

Zur Psychophysik des Lichtsinns.

Von

Hjalmar Neiglick

aus Helsingfors.

Mit Tafel I.

Capitel I.

Die Versuchsmethode.

Die Untersuchungen, deren Ergebnisse im Folgenden mitzuthemen sind, wurden durch die Versuche veranlasst, welche Dr. Alfr. Lehmann im Laufe des vorigen Winters in Prof. W. Wundt's Laboratorium für experimentelle Psychologie zu Leipzig anstellte und die den Zweck hatten, die Brauchbarkeit der Methode der mittleren Abstufungen für den Lichtsinn näher zu prüfen. Das von Lehmann erlangte Resultat war indessen nur ein vorläufiges, und meine Versuche mögen daher als die directe Fortsetzung der seinigen betrachtet werden. An die bisherigen Verwendungen jener jüngsten der psychophysischen Maßmethoden mag hier nur noch in aller Kürze erinnert werden.

Der Urheber der Methode der mittleren Abstufungen¹⁾ ist bekanntlich Plateau²⁾, der zuerst darauf aufmerksam machte, dass

1) Diese Benennung ist die von Wundt angewandte; vgl. Physiologische Psychologie 2. Aufl. I, p. 324 f. Ihr älterer deutscher Name ist »die Methode der übermerklichen Unterschiede«. Delboeuf, dem wir ihre erste durchgängige Verwendung verdanken, nennt sie »la méthode des contrastes« (vgl. Etude psychophysique, passim). Am treffendsten wird sie zweifelsohne durch die Wundt'sche Bezeichnung charakterisirt. Für die nähere Beschreibung ihres Verlaufes verweise ich auf die angeführte Stelle der Physiologischen Psychologie.

2) Bulletin de l'Académie Royale de Belgique T. 33, p. 376 f. und T. 34, p. 250 f.

unsere Fähigkeit, die Mitte zweier qualitativ gleichen, aber intensiv verschiedenen Empfindungen zu schätzen, sich im Dienste der Psychophysik verwerthen ließe. Er forderte mehrere Personen auf, diejenige Nüance herzustellen, welche zwischen einem weißen und einem mit möglichst reinem Schwarz bemalten Papierstück ihnen als die genau in der Mitte liegende Abstufung erschien. Es ergab sich, dass die eingelieferten grauen Proben nur in sehr geringem Grade von einander abwichen¹⁾. Plateau selbst führte diese Versuche nicht weiter aus, und ebensowenig dürfen, wie schon Lehmann bemerkt hat, die von Breton²⁾ nach einem ähnlichen Princip angestellten Experimente als eine systematische Untersuchung betrachtet werden. Ich will hierzu noch bemerken, dass die von Breton benutzte Versuchsanordnung, die übrigens sehr schwerfällig war, in ebenso hohem Grade als diejenige Delboeuf's den störenden Einflüssen des Contrastes ausgesetzt sein musste.

Da später Delboeuf, um die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Lichtsinn zu prüfen, eigene Versuche anstellen wollte, schlug ihm Plateau vor, die von ihm gefundene Maßmethode zu verwenden und zwar dabei für die Herstellung der Helligkeitsstufen rotirende Scheiben zu benutzen. Durch diese Versuche, die in sehr großer Menge gemacht und zuerst in T. XXIII der *Mém. couronnés de l'Acad. de Belgique* beschrieben wurden, glaubte Delboeuf dargethan zu haben, dass die relative Unterschiedempfindlichkeit bei farblosem Lichte innerhalb einer ziemlich weiten Zone annäherungsweise constant bleibt. Delboeuf gibt die Jahre 1865 und 1866 als die Zeit an, wo seine Versuche angestellt wurden; seitdem kam die Methode der mittleren Abstufungen nicht wieder zu Verwendung, bis Lehmann die oben erwähnte Untersuchung im Herbste 1885 anfang. Die Resultate dieser Versuche, an denen ich mich betheiligt habe,

1) Eine Beschreibung des von Plateau veranstalteten Experiments findet sich auch bei G. E. Müller, *Zur Grundlegung der Psychophysik*, p. 90 f., und bei Delboeuf, *Etude psychophysique* 2. Aufl. Paris 1883, p. 56 f. Bei späteren Citaten aus Delboeuf ist, wenn nichts besonderes bemerkt wird, jene zweite, leichter zu habende Auflage gemeint.

2) Breton's eigene Beschreibung (in *Cosmos*, 2. Sér. T. 38 No. 2) ist mir nicht zu Händen gekommen; ich kenne sie also nur nach G. E. Müller's Mittheilung l. c. p. 164.

sind von Lehmann in den Philosophischen Studien, Band III¹⁾, beschrieben worden.

Jene nochmalige Prüfung der Versuchsmethode selbst wurde durch die beträchtlich divergirenden Resultate veranlasst, zu denen einerseits Delboeuf, andererseits verschiedene Beobachter, die sich der Methode der minimalen Aenderungen bedienten, gelangt waren. Wie es den Lesern der Phil. Studien bekannt ist, ergab es sich bald, dass in der That bei der Delboeuf'schen Versuchsanordnung Contrastercheinungen auftreten, ohne deren Entfernung die ganze Beobachtung von keinem entscheidenden Werthe sein kann. Anstatt wie Delboeuf drei durch Sectorenabschnitte hergestellte, an einander grenzende concentrische Ringe als Beobachtungsobjecte zu benutzen, richtete deshalb Lehmann seine Versuche derartig ein, dass die zu vergleichenden Helligkeiten von drei verschiedenen, um einige Centimeter von einander entfernten Scheiben hergestellt wurden.

Da der nähere Verlauf der in dieser Weise angefangenen Versuche durch den ausführlichen Bericht Lehmann's schon bekannt ist, werde ich hier nur das Erforderliche wiederholen, um den Ausgangspunkt meiner eigenen Versuche klar zu machen. Von den drei Scheiben waren bei jedem einzelnen Versuche zwei auf je eine bestimmte Winkelbreite des weißen Sectors eingestellt und somit unveränderlich, während durch die allmähliche Variation der dritten die mittlere Abstufung der beiden anderen gesucht wurde. Anfangs betrachteten wir alle drei Scheiben gegen die schwarze Wand des Zimmers; da aber hierdurch eine Contrastwirkung entstand, welche unsere drei Helligkeiten in ungleichem Grade veränderte, wurden hinter den Scheiben Papierflächen angebracht, welche den Intensitäten der hellen (h) und der dunklen (d) Scheibe entsprachen. Die variable Scheibe (v) wurde nun abwechselnd auf dem dunklen und dem hellen Hintergrunde gesehen, und aus den so erhaltenen bez. zu großen und zu kleinen Werthen das Mittel gezogen. Da es indessen bezweifelt werden konnte, ob die beiden auf der Scheibe v bewirkten Contraste genau gleichstark gewesen waren, wurde es nöthig, besondere Versuche zur quantitativen Bestimmung des Helligkeitscontrastes anzustellen.

1) Eine dänische Ausgabe derselben ist erschienen in Vidensk. Selsk. Skr., 6te Række, naturvidenskabelig og matematisk Afd. 4de Bind, II.

Nachdem nun jene Bestimmung erzielt worden war, ergab es sich jedoch am Ende (vgl. Lehmann l. c. p. 533), dass sich die Elimination von Contrasteinflüssen, die bei der Vergleichung der drei Helligkeiten mitgewirkt haben, in keiner Weise ausführen lässt. Es blieb infolgedessen nur ein einziger Ausweg übrig: auch die variable Scheibe gegen einen Hintergrund zu betrachten, der jedesmal dieselbe Helligkeit wie die Scheibe selbst annehmen konnte.

Im Frühjahr 1886 übernahm ich in Prof. Wundt's Laboratorium die Ausführung einer neuen Reihe von Versuchen, welche somit den Zweck hatten, bei völliger Vermeidung jeder simultanen Contrastwirkung zu prüfen:

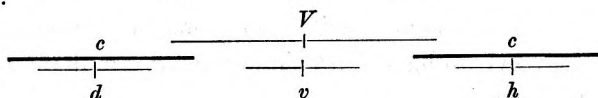
- 1) ob die Maßmethode der mittleren Abstufungen zu einem zuverlässigen Resultate führen könne;
- 2) ob dies Resultat mit dem Weber'schen Gesetze übereinstimme.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Einrichtung meiner Experimente im großen und ganzen dieselbe bleiben konnte wie bei den Lehmann'schen, was auch für die Continuität unserer Resultate sehr wünschenswerth war. Betreffs der verschiedenen praktischen Umstände bei der Versuchsanordnung verweise ich also kurz auf die detaillirte Beschreibung, welche Lehmann schon gegeben hat (l. c. p. 499 ff.).

Um den variablen Hintergrund herzustellen, wurde hinter der Scheibe v ein größerer Apparat angebracht, an dessen Axe ein sehr großer Cartonkreisel befestigt und durch Handkraft in Rotation versetzt werden konnte. Der Radius der als Beobachtungsobjecte dienenden Scheiben war 10 cm; damit v auf einem ebenso reichlichen Hintergrunde betrachtet werden konnte als d und h , gab ich dem neuen Kreisel einen Radius von c. 18 cm.

Gleich im Anfang meiner Versuche stieß ich nun, wie es leicht vorauszusehen war, auf eine Menge Schwierigkeiten rein praktischer Natur. Die aus bemaltem Carton hergestellten Hintergründe der constanten Scheiben d und h waren an einem hölzernen Rahmen aufgehängt und außerdem durch zwei feine horizontal gespannte Drähte in möglichst unbeweglicher Lage gehalten; bei der schnellen Rotation des variablen Hintergrundes entstanden aber nichtsdestoweniger Stö-

rungen der Bewegung. Um diese zu vermeiden, musste ein freier Raum gelassen werden, der, auch nachdem ich den großen Kreisel aus sehr steifem Carton gefertigt hatte, noch 3 cm betrug. Als die drei Scheiben im selben Plane eingestellt wurden, war infolgedessen v um etwa 3,5 cm von ihrem Hintergrunde entfernt, während d und h ganz dicht an den ihrigen gestellt werden konnten. Von oben gesehen boten Scheiben und Hintergründe also ungefähr folgenden Anblick dar:



d , v , h sind die drei Scheiben; c die beiden constanten, V der variable Hintergrund. Diese unumgängliche Entfernung zwischen v und V rief aber eine neue und zwar sehr beträchtliche Schwierigkeit hervor. Wenn die Lampen in einer Höhe standen, bei welcher die Scheiben d und h in ihrem ganzen oberen Halbkreise vollständig schattenfrei gegen c betrachtet werden konnten, warf dagegen v einen sehr breiten Schatten auf ihren Hintergrund. Durch den hierdurch entstandenen Contrast musste aber v stets in ihrer Helligkeit gehoben und infolgedessen ein constanter, nicht zu berechnender Beobachtungsfehler begangen werden. Von der Größe dieses Fehlers kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man folgende zwei Beobachtungen vergleicht, deren eine vor, die andere nach der Beseitigung des Schattens gemacht wurde. In jenem Falle war d eine ganz schwarze Scheibe, $h = 27^\circ \text{ W} + 333^\circ \text{ S}$. Die Mitte wurde zwischen 7° und 8° geschätzt. Später wurde beinahe derselbe Versuch wiederholt, indem $d = 0^\circ \text{ W}$ und $h = 29^\circ \text{ W}$, also nur um 2° heller war, als das vorige Mal. Nun glaubten wir aber die Mitte zwischen 11° und 12° zu finden. Durch den Contrast des Schattens war somit die Helligkeit von v um ein Quantum gehoben worden, das der Wirkung eines weißen Sectors von mehreren Graden entsprach¹⁾, und doch war die Helligkeit der Scheibe v hier eine so geringe, dass der Schatten nur relativ wenig hervortreten konnte.

1) Es wird sich später zeigen, dass doch nicht der ganze Unterschied der zwei Resultate auf die Rechnung des Schattens geschrieben werden darf. Eben jener zweite Versuch ist aller Wahrscheinlichkeit nach mit einem beträchtlichen Beobachtungsfehler behaftet.

Da, wie schon oben bemerkt, die Lage von V unverrückbar war, blieb es, um dem eben erwähnten Uebelstand abzuhelpfen, nur übrig, entweder durch die Erhebung der Lampen den Schatten herabzudrücken, oder aber den Abstand zwischen v und V in der Weise zu verkürzen, dass v auf dieselbe rotirende Axe wie V angebracht würde. Hierdurch wäre aber v aus dem Plane der drei Scheiben verschoben worden, und es war zu befürchten, dass die somit entstandene ungleichförmige Beleuchtung einen neuen constanten Fehler verursachen werde. Dass dies Bedenken durchaus nicht übertrieben war, wird aus einer bald zu erwähnenden Erfahrung erhellen. Ich bestimmte mich also für den schwerfälligeren, aber einwurfsfreien Ausweg, die Lampen in die Höhe zu verrücken. Es ergab sich durch mehrere Versuche, dass, während die Scheiben in einer Höhe von 110 cm vom Fußboden standen, die Lampen c. 90 cm höher angebracht werden mussten, bevor der Schatten von der oberen Hälfte der Scheibe verschwand. Es lag mir selbstverständlich viel daran, genau dieselbe absolute Beleuchtung wie bei den Lehmann'schen Versuchen zu besitzen; durch Verschiebung des Gerüsts, worauf die Lampen standen, stellte ich darum die alte Entfernung (170 cm) zwischen Lampenflammen und Scheiben wieder her¹⁾. Auch der Abstand jeder Flamme von der

1) Später hat mich indessen Lehmann darauf aufmerksam gemacht, dass ich bei jener Regulirung der Abstände zwischen Flammen und Scheiben den neuen Einfallswinkel des Lichtes nicht berücksichtigt hatte. Durch diese Vernachlässigung muss in der That die Beleuchtungsintensität bei meinen Versuchen etwas geringer gewesen sein als bei den Lehmann'schen, wie es durch einfache Berechnung nachgewiesen werden kann. Seine Lampen standen ungefähr 30 cm höher als die Centra der Scheiben, die meinigen 90 cm. Im Gegentheil war die Entfernung der Lampen damals, wie ich jetzt erfahre, etwas größer als ich gedacht hatte, indem nämlich Lehmann mit 170 cm die Entfernung der Lampenflammen nicht von den Scheibencentra, sondern von der Ebene der Scheiben gemeint hatte. Unsere resp. Entfernungen verhielten sich infolgedessen wie $170 : \sqrt{170^2 + 30^2}$. Ist nun die Beleuchtungsstärke reciprok den Quadraten des Abstandes, aber proportional dem Cosinus des Einfallswinkels, und entsprechen fernerhin unseren resp. Lampenhöhen und Abständen bei Lehmann ein Winkel $v = 10^\circ 1'$, bei mir $v'' = 32^\circ 0'$, woraus $\cos v = 0,985$, $\cos v'' = 0,848$; so erhalten wir folgende Gleichung, in welcher b , Lehmann's und b'' , meine Beleuchtungsstärke bedeutet:

$$\frac{b''}{b} = \frac{0,848}{28900} \cdot \frac{29800}{0,985} = 0,89.$$

Hieraus erhellt also, dass meine Scheiben um ungefähr ein Zehntel schwächer be-

Symmetrielinie der Scheiben war derselbe wie bei Lehmann's Versuchen, also 55 cm.

