erscheinungen, welche, mit der ZÖLLNERSchen mehr oder weniger

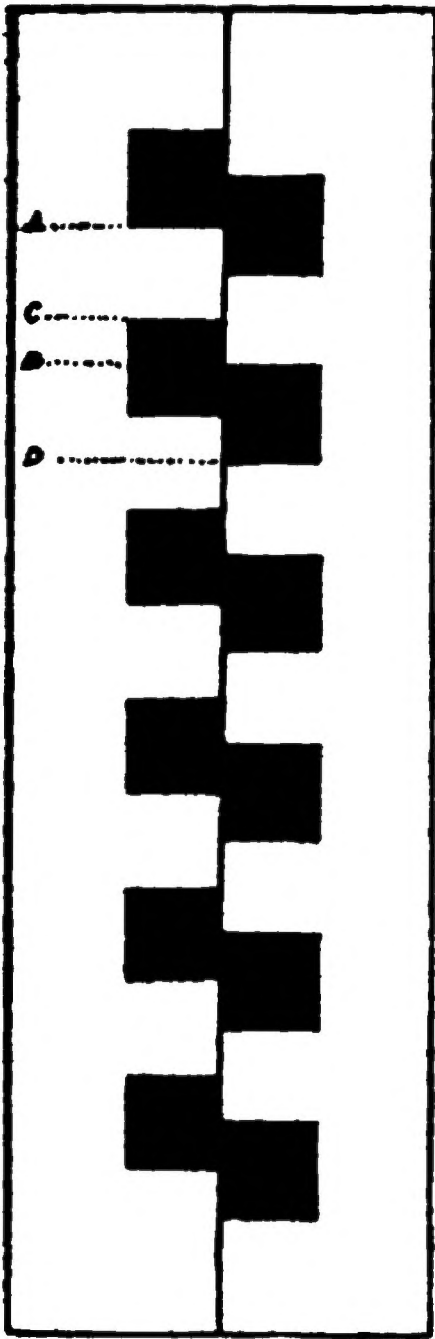


Fig. 15.

verwandt, kaum eine andere Erklärung als die oben vorgeschlagene zulassen. So verhält es sich z. B. mit einer auffallenden Richtungstäuschung, welche ich der unter dem Titel „*Pseudoptics*“ bei Milton Bradley Co., Springfield, Mass. erschienenen Apparaten-sammlung entnehme und in Fig. 15 zur Darstellung bringe. Die scheinbare Rechtsneigung der mittleren Vertikale in dieser Figur wird in den jener Sammlung beigegebenen Erläuterungen aus Irradiationswirkungen erklärt: „by irradiation each white square seems to extend into the black square of the other row which it touches“. Daß aber diese Erklärung nicht richtig sein kann, scheint mir schon daraus hervorzugehen, daß in der Figur kongruente weiße und schwarze Quadratpaare regelmäßig wechseln; denn wenn die weißen Quadrate durch schwarze, die schwarzen durch weiße ersetzt würden, müßten offenbar alle Irradiationswirkungen sich umkehren; die Figur aber wäre nur ver-

schoben, nicht verändert. Der eigentliche Fehler der erwähnten Erklärung scheint mir aber darin zu liegen, daß von den Verschiebungen, welche die Teile der mittleren Vertikale durch Irradiationswirkungen in Bezug auf einander erleiden könnten, nur die eine Hälfte in Betracht gezogen, die andere aber vernachlässigt wird. Achtet man bloß auf die Strecke *AB*, so könnte in der That aus Irradiationswirkungen eine Neigung der Mittellinie nach rechts entstehen; betrachtet man dagegen die Strecke *CD*, so müßte offenbar die nämliche Ursache eine ebenso starke Täuschung in umgekehrter Richtung erzeugen.



Ebenso verhält es sich mit den übrigen Teilen der Figur; die Irradiationswirkungen müßten demnach entweder sich ausgleichen oder aber das Bild einer im Zickzack hin- und hergehenden Linie zu stande bringen. — Dagegen ist ohne weiteres einzusehen, daß sowohl die schwarzen wie die weißen Quadratpaare aus Teilen bestehen, welche in Bezug auf die Mittellinie ähnlich wie die Teile der Querstriche aus einer ZÖLLNERSchen Figur angeordnet sind, und demzufolge nach dem früher erörterten Prinzip eine analoge Täuschung hervorrufen müssen.

Weit interessanter für unsere Untersuchung ist aber eine von LOEB entdeckte Täuschung, welche die thatsächliche Wirksamkeit des hier zur Erklärung verwendeten Faktors gleichsam ad oculos demonstriert und zugleich eine genaue Rechenprobe auf diese Erklärung gestattet. Bei fixierter Kopflage betrachtet man einen rechts parallel zur Medianebene auf dem Tische liegenden Pappdeckelstreifen und versucht, einen anderen ähnlichen Streifen so einzustellen, daß er in der Verlängerung jenes (etwa 20 cm von ihm entfernt) zu liegen scheint. Wird nun ein dritter Streifen zur rechten oder linken Seite parallel neben den zweiten gelegt, so erscheint dieser zweite nicht mehr als die Verlängerung des ersteren, sondern um 3—6 mm nach links oder rechts verschoben. Die gegenseitige Wirkung zweier paralleler Linien wird demnach von LOEB kurz als eine abstossende, wodurch ihr scheinbarer Abstand vergrößert wird, bezeichnet; und er bemerkt, daß diese Abstossung nach seinen Versuchen auch stattfindet, wenn die Linien nicht parallel sind, und hierbei die Form eines Richtungskontrastes annehmen kann.<sup>1</sup> In der That läßt sich die ZÖLLNERSche Täuschung, ihrem allgemeinen Charakter nach, aus dem LOEBschen Grundversuch als eine notwendige Folgerung ableiten. Wenn eine vertikale Linie durch eine rechtsliegende andere nach links, durch eine linksliegende nach rechts verschoben erscheint, so wird sie, wenn sie in ihrem oberen Teile links, in ihrem unteren Teile rechts eine Linie neben sich hat, oben nach rechts, unten nach links verschoben erscheinen müssen. Eben so verhält es sich aber mit jedem einem Querstriche entsprechenden Teile

---

<sup>1</sup> Siehe die oben zitierte Abhandlung LOEBs in *Pflügers Arch.* LX. S. 509—518

einer ZÖLLNERSchen Hauptlinie; aus der Summierung dieser Teilwirkungen muß eine Täuschung entstehen, welche wenigstens der Richtung nach mit der ZÖLLNERSchen zusammenfällt. Ob sie auch quantitativ derselben entspricht, bleibt zu untersuchen.