Eine Wirkung der veränderten Versuchsumstände wurde sofort merkbar. Weil die Lampen beinahe zweimal so hoch als die Scheiben standen, wurde die Entfernung der Lichtquelle von den über die Scheiben hinaufragenden Hintergründen beträchtlich geringer als von den Scheiben selbst, und ebenso diese stärker beleuchtet gegen die Peripherie als am Centrum¹⁾. Da man wohl annehmen darf, dass die gleichzeitig betrachteten Theile der Scheiben immer in einer nahezu horizontalen Linie lagen, also auch gleichmäßig beleuchtet waren, übte der erwähnte Umstand zwar keinen störenden Einfluss auf die Beobachtung aus. Dagegen machte sich der Helligkeitsunterschied zwischen den Scheiben und ihren alten Hintergründen sehr stark merkbar. Bei Lehmann's Versuchen hatten wir die den verschiedenen Hintergründen entsprechenden Winkelbreiten des weißen Sectors sehr genau bestimmt. Wenn ich aber nun die Scheiben auf jene alten Gradzahlen eingestellt vor den resp. Hintergründen rotiren ließ, entstand ein Contrast, der um so deutlicher war, je größer die absolute Intensität des reflectirten Lichtes. Eine neue photometrische Bestimmung der Hintergründe war somit erforderlich. Später wurde ich außerdem veranlasst, eine viel größere Anzahl von Abstufungen herzustellen; um die Uebersicht zu erleichtern, werde ich die ganze Scala der bei meinen Versuchen zur Verwendung kommenden Hintergründe schon hier angeben:

I. 0° W + 360° S = 1,00	IX. 26,5° W + 333,5° S = 5,93
II. 4° W + 356° S = 1,74	X. 29° W + 331° S = 6,39
III. 6° W + 354° S = 2,11	XI. 40° W + 320° S = 8,44
IV. 8° W + 352° S = 2,49	XII. 42° W + 318° S = 8,81
V. 10,5° W + 349,5° S = 2,95	XIII. 49° W + 311° S = 10,11
VI. 12° W + 348° S = 3,23	XIV. 62° W + 298° S = 12,53
VII. 16° W + 344° S = 3,97	XV. 64° W + 296° S = 12,91
VIII. 19° W + 341° S = 4,53	XVI. 76° W + 284° S = 15,14

leuchtet waren als die Lehmann'schen. Welche Rolle diese Differenz bei der später stattfindenden Vergleichung unserer Versuchsergebnisse spielen mag, werden wir zu seiner Zeit untersuchen.

1) Auch hier müssen selbstverständlich die veränderten Einfallswinkel mitgewirkt haben, was die auffallend große Helligkeitsdifferenz unserer Hintergründe erklärlich macht.

XVII. $112^{\circ} \text{W} + 248^{\circ} \text{S} = 21,84$	XXIV. $236^{\circ} \text{W} + 124^{\circ} \text{S} = 44,92$
XVIII. $121^{\circ} \text{W} + 239^{\circ} \text{S} = 23,52$	XXV. $246^{\circ} \text{W} + 114^{\circ} \text{S} = 46,78$
XIX. $144^{\circ} \text{W} + 216^{\circ} \text{S} = 27,8$	XXVI. $260^{\circ} \text{W} + 100^{\circ} \text{S} = 49,38$
XX. $174^{\circ} \text{W} + 186^{\circ} \text{S} = 33,38$	XXVII. $286^{\circ} \text{W} + 74^{\circ} \text{S} = 54,22$
XXI. $180^{\circ} \text{W} + 180^{\circ} \text{S} = 34,5$	XXVIII. $344^{\circ} \text{W} + 16^{\circ} \text{S} = 65,02$
XXII. $194^{\circ} \text{W} + 166^{\circ} \text{S} = 37,1$	XXIX. $360^{\circ} \text{W} + 0^{\circ} \text{S} = 68$
XXIII. $222^{\circ} \text{W} + 138^{\circ} \text{S} = 42,31$	

Selbstverständlich sind jene Abstufungen nicht alle absichtlich gewählt worden. Es ist bei der technischen Herstellung von grauen Nüancen äußerst schwierig, die Wirkung der Pigmentschichte genau zu berechnen; auch nach langer Uebung und trotz stetiger Vergleichung mit einem rotirenden Kreisel kann man nur annäherungsweise das Ziel erreichen. Deshalb sind auch einige von den oben angegebenen Lichtstufen (wie XI u. XII, XIV u. XV) einander näher gekommen, als es gerade nöthig gewesen wäre. Es darf auch nicht verschwiegen werden, dass zu anderen Zeiten einige (obzwar wenige) Hintergründe zu verschiedenen (aber wenig verschiedenen) Intensitätswerthen bestimmt wurden; es mag wohl zufällige Bestäubung und Reibung zu diesen kleinen Veränderungen die Ursache gewesen sein. Ich bin jedoch überzeugt, dass sich dadurch keine Beobachtungsfehler eingeschlichen haben, da ich nicht versäumte, vor jedem Versuch die Hintergründe zu controlliren. Wenn aber trotzdem, wie es besonders am Anfang meiner Versuche bisweilen vorkam, die Genauigkeit jener Controlle verdächtig schien, machte ich das betreffende Experiment von neuem.

Bei der Bemalung der Hintergründe bestrebte ich mich übrigens, eine möglichst gleichmäßige Nüance herzustellen; ein Umstand von ziemlich großer Bedeutung bei Versuchen, wo es eben galt, gegen jede Contrastwirkung gesichert zu sein. Wenn ich das noch feuchte Pigment mit einem sehr breiten und weichen, trockenen Pinsel vorsichtig rieb, gelang es mir auch, einen genügenden Grad von Gleichmäßigkeit zu erreichen.

Sowohl zu meinen Scheiben, als zu den Hintergründen bediente ich mich desselben schwarzen Pigments (Pariserschwarz) wie Lehmann. Für die Scheiben wählte ich auch ganz denselben Carton aus, den er benutzt hatte; für die Hintergründe dagegen suchte und fand ich einen neuen, der weniger gelblich war, als der von ihm zu diesem Zwecke angewandte, und somit auch einen geringeren Grad von Farben-

unterschied darbot; dadurch wurde die Bestimmung der entsprechenden Winkelbreiten etwas leichter.

Lehmann hatte (l. c. p. 510) das Verhältniss der von seinem schwarzen und weißen Sector reflectirten Lichtmengen zu $\frac{1}{68}$ bestimmt. Um vollständig sicher zu sein, glaubte ich jedoch, die von mir bemalten Scheiben einer neuen photometrischen Bestimmung unterwerfen zu müssen; ich bediente mich dabei derselben Aubert'schen Methode, wie Lehmann. Dies sehr einfache Verfahren besteht darin, dass vor einer constanten Lichtquelle, z. B. einer Petroleumlampe, die Entfernungen gesucht werden, auf welchen je ein Strich vom schwarzen und weißen Papiere gesehen werden müssen, um vollständig gleich zu scheinen ¹⁾. Das Verhältniss der Helligkeiten wird durch die Quadrate der gefundenen Abstände direct gemessen. Die von mir angestellten Versuche ergaben zwar ziemlich variable Resultate, deren Mittel mit dem Lehmann'schen nur approximativ übereinstimmte. Ich fand aber gleichzeitig, dass der Einfluss dieser Abweichungen ziemlich geringfügig war. Versuchsweise führte ich in den Calcul etliche sehr verschiedene Werthe für das Schwarz ein, z. B. $\frac{1}{60}$, $\frac{1}{70}$, $\frac{1}{80}$; es ergab sich, dass die dadurch verursachte Veränderung des bezeichneten Resultates eine ganz verschwindende war. In der That ist dies ja leicht zu verstehen, wenn man bedenkt, wie gering das Plus ist, welches die ganze Winkelbreite des schwarzen Sectors zu der Helligkeitssumme einer Scheibe hinzufügt. Da es also nicht auf eine sehr strenge Bestimmung des erwähnten Verhältnisses ankommt, schien es mir am rätlichsten, den Lehmann'schen aus 16 Versuchen gezogenen mittleren Werth, $\frac{1}{68}$, beizubehalten. Ich habe später keinen Grund gehabt, dies zu bereuen; dagegen ist es einleuchtend, um wie viel durch diese Continuität die Vergleichung mit den Lehmann'schen Resultaten erleichtert worden ist.

Die oben aufgeführten, mit Bezugnahme des Schwarz reducirten Helligkeiten der Hintergründe sind folgender Weise berechnet ²⁾. Wenn wir die irgend einem Hintergrunde entsprechende Winkelbreite des weißen Sectors durch a° bezeichnen und somit diejenige des schwarzen durch $360 - a^\circ$, wird die Helligkeit der ganzen Scheibe sein

$$H = \frac{68 a + 360 - a}{360} \dots \dots \dots (1)$$

1) Näheres bei Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 72.

2) Vgl. Lehmann, l. c. p. 510.

Ich habe die hauptsächlichsten praktischen Schwierigkeiten erwähnt, die sich meinen Versuchen in den Weg stellten. Noch sind aber einige nahe liegende Punkte zu besprechen. Es könnte nämlich fraglich scheinen, ob wir bei der Bestimmung der Helligkeit der beobachteten Gegenstände uns auch über alle thatsächlich mitwirkenden Factoren Rechenschaft gegeben. Fechner hat zuerst darauf hingewiesen, dass das Eigenlicht des Auges, das sogen. Augenschwarz, als eine, obwohl schwache, positive Lichtempfindung angesehen und daher bei der Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit mit in Betracht gezogen werden müsse¹⁾. Fechner meint dadurch die constatirten unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze erklären zu können, indem das innere Augenlicht bei größeren äußeren Lichtreizen von verschwindender Bedeutung sei, dagegen bei abnehmender Beleuchtung einen wachsenden Einfluss auf die Unterschiedsempfindlichkeit ausübe. Es sei somit unmöglich, die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes zu prüfen, wenn man nur auf den äußeren Lichtreiz Bezug nimmt; man solle das äußere Aequivalent des Augenschwarz zuerst bestimmen und zur Intensität des Reizes summiren. Ferner glaubte Fechner gefunden zu haben, dass in der That »die photometrische Intensität des Augenschwarz weder eine an sich unmessbare, noch unmessbar kleine ist« (vergl. Elem. p. 168). Nach einem von Volkmann gemachten Versuche setzt er die Intensität des Augenschwarz gleich der Helligkeit, die ein Stück schwarzer Sammt empfängt, wenn es von einer Stearinkerze in 9 Fuß Entfernung beleuchtet wird. G. E. Müller (vergl. Grundlegung p. 182 ff.) hat die Fechner'sche Ansicht sowohl über die Messbarkeit des Augenschwarz als über seinen beschränkenden Einfluss auf das Weber'sche Gesetz angegriffen; durch eine einfache mathematische Betrachtung berechnet er, von Fechner's Voraussetzungen ausgehend, die Größe des erwähnten Aequivalents für verschiedene Helligkeitsstufen und kommt dabei zu dem Resultat, dass die abzuleitenden Werthe von einander beträchtlich mehr abweichen, als dies der Theorie nach der Fall sein sollte (l. c. p. 183). Die Richtigkeit dieser Betrachtung ist, betreffs der Aubert'schen Versuche, von Fechner auch eingeräumt worden²⁾.

1) Fechner, Elemente der Psychophysik I. p. 169.

2) Fechner, Revision der Hauptpunkte der Psychophysik, Leipzig, 1882, p. 154.

Delboeuf hat auf die Bedeutung der subjectiven Reizung der Sinnesorgane eine sehr weit gehende Theorie gestützt¹⁾. Die Bezugnahme auf den beständigen Erregungszustand des Auges ist ihm der Hauptgrund gewesen, bei der Berechnung seiner oben erwähnten Versuchsergebnisse die Fechner'sche Formel zu verwerfen und eine neue »Formule de la sensation« aufzustellen (l. c. p. 42), indem er das Verhältniss zwischen Reiz (Excitation) und Empfindung (Sensation) nicht wie Fechner durch die Formel

$$S = k \log E$$

ausgedrückt zu sehen glaubt, sondern durch folgende

$$S = \log \frac{c + \delta}{c},$$

wo δ den äußeren Reiz und c das Aequivalent des inneren Erregungszustandes bedeutet. Delboeuf legt somit auf den Einfluss des Augenschwarz ein noch viel größeres Gewicht als Fechner selbst. Aber außerdem, dass seine Ansicht von eben derselben Kritik getroffen wird, die Müller gegen die Fechner'sche richtet (vergl. Müller l. c. p. 184 f.), ist es, wie Lehmann's Versuche schon an die Hand gaben, höchst wahrscheinlich, dass die Delboeuf'schen Resultate nicht sowohl für den Einfluss der Größe c einen Beleg abgeben, als vielmehr für die von Delboeuf gar zu gering geschätzte Einwirkung des Contrastes²⁾. Beiläufig mag in diesem Zusammenhange bemerkt werden, dass auch die von Helmholtz³⁾ vorgeschlagene, sowohl auf die unteren als die oberen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze Rücksicht nehmende Aenderung der Fechner'schen Fundamentalformel das Aequivalent des Augenschwarz als Factor enthält.

Sowohl Fechner's als Delboeuf's Versuche zur Bestimmung der Größe c wurden indessen unter der Voraussetzung der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes überhaupt gemacht. Aus diesem Grunde hat auch Fechner selbst später die Untriftigkeit seiner früheren Bestimmungen eingeräumt⁴⁾. Dagegen hält er immer noch an seiner Hauptansicht fest, dass das Eigenlicht des Auges mit in Betracht genommen werden muss, um über das Weber'sche Gesetz wirklich

1) Vgl. *Étude psychophysique et Théorie générale de la sensibilité*, passim.

2) Vgl. Lehmann, l. c. p. 514 ff.

3) *Physiologische Optik* p. 315 f.

4) Vgl. Müller, l. c. p. 183.

entscheidende Auskunft zu gewinnen. Bei einer Besprechung meiner Versuche, die mir mit dem hochverehrten Nestor der Psychophysik vergönnt war, schlug er mir vor, wenn ich keine Möglichkeit fände, das Augenschwarz photometrisch zu bestimmen, meine Beobachtungen auf eine Helligkeitszone zu beschränken, wo die subjective Reizintensität als verhältnissmäßig verschwindend außer Betracht gelassen werden könnte. In der That fällt die große Mehrheit meiner Versuche innerhalb der Grenzen einer ziemlich hellen Zone. Aber auch einige sehr schwache Intensitäten habe ich untersucht, und wenn ich dabei dasselbe Gesetz bestätigt fand, welches auf hohen und sogar sehr hohen Helligkeitsstufen sich bewährte, so wird dies bei der späteren Besprechung meiner Versuchsergebnisse die Veranlassung geben, uns mit der Fechner'schen Ansicht über das Augenschwarz noch einmal zu beschäftigen.

Eine Frage, die mit der soeben behandelten sehr viele Verwandtschaft hat, ist diejenige von der Adaptation der Netzhaut. Auch auf dieses Phänomen hat man sich bekanntlich berufen, um die unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze zu erklären¹⁾. Doch macht Müller (l. c. p. 186) gegen Wundt darauf aufmerksam, dass bei denjenigen Aubert'schen Versuchen (Kerzenversuche), welche hinsichtlich der Helligkeit des umgebenden Raumes den meinigen am nächsten kommen, nach Aubert's eigener Angabe der Adaptationseinfluss ziemlich ausgeschlossen war. Dies stimmt mit meiner Erfahrung ganz überein. Bei der Beleuchtungsstärke, deren ich mich bediente, konnten die Beobachtungen stundenlang wiederholt werden, ohne dass die geringste Spur einer veränderten Reizbarkeit der Retina merkbar wurde; selbstverständlich unter der Voraussetzung, dass die Beobachtung nicht bis zur Ermüdung fortgesetzt wurde²⁾. Größere Aufmerksamkeit verdient dagegen ein der allmählichen Adaptation nahestehendes Ereigniss, die Blendung. Um die Beleuchtung constant zu erhalten, stellte ich,

1) Wundt, l. c. I, p. 338.

2) Es ist übrigens selbstverständlich, dass bei dieser Besprechung etwaiger Adaptationseinflüsse eben nur das Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit während einer Reihe von Versuchen gemeint ist. Betreffs jedes einzelnen Versuchs dagegen, wo es sich um die Schätzung drei gleichzeitig gegebener Helligkeiten handelt, ist, wie auch Müller bemerkt (l. c. p. 187), zwischen der Adaptation der Netzhaut und den etwa sich ergebenden Abweichungen vom Weber'schen Gesetze schon an sich kein Zusammenhang denkbar.

wie schon erwähnt, meine Versuche in einem dunklen Zimmer an, wo das einzige hoch an der Decke liegende Fenster durch einen schwarzen hölzernen Laden bedeckt war. Wenn dieses Fenster, das übrigens nicht nach der Straße, sondern nach einem Corridore ging, während der Augenblicke, wo die Beobachtung abgebrochen war, geöffnet wurde, erfuhr die Helligkeit des Zimmers einen sehr geringen Zuwachs; wir konnten uns also dieses Ventilationsmittel erlauben, ohne eine nennenswerthe Abänderung unserer Reizbarkeit zu befürchten. Da die Hitze größer wurde, machten wir auch den Versuch, die Thüre dann und wann zu öffnen. Dies übte indessen sogleich einen beträchtlichen Einfluss auf unsere Beobachtung aus. Wir schätzten die mittlere Abstufung auffallend niedrig, und da dieselbe Versuchsreihe später bei immer zugeschlossener Thüre wiederholt wurde, kamen in der That viel größere Werthe für v heraus. Nun ist es einleuchtend, dass, je größer der Unterschied der Reize v , h genommen werden muss, um dem Unterschiede $v - d$ gleich zu scheinen, um so geringer auch die Unterschiedsempfindlichkeit ist. Demnach würde also die soeben erwähnte Erfahrung einer Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit im ersten Falle entsprechen. In voller Uebereinstimmung hiermit steht Aubert's Erfahrung, dass bei plötzlichem Uebergang aus dunkler zu heller Beleuchtung die Unterschiedsempfindlichkeit zuerst abnimmt. Damit unsere Reizbarkeit nicht herabgesetzt würde, mussten wir also für die Zukunft die Thüre sorgfältig zugeschlossen halten, was freilich in Folge der hohen Temperatur mit beträchtlichen Unannehmlichkeiten verbunden war.

Es mag an dieser Stelle noch kürzlich an die auf die bisherigen, zwar wenig umfangreichen Versuchsergebnisse sich stützende Kritik erinnert werden, welche gegen die Methode der mittleren Abstufungen gerichtet worden ist. Alle ihre Vortheile zugegeben — dass sie sehr rasch zum Ziele führt, dass sie von der Unterschiedsschwelle ganz unabhängig ist, infolgedessen voraussetzungsfreier als die übrigen Maßmethoden und von einer der wesentlichsten Streitfragen der Psychophysik unberührt bleibt — so wird sie doch immerhin als die roheste der vier Methoden angesehen. Es wird ihr vorgeworfen, dass ihre Resultate an Feinheit und Genauigkeit hinter denjenigen der übrigen zurückstehen müssen, da nicht nur die Schätzung hier eine weitaus schwierigere, sondern auch die Bezugnahme auf die individuellen Un-

terschiede der Beobachter, auf den Einfluss der Ermüdung und auf den Gang der Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Reizstärke unmöglich sein soll¹⁾. Wir wollen zwar diese Fragen hier noch nicht discutiren, da unsere Versuche später mehrfache Veranlassung bieten werden, die bisherigen Ansichten über die Methode zu prüfen; doch mag auf ein paar Umstände die Aufmerksamkeit schon hier gelenkt werden, da sie aus unseren später mitzutheilenden Versuchstabellen nicht unmittelbar hervorgehen werden.

Wenn man die allmählichen Verschiebungen, durch welche die mittlere Abstufung hergestellt wird, immer in derselben Richtung vor sich gehen lässt, so muss ein constanter Beobachtungsfehler entstehen, der nur dadurch ausgeglichen wird, dass man abwechselnd von einer entschieden zu großen und zu kleinen Winkelbreite des variablen Sectors ausgeht. Doch scheint Müller nicht im Rechte zu sein, wenn er diesem Punkte eine große principielle Bedeutung beilegt und den soeben erwähnten constanten Beobachtungsfehler denjenigen gleichstellt, welche bei der Schätzung eben merklicher und eben unmerklicher Empfindungsunterschiede unvermeidlich begangen werden²⁾. Denn die Erfahrung zeigt, dass jene zu großen bez. zu kleinen Werthe der hergestellten Mitte bei größerer Uebung des Beobachters vollständig sich ausgleichen können. Dies ergab sich schon aus den späteren Lehmann'schen Versuchen, noch entschiedener aber aus den sehr zahlreichen Versuchen, die ich angestellt habe.

Ferner ist es einleuchtend, dass der hauptsächlichste bei dieser Methode begangene zufällige Beobachtungsfehler aus der mangelnden Genauigkeit entspringen muss, womit man die Mitte zweier Empfindungen zu schätzen pflegt, umso mehr, je beträchtlicher die zu vergleichenden Unterschiede sind. Auch wirken dabei, wie es leicht voraussehen ist, trügerische Associationen mit, gegen welche man wohl nie gänzlich gesichert werden kann, sogar bei der größten Sorgfalt des Experimentators. Um jene zufälligen Fehler so viel als möglich auszugleichen, scheint es somit am rätlichst zu sein, auf die Schätzung einer punctuellen Mitte zu verzichten und sich mit einer — natürlich möglichst schmalen — mittleren Zone zu begnügen, die viel leichter

1) Vgl. Wundt, l. c. I. p. 331; Müller, l. c. p. 101.

2) Grundlegung p. 94 f.

zu finden ist. Anstatt wie Delboeuf vom Beobachter ein einziges Urtheil zu verlangen (l. c. p. 65), führte ich deshalb, wie es auch Lehmann gethan hatte, nebst dem Signale m (= Mitte) auch die Bezeichnungen $m\hbar$ (= Mitte hell) und $m\delta$ (= Mitte dunkel) ein. Es ergibt sich in der That, wie wir später sehen werden, dass die aus diesen kurzen Reihen gezogenen Mittel ganz übereinstimmend ausfallen können.

In Betreff des Verhaltens der Beobachter während der Experimente mag noch Folgendes bemerkt werden. Jeder Beobachter führte seine Schätzungen ganz unabhängig von den anderen aus; erst die abgeschlossenen Versuchsreihen wurden collationirt. Ferner kannten wir nie bei der experimentellen Herstellung der mittleren Abstufung den Punkt, wo diese nach dem Weber'schen Gesetze liegen sollte; die theoretische Berechnung wurde immer erst nach beendigten Versuchen gemacht. Durch diese Maßregeln konnten also unsere Beobachtungen möglichst unbeeinflusst vor sich gehen. Außerdem verdient es noch erwähnt zu werden, dass meine Mitarbeiter nie die resp. Winkelbreiten des variablen Sectors kannten, woraus wohl gefolgert werden darf, dass ihre Urtheile ziemlich treue Ausdrücke ihrer Empfindungen waren. In dieser Hinsicht sind meine eigenen Bestimmungen von etwas geringerem Werthe, da sie Associationseinflüssen in höherem Grade ausgesetzt waren. Jedenfalls bemühte ich mich, diesen störenden Einfluss zu überwinden, und wenn in der That meine Bestimmungen mit denjenigen meiner Mitarbeiter beinahe genau übereinstimmen, darf es wohl angenommen werden, dass auch ich wenigstens annäherungsweise nur meinen Empfindungen gehorcht habe.

Die Versuche, zu deren Besprechung ich jetzt übergehen werde, sind nicht alle von denselben Personen ausgeführt worden. Die zwei Mitglieder des psychologischen Seminars, welche anfänglich an meinen Versuchen Theil nahmen, Herr Glöckner aus Leipzig und Herr Michalopoulos aus Athen, wurden nämlich gezwungen, schon gegen Ende Juli Leipzig zu verlassen. An den danach folgenden Versuchen betheiligten sich die Herrn Alexander aus Leipzig und Bobtscheff aus Bulgarien. Meinen sämtlichen Mitarbeitern sage ich hiermit den herzlichsten Dank, vor Allem aber meinem Freunde Alexander, der nicht nur die zahlreichsten Untersuchungen mitgemacht, sondern es auch zu einer Zeit gethan hat, wo der Aufenthalt im Laboratorium

am anstrengendsten war. Ich verdanke seiner Mitwirkung die werthvollsten meiner Resultate.

Außer den ordentlichen Mitarbeitern forderte ich noch gelegentlich verschiedene Personen auf, Beobachtungen zu machen. Es zeigte sich, dass diese zufälligen Beobachter, die sich alle mit psychophysischen Experimenten beschäftigt hatten, sogleich mit den ordentlichen übereinstimmend schätzten. Von den betreffenden Herren war einer Russe, die übrigen Deutsche. Im Ganzen habe ich also Beobachtungen von acht Personen, die fünf verschiedenen Nationalitäten angehörten.

Capitel II.

Das Weber'sche Gesetz und die übermerklichen Lichtunterschiede.

Da die im Vorigen besprochenen Verbesserungen der Versuchsmethode sich größtentheils erst im Laufe der Experimente selbst ergaben, würde ich hier vielleicht die große Zahl von Beobachtungen übergehen können, welche sich zu den Hauptzwecken unserer Untersuchung nicht verwerthen ließen. Indessen wird es sich wegen des hierbei gewonnenen Aufschlusses über den Einfluss der Uebung immerhin lohnen, auch bei jenen vorläufigen Versuchen einige Augenblicke zu verweilen.

Bei den Contrastversuchen, welche Lehmann und ich früher gemacht hatten, zeigte es sich, dass, während wir beide die Intensität des Contrastes vollständig übereinstimmend schätzten, zufällig hinzutretende Beobachter theils zu denselben Resultaten kamen, theils aber gar keinen oder nur einen sehr schwachen Contrast angaben. Da dieser Unterschied von dem verschiedenen Grade der Uebung der Beobachter ganz unabhängig schien, so nahm Lehmann an¹⁾, dass die Contrasterscheinungen erst irgendwie »entdeckt« werden müssten, um überhaupt wahrgenommen zu werden, dass sie aber nach dieser Entdeckung mit einer von Uebung und individuellen Unterschieden unabhängigen Stärke hervortreten. Nun waren jene Contrastversuche unstren gegenwärtigen Experimenten nach der Methode d. m. A. in hohem Grade

1) Vgl. l. c. p. 520f.

ähnlich. In beiden Fällen handelt es sich darum, gleichzeitige Lichtempfindungen betreffs ihrer quantitativen Verschiedenheit bez. Nichtverschiedenheit zu bestimmen; und was Lehmann »Entdeckung« nennt, kann nichts anderes sein als eine Ueberwindung von Associationseinflüssen, die in beiden Fällen müssen auftreten können. In der That zeigten sich bei unseren Versuchen anfänglich persönliche Unterschiede, welche den von Lehmann erwähnten ganz analog waren. Während der Beobachter *G.* und ich sogleich in den ersten Versuchen beinahe übereinstimmend schätzten, war die Differenz des Beobachters *M.* anfangs eine sehr große. Wenn ferner der Unterschied der Grenzempfindungen *d* und *h* vergrößert und somit die Vergleichung erschwert wurde, wuchsen die Schwankungen innerhalb der Angaben jedes einzelnen Beobachters überhaupt proportional dem Empfindungsunterschiede; auch diese Schwankungen waren für *M.* anfangs viel beträchtlicher als für *G.* und *N.* Im Laufe der Arbeit nahmen aber sowohl diese als jene Differenzen ab, so dass wir schließlich alle drei ganz übereinstimmend schätzten. Weil, wie früher bemerkt, jede Communication während der Versuche ausgeschlossen war, scheint aus den soeben erwähnten Thatsachen unzweifelhaft folgendes hervorzugehen: 1) dass die Sicherheit, womit verschiedene Personen dieselben quantitativen farblosen Lichtunterschiede vergleichen, ursprünglich eine sehr verschiedene sein kann; 2) dass diese persönlichen Differenzen aber durch Uebung allmählich abnehmen.

Um das oben gesagte näher zu beleuchten, werde ich einige Zahlen zusammenstellen, welche aus verschiedenen Zeitpunkten unserer Versuche stammen. Es sind die Resultate von je vier Experimenten bei je einem constanten Unterschiede zwischen *d* und *h*.

a. Im Anfang unserer Versuche.

I. Unterschied zwischen *d* und *h* = 62°.

<i>G.</i>	<i>N.</i>	<i>M.</i>
62; 64; 60; 60.	63; 63; 61; 60.	58; 60; 55; 55.

II. $h - d = 100^\circ$.

<i>G.</i>	<i>N.</i>	<i>M.</i>
237; 234; 237; 234.	237; 236; 237; 236.	224; 229; 224; 227.

b. Zwei Monate später.

I. $h - d = 92^\circ$.

<i>G.</i>	<i>N.</i>	<i>M.</i>
192; 194; 193; 191.	193; 191; 193; 194.	192; 191; 188; 190.

II. $h - d = 104^\circ$.

$G.$	$N.$	$M.$
78; 79; 77; 78.	78; 79; 79; 78.	78; 78.

Als ich später mit dem Herrn Bobtscheff und Alexander Versuche anstellte, ergab es sich wieder, dass anfängliche individuelle Unterschiede durch Uebung entfernt wurden.

Inzwischen waren die Versuchsbedingungen endlich günstig genug geworden, um einen regelmäßigen Verlauf der Versuche zu erlauben. Die individuellen Schwankungen der verschiedenen Beobachter waren sehr gering geworden und die persönlichen Differenzen noch geringer. Ich fand es daher rätlich, bei der Berechnung die mittleren Werthe von sämtlichen Beobachtungen zu benutzen. Um die Berechtigung dieses Schrittes darzuthun, werden in folgender Tabelle I. individuelle Schwankungen und persönliche Differenzen gesondert aufgeführt werden. Diese Tabelle enthält übrigens sechs Versuchsreihen von dem Zeitpunkte an, wo unsere Experimente eben begannen taugliche Resultate zu geben.

Tabelle I.

No.	gegebene		$\sqrt{d \cdot h}$	gefundene Werthe von v				f	mittlere Fehler						
	d	h		$G.$	$M.$	$N.$	m (Mittel)		bez. auf $v.$			bez. auf $m.$			
									$G.$	$M.$	$N.$	$G.$	$M.$	$N.$	
I.	40°	112°	67,58	70,33 (6)	69,5 (4)	69,66 (6)	69,83	+	2,25	1,33	1,50	1,22	0,50	0,33	0,17
II.	40°	144°	76,94	78 (4)	78 (2)	78,5 (4)	78,20	+	1,26	0,50	0,00	0,50	0,20	0,20	0,30
III.	40°	194°	89,67	89,5 (4)	90 (4)	89,25 (4)	89,58	-	0,09	0,50	0,50	0,37	0,08	0,42	0,33
IV.	144°	236°	184,30	192,5 (4)	190,25 (4)	192,75 (4)	191,83	+	7,53	0,85	1,25	0,87	0,67	1,58	0,92
V.	144°	286°	203,21	212,5 (4)	214,5 (4)	214,5 (4)	213,83	+	10,62	1,50	2,50	1,50	1,23	0,67	0,67
VI.	144°	344°	222,9	231 (4)	230,5 (4)	230 (4)	230,5	+	7,6	2,00	2,50	2,00	0,50	0,00	0,50

d und h sind die Winkelbreiten des weißen Sectors der dunklen und hellen Scheibe; die nächstfolgende Columne enthält die unter vor-

ausgesetzter Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes berechneten Werthe der Scheibe v , also, weil $\frac{d}{v} = \frac{v}{h}$,

$$v = \sqrt{d h} \dots \dots \dots (2)$$

Danach folgen die Mittel der gefundenen Werthe, zuerst einzeln für jeden Beobachter, dann das allgemeine Mittel; die in einer Parenthese beigefügte arabische Ziffer gibt die Zahl der Beobachtungen an, aus welchen in jedem Falle die mittleren Werthe gezogen sind. f ist die Differenz zwischen der berechneten und der gefundenen mittleren Abstufung, also $m - \sqrt{d h}$. Schließlich folgt eine doppelte Uebersicht der bei den Beobachtungen begangenen Fehler: 1) das Mittel derjenigen Größen, um welche die vom einzelnen Beobachter erhaltenen Einzelwerthe von v von ihrem in der Tabelle einzeln aufgeführten Mittelwerthe abwichen, also was wir oben »individuelle Schwankungen« genannt haben; 2) dasselbe für die einzelnen Mittelwerthe und ihr allgemeines Mittel (m), also die »persönlichen Differenzen«.