Zur quantitativen Bestimmung der LOEBSchen Täuschung benutzte ich anfangs einen einfachen Apparat aus Karton, in welchem lose, verwechselbare Blätter in einer Richtung hin- und hergeschoben werden konnten. Senkrecht zu dieser Richtung war auf jedem Blatt eine Linie mit parallelen Nebenlinien gezeichnet, welche also bei Bewegung des Blattes parallel mit sich verschoben wurde; die Versuchspersonen hatten dieselbe möglichst genau in die Verlängerung einer gleichgerichteten Linie zu bringen, welche in einer Entfernung von 13 cm auf dem festen Teile des Apparates angebracht war. Die beiden zu vergleichenden Hauptlinien waren 13 cm lang und 1 mm breit; die Nebenlinien hatten die gleiche Länge, wechselten aber nach Entfernung, Breite und Zahl. Die Täuschungsbeträge wurden an einem auf dem Apparate festgeklebten Streifen Millimeterpapier abgelesen. Obgleich von der LOEBSchen Vorschrift einer seitlichen Lage der zu beurteilenden Linien Abstand genommen wurde, ergab sich überall eine mittlere Abweichung im Sinne der von ihm beschriebenen Täuschung; die Beträge derselben unter verschiedenen Umständen sind in den Tabellen VIII und IX eingetragen worden. Da jedoch die Kontrollversuche ohne störende Nebenlinien (s. Tab. IX) gleichfalls eine den wahrscheinlichen Fehler übersteigende Abweichung im nämlichen Sinne ergaben, sind die gefundenen Werte wahrscheinlich sämtlich etwas zu groß. Wo mehrere Nebenlinien verwendet wurden (Tab. IX), waren dieselben in Abständen von je 5 mm zu einer Seite der Hauptlinie angeordnet, und betrug ihre Breite regelmäfsig 1 mm.

Obgleich diese Zahlen, wegen der mit der Messung so kleiner Distanzen verbundenen Schwierigkeiten, keine grofse Genauigkeit beanspruchen können, sind sie doch in mehrfacher Hinsicht instruktiv. Betrachten wir zuerst die mit einer Nebenlinie von 1 mm Breite gewonnenen Resultate, so ergibt sich in unzweideutiger Weise, dafs die abstofsende Wirkung, welche diese Nebenlinie auf die Hauptlinie ausübt, bei einer Entfernung von etwa 10 mm ein Maximum erreicht, von



Tabelle VIII (4. Gruppe).

Breite der Nebenlinie in mm	Abstand zwischen Haupt- und Nebenlinie in mm	Anzahl der Beob- achtungen	Mittlere Täuschung in mm	Wahrsch. Fehler derselben in mm
1	5	30	0.83	0.18
1	10	30	1.00	0.20
1	15	30	0.77	0.16
1	20	30	0.52	0.16
2	10	30	1.18	0.21
2	20	30	1.23	0.23
4	10	30	1.02	0.18
4	20	30	1.70	0.24

Tabelle IX (4. Gruppe).

Anzahl der Nebenlinien	Anzahl der Beob- achtungen	Mittlere Täuschung in mm	Wahrsch. Fehler derselben in mm
0	30	0.23	0.10
2	30	1.27	0.18
3	30	0.92	0.18
4	30	1.22	0.18

welchem sie nach beiden Seiten ziemlich steil hinabfällt. Dafs es sich ungefähr so verhalten würde, war nach der Kontrasttheorie zu erwarten. Ist die Entfernung zu klein, so ist auch die induzierende Bewegungsvorstellung schwach; ist sie zu groß, so entzieht sich die Nebenlinie leicht der auf die Hauptlinie gerichteten Aufmerksamkeit. Dafs hierin der Grund für die Abnahme der Täuschung bei größeren Entfernungen liegt, wird auch durch die Versuche mit Nebenlinien von 2 und 4 mm Breite sehr hübsch bestätigt. Die Täuschungsbeträge

bei Entfernungen von 10 und 20 mm verhalten sich nämlich bei der geringsten Breite der Nebenlinien ungefähr wie 1 : 0.5, bei der mittleren wie 1 : 1, bei der größten wie 1 : 1.7; die aus der seitlichen Lage sich ergebende Abnahme des Reizes für die Aufmerksamkeit wird offenbar durch die größere Ausdehnung kompensiert und überkompensiert. — Etwas weniger durchsichtig sind die Zahlen, welche sich auf Versuche mit mehreren Nebenlinien beziehen. Soweit die vorliegenden Daten reichen, scheint hierbei diejenige Nebenlinie, welche für sich die stärkste Wirkung ausüben würde, das Gesamtergebnis allein zu bestimmen; jedenfalls erleidet der mit einer Nebenlinie in 10 mm Entfernung gewonnene Täuschungsbetrag durch Hinzufügung einer, zweier oder dreier weiterer Nebenlinien keine sicher festzustellende Veränderung.

Jedoch nicht nur an und für sich hat dasjenige, was wir bis jetzt über den Verlauf der LOEBSchen Täuschung erkannt haben, einiges Interesse; auch für die Erklärung der früher ermittelten, auf die ZÖLLNERSche Täuschung sich beziehenden tatsächlichen Verhältnisse kann es schon etwas leisten. Allerdings nicht so viel, daß wir aus den zuletzt gewonnenen Zahlenwerten die Notwendigkeit der früher festgestellten nun ohne weiteres ableiten könnten; aber solches zu erwarten, haben wir, so wie jetzt die Sache liegt, auch noch keinen Grund. Wir müssen bedenken, erstens, daß unsere Zahlen über die LOEBSche Täuschung, wie oben angedeutet wurde, nur approximative Geltung beanspruchen können; zweitens, daß in der ZÖLLNERSchen Figur (wie später ausführlicher zu erörtern sein wird) eine Komplikation der Umstände vorliegt, welche alle Berechnung ausschließt; drittens und hauptsächlich, daß eine direkte Vergleichung unserer auf die LOEBSche und auf die ZÖLLNERSche Täuschung sich beziehenden Ergebnisse schon mit Rücksicht auf die bisherige Versuchseinrichtung aussichtslos erscheint. Eine solche Vergleichung würde erfordern, daß erstens Inhalt, Lage und Umgebung der Figuren, sodann aber und besonders auch die den Versuchspersonen gestellte Aufgabe bei der Untersuchung beider Täuschungen eine möglichst gleiche gewesen wäre; statt dessen bedingte aber schon die Einrichtung der verwendeten Apparate eine große Verschiedenheit der Umstände, und betraf auch die von den Versuchspersonen verlangte Entscheidung zunächst ganz ver-



schiedene Dinge. Einmal sollten sie über die Parallelität dreier Linien, das andere Mal aber über die Frage urteilen, ob zwei Linien in einer Geraden liegen oder nicht; für jenes Urteil konnten sie auf Abstandsvergleichen, für dieses dagegen nur auf die Genauigkeit ihres Richtungsgefühles sich verlassen. Dafs die in beiden Fällen begangenen Fehler, selbst wenn sie von der nämlichen Ursache herrühren sollten, sich quantitativ entsprechen müßten, ist keineswegs als sicher zu betrachten. Unter solchen Umständen kann es sich offenbar nicht darum handeln, nachzuweisen wie die absoluten Zahlenwerte, sondern nur wie die Gesetzmäßigkeiten der ZÖLLNERSchen Täuschung, nach der hier vertretenen Theorie, sich als notwendige Folgerungen aus den zuletzt festgestellten Verhältnissen ableiten lassen.

Unseren früheren Erörterungen entsprechend, haben wir nun diesem Nachweis folgende Vorstellung zu Grunde zu legen. Die Elementarwirkungen, aus welchen die scheinbare Richtungsveränderung einer ZÖLLNERSchen Hauptlinie resultiert, gehen von den einzelnen Punkten der Querstriche aus; jeder solche Punkt wirkt abstoßend auf die benachbarten Teile der zugehörigen Hauptlinie; indem aber diese Wirkungen für die beiden Hälften eines Querstriches entgegengesetzte Vorzeichen haben und weiter nach Tab. VIII innerhalb gewisser Grenzen mit der Entfernung von der Hauptlinie zunehmen, muß jeder einem Querstriche entsprechende Teil der Hauptlinie eine Scheindrehung erleiden, und aus der Summierung solcher Teildrehungen geht dann die Gesamtdrehung hervor. Es fragt sich, was diese Vorstellungsweise für die Erklärung der früher festgestellten Abhängigkeitsbeziehungen zu leisten im stande ist.