Betrachtet man nun erstens jene mittleren Fehler, so zeigt es sich, dass sie im Vergleich mit den aus Delboeuf's Tabellen sich ergebenden fast verschwindend klein sind ¹⁾. Etwas mag wohl auch der Umstand hierzu mitgewirkt haben, dass, wie schon oben bemerkt, wir uns auf die Bestimmung einer mittleren Zone, anstatt einer punktuellen Mitte, beschränkten; jedoch sehr hoch darf die Wirkung dieser Anordnung selbstverständlich nicht angeschlagen werden. Der einzige wesentliche Unterschied zwischen Delboeuf's Versuchen und den meinigen besteht vielmehr darin, dass bei jenen ein sehr starker successiv-simultaner Contrast auftrat, während bei diesen eine derartige Contrastwirkung sorgfältig ausgeschieden war. Dies zwingt uns aber anzunehmen, dass die soeben erwähnte beträchtliche Differenz unserer Resultate gerade hieraus entsprungen ist. Betreffs dieser Frage vgl. übrigens Lehmann l. c. p. 513. Doch abgesehen davon, dass die in obiger Tabelle angegebenen mittleren Fehler überhaupt sehr gering sind, ergeben sich, wie ich schon sagte, für die persönlichen Differenzen fast ausnahmslos kleinere Werthe als für die individuellen Schwankungen.

Bevor ich zu der weiteren Besprechung der jetzt gefundenen Re-

1) Eine specielle Berechnung dieser Fehler hat Müller ausgeführt behufs der von uns später zu erwähnenden Theorie, welche er darauf gründet. Vgl. Müller, Grundlegung p. 96.

sultate übergehe, sei auf die einfache Deduction verwiesen, welche von Lehmann zur Berechnung der Scheibe v unter vorausgesetzter Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes entwickelt wurde¹⁾. Bezeichnen wir mit a^0 und b^0 die resp. Winkelbreiten des weißen Sectors der Scheiben d und h , ferner mit $k:1$ das photometrische Verhältniss unseres Weiß und Schwarz, so finden wir jedesmal die betreffenden Helligkeiten:

$$d = \frac{a k + 360 - a}{360}; \quad h = \frac{b k + 360 - b}{360}.$$

Nach unserer Formel (2), $v = \sqrt{d h}$, muss sodann die Helligkeit der Scheibe v sein

$$\frac{x k + 360 - x}{360} = \sqrt{\frac{a k + 360 - a}{360} \cdot \frac{b k + 360 - b}{360}},$$

woraus x berechnet werden kann:

$$x = \frac{-360 + \sqrt{360^2 + 360(a+b)(k-1) + ab(k-1)^2}}{k-1} \dots (3)$$

In die Formel (3) wird sodann der früher festgestellte Werth $k = 68$ eingesetzt.

Die Vergleichung der nach dieser Formel berechneten mit den von uns gefundenen Werthen kann indessen nicht unmittelbar vor sich gehen. In der Tabelle haben wir zur Berechnung der Größe f überall als Maßeinheit 1° Weiß benutzt; nun bedeutet aber offenbar 1° Weiß bei schwacher Helligkeit viel mehr als bei einer höheren; es muss somit ein relatives, auf jede Helligkeitsstufe sich beziehendes Maß gefunden werden, und hierzu scheint das Verhältniss $\frac{f}{\sqrt{d h}}$ sich am besten zu eignen. In dieser Weise reducirt werden die Abweichungen zwischen gefundenem und berechnetem Werthe:

$$\frac{f}{\sqrt{d h}}$$

I. + 0,033
II. + 0,016
III. — 0,001
IV. + 0,040
V. + 0,052
VI. + 0,032

1) l. c. p. 510.

Die sechs Versuchsreihen zerfallen in zwei Gruppen, jede mit einem constanten Werthe für d , nämlich in den drei ersten $d = 40^\circ$, in den drei letzten $d = 144^\circ$. Betrachten wir nun zuerst die drei ersten Reihen, so ergibt sich, dass der Werth von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ sich in einer constanten Richtung entwickelt: er wächst reciprok dem Unterschiede zwischen d und h . In der zweiten Gruppe sodann wiederholt sich dieselbe Erscheinung zwar nicht ganz regelmäßig, indem $\frac{f}{\sqrt{hd}}$ größer ist in der Reihe V als in IV. Aber auch hier scheint wenigstens eine Tendenz der erwähnten Entwicklung stattzufinden, indem für VI der Werth von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ wieder sehr beträchtlich gesunken, und zwar kleiner geworden ist, als für IV.

Lassen wir aber bis auf Weiteres die erwähnte Ausnahme bei Seite, um die übrigen Ergebnisse unserer Tabelle etwas näher zu betrachten. Es liefern in der That jene sechs Versuchsreihen mehr als genügenden Stoff zum Erstaunen. Schon nach den drei ersten Versuchen wurde ich auf die sonderbare Thatsache aufmerksam, dass, während das Weber'sche Gesetz bei dem beträchtlichen Unterschiede von 154° zwischen d und h genau zu gelten schien, seine Gültigkeit mit der Abnahme des Unterschiedes immer verringert wurde. Und da ich dasselbe Experiment bei höheren Helligkeitsstufen wiederholte, fand ich, wie wir gesehen haben, größere Abweichungen für Unterschiede von bez. 92° und 142° als für 200° ! Wenn diese Ergebnisse nicht von zufälligen Umständen verursacht waren — und zu einer solchen Annahme schien hier kein Grund vorzuliegen — waren uns hier plötzlich Erscheinungen begegnet, welche mit allen bisher beobachteten psychophysischen Thatsachen in offenbarem Widerstreit standen. Denn was zuerst die bisherigen, durch unsere Methode der mittleren Abstufungen gewonnenen Resultate betrifft, so zeigen die Delboeuf'schen Tabellen, wenn sie nach der gewöhnlichen Fechner'schen Formel berechnet werden¹⁾, ein theils sehr deutliches, theils (wie es scheint, wegen der großen Abweichungen der Einzelbestimmungen) etwas schwankendes Anwachsen der Größe f bei zunehmenden

1) Wie es zu seinen Zwecken Lehmann gethan hat; l. c. p. 514.

Unterschieden der zu vergleichenden Reize. In dieser Hinsicht stimmen auch die von Lehmann mitgetheilten Resultate mit den Delboeuf'schen völlig überein¹⁾. Wenn die betreffenden Autoren dieser Thatsache keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt haben, so rührt dies wohl davon her, dass, sogar bei vorausgesetzter strenger Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Allgemeinen, Abweichungen, die mit dem absoluten Unterschiede zunehmen, als selbstverständlich betrachtet wurden. Das Weber'sche Gesetz geht ja vor Allem auf das Verhältniss, in dem zwei Reize zu einander stehen müssen, damit sie als von einander verschieden empfunden werden können; und wenn es sich zeigensollte, dass die Gültigkeit eines logarithmischen Verhältnisses zwischen Reiz und Empfindung eine minder strenge wird, wenn weit auseinander liegende Empfindungen verglichen werden, so ließe es sich vielleicht immer noch denken, dass bei eben merklichem Unterschiede nichtsdestoweniger eine strenge Gültigkeit bestehe. Da in der That die Methode der minimalen Aenderungen die älteste und weitaus häufigst verwandte ist, mithin die allermeisten psychophysischen Untersuchungen auf eine Bestimmung der Unterschiedschwelle hinzielten, während die Prüfung endlicher Unterschiede erst viel später benutzt wurde, so ließ schon diese historische Thatsache vermuthen, dass die minimalen Unterschiedsempfindungen die sicherste Auskunft über die Bewährung des Weber'schen Gesetzes geben würden. Und nun ergab sich im Widerspruch mit dieser Voraussetzung, dass sich das Gesetz um so schlechter bewährt fand, je geringer die Unterschiede genommen wurden!

Nebst dieser Thatsache schien aber noch eine zweite aus unseren Versuchen hervorzugehen. Die Werthe von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ sind nämlich beträchtlich geringer in der ersten Gruppe, als in der zweiten, und in voller Uebereinstimmung hiermit erreichten wir im vorigen Falle einen Punkt, wo $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ gänzlich verschwindet oder sogar ein wenig negativ wird, während in den späteren Reihen die Abweichung in VI zwar geringer als in IV und V, aber immerhin noch ziemlich bedeutend ist. Erinnern wir uns sodann, dass in diesen Reihen, wo $d = 144^\circ$, die ab-

1) Vgl. Lehmann, l. c. p. 511 u. 531.

solute Helligkeit beträchtlich größer ist als in jenen, wo $d = 40^\circ$, so scheint die Größe der Abweichungen eine Function der absoluten Helligkeit zu sein. Nun sind aber außerdem unsere Fehler (mit Ausnahme von III, wo wir ± 0 schreiben können) alle positiv, mithin: $\frac{d}{v} < \frac{v}{h}$; und weil bei der Methode d. m. A. die relative Unterschiedsempfindlichkeit durch die reciproken Werthe der Brüche $\frac{h}{v}$, $\frac{v}{d}$ gemessen wird, so geht fernerhin aus unseren Resultaten hervor, dass, wie schon verschiedene Beobachter und vor Allen Aubert¹⁾ behauptet haben, die relative Unterschiedsempfindlichkeit mit der absoluten Lichtstärke zunimmt.

Werden nun die beiden gefundenen Thatsachen mit einander verknüpft, so scheint die Bewährung des Weber'schen Gesetzes eine Function zweier Factoren zu sein, nämlich 1) eines gewissen Grades von Uebermerklichkeit der Unterschiede; 2) der absoluten Lichtstärke. Hieraus würde fernerhin folgen, dass die Größe von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ auf jeder Helligkeitsstufe durch eine Wechselwirkung der beiden Factoren bestimmt wird, so dass, wenn z. B. gerade der erforderliche Grad von Uebermerklichkeit da ist, die absolute Lichtintensität zu groß sein kann, und dann $\frac{f}{\sqrt{dh}}$, der Zunahme der Unterschiedsempfindlichkeit gemäß, positiv wird, oder aber, wenn die absolute Lichtintensität zu niedrig ist, negativ. Der dritte und letzte Fall wäre somit, dass die absolute Lichtintensität weder zu groß noch zu klein ist, sondern eben die günstige; was offenbar den behaupteten mittleren Intensitätszonen entsprechen würde, innerhalb deren Grenzen die Unterschiedsempfindlichkeit annäherungsweise constant sein soll.

Demzufolge müssen wir erwarten, dass auch in unseren sechs Versuchsreihen $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ genau nach jenen gegenseitigen Beziehungen sich entwickeln werde; und dies scheint in der That der Fall zu sein. Die drei ersten ($d = 40^\circ$) liegen innerhalb der mittleren, bez. günstigen Helligkeitszone; wenn noch dazu h genügend variirt wird, müssen die

1) Physiologie der Netzhaut, p. 56 ff.

für die Bewährung des Weber'schen Gesetzes erforderlichen Bedingungen hergestellt und $\frac{f}{\sqrt{d h}}$ auf 0 gebracht werden können, was auch der Fall ist. Hingegen in den drei letzten Reihen ($d = 144^\circ$) ist die absolute Lichtintensität durchgängig zu groß und infolgedessen ein positiver Fehler nicht zu vermeiden. Dieser Fehler muss sich außerdem als Doppelfunction der beiden genannten Factoren entwickeln: so ist in der Reihe V der Unterschied zwischen d und h (142°) noch verhältnissmäßig zu gering, um dem gleichzeitig geschehenen Intensitätszuwachse Stand zu halten, während er, bis auf 200° erhöht (Reihe VI), schon einen beträchtlichen Vorsprung gewonnen hat.

Indessen enthalten diese Erwägungen, wenn sie auch ein bequemes Mittel bieten, die Ergebnisse unserer Versuche in gegenseitige Uebereinstimmung zu bringen, doch keine Spur einer Erklärung. Denn vorausgesetzt sogar, dass die von uns jetzt bestätigten Erscheinungen sich auch in allen künftigen Fällen wiederholen würden — was bei der beschränkten Zahl unserer bisherigen Versuche sehr fraglich schien — so wäre dadurch nur die Bewährung eines neuen und zwar seltsamen Gesetzes dargethan worden, gar nicht aber seine Ursachen. Was will es im Grunde sagen, dass der Grad der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes vom Uebermerklichkeitsgrade der Unterschiede bestimmt wird? Dass dahinter ein tieferer Grund sich verbergen musste, war einleuchtend.

Vor allem schien es nun erforderlich, die zu vergleichenden Unterschiede ungehindert variiren und, wenn möglich, bis zu dem Ebenmerklichkeitsgrade herabdrücken zu können. Die Versuche wurden deshalb folgendermaßen fortgesetzt. Ich stellte eine möglichst reich abgestufte Scala von grauen Papieren her, welche als Hintergründe dienen sollten¹⁾. Sodann wählte ich, auf passenden Abständen, von den verschiedenen Helligkeitsstufen eine Anzahl aus, welche, selbst constant, nacheinander mit den übrigen combinirt werden konnten. Wurden jene Versuchssysteme mit genügender Vollständigkeit durchgeführt, so mussten wir uns, wenn nicht über die Ursachen, so doch

1) Die photometrische Bestimmung dieser Hintergründe ist früher mitgetheilt worden; vgl. oben p. 36.

über die Verbreitung der oben erwähnten Erscheinung Rechenschaft geben können.

Aus dem Gesagten erhellt nun, dass eine außerordentlich große Menge von Versuchen nöthig wurde, um unsere Aufgabe zu lösen. Um so willkommener war die Erfahrung, die wir im Laufe der Arbeit machten, dass wegen der häufigen Uebung die Beobachtungen bedeutend rascher ausgeführt werden konnten, während zugleich ein nahezu vollständiges Verschwinden aller persönlichen Differenzen die jedesmaligen Wiederholungen der einzelnen Versuche etwas zu beschränken erlaubte. In der Regel wurde jedes Experiment viermal wiederholt, wechselweise von d und h ausgehend; bisweilen, in den späteren Reihen, begnügte ich mich sogar mit zwei oder drei Wiederholungen, wenn aus diesen ein sehr regelmäßiges Resultat hervorging. Am auffallendsten war das Verschwinden der persönlichen Differenzen zwischen Herrn Alexander und mir; am Ende unserer Versuche war es uns ganz unmöglich, verschieden zu schätzen, auch wenn die Unterschiede der Scheiben d und h sehr groß genommen wurden. Es möge durch diese Thatsache ein von Müller gegen die Methode der mittleren Abstufungen gehegtes Bedenken widerlegt sein, dass man nämlich bei dieser Methode nicht im Stande sei, »die Unterschiedsempfindlichkeiten, welche verschiedene Individuen unter bestimmten Versuchsumständen besitzen, mit einander zu vergleichen«. Denn man hat, sagt er, »durchaus keine Gewähr dafür, dass derjenige Grad der Uebermerklichkeit, welchen der eine Beobachter bei seinen Versuchen zu Grunde legt, auch von dem andern benutzt worden sei«¹⁾. Dass man kein directes Mittel zur Vergleichung der Unterschiedsempfindlichkeiten besitzt, ist zwar nicht zu bestreiten. Wenn aber durch eine große Menge von Beobachtungen festgestellt wird, dass bei günstigen Versuchsumständen und zureichender Uebung überhaupt keine persönlichen Differenzen sich kundgeben²⁾, so darf dies wohl kaum als irgend ein zufälliges Zusammentreffen betrachtet werden. Erinnern wir noch an die Thatsache, dass mehrere Individuen aus verschiedenen Ländern Europas annähernd, nach nöthiger Uebung wahrscheinlich vollständig übereinstimmend schätzten, so scheint vielmehr aus allen jenen Erfahrun-

1) Grundlegung p. 101.

2) Vgl. auch oben p. 44.

gen hervorzugehen, dass bei der Schätzung von übermerklichen Helligkeitsunterschieden die U. E. für alle Individuen dieselbe ist.

Wenden wir uns jetzt zu unseren Versuchsergebnissen. Um die folgenden Tabellen nicht weitläufig zu machen und in Betracht der erwähnten Geringfügigkeit der persönlichen Differenzen, führe ich nicht die Einzelbeobachtungen gesondert auf, sondern ziehe sogleich das Mittel aus sämtlichen in je einem Falle gefundenen Werthen. p bezeichnet die Anzahl der an jeder Beobachtung beteiligten Personen. Mit Ausnahme der mittleren Fehler ($m F$), die ich nur in Graden angebe, sind alle anderen Zahlen mit Bezugnahme auf die Intensität des Schwarz berechnet worden; weil aber, wegen der von Lehmann angenommenen geringen photometrischen Einheit (360° Schwarz = 1), die Vergleichung der verschiedenen Zahlen etwas erschwert wird, sind sowohl für die festen Scheiben d und h als für die beiden Werthe der variablen auch die betreffenden Winkelbreiten des weißen Sectors notirt. Die jedem Versuche entsprechende relative Abweichung vom Weber'schen Gesetze $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ habe ich dagegen, um unnöthige Breite zu vermeiden, direct aus der Differenz der reducirten Zahlen berechnet, wonach also $f = v - \sqrt{dh}$ zu setzen ist. Dass in diesen Tabellen, wo die Einzelbeobachtungen nicht angegeben sind, die mittleren Fehler sich auf die Mittel sämtlicher in je einem Falle gefundenen Werthe beziehen, braucht kaum bemerkt zu werden.

Tabelle II.

$$d = 0^\circ W + 360^\circ S (1,00)$$

No.	p	h	\sqrt{dh}	v	$\frac{f}{\sqrt{dh}}$	$m F$
I.	2	$4^\circ = 1,74$	$1,7^\circ = 1,31$	$1,5^\circ = 1,28$	- 0,023	$0,00^\circ$
II.	2	$6^\circ = 2,11$	$2,42^\circ = 1,45$	$2,5^\circ = 1,46$	+ 0,007	$0,00^\circ$
III.	3	$12^\circ = 3,23$	$4,30^\circ = 1,8$	$4,41^\circ = 1,82$	+ 0,011	$0,28^\circ$
IV.	3	$16^\circ = 3,97$	$5,21^\circ = 1,97$	$6,75^\circ = 2,25$	+ 0,142	$0,33^\circ$
V.	3	$29^\circ = 6,39$	$8,20^\circ = 2,52$	$11,66^\circ = 3,16$	+ 0,254	$0,44^\circ$
VI.	2	$40^\circ = 8,44$	$10,21^\circ = 2,90$	$10,33^\circ = 2,92$	+ 0,006	$0,44^\circ$
VII.	2	$64^\circ = 12,91$	$13,90^\circ = 3,58$	$15,80^\circ = 3,94$	+ 0,100	$1,01^\circ$
VIII.	2	$76^\circ = 15,14$	$15,36^\circ = 3,86$	$17,62^\circ = 4,28$	+ 0,110	$0,68^\circ$
IX.	3	$144^\circ = 27,8$	$22,94^\circ = 5,27$	$29,50^\circ = 6,24$	+ 0,185	$1,68^\circ$
X.	3	$180^\circ = 34,5$	$26,16^\circ = 5,87$	$35,20^\circ = 7,55$	+ 0,296	$1,64^\circ$

Die obige Tabelle enthält, wie man sieht, zehn Combinationen, in welchen eine ganz schwarze Scheibe die constante ist, während die successiv steigenden Intensitäten von h Winkelbreiten von 4° bis 180° entsprechen. Bemerken wir sogleich, dass die Form der Reihe V auf eine fehlerhafte Beobachtung hindeutet. Wenn auch aller Wahrscheinlichkeit nach ein positiver Fehler hier auftreten soll, muss der thatsächlich begangene dennoch viel zu groß sein; die zur Herstellung der mittleren Abstufung verlangte Helligkeit ist nämlich in jener Reihe größer als in der folgenden, wo doch die Intensität von h eine beträchtlich größere ist.

Einer besonderen Besprechung bedarf ferner die erste Versuchsreihe ($h = 4^\circ$). Die Unterschiede der Helligkeiten d , v , h , obgleich sehr gering, sind doch lange nicht als eben merklich zu betrachten. Denn es zeigte sich, dass zwischen jene noch andere eingeschoben werden konnten. Dagegen ist der betreffende Unterschied zwischen d und h ungefähr der geringste, bei welchem wir in diesem Falle ein Experiment nach unserer Methode der m. A. mit einiger Sicherheit ausführen konnten. Unserer Versuchsanordnung zufolge standen bekanntlich die drei Scheiben in einer Entfernung von mehreren Centimetern von einander; diese Entfernung wirkt sehr beträchtlich auf die Vergleichung ein. Wir suchten mehrmals und zwar auf verschiedenen Helligkeitsstufen die Unterschiede bis zu einem Punkte zu verengen, wo eben nur eine einzige Abstufung zwischen d und h eingeschoben werden könnte; aber es ergab sich immer, dass wir etwas zu früh aufhören mussten. Die Schätzung der sehr schwachen Unterschiede war nicht nur äußerst anstrengend, sondern es wurde geradezu unmöglich, die drei Eindrücke festzuhalten und ein weiteres Urtheil zu fällen. So werthvoll es auch, der oben bemerkten Thatsachen wegen, gewesen wäre, gerade die ebenmerklichen Unterschiede der Beobachtung zu unterwerfen, wurden wir also durch rein praktische Schwierigkeiten gezwungen, auf diese directe Vergleichung unserer Resultate mit den durch die Methode der Minimaländerungen gefundenen zu verzichten. Später wird es sich indessen zeigen, ob wir nichtsdestoweniger das Gesamtergebnis unserer Untersuchung mit der mehrfach beobachteten Thatsache eines Steigens der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Lichtstärke in mittelbaren Zusammenhang bringen dürfen.

Von der oben erwähnten Störung abgesehen entwickeln sich die

gefundenen Werthe der variablen Scheibe in höchst regelmäßiger Weise. v fängt als zu klein an, steigt aber gleich, und fällt in der zweiten Versuchsreihe mit dem theoretischen Werthe ungefähr zusammen; von da ab wächst die Größe $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ sehr rasch, bis sie in der Reihe V ihr, wie schon gesagt, wohl etwas zu hoch anzuschlagendes Maximum erreicht. In der Reihe VI ($h = 40^\circ$) stimmen v und \sqrt{dh} wieder nahezu überein. In der nächsten Reihe finden wir sodann einen beträchtlichen positiven Fehler, der von jetzt an immer zunimmt und bei $h = 180^\circ$ sich noch in stetigem Wachsen befindet.

Die Resultate scheinen nun in der That mit unseren früheren Erwägungen in der schönsten Harmonie zu stehen. Bei $h = 40^\circ$ begegnet uns der »günstigste Unterschied«; werden die Werthe von h größer oder kleiner genommen, so entstehen jedesmal beträchtliche Abweichungen. Dies bereichert unsere früheren Erfahrungen, insofern hieraus hervorzugehen scheint, dass zur Herstellung jenes günstigsten Unterschiedes nicht nur ein Minimum von Uebermerklichkeit erforderlich ist, sondern dass es vielmehr auch ein Maximum von Uebermerklichkeit gibt, welches nicht überschritten werden darf. Die Ergebnisse an der unteren Intensitätsgrenze lassen sich hinwiederum aus dem Einfluss der absoluten Lichtintensität erklären. Wie wir früher ($h = 144^\circ$) zu einer zu großen, schienen wir jetzt zu einer zu kleinen absoluten Lichtintensität gelangt zu sein. Anstatt von der Reihe V abwärts fortwährend zu steigen, sinkt also $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ wieder, der abnehmenden U. E. zufolge. Die Wirkung dieses herabdrückenden Factors wird sogar stark genug, um jene positive Größe in eine negative zu verwandeln; daher der zweite Kreuzungspunkt zwischen v und \sqrt{dh} .

Konnten wir uns hiernach einer nochmaligen Bestätigung desselben seltsamen Gesetzes erfreuen, — der Erklärung waren wir noch um keinen Schritt näher gerückt. Die zwei folgenden Tabellen enthalten daher je acht Versuchsreihen, in welchen Scheiben von bez. 29° und 40° als constante gedient haben; in Tabelle IV sind die drei betreffenden, früher erwähnten Versuche mit aufgenommen.

(Siehe Tabelle III u. IV f. S.)

Die beiden letzten Tabellen stimmen zwar in mehreren Hinsichten mit unseren bisherigen Ergebnissen überein, bieten aber dabei nicht

Tabelle III.

$$d(h) = 29^\circ W + 331^\circ S (6,39)$$

No.	p	$h(d)$	\sqrt{dh}	v	$\frac{f}{\sqrt{dh}}$	mF
I.	3	$0^\circ = 1,00$	$8,20^\circ = 2,52$	$11,66^\circ = 3,16$	+ 0,254	$0,44^\circ$
II.	3	$42^\circ = 8,81$	$34,5^\circ = 7,5$	$32,38^\circ = 7,02$	- 0,064	$0,18^\circ$
III.	2	$76^\circ = 15,14$	$47,44^\circ = 9,83$	$45,81^\circ = 9,52$	- 0,031	$0,44^\circ$
IV.	3	$112^\circ = 21,84$	$58,08^\circ = 11,81$	$56,41^\circ = 11,49$	- 0,027	$0,75^\circ$
V.	3	$144^\circ = 27,8$	$66,2^\circ = 13,32$	$66,43^\circ = 13,36$	+ 0,003	$1,17^\circ$
VI.	3	$174^\circ = 33,38$	$73,07^\circ = 14,60$	$73,10^\circ = 14,60$	$\pm 0,000$	$1,55^\circ$
VII.	2	$180^\circ = 34,5$	$74,36^\circ = 14,84$	$74,40^\circ = 14,84$	$\pm 0,000$	$0,25^\circ$
VIII.	2	$222^\circ = 42,31$	$82,96^\circ = 16,44$	$84,5^\circ = 16,72$	+ 0,017	$1,25^\circ$

Tabelle IV.

$$d(h) = 40^\circ W + 320^\circ S (8,44).$$

No.	p	$h(d)$	\sqrt{dh}	v	$\frac{f}{\sqrt{dh}}$	mF
I.	2	$0^\circ = 1,00$	$10,21^\circ = 2,90$	$10,33^\circ = 2,92$	+ 0,006	$0,44^\circ$
II.	4	$64^\circ = 12,91$	$50,66^\circ = 10,43$	$53,25^\circ = 10,91$	+ 0,046	$0,81^\circ$
III.	4	$76^\circ = 15,14$	$55,34^\circ = 11,3$	$55,85^\circ = 11,39$	+ 0,008	$0,76^\circ$
IV.	3	$112^\circ = 21,84$	$67,58^\circ = 13,57$	$69,83^\circ = 13,99$	+ 0,031	$1,37^\circ$
V.	3	$144^\circ = 27,8$	$76,94^\circ = 15,32$	$78,20^\circ = 15,55$	+ 0,015	$0,48^\circ$
IV.	3	$194^\circ = 37,1$	$89,67^\circ = 17,69$	$89,58^\circ = 17,67$	- 0,001	$0,58^\circ$
VII.	3	$236^\circ = 44,92$	$99,24^\circ = 19,47$	$99,66^\circ = 19,54$	+ 0,003	$0,44^\circ$
VIII.	2	$286^\circ = 54,22$	$110,70^\circ = 21,63$	$114,37^\circ = 22,28$	+ 0,030	$1,12^\circ$

geringe Abweichungen dar. Die Ordinaten der Curve, durch welche man sich die Entwicklung des Fehlers $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ dargestellt denken kann, variiren weniger, und in Uebereinstimmung damit ist auch der »günstige Unterschied« viel weniger scharf präcisirt, als in Tab. II. Für $d = 29^\circ$ kann h 144° oder 180° sein, ohne dass $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ merklich verändert wird; in Tab. IV beziehen sich die betreffenden Werthe von h auf 194° bis 236° . Aber auch gegenseitig weichen die beiden Tabellen nicht unbeträchtlich von einander ab. Während in der Tab. III die empirisch gefundene mittlere Abstufung nur einmal mit dem theoretischen Werthe übereinstimmt, hat in der Tab. IV v eine unzweifel-

hafte Tendenz, zweimal mit \sqrt{dh} zusammenzufallen, nämlich irgendwo zwischen $h = 64^\circ$ und $h = 112^\circ$. Schon in der dritten Versuchsreihe ($h = 76^\circ$) beläuft sich $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ nur auf 0,008, während wir in den angrenzenden Reihen Abweichungen von bez. 0,046 und 0,031 finden. Da der betreffende Versuch von vier verschiedenen Beobachtern gemacht worden, und außerdem der mittlere Fehler geringer ist, als in den beiden angrenzenden Reihen, so darf wohl kaum angenommen werden, dass ein bloßer Zufall hier vorliege. Bedenken wir noch dazu, dass wir uns jetzt von der unteren Intensitätsgrenze ziemlich fern befinden, so wird es auch nicht möglich, diesmal von einem Einfluss der absoluten Lichtintensität, bez. einer Abnahme der relativen U. E. zu reden. Daraus folgt freilich auch, dass unsere bisherige Hypothese wenigstens in einer Hinsicht nicht stichhaltig ist. Dass die Bewährung des Weber'schen Gesetzes vom Uebermerklichkeitsgrade abhängt, scheint zwar mehr und mehr bestätigt zu werden, dagegen durch eine Doppelfunction von gewissen »günstigen Unterschieden« und absoluten Lichtintensitäten sind wir nicht mehr im Stande, die Thatsachen zu erklären.

Mit jenen bestimmten, periodisch wiederkehrenden Uebermerklichkeitsgraden vor Augen, lag es indessen nahe, an eine Wirkung des Contrastes zu denken, und dies schien in der That um so berechtigter zu sein, als ich bei einer Vergleichung meiner Resultate mit den Lehmann'schen Contrast-Tabellen¹⁾ einer auffallenden Coincidenz unserer gegenseitigen Zahlen begegnete. Da es zu viel Raum einnehmen würde, jene Tabellen noch einmal abzudrucken, so sei nur kurz an den Verlauf der betreffenden Versuche erinnert. Gegen einen Hintergrund i wurde eine Scheibe gesehen, welche genau dieselbe Intensität besaß; gegen einen anderen Hintergrund I von verschiedener Intensität contrastirte eine Scheibe, die so lange variirt wurde, bis die objective Helligkeit r gefunden war, bei welcher die Scheibe wegen des Contrastes dieselbe subjective Helligkeit wie die Scheibe i angenommen hatte. Die Helligkeitsdifferenz $i - r$ entsprach somit der von I durch Induction hervorgerufenen absoluten Veränderung, und durch das Verhältniss $\frac{i - r}{r}$ ließ sich die relative Größe des Contrastes in

1) Vgl. Lehmann, l. c. p. 522 f.

jedem Falle messen ¹⁾). Durch sehr zahlreiche Variationen wurde nun der Contrast für mehrere Werthe von I und r untersucht; es ergab sich dabei, dass der Contrast bei einem constanten Verhältniss zwischen jenen zwei Intensitäten immer maximal, bei fortgesetzter Steigerung des absoluten Unterschiedes aber wieder relativ schwächer wird. Als jenes constante Verhältniss ergab sich ferner approximativ $\frac{I}{r} = 4,76$ ²⁾).

Nun ist es einleuchtend, dass in unseren gegenwärtigen Versuchen eine dem dortigen r entsprechende Intensität gar nicht vorkommen kann, weil ja hier gerade die Induction oder simultane Contrastwirkung ausgeschlossen sein sollte. Hieraus folgt indessen noch nicht, dass kein Vergleich der von uns benutzten Intensitäten mit Lehmann's Tabellen möglich wäre. Eine aus dem Gebiete des Farbencontrastes genommene Parallele wird dies erklären. Wenn man einen grauen Gegenstand auf einem farbigen Hintergrunde betrachtet, z. B. einen grauen Ring auf einem rothgefärbten Maxwell'schen Kreisel, so wird bekanntlich der graue Ring selbst sehr deutlich gefärbt, und zwar in der Complementärfarbe zu Roth. Will man hier dieselben Bezeichnungen wie bei dem Helligkeitscontraste benutzen, so entspricht das reagirende Grau der Intensität r , während das inducirende Roth I , und die inducirte Complementärfarbe i ist. Der maximale Farbencontrast aber findet subjectiv nicht zwischen Roth und Grau, sondern zwischen Roth und Blaugrün statt. In Analogie hiermit darf man wohl, der sonstigen großen Unterschiede der beiden Contrastfälle ungeachtet, auch bei farblosem Lichte als subjectiven Maximalcontrast zu einer bestimmten Intensität I (statt des rein objectiven r) das i betrachten, welches dem maximalen Verhältniss $\frac{i-r}{r}$ im betreffenden Falle entspricht ³⁾).