Was zuerst den Einfluß des Neigungswinkels betrifft (Tabellen I—III), läßt sich wenigstens soviel unschwer einsehen, dafs für sehr kleine und für sehr große Winkel die Täuschung kleiner sein muß als für solche mittlerer Größe. Setzen wir zunächst konstante Länge der Querstriche voraus, so nimmt mit der Winkelgröße die Entfernung der Endpunkte der Querstriche von der Hauptlinie regelmäßig ab; sobald aber diese Entfernung merklich kleiner geworden ist als diejenige der maximalen Wirksamkeit (Tab. VIII), muß auch der Täuschungsbetrag geringer werden. Bei Vergrößerung des Winkels von diesem Punkte aus muß also zunächst eine Zu-

nahme der Täuschung stattfinden; aber diese muß notwendig bald in eine Abnahme umschlagen. Denn auch wo die Querstriche (wie wahrscheinlich in den unserer Tab. I zu Grunde liegenden Figuren) so kurz sind, daß bei keiner Winkelgröße die Entfernung maximaler Wirksamkeit überschritten wird, muß doch bei größeren Winkeln die Gefahr entstehen, daß die beiden Hälften einer Nebenlinie sich gegenseitig in ihrer Wirkung beeinträchtigen. Im Grenzfall einer vollkommen rechtwinkligen Schneidung der Haupt- und Nebenlinien müßte offenbar der Blick beim Verfolgen der ersteren jedesmal gleichzeitig die nach entgegengesetzten Richtungen hinweisenden Hälften einer Nebenlinie treffen und demnach zwei sich aufhebenden Wirkungen ausgesetzt sein; nimmt nun der Neigungswinkel von  $90^\circ$  allmählich ab, so kann sich dieses Verhältnis nicht plötzlich ändern, sondern die eine Wirkung kann erst nach und nach gegenüber der anderen zurücktreten. — Ist diese Erklärung des Maximums richtig, so müssen sich natürlich die Verhältnisse ändern, wenn die Querstriche verlängert werden; und in der That haben wir in Tab. II gefunden, daß, wenn die Querstriche bis auf 10 mm Entfernung von der Hauptlinie verlängert werden, die Täuschungsbeträge bei Neigungswinkeln von  $15^\circ$  und  $30^\circ$  sich schon beträchtlich näher rücken. Doch ist hiermit noch nicht viel bewiesen, da erstens dieses Ergebnis auch aus der ungleichen Länge der Querstriche erklärt werden könnte, und zweitens das Nebeneinanderherlaufen mehrerer Querstriche eine Komplikation einführt, welche jede Deutung mehr oder weniger willkürlich macht. Statt also länger bei diesen Zahlen zu verweilen, habe ich vorgezogen, durch eine neue Versuchsreihe die Sache zu größerer Klarheit zu bringen. Ich ging dabei von der Erwägung aus, daß, wenn die Abnahme der Täuschung bei kleineren Winkeln in der That von der geringeren Entfernung der Querstrichsendpunkte von den Hauptlinien herrührt, bei möglichster Ausschließung von Komplikationen das Maximum um so niedriger liegen muß, je mehr die Querstriche über einen gewissen Punkt hinaus verlängert werden. Denn die Endpunkte längerer Querstriche müssen schon bei geringerer Größe des Neigungswinkels die Entfernung maximaler Wirksamkeit erreichen, als die Endpunkte kürzerer Querstriche. Ich benutzte bei diesen Versuchen wieder den in Fig. 1 abgebildeten Apparat; zur



Verwendung gelangten elf Figuren, bei denen der Abstand zwischen den Hauptlinien regelmäßig 3.5 cm betrug. Die Länge der Querstriche betrug 2.5, 5 und 10 cm; die entsprechenden Schnittpunktabstände waren je von derselben Größe, wodurch die schwer zu kontrollierende Vermischung der Wirkungen benachbarter Querstriche möglichst ausgeschlossen wurde; dementsprechend war die Anzahl der kleinsten Querstriche für jede Hauptlinie 4, der mittleren 2, der größten 1. Die Neigungswinkel wechselten für jede der verwendeten Querstrichlängen zwischen  $7\frac{1}{2}$  und 30 Grad; nur bei der größten Querstrichlänge konnten, mit Rücksicht auf den zwischen den Hauptlinien vorhandenen Raum, keine Winkel über  $22\frac{1}{2}$  Grad verwendet werden. Die Ergebnisse sind in Tab. X zusammengestellt.

Tabelle X (5. Gruppe).

Länge der Querstriche in mm	Neigungs- winkel in Graden	Anzahl der Beob- achtungen	Mittlere Täuschung in Minuten	Wahrsch. Fehler derselben in Minuten
25	$7\frac{1}{2}$	40	14	4.4
25	15	40	48	4.1
25	$22\frac{1}{2}$	40	92	4.7
25	30	40	100	4.4
50	$7\frac{1}{2}$	40	10	3.5
50	15	40	68	4.3
50	$22\frac{1}{2}$	40	76	4.9
50	30	40	65	5.0
100	$7\frac{1}{2}$	40	16	5.4
100	15	40	62	5.0
100	$22\frac{1}{2}$	40	58	3.9

Man sieht, wie das Maximum bei Verlängerung der Querstriche allmählich von oben nach unten wandert. Berechnet man für jede Figur die Entfernung der Querstrichsendpunkte von den Hauptlinien (gleich dem Produkte aus der halben

Querstrichlänge und dem Sinus des Neigungswinkels), so findet man weiter, daß das Maximum überall demjenigen Betrag derselben entspricht, welcher der aus Tab. VIII entnommenen Entfernung maximaler Wirksamkeit ( $= 10$  mm) am nächsten kommt. Die vorliegende Versuchreihe darf demnach als eine Bestätigung der aufgestellten Hypothese angesehen werden.

Die beiden anderen im ersten Teile unserer Untersuchung festgestellten Gesetzmäßigkeiten brauchen uns nicht so lange zu beschäftigen. Daß in den Versuchen, über welche in Tabellen I—V berichtet wurde, Verlängerung der Querstriche überall eine Zunahme der Täuschung mit sich führte, erklärt sich leicht aus dem Umstand, daß in diesen Versuchen die Entfernung maximaler Wirksamkeit nirgends überschritten wurde. Denn in den Versuchen aus der 1. Gruppe beträgt der halbe Abstand der Hauptlinien, über welchen die Querstriche nicht hinausgelangen, eben 10 mm; in denjenigen aus der 2. Gruppe wurde nur mit Neigungswinkeln von  $30^\circ$  und mit Querstrichlängen von höchstens 4 cm operiert, woraus sich wieder eine Maximalentfernung von 10 mm ergibt. Übrigens ist aus Tab. V zu ersehen, daß die Hinzufügung des vierten Zentimeters zur Querstrichlänge die Täuschung schon um viel weniger, im Durchschnitt etwa um den dritten Teil des Betrages zunehmen läßt, den sie durch die Hinzufügung des dritten Zentimeters gewann; schon hieraus läßt sich vermuten, daß weitere Verlängerung der Querstriche den Täuschungsbetrag kaum mehr merklich beeinflussen würde. — Ebenso einfach erklärt sich im Prinzip der Einfluß des Schnittpunktsabstandes auf die Größe der Täuschung (Tabb. IV, V).