Dieser Erwägung zufolge hatte ich, wenn ich die Contrastverhältnisse meiner Scheiben in Lehmann's Tabellen ablesen wollte, die entsprechenden Intensitäten nicht unter I und r , sondern unter I und i

1) l. c. p. 517.

2) l. c. p. 526 f.

3) Die Berechtigung dieser Annahme wird aus den im Cap. III mitzutheilenden Contrastversuchen deutlich hervorgehen.

zu suchen¹⁾. Nun wurde ich auf die merkwürdige Thatsache aufmerksam, dass unsere günstigen Unterschiede mit den maximalen Contrastfällen in sehr nahem Zusammenhang zu stehen schienen. In Lehmann's vierter Tabelle, wo $I = 8,44$ (40°), liegt $\max. \frac{i-r}{r} = 0,201$ bei $i = 38,97$ (204°). Aus unseren Versuchen hatte es sich aber ergeben, dass, wenn $d = 40^\circ$, der »günstige Unterschied« bei $h = 194^\circ$ ($37,1$) bis 236° ($44,92$) eintritt! Ein $I = 29^\circ$ ($6,39$) kommt in den Lehmann'schen Tabellen zwar nicht vor, wohl aber ein ziemlich nahestehendes, nämlich $I = 27^\circ$ ($6,03$). In dieser Tabelle liegt $\max. \frac{i-r}{r} = 0,203$ bei $i = 31,89$ (166°); der von uns gefundene günstige Unterschied zu $d = 29^\circ$, bei $h = 144^\circ$ ($27,8$) bis 180° ($34,5$)! Zu $d = 0^\circ$ W hatten wir den günstigen Unterschied bei $h = 40^\circ$ ($8,44$) gefunden; das entsprechende $\max. \frac{i-r}{r} = 0,218$ liegt zwar bei $i = 6,03$ (27°), was unseren Versuchen zufolge einem sehr ungünstigen Unterschiede nahe kommen würde ($\frac{f}{V \frac{df}{dh}} = 0,254$). Aber einerseits ist dies eben jene unzuverlässige Reihe V der Tab. II, und andererseits finden wir in der betreffenden Lehmann'schen Tabelle den dem maximalen nächstgrößten Contrast ($0,213$) eben bei $i = 8,44$ (40°).

Eine fernere Aehnlichkeit zwischen unserem günstigen Unterschied und dem maximalen Contrast liegt in ihrem beiderseitigen

1) Der erst nach der Beendigung meiner Experimente bestätigten Beleuchtungsdifferenz zufolge (vgl. oben p. 33 die Note) könnte es zwar fraglich scheinen, ob eine directe Vergleichung unserer resp. Versuchsergebnisse überhaupt möglich ist. Indessen aus einer Betrachtung der Lehmann'schen Contrasttabellen geht hervor, dass wir uns über jenes Bedenken ruhig hinwegsetzen können. Die Stärke des auf ein constantes Helligkeitsverhältniss sich beziehenden Contrastes scheint nämlich mit der Veränderung der absoluten Lichtintensität nur langsam zu variiren. Das constante Verhältniss haben wir in dem dem Maximalcontrasten entsprechenden Bruche $\frac{I}{r} = 4,76$. Während nun der Maximalcontrast für $I = 3,14$ sich auf $0,206$ beläuft, ist er für $I = 8,44$, also bei einer viel mehr als doppelten absoluten Lichtintensität, nur auf $0,201$ gesunken. Ebenso der zwar rascher variirende negative Maximalcontrast; für $I = 68$ finden wir $\max. \frac{i-r}{r} = 0,394$, für $I = 56,83$ ist das Maximum $= 0,362$. Die ganze Differenz zwischen Lehmann's und meiner Beleuchtung war aber, wie wir sahen, ungefähr ein Zehntel; mithin muss ihr Einfluss beinahe verschwindend gewesen sein.

Mangel an scharfer Begrenzung. Die Curven, durch welche Lehmann den Verlauf von $\frac{i-r}{r}$ veranschaulicht hat, machen überhaupt keine schroffe Biegung an dem Punkte, wo dieser Bruch maximal wird; über eine ziemlich weite Strecke hinweg nehmen die angrenzenden Ordinaten nur langsam ab. Diesem entsprechend finden wir in unseren Tab. III und IV, dass $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ dort von $h = 144^\circ$ bis $h = 180^\circ$, hier von $h = 194^\circ$ bis $h = 236^\circ$ annäherungsweise $= 0$ bleibt. Nur in unserer Tab. II ist es anders. Zwar tritt der günstige Abstand sehr plötzlich ein und hebt sich hinwiederum die entsprechende Lehmannsche Curve sehr steil zu ihrem maximalen Ordinatenwerth; aber während die Contrastcurve sich dann sehr langsam entwickelt, fängt $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ in unserer Tabelle wieder sehr rasch an zu steigen. Auch in einer anderen Hinsicht ist, wie wir soeben sahen, die Differenz zwischen günstigem Unterschied und maximalem Contrast in dieser Tabelle größer, als in den beiden übrigen. Vergleichen wir sodann die in Lehmann's Tabellen angegebenen, experimentell gefundenen Contrastverhältnisse mit den nach dem Mittelwerthe 4,76 theoretisch berechneten, so ergibt es sich ferner ¹⁾, dass für $I = 27^\circ$ der theoretisch berechnete und der experimentell gefundene Ort beinahe zusammenfallen, dagegen für $I = 40^\circ$ jener nicht bei $i = 204^\circ$, sondern etwa bei $i = 250^\circ$ liegen soll. Hieraus folgt also, dass der günstige Abstand schließlich nur für $d = 29^\circ$ mit dem maximalen Contraste gänzlich zusammenfällt, während er für $d = 0^\circ$ etwas zu groß und für $d = 40^\circ$ etwas zu klein ausgefallen ist.

Hierdurch wird indessen unserer Vermuthung eines Zusammenhanges zwischen jenen beiden Erscheinungen noch nicht widersprochen; denn bei unserer bisherigen Erwägung haben wir einen sehr wichtigen Umstand außer Betracht gelassen. Die von Lehmann untersuchten Contrastfälle waren sämmtlich entweder positiv (= hebender Contrast), oder negativ (= herabsetzender Contrast)²⁾; die gefundenen Zahlen beziehen sich somit alle nur auf die Induction, welche eine Helligkeit auf eine andere bewirkt, nicht aber auf die umgekehrte

1) Lehmann p. 525.

2) l. c. p. 524.

von dieser auf jene. Oder, um von unseren Tabellen zu reden: wir kennen zwar den (positiven) Contrast, welchen je eine dunkle Scheibe auf die betreffende helle bewirkt, nicht aber umgekehrt denjenigen (negativen), welchen die helle Scheibe auf die betreffende dunkle bewirkt. Und eben diese gegenseitigen Inductionen müssten wir offenbar kennen, um uns über die thatsächlich in irgend einem von uns beobachteten Falle stattfindenden Contrastverhältnisse volle Rechenschaft geben zu können. Lehmann's Tabellen enthalten daher lange nicht alles, was zu unseren Zwecken erforderlich wäre; sie geben uns keine Auskunft über die resp. Intensitäten des gegenseitigen Contrastes oder, wie wir es ausdrücken könnten, über den Ort der maximalen Contrastsumme je zweier Helligkeiten, von denen die eine gegeben ist.

Das Einzige, was aus Lehmann's Tabellen bezüglich des Verhältnisses der beiden Contraste hervorgeht, ist die nicht zu bezweifelnde Thatsache, dass die Maximalwerthe für den positiven Contrast mit wachsendem I abnehmen, für den negativen mit wachsendem I zunehmen ¹⁾. Hieraus folgt zwar, dass die Componenten des gegenseitigen Contrastes zweier Helligkeiten um so ungleicher werden müssen, je mehr jene Helligkeiten sich der unteren oder der oberen Intensitätsgrenze nähern; ob die Maxima des gegenseitigen Contrastes bei denselben Verhältnissen wie die einseitigen Maximalcontraste eintreten oder aber etwa diese durch jene verrückt werden — dies erhellt nicht aus dem erwähnten Entwicklungsgesetze und kann schlechthin nur durch besondere Untersuchungen ausfindig gemacht werden.

Wollen wir indessen an dem vermutheten Zusammenhang zwischen günstigem Unterschiede und maximalem Contraste festhalten, und wollen wir ferner aus den drei vorliegenden Fällen in Bezug auf den Contrast selbst einen Schluss ziehen, so ergibt sich folgendes: der gegenseitige Contrast (Contrastsumme) wird maximal an der unteren Intensitätsgrenze ($d = 0^\circ$) bei beträchtlich größeren Helligkeitsunterschieden als der einseitige (positive); sodann fallen die beiden Maxima zusammen ($d = 29^\circ$), gehen aber bald darauf wieder aus einander ($d = 40^\circ$), und zwar in entgegengesetzter Richtung, d. h. der gegenseitige Contrast wird jetzt maximal bei geringeren Helligkeitsunterschieden als der einseitige (positive.)

1) l. c. p. 527.

In Betracht des sehr geringen Erfahrungsmaterials, worauf wir diese Vermuthungen gestützt haben, darf nun ihr Werth selbstverständlich nicht sehr hoch angeschlagen werden. Aber außerdem bieten sie näher besehen keinen Schlüssel zu unserem früheren Problem. Denn was sagt uns im Grunde jene, übrigens nur erst halbwegs bewiesene Thatsache: dass drei Lichtreize genau nach dem Weber'schen Gesetze empfunden werden, so oft der stärkste und der schwächste in gegenseitigem Maximalcontrast zu einander stehen? Warum gerade Maximalcontrast? Und vor Allem: warum gerade der stärkste und der schwächste, die intensiv und, bei unserer gegenwärtigen Versuchsanordnung auch räumlich, entferntesten?

Vorausgesetzt sogar, dass die in Aussicht gestellte Abhängigkeit des Weber'schen Gesetzes vom maximalen Contraste sich durchgängig bewähren würde, so muss eingeräumt werden, dass hierdurch unsere fernere Aufgabe nur verwickelter geworden ist. Es liegt auf der Hand, dass hinter jenem Abhängigkeitsverhältniss complexere Erscheinungen stecken müssen, die, bei der noch sehr mangelhaften Erkenntniss der Contrastphänomene überhaupt, unserer Erforschung sich vielleicht ganz entziehen könnten. Dass wir daher von einer endgültigen Erklärung der Sache noch entfernt sind, wird um so wahrscheinlicher, da wir innerhalb einer einzigen Reihe zwei günstige Unterschiede beobachtet haben.

Die Richtung der folgenden Versuche wurde demgemäß von den schon gemachten Erfahrungen bestimmt. Obgleich Lehmann's Tabellen nicht alle unsere Bedürfnisse erfüllen konnten, war es dennoch wünschenswerth, unsere Scheiben derartig abzapassen, dass eine directe Ablesung aus jenen Tabellen möglich wurde. Leider hatten wir nur noch einen Hintergrund, der mit einem Lehmann'schen genau übereinstimmte, nämlich $76^\circ W + 284^\circ S$ (Tab. V). Dagegen fällt die constante Scheibe der Tab. VI = $144^\circ W + 216^\circ S$ zwischen zwei von Lehmann's *I*'s, was eine combinirte Ablesung nöthig machen wird.

(Siehe Tabelle V u. VI auf f. S.)

Von $I = 76^\circ$ aufwärts geben Lehmann's Tabellen nur negative Contraste an, und zwar bricht in dem ersten von diesen Fällen die Reihe schon bei $i = 3,14$ ($11,5^\circ$) ab. Auf diesem Punkte liegt auch der höchste von den gefundenen Werthen von $\frac{i-r}{r}$ ($0,245$), wäh-

Tabelle V.

$$d(h) = 76^\circ W + 238^\circ S (15,14).$$

No.	p	$h(d)$	\sqrt{dh}	v	$\frac{f}{\sqrt{dh}}$	mF
I.	2	0° = 1,00	15,36° = 3,86	17,62° = 4,28	+ 0,110	0,68°
II.	2	6° = 2,11	25° = 5,65	25,68° = 5,78	+ 0,023	0,39°
III.	2	8° = 2,49	27,62° = 6,15	28,12° = 6,23	+ 0,013	0,34°
IV.	3	10,5° = 2,95	30,46° = 6,67	28,87° = 6,37	- 0,045	0,69°
V.	2	29° = 6,39	47,44° = 9,83	45,81° = 9,52	- 0,031	0,44°
VI.	4	40° = 8,44	55,34° = 11,30	55,85° = 11,39	+ 0,008	0,76°
VII.	3	49° = 10,11	61,03° = 12,36	59,41° = 12,05	- 0,025	0,65°
VIII.	3	62° = 12,53	68,61° = 13,77	66° = 13,25	- 0,037	0,50°
IX.	2	112° = 21,84	92,41° = 18,20	87,12° = 17,21	- 0,054	0,65°
X.	2	121° = 23,52	96,01° = 18,87	96,12° = 18,97	+ 0,005	0,77°
XI.	2	144° = 27,8	104,83° = 20,51	107,18° = 20,91	+ 0,019	0,36°
XII.	2	194° = 37,1	121,97° = 23,70	122,5° = 23,8	+ 0,004	1,00°
XIII.	2	222° = 42,31	130,62° = 25,31	130,5° = 25,28	- 0,001	0,50°
XIV.	2	344° = 65,02	163,16° = 31,37	161° = 30,96	- 0,013	1,00°
XV.	2	360° = 68	166,99° = 32,08	163,5° = 31,43	- 0,020	0,60°

Tabelle VI¹⁾.

$$d(h) = 144^\circ W + 216^\circ S (27,8).$$

No.	p	$h(d)$	\sqrt{dh}	v	$\frac{f}{\sqrt{dh}}$	mF
I.	3	0° = 1,00	22,94° = 5,27	29,5° = 6,24	+ 0,185	1,68°
II.	2	16° = 3,97	50,83° = 10,46	55,5° = 11,33	+ 0,083	0,37°
III.	2	19° = 4,53	54,91° = 11,22	57,5° = 11,70	+ 0,043	0,75°
IV.	2	26,5° = 5,93	64,04° = 12,91	64° = 12,91	± 0,000	0,56°
V.	3	29° = 6,39	66,20° = 13,32	66,43° = 13,36	+ 0,003	1,17°
VI.	3	40° = 8,44	76,94° = 15,32	78,20° = 15,55	+ 0,015	0,48°
VII.	2	76° = 15,14	104,83° = 20,51	107,18° = 20,91	+ 0,019	0,36°
VIII.	2	112° = 21,84	127,02° = 24,64	126,56° = 24,54	- 0,004	1,54°
IX.	2	180° = 34,5	160,97° = 30,96	157,62° = 30,23	- 0,023	1,15°
X.	2	222° = 42,31	178,87° = 34,29	180,5° = 34,59	+ 0,009	1,50°
XI.	3	236° = 44,92	184,30° = 35,30	191,83° = 36,68	+ 0,039	1,36°
XII.	3	286° = 54,22	203,21° = 38,82	213,83° = 40,79	+ 0,050	1,89°
XIII.	2	344° = 65,02	222,90° = 42,50	229,25° = 43,66	+ 0,027	1,25°
XIV.	2	360° = 68	228,19° = 43,47	229° = 43,62	+ 0,003	1,25°

1) Die drei früher (S. 45) mitgetheilten Versuchsreihen sind hier aufgenommen;

rend der Maximalwerth, nach dem Mittel 4,76 berechnet, noch etwa 2^0 bis 3^0 nach unten gerückt sein soll. In unserer Tabelle V finden wir nun den ersten »günstigen Unterschied« bei $d = 2,49$ (8^0), also genau an der Stelle des maximalen Contrastes. Es gewinnt hierdurch unsere Vermuthung von einem Zusammenhange zwischen günstigem Unterschiede und Maximalcontrasten wieder an Wahrscheinlichkeit. Aus einer Vergleichung unserer sämtlichen bisherigen Resultate ergibt sich sodann folgendes. Den Ergebnissen der Tabellen II, III und IV zufolge hatten wir angenommen, dass die dem gegenseitigen Maximalcontrast entsprechenden Helligkeitsunterschiede an der unteren Grenze unserer Reizscala von denjenigen des einseitigen verschieden sind, und dass bald nachher die beiden Contraste zusammenfallen, um sodann wieder auseinanderzugehen. In allen jenen Fällen kannten wir nur den positiven Contrast. Jetzt kennen wir auch einen Fall von negativem Contrast, und zwar fällt derselbe, wie wir soeben gefunden haben, mit einem günstigen Unterschiede gänzlich zusammen. In Bezug auf die absolute Reizintensität aber kommt dieser Fall dem in der Tab. III beobachteten am nächsten, indem die Lichtstärke hier mäßig ist, ohne jedoch die untere Grenze zu erreichen. Da nun gerade in der Tab. III der positive Maximalcontrast ebenso mit dem günstigen Unterschiede zusammenfiel wie hier der negative, so scheint dies unseren oben gezogenen Schluss auf den wahrscheinlichen Verlauf der maximalen Contrastsummen zu rechtfertigen.