Die Frequenz derjenigen Punkte der Hauptlinien, welche Querstrichteile in der Entfernung maximaler Wirksamkeit neben sich haben, ist dem Schnittpunktsabstand umgekehrt proportional; je mehr aber jene Punkte zusammenrücken, je kürzer also die Strecken werden, deren Endpunkte maximalen Wirkungen entgegengesetzten Vorzeichens ausgesetzt sind, um so größer müssen die Drehungswinkel erscheinen, um welche diese Strecken ihre Richtung geändert haben. Indem aber die Gesamtdrehung, welche eine Hauptlinie zu erleiden scheint, nach dem Vorhergehenden aus solchen Teildrehungen zusammengesetzt ist, muß Verkürzung des Schnittpunktsabstandes allgemein eine Zunahme der Täuschung bewirken.



Die vorhergehenden Untersuchungen sind vielleicht dazu geeignet, für die wesentliche Identität der LOEBschen und der ZÖLLNERSchen Täuschung ein günstiges Vorurteil zu erwecken; einen strengen Beweis dafür vermögen sie aber nicht zu erbringen. Dafs der bisher betretene Weg überhaupt zu einem solchen strengen Beweise führen könnte, wurde schon früher als äufserst unwahrscheinlich bezeichnet (S. 122). Es wurde damals bemerkt, dafs erstens die Mafsbestimmungen in Bezug auf die LOEBsche Täuschung zu ungenau, zweitens die bei der ZÖLLNERSchen vorliegenden Verhältnisse zu kompliziert, drittens und hauptsächlich aber Versuchseinrichtung und Fragestellung bei beiden zu verschieden waren, um eine exakte Vergleichung der gewonnenen Zahlen zu ermöglichen; und es scheint klar, dafs diese Nachteile durch weitere Versuche mit den bisherigen Apparaten kaum beseitigt werden können. Um zu Ergebnissen zu gelangen, welche eine exakte Verifikation der aufgestellten Hypothese gestatten, müfste demnach eine Versuchseinrichtung eingeführt werden, welche folgenden drei Anforderungen genüge:

Dieselbe müfste erstens in Bezug auf die LOEBsche Täuschung genauere Messungen ermöglichen. Da die parallele Verschiebung einer Linie nicht so leicht wie die Drehung derselben eine Ablesung in vergrößerem Mafsstabe gestattet, schien dieser Zweck am einfachsten und sichersten dadurch erreicht werden zu können, dafs die zu beurteilenden Figuren selbst in größeren Dimensionen hergestellt würden.

Zweitens müfste die ZÖLLNERSche Täuschung auf die allereinfachsten Verhältnisse reduziert, von allen unnötigen Komplikationen freigemacht werden. Solcher unnötigen Komplikationen, welche in einer der Berechnung sich entziehenden Weise das Gesamtergebn mit beeinflussen, giebt es aber bei der üblichen Einrichtung der ZÖLLNERSchen Figuren verschiedene. Fürs erste werden sämtliche Hauptlinien mit Querstrichen versehen, demzufolge jede derselben nicht mehr ausschließlich der Wirkung ihrer eigenen, sondern auch derjenigen der den benachbarten Hauptlinien angehörigen Querstriche ausgesetzt ist; was sich vermeiden läfst, wenn blofs jeder zweiten, also bei Verwendung dreier Hauptlinien etwa den beiden äufseren, gleichgerichtete Querstriche angeheftet werden. Sodann er-

wachsen aus der Vielheit der einer Hauptlinie zugeordneten Querstriche mehrere weitere Komplikationen. Ist das halbe Produkt aus Querstrichlänge und Cosinus des Neigungswinkels (Fig. 16:  $AB$ ) größer als der halbe Schnittpunktsabstand, so hat die Hauptlinie an bestimmten Punkten zu beiden Seiten —, ist es gar größer als der ganze Schnittpunktsabstand, so hat sie außerdem an bestimmten Punkten zu Einer Seite mehrere Querstrichteile neben sich, deren Wirkungen sich zu einer schwer berechenbaren Resultante verbinden. Aber auch wo diese Verhältnisse vermieden werden, wird die Gesamtwirkung mehrerer Querstriche schwerlich durch bloße Zusammenfügung ihrer Teilwirkungen zu konstruieren sein. Wie schon

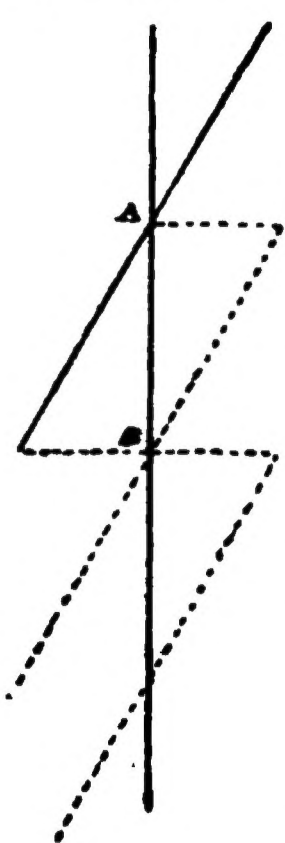


Fig. 16.

früher (S. 115) bemerkt wurde, muß, so oft ein Querstrich anfängt oder aufhört bemerkt zu werden, eine Tendenz entstehen, die Hauptlinie plötzlich zurückspringen zu sehen; und obgleich diese Tendenz durch die Vermischung der Wirkungen benachbarter Querstriche nicht als solche zum Bewußtsein kommt, wird sie vermutlich in der Gesamtwirkung ihren Einfluss irgendwie zur Geltung bringen. Alle diese Komplikationen sind nur dadurch zu vermeiden, daß man die Vielheit der Querstriche opfert und für jede Hauptlinie nur einen solchen verwendet. — Schließlich kann noch, wie früher (S. 124) angedeutet wurde, bei größeren Neigungswinkeln eine gegenseitige Hemmung

zwischen den Wirkungen der beiden Hälften eines Querstriches stattfinden; demzufolge es erwünscht erscheint, sofern nicht andere Gründe davon abraten, nur mit kleineren Winkeln zu arbeiten. Zusammenfassend sind also bei der Untersuchung der ZÖLLNERSchen Täuschung nur die beiden äußeren Hauptlinien mit je einem Querstrich zu versehen, welcher die zugehörige Hauptlinie unter einem nicht zu großen Winkel schneidet.

Drittens und zuletzt müßte ein Mittel ersonnen werden, welches gestattete, die Variationen der LOEBSchen und der ZÖLLNERSchen Täuschung unter möglichst gleichen Bedingungen der Messung zu unterziehen. Dieses läßt sich am einfachsten so erreichen, daß man, statt der LOEBSchen Täuschung in ihrer ursprünglichen Gestalt, eine Modifikation derselben untersucht,



welche darauf beruht, daß die gleichen gegenseitigen Abstände dreier paralleler Linien ungleich erscheinen müssen, wenn etwa die beiden äußeren durch parallele Nebenlinien eine scheinbare Verschiebung nach einer Seite erfahren. Wird dann durch eine reale Verschiebung der mittleren Linie der Punkt bestimmt, wo die Gleichheit der Abstände wiederhergestellt erscheint, so hat die Versuchsperson, genau so wie bei der ZÖLLNERSchen Täuschung, nur über Abstandsverhältnisse zu urteilen; dergestalt, daß hier die Abstände der mittleren zu den beiden äußeren Hauptlinien, dort diejenigen der oberen und unteren Teile zweier Hauptlinien miteinander verglichen werden. Wenn nun auch die Dimensionen und sonstigen Versuchsumstände möglichst gleich gemacht werden, so sind wohl die günstigsten Bedingungen gegeben, um eine exakte Vergleichung der für beide Täuschungen zu ermittelnden Zahlenwerte zu ermöglichen.