Jenem Schlusse zufolge müssen wir nun erwarten, dass, wenn wir von 76^0 aufwärts gehen, der günstige Unterschied geringer ausfallen wird als der einseitige (positive) Contrast. Dies ist in der That der Fall. In der Tab. V hat $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ den geringsten Werth in der XIII. Reihe, also bei $h = 222^0$ (42,31). Lehmann's Contrastversuche dagegen ergaben in diesem Falle keinen Maximalcontrast; vielmehr

jedoch die Reihe XIII ($h = 344^0$) liegt hier in etwas abweichender Form vor. Wegen späterer Erfahrungen schien mir nämlich das alte Resultat etwas zweifelhaft; die neue Beobachtung gab das obige und zwar nur wenig abweichende Resultat: $v = 229,25^0$ anstatt, wie früher, $230,5^0$. Da indessen die folgende Versuchsreihe, wo h etwas heller oder $= 360^0$ ist, einen geringeren Werth für v (229^0) ergibt, muss entweder dieses oder jenes Resultat auf einem, wenn auch nicht sehr großen Beobachtungsfehler beruhen. Ein gleichartiger Fall ist, wie man sich erinnert, einmal früher vorgekommen (Tab. II, V).

schien der positive Maximalcontrast zu $I = 76^\circ$ unsere ganze Intensitätsscala zu überschreiten.

Aus der Tab. VI geht das Aehnliche hervor. In Lehmann's Tabellen finden wir, wie schon bemerkt, zwar kein $I = 144^\circ$ (27,8); wenn wir aber die beiden angrenzenden Curven, $I = 130^\circ$ (25,19) und $I = 166^\circ$ (31,89) zusammenstellen, zeigt es sich, dass zu jenem Werthe von I das entsprechende r irgendwo zwischen 5,5 und 6,5, mithin das entsprechende i etwa bei 5 liegen soll. Nun wird aber in unserer Tab.

VI $\frac{f}{\sqrt{d h}} = 0$ bei $d = 5,93$. Also wieder ein nahezu genaues Zusammentreffen von einseitigem (negativem) Maximalcontrast und günstigem Unterschiede bei mäßiger absoluter Intensität! Folgen wir sodann dem

Verlauf von $\frac{f}{\sqrt{d h}}$ in aufwärtsgehender Richtung, so können wir an

der oberen Intensitätsgrenze ein deutliches Sinken jener Größe constatiren; bei $h = 360^\circ$ beträgt der Fehler nur 0,003. Es ist offenbar, dass auch diese Thatsache mit unseren früheren Erwägungen in vollem Einklang steht, und insofern wäre daher unsere Hypothese von einem Zusammenfallen der günstigen Unterschiede mit den wechselseitigen Maximalcontrasten noch nicht beeinträchtigt. Wohl aber dürfen wir jetzt mit noch weniger Recht als je hierin eine Antwort auf alle unsere Fragen erblicken. Wie wir schon früher (Tab. I und III) eine Art secundärer günstiger Unterschiede bestätigt haben, so ergibt sich aus den beiden letzten Tabellen dasselbe Phänomen in noch unzweifelhafterer Weise. In Tab. V wird $\frac{f}{\sqrt{d h}}$ annähernd $= 0$, nicht nur in den Reihen

III und XIII, sondern auch in VI und X. In der Tab. VI sind die betreffenden Punkte wieder vier, bez. IV, VIII, X und XIV. Es deuten somit unsere Versuche mit wachsender Entschiedenheit darauf hin, dass der gegenseitige Maximalcontrast zweier Lichtreize wenn auch eine, doch lange nicht die einzige Bedingung ist, worunter ihre mittlere Abstufung genau nach dem Weber'schen Gesetze empfunden werden kann.

Die Entwicklung des Fehlers $\frac{f}{\sqrt{d h}}$ in der Tab. VI lässt uns vermuthen, dass, wenn wir ein noch intensiveres d wählen würden, die zu unserer Verfügung stehende Intensitätsscala zu eng sein würde, auch um den entsprechenden gegenseitigen Maximalcontrast in aufwärtsge-

hender Richtung erreichen zu lassen. Da es indessen nach unseren bisherigen Erfahrungen vom höchsten Interesse war, den Einfluss einer möglichst starken absoluten Lichtintensität auf die Bewährung des Weber'schen Gesetzes zu prüfen, beschloss ich die ferneren Versuche ganz von oben anzufangen. In den zwei folgenden und letzten Versuchssystemen benutzte ich daher als constante Scheiben $h = 344^\circ$ (65,02) und $h = 360^\circ$ (68).

Tabelle VII.

$$h = 344^\circ W + 16^\circ S (65,02)$$

No.	p	$d(h)$	$\sqrt{d h}$	v	$\frac{f}{\sqrt{d h}}$	$m F$
I.	2	$76^\circ = 15,14$	$163,16^\circ = 31,37$	$161^\circ = 30,96$	- 0,013	1,00°
II.	2	$112^\circ = 21,84$	$197,14^\circ = 37,69$	$195,50^\circ = 37,38$	- 0,008	0,50°
III.	2	$121^\circ = 23,52$	$204,71^\circ = 39,10$	$204,25^\circ = 39,01$	- 0,002	0,37°
IV.	2	$144^\circ = 27,8$	$222,90^\circ = 42,50$	$229,25^\circ = 43,66$	+ 0,027	1,25°
V.	2	$194^\circ = 37,10$	$258,5^\circ = 49,11$	$264,50^\circ = 50,22$	+ 0,022	0,50°
VI.	2	$222^\circ = 42,31$	$276,45^\circ = 52,45$	$280,50^\circ = 53,20$	+ 0,014	0,50°
VII.	2	$246^\circ = 46,78$	$290,90^\circ = 55,15$	$291,50^\circ = 55,25$	+ 0,002	0,75°
VIII.	2	$260^\circ = 49,38$	$299,06^\circ = 56,66$	$303^\circ = 57,39$	+ 0,013	1,00°
IX.	2	$286^\circ = 54,22$	$313,63^\circ = 59,37$	$322^\circ = 60,92$	+ 0,027	0,00°

Tabelle VIII.

$$h = 360^\circ W + 0^\circ S (68).$$

No.	p	$d(h)$	$\sqrt{d h}$	v	$\frac{f}{\sqrt{d h}}$	$m F$
I.	2	$76^\circ = 15,14$	$166,99^\circ = 32,08$	$163,50^\circ = 31,43$	- 0,020	0,60°
II.	2	$121^\circ = 23,52$	$209,50^\circ = 39,99$	$209,25^\circ = 39,94$	- 0,001	0,25°
III.	2	$144^\circ = 27,80$	$228,19^\circ = 43,47$	$229^\circ = 43,62$	+ 0,003	1,25°
IV.	2	$194^\circ = 37,10$	$264,46^\circ = 50,22$	$265,25^\circ = 50,36$	+ 0,002	0,75°
V.	2	$222^\circ = 42,31$	$284,84^\circ = 53,64$	$286^\circ = 54,22$	+ 0,011	0,00°
VI.	2	$260^\circ = 49,38$	$306^\circ = 57,95$	$315^\circ = 59,62$	+ 0,029	1,00°
VII.	2	$286^\circ = 54,22$	$320,88^\circ = 60,72$	$332,50^\circ = 62,88$	+ 0,035	0,50°

Was an diesen zwei Tabellen vor allem auffallen mag, ist die Geringsfügigkeit der mittleren Fehler; es ist der Grund dazu schlechthin

nur jener, dass die hier enthaltenen Versuchsreihen von einem Zeitpunkte herrühren, wo unsere Sicherheit die größtmögliche war. Auf eine hieraus abzuleitende, für die endgültige Beurtheilung der Methode d. m. A. nicht unwichtige Erwägung werde ich etwas später zurückkommen.

In beiden Tabellen begegnen uns »günstige Unterschiede«, welche den früher gefundenen entsprechen. Dennoch bieten diese Tabellen auch Verschiedenheiten dar, sowohl von den früheren als untereinander. So trifft zunächst der günstigste Unterschied für beide beim selben Punkte ein, nämlich bei $d = 121^\circ$ (23,52). Dies lässt sich erklären, wenn wir uns an die schon früher besprochene wenig scharfe Begrenzung sowohl der günstigen Unterschiede als der maximalen Contraste erinnern. Früher haben wir gefunden (Tab. VI), dass auch der Unterschied $360^\circ - 144^\circ$ ziemlich günstig ist. Die hauptsächlichste Verschiedenheit liegt darin, dass in Tab. VII der Fehler $\frac{f}{\sqrt{dh}}$, nachdem er seinen approximativen Nullpunkt erreicht hat, wieder rasch steigt, um noch einmal, bei $d = 246^\circ$ (46,78), minimal zu werden, während hingegen in der Tab. VIII $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ durchaus kein entschiedenes Steigen noch Sinken zeigt, sondern innerhalb einer ziemlich weiten Strecke nur wenig variirt. Der Verlauf jener Größe in Tab. VIII lässt uns sogar vermuthen, dass bei einem zwischen IV und V liegenden d der Fehler wahrscheinlich immer noch nicht gestiegen wäre. Betreffs der soeben erwähnten Verschiedenheit der beiden Curven muss indessen wohl erinnert werden, dass wir durchaus nicht wissen können, ob Versuche, welche zwischen den jetzt gemachten eingeschoben würden, etwa auch in der Tab. VIII einen rascheren Wechsel der Werthe von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ gezeigt hätten.

Was sodann die Frage betrifft, ob irgend welche von den jetzt bestätigten günstigen Unterschieden mit entsprechenden Maximalcontrasten zusammenfallen, so lässt sich diese Frage bis auf weiteres ebenso wenig als aus den bisherigen Fällen sicher entscheiden. Doch stehen unsere letzten Erfahrungen mit den früheren in vollem Einklang. Wir glaubten annehmen zu dürfen, dass außerhalb der Grenzen einer ziemlich engen Zone von mäßiger Lichtintensität, nach oben wie nach unten, der einseitige und gegenseitige Contrast beträchtlich auseinander

gehen. Nun liegt in Lehmann's Tabellen der maximale (negative) Contrast zu $I = 68$ (360°) bei einem $i = 8,44$ (40°). Wir haben dagegen den günstigen Unterschied bei $d = 23,52$ (121°) gefunden.

Von weit größerem Gewicht ist jedoch folgendes. Aus unseren beiden, oder richtiger drei letzten Tabellen geht hervor, dass das Weber'sche Gesetz auch bei ziemlich hoher absoluter Lichtintensität sich bewähren kann, und dass die Bedingungen dafür auf den verschiedenen Intensitätsstufen dieselben sind. Diese Thatsache wird von den etwaigen Hypothesen, welche man zur Erklärung jener Bedingungen aufstellen mag, ganz und gar nicht beeinträchtigt. Mögen also unsere »günstigen Unterschiede« mit den gegenseitigen Maximalcontrasten schließlich zusammenfallen oder nicht, es steht jedenfalls fest, dass zur Bewährung des Weber'schen Gesetzes bei übermerklichen Lichtunterschieden gewisse Grade der Uebermerklichkeit erforderlich sind; ebenso steht es fest, dass derartige Unterschiede an der oberen wie an der unteren Grenze der zu unserer Verfügung stehenden Helligkeitsscala gefunden werden können. Demnach können wir das vorläufige Resultat unserer Untersuchung folgenderweise formuliren:

Die Bewährung des Weber'schen Gesetzes bei übermerklichen Lichtunterschieden hängt nicht schlechthin von der absoluten Reizintensität ab. Die Bedingungen seiner Gültigkeit bez. Nichtgültigkeit sind dieselben bei hoher wie bei mäßiger und geringer Lichtstärke.

Freilich bleibt immer noch der Einwand übrig, dass unsere ganze Helligkeitsscala eben nur mäßige Reizstärken umfasste, und dass somit die wirklichen Grenzerscheinungen uns gar nicht begegnet waren, vor allem aber nicht die unteren, da ja unser Schwarz nur 68 mal weniger Licht reflectirte, als der rein weiße Carton¹⁾. Um eine Ergänzung unserer Versuche in dieser Hinsicht zu ermöglichen, wurde es also nöthig, die bisherige untere Intensitätsgrenze herabzudrücken. Zu dem Zwecke bediente ich mich zweier verdunkelnder Gläser von möglichst reinem Grau, welche zuerst in Bezug auf die Intensität des

1) In Bezug auf die obere Reizgrenze sind unsere Versuche viel günstiger gestellt gewesen. Die Werthe unserer späteren Tabellen sind beträchtlich größer als die Delboeuf'schen (vgl. l. c. p. 69), die schon als hinlänglich groß betrachtet wurden, um die vermeintliche Zunahme der relativen U. E. mit der Reizstärke darzuthun.

durchgehenden Lichtes bestimmt wurden. Mit Hülfe eines Polarisationsphotometers fand ich dabei, dass das durchgelassene Licht sich zum wolkenfreien Himmelblau eines sonnigen Tages bez. wie 0,03109:1 und 0,09347:1 verhielt. Wurden die zwei Gläser aufeinander gelegt, so ging also nur 0,0029 vom Tageslicht hindurch. Ich wählte sodann an der unteren Grenze unserer Helligkeitsscala vier Abstufungen aus, von denen je zwei einen annäherungsweise »günstigen Unterschied« gebildet hatten, nämlich $d = 0^\circ$, $h = 40^\circ$ und $d = 8^\circ$, $h = 76^\circ$. Diese beiden Combinationen wurden nun successiv durch jedes Glas einzeln und durch die zwei aufeinander gelegten Gläser betrachtet. In Uebereinstimmung mit der von Fechner bei gleicher Gelegenheit gemachten Erfahrung¹⁾ zeigte es sich dabei, dass die Schwierigkeit, unsere Objecte überhaupt zu vergleichen, anfänglich größer wurde. Da wir aber die Gläser eine Weile vor dem Auge gehalten hatten und dabei die nöthige Adaptation erreicht wurde, traten die Unterschiede ganz deutlich hervor, und die Vergleichung konnte, wie es uns vorkam, sogar mit größerer Schärfe als ohne Gläser stattfinden²⁾. Es ging nun aus den sechs Versuchsreihen folgendes Resultat hervor.

Tabelle IX.

No.	p	d	h	ohne Gläser v	durch das hellere Glas v_1	durch das dunklere Glas v_2	durch beide Gläser v_3
I.	2	$0^\circ W + 360^\circ S$	$40^\circ W + 320^\circ S$	10,33°	10,25°	10,50°	10,50°
II.	2	$8^\circ W + 352^\circ S$	$76^\circ W + 284^\circ S$	28,12°	28,25°	28,50°	29°

Wie man sieht, stimmen die bei Betrachten durch verdunkelnde Gläser gefundenen Werthe mit den früheren beinahe genau überein. Die kleinen Differenzen, die vorkommen, lassen sich dadurch erklären, dass jedes Experiment jetzt weniger oft wiederholt wurde, was auf den

1) Elemente der Psychophysik. I, p. 144.