Von diesen Erwägungen ausgehend, habe ich einen neuen, sowohl für die Untersuchung der LOEBschen als der ZÖLLNERSchen Täuschung geeigneten Apparat anfertigen lassen, welcher in Fig. 17 abgebildet und folgenderweise eingerichtet ist.

Ein starkes Brett von  $82 \times 55$  cm trägt nahe am Oben- und am Untenrande schmale Metallreifen *AB* und *CD*, auf welchen in der Mitte eine Millimetereinteilung und weiter nach beiden Seiten in Entfernungen von 1 cm kleine stehende Metallstifte angebracht worden sind. Über diese Metallstifte lassen sich lose Kupferreifen *E, F, G, H* von 1 cm Breite in beliebiger Lage und Entfernung aufhängen. Auf halber Höhe hat das Brett eine Rinne mit trapezförmigem Durchschnitt, in welche ein beweglicher Holzstab *JK* genau paßt. Mittelst der Schraube *L* läßt sich dieser Holzstab in der Rinne langsam hin- und herschieben; mittelst einer zweiten Schraube *M* kann ein an dem Holzstab befestigter Metallreifen *NO* um eine Achse *P* um etwa  $10^\circ$  nach beiden Seiten gedreht werden. Der ganze Apparat ist schwarz angestrichen, der Reifen *NO* grau, die anderen grau oder weiß. Bei den Versuchen wird der Apparat auf eine Staffelei gestellt, in solcher Höhe, daß er von der etwa  $2\frac{1}{2}$  m entfernt sitzenden Versuchsperson bequem übersehen werden kann. Zunächst stellt man nun den Reifen *NO* durch Drehung der Schrauben so ein, daß er an beiden Enden genau den Nullpunkt der Einteilung anzeigt. Sodann werden zu

beiden Seiten desselben, in gleicher und innerhalb einer Versuchsgruppe konstant bleibender Entfernung, zwei weitere Reifen *E, F* vertikal aufgehängt; diese bilden mit jener die Hauptlinien und sind, um einer Verwechslung mit den gleich zu erwähnenden Nebenlinien vorzubeugen, ebenso wie der mittlere Reifen grau angestrichen. Als störende Nebenlinien werden dann in jedem Versuch zwei weiße Reifen verwendet, welche dazu bestimmt sind, den Schein entweder einer Lageveränderung oder einer Richtungsveränderung der beiden äußeren Hauptlinien zu erzeugen. Wenn sie nämlich parallel zu und etwa links von den äußeren Hauptlinien aufgehängt werden (so wie

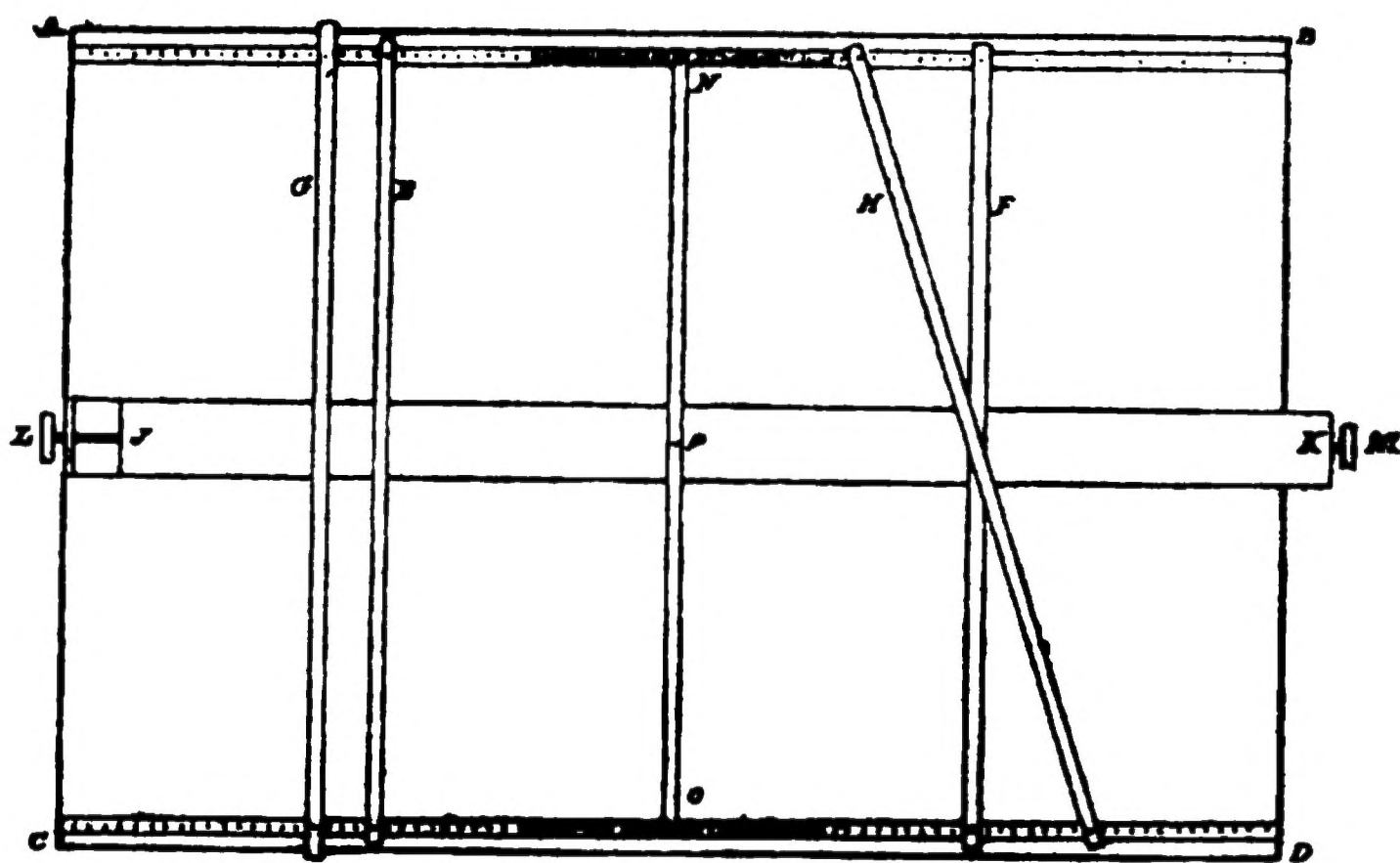


Fig. 17.

*G*), so müssen diese infolge der LOEBSchen Täuschung nach rechts verschoben erscheinen; ihre Abstände zur mittleren Hauptlinie werden demnach nicht mehr als gleich wahrgenommen; die letztere muß (mittelst der Schraube *L*) etwas nach rechts verschoben werden, um die scheinbare Gleichheit der Abstände wiederherzustellen, und die an der Einteilung oben und unten abzulesende GröÙe dieser Verschiebung giebt ein Maas für die Intensität der Täuschung. Werden dagegen die beiden weißen Reifen so aufgehängt, daß sie die äußeren Hauptlinien in der Mitte schneiden (so wie *H*), so erleiden diese eine Richtungsveränderung im Sinne der ZÖLLNERschen Täuschung; nicht die Gleichheit der Abstände, sondern die Parallelität mit der mittleren Hauptlinie scheint aufgehoben, und diese muß



mittelst der Schraube *M* um einen als Maß der Täuschung zu verwendenden Betrag gedreht werden, um diesen Schein wieder zum Verschwinden zu bringen. — Die Untersuchung der beiden Täuschungen findet demnach unter möglichst gleichen Umständen statt; die Täuschungsursachen wirken überall so, daß sie gleiche Abstände (sei es rechts und links, sei es unten und oben) ungleich erscheinen lassen, und die den Versuchspersonen gestellte Aufgabe ist stets dieselbe, nämlich den Moment zu bestimmen, wo durch Verschiebung oder Drehung der mittleren Hauptlinie die gestörte Gleichheit wiederhergestellt worden ist. Im Interesse der Umständegleichheit mußte hier die für die Intensität der ZÖLLNERSchen Täuschung vorteilhafte Neigung der Hauptlinien zur Medianebene geopfert werden; die Untersuchung der LOEBschen Täuschung bei dieser Figurlage führte nämlich zu Resultaten, welche in merklicher Weise durch die Tendenz zur Überschätzung höherliegender Distanzen beeinflusst wurden. Von der LOEBschen Bedingung einer seitlichen Lage der Figur wurde auch hier Abstand genommen; in der That wäre bei der vorliegenden Versuchseinrichtung durch das Einhalten dieser Bedingung eine neue Fehlerquelle eingeführt worden, insofern damit die Gleichheit der Sehweite für die beiden zu vergleichenden Abstände notwendig aufgehoben wäre. Bei der Untersuchung beider Täuschungen wurde demnach das Brett vertikal (die Hauptlinien parallel zur Medianebene) aufgestellt und den Versuchspersonen ein Platz gerade gegenüber der Figur angewiesen.

Bei der Ausführung der Versuche stellte sich nun bald heraus, daß die Messung der LOEBschen Täuschung unter den vorliegenden Umständen mit Hülfe ungeübter Versuchspersonen sich schwer bewerkstelligen liefs. Es ist eben nicht jedermanns Sache, von fünf parallelen, in verschiedener Entfernung von einander aufgestellten Streifen drei zur Bestimmung ihrer Abstandsverhältnisse scharf ins Auge zu fassen, ohne dabei (was die Täuschung aufheben würde) von den beiden anderen möglichst vollständig abzusehen. Die meisten Versuchspersonen protestierten demzufolge energisch gegen die Zumutung, unter solchen verwirrenden Umständen die Vergleichung anzustellen; nachdem sie sich aber hatten überreden lassen, erklärten sie bei fast jeder abgegebenen Entscheidung aufs neue, dieselbe sei unsicher, ungenau, innerhalb weiter Grenzen willkürlich

u. s. w.; und die Versuchsergebnisse waren damit in Übereinstimmung, insofern sie zwar der Richtung nach die erwartete Gesetzmäßigkeit, dem Betrage nach aber die größte Unregelmäßigkeit erkennen liessen. Da also auf diesem Wege nicht mehr zu erreichen zu sein schien, als durch die vorhergehenden Versuche schon erreicht war, habe ich es vorgezogen, bei diesen entscheidenden Versuchen auf die Hülfe ungeübter Versuchspersonen überhaupt zu verzichten, dafür aber die Entscheidungen einer einzigen sehr geübten Beobachterin (meiner Frau) der Rechnung zu Grunde zu legen. Mit Rücksicht darauf sei hier noch einmal ausdrücklich bemerkt, daß auch diesmal die Versuchsperson im Verlauf der Untersuchung weder von der Hypothese, zu deren Prüfung die Versuche angestellt wurden, noch von den Ergebnissen der vorhergehenden Versuche die geringste Kenntnis hatte und auch während der Versuche in keiner Weise darüber aufgeklärt wurde, ob und inwiefern ihre Entscheidungen vom objektiven Thatbestande abwichen.

Des Näheren waren nun die Versuche folgenderweise eingerichtet. In Bezug auf die LOEBSche Täuschung wurde die scheinbare Abstandsgleichheit zwischen mittlerer und äusseren Hauptlinien bestimmt, einmal ohne störende Nebenlinien, sodann während solche in 2 bis 10 cm Entfernung an einer Seite von und parallel zu den äusseren Hauptlinien angebracht waren; und ebenso in Bezug auf die ZÖLLNERSche Täuschung die Parallelität der drei Hauptlinien einmal ohne, sodann bei Anwesenheit zweier, die äusseren Hauptlinien durchschneidender Nebenlinien, deren Endpunkte oben nach der einen, unten nach der anderen Seite 2 bis 10 cm von den Endpunkten dieser Hauptlinien entfernt waren. Innerhalb jedes Versuches wurde von offener Ungleichheit oder Nichtparallelität ausgegangen; dann durch Verschieben oder Drehen der Mittellinie die Punkte bestimmt, wo die Gleichheit oder Parallelität eben erreicht und wo sie nach einer Seite eben überschritten war; schliesslich durch entgegengesetzte Verschiebung oder Drehung noch einmal die Gleichheit oder Parallelität und die eben merkliche Ungleichheit oder Nichtparallelität nach der anderen Seite festgestellt. Aus dem ersten und dritten (auf die scheinbare Gleichheit oder Parallelität sich beziehenden), sowie aus dem zweiten und vierten (der ebenmerklichen Abweichung nach rechts und links entsprechenden) dieser Werte wurde dann das



Mittel gezogen und aus der Verbindung dieser Mittelzahlen das Gesamtmittel und der wahrscheinliche Fehler derselben berechnet. Die Versuche zerfielen in zwei Gruppen (die 8. und 9.); innerhalb jeder Gruppe wurden für jede Anordnung der Figur zwölf Versuche in der eben beschriebenen Weise angestellt, also 48 Einzelentscheidungen abgegeben; im ganzen liegen  $15 \times 48 = 720$  Einzelentscheidungen vor. Für möglichste Variation der Umstände (Lage bzw. Neigung der Nebenlinien nach links oder rechts, Reihenfolge der Einzelentscheidungen innerhalb eines Versuches und der Versuche innerhalb einer Reihe) wurde gesorgt. In Tab. XI wird zunächst nur über die Versuche mit parallelen Nebenlinien berichtet; die Zahlen bedeuten Abweichungen von der Mittellage im Sinne der LOEBschen Täuschung; für die Versuchsreihe ohne Nebenlinien deutet das positive Vorzeichen eine Abweichung nach rechts, das negative eine solche nach links von der Mittellage an.

Tabelle XI (8. Gruppe).

Abstand zwischen Haupt- und Nebenlinien in cm	Anzahl der Versuche	Mittlere Täuschung in mm	Wahrsch. Fehler derselben in mm
—	12	— 0.05	0.16
2	12	1.74	0.14
4	12	2.32	0.15
6	12	2.74	0.16
8	12	0.91	0.10
10	12	0.22	0.23

Vergleichen wir diese Ergebnisse mit den in Tab. VIII zusammengestellten, so finden wir eine sehr befriedigende Übereinstimmung. Auch hier steigt der Täuschungsbetrag bei Zunahme des Abstandes zwischen Haupt- und Nebenlinien zuerst an, erreicht dann ein Maximum und geht ziemlich schnell wieder herab. Zwar ist der Abstand zwischen Haupt- und Nebenlinie, bei welchem das Maximum auftritt, jetzt sechsmal größer als früher (6 cm statt 1 cm); dafür war aber auch die Sehweite bei jenen Versuchen entsprechend kürzer als bei

diesen (40 bis 50 cm statt 2.5 m). Die relativen Täuschungsbeträge sowie der Modus ihres An- und Absteigens ist in beiden Fällen ziemlich verschieden; was zum Teil von der Individualität der Versuchsperson und von der veränderten Versuchseinrichtung, zum Teil aber auch von der grösseren Genauigkeit herrühren mag, welche diese Versuche im Vergleich mit den früheren erkennen lassen.

Wenn nun die hier vertretene Theorie richtig ist, so müssen sich aus den obigen Zahlen die mittelst schneidender Nebenlinien beliebiger Neigung zu erzielenden ZÖLLNERSchen Täuschungsbeträge im voraus berechnen lassen. Betrachten wir etwa das Linienpaar  $FH$  (Fig. 17: S. 130), wo also eine Haupt-

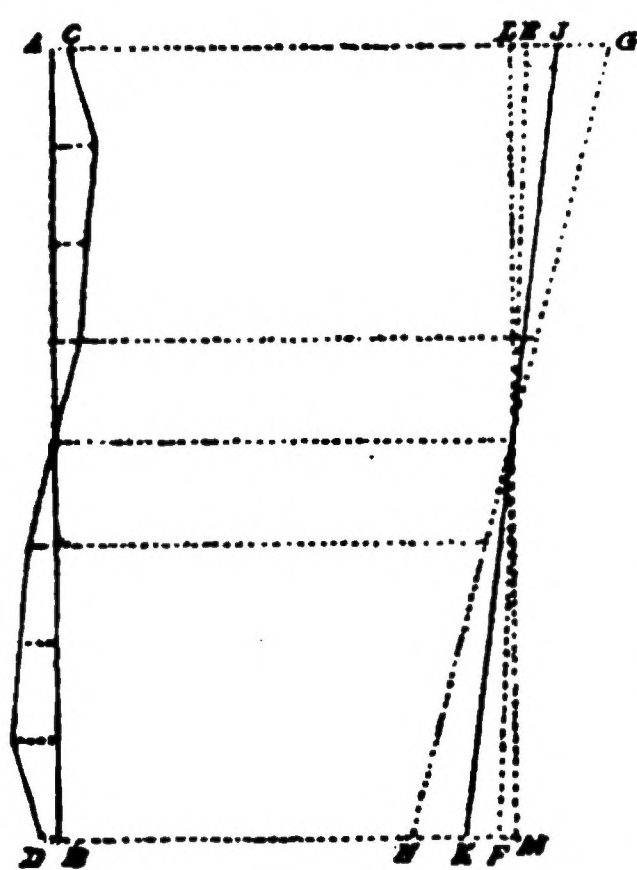


Fig. 18.

linie durch eine Nebenlinie solcherweise durchschnitten wird, daß die Endpunkte der letzteren sich links oben und rechts unten um 8 cm von den Endpunkten der ersteren entfernen, so hat die Hauptlinie über ihren ganzen Verlauf, in Entfernungen, welche vom Schnittpunkt aus nach beiden Seiten stetig von 0 bis 8 cm anwachsen, Elemente der schrägen Linie neben sich. Die scheinbare Lageveränderung, welche sie durch die abstossende Wirkung dieser Elemente erleidet, läßt sich für ge-

wisse Punkte, nämlich diejenigen, wo die Entfernung 2, 4, 6 oder 8 cm beträgt, direkt aus Tab. XI ablesen und für die anderen durch Interpolation ermitteln. So muß im vorliegenden Fall die Hauptlinie, deren halbe Länge 26 cm be-

trägt, in  $\frac{26}{4} = 6.5$  cm Entfernung vom Schnittpunkt um 1.74 mm,

in 13 cm. Entfernung um 2.32 mm oben nach rechts, unten nach links verschoben erscheinen u. s. w.; und es ist klar, daß sie dadurch nicht nur um ihre Mitte gedreht, sondern auch in mehrfacher Weise etwas gekrümmt erscheinen muß. In Fig. 18 stellt  $AB$  die wirkliche,  $CD$  (in starker Übertreibung) die nach Tab. XI konstruierte scheinbare Lage und Gestalt einer solchen Linie dar. Derartige Krümmungen, wie sie die Theorie fordert, wurden nun auch in der That zwar nicht immer, aber doch



öfters in der Figur wahrgenommen; sie entziehen sich jedoch einer exakt-experimentellen Prüfung. Unter diesen Umständen ist offenbar die Aufgabe, die gerade mittlere den beiden krumm erscheinenden seitlichen Hauptlinien parallel zu stellen, genau genommen unlösbar; wenn in Fig. 18 die Abstände zwischen den oberen und zwischen den unteren Endpunkten der Hauptlinien scheinbar gleich gemacht werden ( $EF$ ), so erscheint die Parallelität in der Mitte merklich gestört; während umgekehrt diese nicht bestehen kann ( $GH$ ), ohne jene Abstände auffallend ungleich erscheinen zu lassen. Die Versuchsperson muß sich also damit begnügen, eine gewisse mittlere, angenäherte Parallelität herzustellen; sie wird sich für eine Stellung  $JK$  entscheiden, bei welcher die äußeren Linienteile in der oberen Hälfte der Figur etwas weiter voneinander entfernt sind als in der unteren, die mittleren Linienteile dagegen in der unteren Hälfte etwas weiter als in der oberen, dergestalt, daß die beiderseitigen Mehrbeträge sich möglichst die Wage halten. Dies kann aber nur der Fall sein, wenn die Differenzen zwischen den sich entsprechenden Abständen in der oberen und in der unteren Hälfte der Figur eine algebraische Summe  $= 0$  ergeben.<sup>1</sup> Zieht man  $LM // AB$ , so ergibt sich demnach:

$$2(JL - 0.91) + 2\left(\frac{3}{4}JL - 2.74\right) + 2\left(\frac{2}{4}JL - 2.32\right) + \\ + 2\left(\frac{1}{4}JL - 1.74\right) = 0,$$

woraus folgt:

$$2.5 JL = 7.71 \\ JL = 3.08.$$

---

<sup>1</sup> Ein Freund und Kollege, mit dem ich diese Sache besprach, war der Ansicht, daß bei der Bestimmung der scheinbaren Parallelität die Endpunkte mehr als die mittleren Punkte ins Gewicht fallen müßten, und schlug deshalb vor, als die theoretisch wahrscheinlichste Stellung der gedrehten Hauptlinie diejenige zu betrachten, für welche die Summe der Quadrate der Differenzen minimal wird. Mir scheint diese Auffassung weniger natürlich als die im Texte vertretene; übrigens ergeben sich, wenn sie der Berechnung zu Grunde gelegt wird, zwar etwas kleinere, jedoch ähnlich verlaufende Werte wie die in Tabellen XII und XIII eingetragenen.

Das heißt also: wenn die mittlere Hauptlinie soviel nach rechts gedreht wird, daß sie oben und unten um 3.08 mm vom Nullpunkt der Einteilung abweicht, muß sie nach der Theorie den äußeren Hauptlinien, welche in der oben beschriebenen, rechts in der Fig. 17 dargestellten Weise durch Nebenlinien durchschnitten werden, möglichst parallel erscheinen.

Die nach diesem Schema für sämtliche in den Versuchen verwendeten Neigungen der Nebenlinien berechneten Täuschungsbeträge sind in den beiden folgenden Tabellen neben den beobachteten Werten eingetragen. Von diesen Tabellen bezieht sich die erstere auf Versuche, welche gleichzeitig mit den in Tab. XI verarbeiteten, die andere auf solche, welche später angestellt wurden. In der ersten Kolumne sind die oben und unten an der Einteilung gemessenen größten Entfernungen zwischen Haupt- und Nebenlinien angegeben; in die zweite sind die daraus berechneten Neigungswinkel eingetragen.

Tabelle XII (8. Gruppe).

Größte Entfernung zwischen Haupt- und Nebenlinien in cm	Neigungswinkel in Grad und Minuten	Anzahl der Versuche	Berechnete Täuschung in mm	Mittlere Täuschung in mm	Wahrsch. Fehler derselben in mm
—	—	12	0	— 0.56	0.11
5	10°53'	12	3.16	2.94	0.16
10	21°2'	12	2.64	2.41	0.17

Tabelle XIII (9. Gruppe).

Größte Entfernung zwischen Haupt- und Nebenlinien in cm	Neigungswinkel in Grad und Minuten	Anzahl der Versuche	Berechnete Täuschung in mm	Mittlere Täuschung in mm	Wahrsch. Fehler derselben in mm
—	—	12	0	+ 0.07	0.06
2	4°24'	12	1.74	1.20	0.12
4	8°45'	12	2.71	2.36	0.11
6	13°0'	12	3.40	3.42	0.11
8	17°6'	12	3.08	3.08	0.10
10	21°2'	12	2.64	2.63	0.14



Die Zahlen in der vierten und fünften Kolumne bedeuten auch hier die an der Einteilung oben und unten gemessenen Abweichungen im Sinne der ZÖLLNERSchen Täuschung; für die Versuche ohne Nebenlinien deutet das positive Vorzeichen eine Neigung nach rechts, das negative eine solche nach links an.

An diesen Zahlen ist nun Verschiedenes zu bemerken.

Erstens ist die Untersuchung von Tabelle XII mit einem konstanten Fehler angethan, demzufolge nicht nur die Versuche ohne Nebenlinien im Durchschnitt eine den wahrscheinlichen Fehler bedeutend übersteigende Linksneigung ergaben, sondern auch in den beiden anderen Versuchsreihen die durch rechtsneigende Nebenlinien verursachten Abweichungen nach links regelmäfsig gröfser ausfielen, als die durch linksneigende Nebenlinien verursachten Abweichungen nach rechts (bei dem kleineren Neigungswinkel im Durchschnitt 3.67 und 2.21, bei dem gröfseren 3.00 und 1.81 mm). Die Ursache dieses konstanten Fehlers habe ich nicht ermitteln können; jedenfalls kann derselbe, da die Zahlen der Tabelle XIII keine Spur mehr davon erkennen lassen, nicht in der bleibenden Einrichtung des Apparates, sondern nur in den wechselnden Umständen der Lage, Beleuchtung oder dergleichen begründet sein. Die in Tabelle XII eingetragenen Zahlen sind, da sie auf gleiche Anzahlen von Versuchen mit rechts- und linksneigenden Nebenlinien sich beziehen, von demselben nicht affiziert. Ich erlaube mir noch darauf aufmerksam zu machen, dafs der Betrag des konstanten Fehlers sich aus den zuletzt mitgeteilten Zahlenpaaren auf  $-0.73$  bzw.  $-0.595$  mm berechnet; die Übereinstimmung dieser Werte mit dem direkt ermittelten Betrage von  $-0.56$  mm ist ein Beweis für die Genauigkeit der Untersuchung.

Zweitens erreicht der Täuschungsbetrag in den vorliegenden Versuchen ein deutlich ausgesprochenes Maximum bei einem Neigungswinkel von  $13^\circ$ . Dieses Ergebnis ist mit demjenigen der Tabelle X in befriedigender Übereinstimmung; indem damals bei einer Querstrichlänge von 10 cm (hier 52 cm) und einer Sehweite von 40 bis 50 cm (hier  $2\frac{1}{2}$  m) ein Maximum bei  $15^\circ$  festgestellt wurde. Jedenfalls zeigt sich aufs neue, und diesmal in unzweideutiger Weise, dafs für

längere Querstriche das ZÖLLNERSche Maximum sich nach unten verschiebt.

Drittens und hauptsächlich sind die berechneten und die mittleren beobachteten Täuschungsbeträge mit einander zu vergleichen. Diese Vergleichung lehrt, daß nicht nur der Maximalbetrag der ZÖLLNERSchen Täuschung genau dort liegt, wo man ihn nach Theorie und Berechnung erwarten sollte; sondern daß auch, wenn man von den Versuchen mit den beiden kleinsten Neigungswinkeln absieht, zwischen den berechneten und den experimentell ermittelten absoluten Zahlenwerten eine sehr genügende, zum Teil selbst überraschend genaue Übereinstimmung besteht. Daß aber für jene beiden kleinsten Neigungswinkel sich zu geringe Täuschungsbeträge ergaben, ist wohl zu erklären. Denn je kleiner der Winkel, über eine um so größere Strecke werden die äußeren Hauptlinien von den darüber aufgehängten Nebenlinien teilweise verdeckt; für den kleinsten Winkel beträgt diese Strecke etwa die Hälfte, für den nächstgrößeren ein Drittel der gesamten Länge. Daß unter solchen Umständen die täuschungerzeugenden Ursachen einen größeren oder geringeren Teil ihrer Wirksamkeit einbüßen mußten, liefs sich erwarten.

Mit Rücksicht auf die Ergebnisse dieser letzten Untersuchung glaube ich nun, mich über die Erklärung der ZÖLLNERSchen Täuschung mit etwas größerer Sicherheit als früher über die MÜLLER-LYERSche aussprechen zu dürfen. Daß die LOEBSche und die ZÖLLNERSche Täuschung ihrem Wesen nach identisch sind, scheint mir nicht mehr fraglich. Wenn dem so ist, muß aber auch jede Erklärung der zweiten, welche auf die erstere nicht anwendbar ist, von vornherein als aussichtslos verworfen werden; dies gilt sowohl von der LIPPSSchen als auch von der HERING-GUYESchen und der THIÉRYschen Theorie. Über die Frage, wie man das den beiden Täuschungen zu Grunde liegende Prinzip näher bestimmen soll, läfst sich streiten; doch sehe ich nicht ein, daß man zu viel präjudizieren sollte, wenn man mit HELMHOLTZ und LOEB die vorliegenden Erscheinungen bis auf weiteres als Kontrastwirkungen bezeichnet. Was Kontrastwirkung eigentlich ist, weiß doch Niemand; der Name ist ein bloßer Sammelname, den wir überall anwenden, wo



irgend ein Bewußtseinsinhalt durch sein bloßes Dasein einen entgegengesetzten Bewußtseinsinhalt hervorbringt. Dieses ist aber bei den vorliegenden Erscheinungen offenbar der Fall; faßt man sie mit anderen, wofür das Nämliche gilt, unter Einem Namen zusammen, so ist damit über die Frage, ob alle in gleicher oder in verschiedener Weise zu erklären seien, doch noch nichts entschieden.

---