2) Ueber eine entsprechende Erfahrung bei Fechner's Versuchen vgl. Elemente I, p. 143

mittleren Werth Einfluss üben musste. Der mittlere Fehler variierte jetzt zwischen 0° und $0,5^\circ$. Demnach darf jenen kleinen Differenzen kaum irgend eine Bedeutung beigelegt werden.

Es geht aus den Versuchen unzweifelhaft hervor, dass die in den betreffenden Fällen früher bestätigte Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes durch die Verwendung der verdunkelnden Gläser gar nicht beeinträchtigt worden ist. Nun war aber die geschehene Herabsetzung der absoluten Lichtstärke eine sehr bedeutende gewesen; und während wir bei Versuchen ohne Gläser constatirt hatten, dass z. B. bei $d=0^\circ$, $h=16^\circ$ eine sehr beträchtliche Abweichung vom Weber'schen Gesetze stattfand, somit der Uebermerklichkeitsgrad zu gering war, ergab es sich jetzt, dass, wenn durch eine Glascombination, die nur circa 0,003 Licht durchließ, eine starke Verrückung der Reizgrenze nach unten bewirkt wurde, man sogar zu einer Helligkeit, die nur 0,003 der einer Winkelbreite von 40° entsprechenden Stärke besaß, den »günstigen Unterschied« nach abwärts hin herstellen konnte.

Dies ist aber ein schlagender Beweis für die Wahrheit unseres oben aufgestellten Satzes: auch bei sehr geringer absoluter Lichtstärke hängt die Bewährung des Weber'schen Gesetzes schlechthin vom Uebermerklichkeitsgrade ab.

Ferner wird die schon früher besprochene Frage von der Bedeutung des Augenschwarz durch das soeben gewonnene Resultat in ein neues Licht gestellt. Den Ansichten Fechner's, Delboeuf's und Helmholtz' gemäß sollten die wiederholte Male beobachteten unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze durch die subjective Erregung des Auges erklärt bez. nothwendig bewirkt werden. Jetzt haben wir aber gefunden, dass, wenigstens bei übermerklichen Lichtunterschieden, man überhaupt nicht von besonderen unteren Abweichungen reden darf; bei den allerschwächsten wie bei mäßigen und hohen Intensitätsgraden bewährt sich das Gesetz, wenn nur die erforderlichen Bedingungen vorhanden sind.

Mit um so größerem Rechte erhebt sich aber jetzt, nach Abschließung unserer sämtlichen Versuchsgruppen, die Frage: welches denn jene Bedingungen sind, von denen die Gültigkeit des

Weber'schen Gesetzes abhängt? Wir fanden bekanntlich mehrere Gründe für die Annahme, dass wir es hier mit Contrasterscheinungen zu thun haben, und zwar so, dass die von uns gefundenen »günstigen Unterschiede« mit dem gegenseitigen Maximalcontraste der beiden Grenzempfindungen identisch seien. Daneben begegneten uns aber außerdem secundäre, geringere Unterschiede, bei denen das Gesetz ebenfalls zu gelten schien. Mit Absicht habe ich die Besprechung jener secundären Unterschiede aufgeschoben, bis das Resultat unserer sämtlichen Versuche vorliegt. Versuchen wir daher jetzt zunächst das gegenseitige Verhältniss der verschiedenen günstigen Unterschiede mittelst einer graphischen Darstellung anschaulich zu machen. (S. Tafel I.) Als Abscissen sind die mit Bezugnahme auf die Intensität des Schwarz reducirten Werthe von h (d) genommen; als Ordinaten die betreffenden Werthe von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$. Die Curve bezeichnet somit die den verschiedenen Unterschieden zwischen d und h entsprechenden Abweichungen vom Weber'schen Gesetze. Weil, wie schon oben gesagt, die Wahl jener Unterschiede eine ziemlich willkürliche war, dürfen wir selbstverständlich auch keinen sehr regelmäßigen Verlauf der Curven erwarten. Wenn Zeit und sonstige Verhältnisse uns erlaubt hätten, eine reicher abgestufte Intensitätsscala zu untersuchen, so würden die Curven wahrscheinlich eine etwas andere Form darbieten. Doch ihren allgemeinen Verlauf wird man auch an der gegenwärtigen Form erkennen können. Am auffallendsten mögen die Unterschiede der Curven von einander sein. Die Größe der Ordinaten ist in den verschiedenen Fällen eine höchst verschiedene; und ebenso zeigt es sich, dass die Werthe von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ in einigen Fällen beinahe nur positiv, in anderen aber sowohl positiv als negativ sind. Ferner ist die Anzahl der Punkte, wo die Ordinaten null oder nahezu null werden, eine ziemlich verschiedene; in zwei Fällen (Curven IV und V), wo die constante Helligkeit eine mittlere war, erreichen wir günstige Unterschiede sowohl nach unten wie nach oben hin. Jede von diesen Curven zerfällt also eigentlich in zwei verschiedene, deren Anfangspunkte nicht vereinigt werden dürfen. Die Abstände der Anfangspunkte der Curven von dem die constante Helligkeit bezeichnenden Verticalstriche geben überhaupt die geringstmöglichen Uebermerklichkeitsgrade an,

bei welchen wir auf den verschiedenen Intensitätsstufen ein Experiment anstellen konnten. Wie man sieht, wachsen diese Abstände mit der absoluten Lichtstärke, was der Thatsache der abnehmenden absoluten Unterschiedsempfindlichkeit völlig entspricht. Dennoch dürfen die soeben erwähnten Abstände keineswegs als Maße der Unterschiedschwelle betrachtet werden. Weil unsere Versuche überhaupt von der thatsächlich vorliegenden Scala unserer Hintergründe bestimmt wurden, hing es selbstverständlich auch jedesmal vom Zufall ab, ob die weitere Einengung der zu vergleichenden Unterschiede früher oder später aufhören musste. Dass übrigens in keinem von uns gemachten Versuche die Helligkeiten d , v , h , wie in den Delboeuf'schen Experimenten, drei annäherungsweise ebenmerkliche Unterschiede darbieten konnten, wurde schon früher bemerkt (S. 54). Was sodann die Endpunkte der Curven betrifft, so verhalten sie sich, mit einer einzigen Ausnahme (Curve V), alle gleich. In jenem Ausnahmefalle schließt die Curve mit einem Nullpunkte ab; alle übrigen Curven zeigen gegen ihre Enden wachsende Ordinaten. Aber gerade weil dort der Nullpunkt an der obersten Grenze unserer Intensitätsscala eintrifft, ist der Unterschied nur scheinbar, und wir können mithin sagen, dass alle Curven, nachdem sie ihren dem größten günstigen Unterschiede entsprechenden Nullpunkt erreicht haben, sich von der Abscissenaxe mehr und mehr entfernen. Indessen auch von den Schlusspunkten unserer Curven gilt dasselbe, wie von ihren Anfangspunkten: sie sind in jedem Falle schlechthin von dem Umfang unserer Versuche bestimmt worden und dürfen somit keineswegs als die wahren Abschlüsse der Curven betrachtet werden. Welchen Verlauf diese bei fortgesetzten Versuchen zeigen würden, ist uns gänzlich unbekannt. Doch scheint aus einer Zusammenstellung der verschiedenen Curven hinsichtlich ihrer wahrscheinlichen Weiterentwicklung einiges hervorzugehen. Die drei ersten ergaben nach der Erreichung des soeben erwähnten Nullpunktes sämmtlich positive Werthe für $\frac{f}{\sqrt{dh}}$; die vierte dagegen negative; die fünfte entzieht sich, wie schon gesagt, dieser Betrachtung. In allen jenen Fällen war die constante Helligkeit eine dunkle Scheibe. In den zwei letzten Curven dagegen, wo die constante Scheibe sehr hell war, sind die Werthe von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ vor dem ersten Nullpunkte negativ.

Denken wir uns nun z. B. die Curve VII nach links hin fortgesetzt, so müsste sie ihrer gegenwärtigen Tendenz zufolge fortwährend unter der Abscissenaxe bleiben; dagegen die Curven I, II und III müssten, wenn sie in ihrer jetzigen Richtung nach rechts (d. h. ebenfalls von dem die constante Helligkeit bezeichnenden Verticalstriche sich entfernend) fortlaufen würden, immer über der Abscissenaxe bleiben. Oder mit anderen Worten: wären die Versuchssysteme nicht zu früh abgebrochen worden, sondern hätten wir schwache Intensitäten ($d = 1,00; 6,39; 8,44$) mit den stärksten ($h = 65,02; 68$) combinirt, so würde der gegenwärtigen Entwicklungstendenz unserer Curven zufolge der Fehler sowohl positiv als negativ sein, was aber darauf hindeutet, dass in allen jenen Fällen wahrscheinlich neue Nullpunkte erreicht worden wären.

Indessen, da jene Nullpunkte nicht experimentell gefunden wurden, müssen wir uns bis auf weiteres mit der Betrachtung der tatsächlich erreichten begnügen. Hier erhellt nun, den besprochenen Verschiedenheiten der Curven gegenüber, anderseits die Regelmäßigkeit, mit der sich die den Nullpunkten entsprechenden Abscissen zu einander verhalten. Näher betrachtet scheint dies Verhältniss nämlich eine geometrische Progression zu sein. Wir wollen, unserer früheren Auffassung der günstigen Unterschiede gemäß, die in verschiedener Distanz gelegenen Nullpunkte als primäre und secundäre Nullpunkte bezeichnen und hiernach die einzelnen Curven näher ins Auge fassen.

Curve I. Der primäre Nullpunkt begegnet uns bei 8,44. Den secundären haben wir nicht direct gefunden; wohl aber approximativ bei 2,11. Indessen der Verlauf der Curve an jener Stelle lässt vermuthen, dass er im Grunde nicht sowohl bei 2,11 als etwa zwischen 2,5 und 3 liegen soll. Die mittlere Proportionale zu 1 und 8,44 ist aber 2,9.

Curve II. Diese Curve entzieht sich insofern unserer Betrachtung, als uns hier wohl ein primärer, aber gar kein secundärer Nullpunkt begegnet. Ob nun auch überhaupt kein solcher Punkt hier existirt, oder ob er nur übersprungen sei, lässt sich zwar nicht mit Sicherheit entscheiden; höchst wahrscheinlich ist aber das letzte der Fall. Den primären Nullpunkt haben wir bei 27,8 bis 34,5 gefunden; die mittlere Proportionale zu 6,29 und dem Mittel dieser Werthe wäre ungefähr 14 und fällt somit zwischen zwei von einander ziemlich weit entfernte

Ordinaten, die den Abscissen 8,81 und 15,14 entsprechen. Dass zwischen jenen beiden Ordinaten der secundäre Nullpunkt gefunden worden wäre, lässt einerseits der Verlauf der Curve als möglich erscheinen, und wird andererseits dadurch wahrscheinlicher, dass ein derartiger Punkt in keiner anderen Curve fehlt.

Curve III. Der primäre Nullpunkt liegt ungefähr bei 37,1. Den secundären haben wir nicht gänzlich erreicht; die geringste betreffende Ordinatengröße beträgt 0,008 und liegt bei der Abscisse 15,14. Der wahre Nullpunkt muss also etwas zur Seite liegen und zwar, wie es der Verlauf der Curve vermuthen lässt, nach rechts, also bei einem etwas größeren Werthe als 15,14. Die mittlere Proportionale zu 8,44 und 37,1 ist aber 17,69.

Curve IV. Diese Curve zeigt uns Nullpunkte in beiden Richtungen, nach oben und nach unten hin. Von diesen liegt der primäre bei 2,49. Die dem secundären entsprechende Abscisse ist die unter III soeben besprochene approximative, deren wahrer Werth, wie wir sahen, durch vollständigere Untersuchung etwas größer gefunden worden wäre. Ebenso wie sie, von 8,44 ausgehend etwas nach rechts, müsste sie also hier nach links verlegt werden und würde dadurch der mittleren Proportionale von 2,49 und 15,14 wahrscheinlich sehr nahe kommen, denn diese ist 6,15. Daraus würde folgen, dass die nächstfolgende Ordinate durch die Ungenauigkeit unserer Beobachtungen etwas zu groß ausgefallen ist. Das nämliche muss auch bei der approximativen Nullordinate selbst angenommen werden; denn der ihr entsprechende freilich sehr geringe positive Werth von $\frac{f}{\sqrt{dh}}$ mitten in einer Reihe lauter negativer Werthe kann schwerlich anders als durch einen Beobachtungsfehler erklärt werden.

Von 15,14 aufwärts liegt der primäre Nullpunkt bei 42,31, der approximative secundäre bei 23,52. Die betreffende mittlere Proportionale ist 25,31. Wenn diese zwei Zahlen einander schon sehr nahe kommen, wird eine noch größere Uebereinstimmung wahrscheinlich, wenn wir darauf achten, dass der Verlauf der Curve auf eine Verkürzung des Abstandes der Nullpunkte hinzudeuten scheint.

Curve V. Auch hier begegnen uns Nullpunkte in beiden Richtungen. Nach unten hin treffen wir den primären bei 5,93. Dagegen finden wir den secundären bei 21,84, während die betreffende mittlere

Proportionale nur 12,91 betragen würde. Indessen zeigt die Tab. VI gerade in dieser Versuchsreihe einen plötzlich gesteigerten mittleren Fehler, was auf störende Umstände bei dem Versuche und eine dadurch bedingte beträchtliche Fehlbeobachtung hindeutet. Dies wird in der That um so wahrscheinlicher, wenn wir bedenken, dass der Uebermerklichkeitsgrad eben in diesem Versuche (27,8 — 21,84) sehr gering war und dass daher, unserer sonstigen Erfahrung zufolge, umgekehrt ein sehr kleiner mittlerer Fehler hätte begangen werden sollen. Dürfen wir also den in Frage stehenden Versuch als verfehlt betrachten, so liegt es aber nahe zu vermuthen, dass wir den wahren secundären Nullpunkt übersprungen haben. Bei 8,44 und 15,14, also auf einem auffallend großen Abstände von einander, finden wir nämlich zwei nahezu gleich große Ordinaten, zwischen denen eine Schwingung der Curve sich sehr gut denken lässt. Und nun liegt die mittlere Proportionale zu 5,93 und 27,8 eben an diesem Orte, nämlich, wie schon bemerkt, bei 12,91.

Wenn der untere Verlauf der Curve V etwas abweichend ausfiel, so gestaltet sich nun aber ihre Entwicklung nach oben um so günstiger. Die Nullpunkte begegnen uns hier bez. bei 68 und 42,31; die mittlere Proportionale zu 27,8 und 68 ist aber 43,47.

Curve VI. Hier liegt der primäre Nullpunkt bei 23,52, der secundäre bei 46,78. Die mittlere Proportionale zu 65,02 und 23,52 ist 39,10 und somit die Differenz eine ziemlich große. Wir dürfen hier nicht mit demselben Rechte wie in früheren Fällen auf ungenaue Beobachtungen schließen, weil in der Tab. VII sowie in der folgenden die mittleren Fehler durchgängig sehr gering sind; also können wir nicht umhin, in diesem Falle eine Beeinträchtigung unserer Annahme zu constatiren. Dagegen scheint es wohl möglich, dass der schon erwähnte Mangel an scharfer Begrenzung unserer günstigen Unterschiede die Ursache jener Abweichung sei. Erinnern wir uns ferner, dass die Zahl sämtlicher Versuche in jeder der letzten Tabellen eine ziemlich geringe ist, so lässt sich jedenfalls denken, dass eine weitergeführte Untersuchung die Nullpunkte verschoben hätte. Schon früher haben wir übrigens darauf aufmerksam gemacht, dass in den beiden letzten Tabellen der primäre Nullpunkt übereinstimmt.

Curve VII. Der Verlauf dieser Curve entspricht wieder ganz unserer Erwartung. Der primäre Nullpunkt liegt bei 23,52, der secundäre bei 46,78.

däre bei 37,1, würde aber, wie schon bei der Besprechung der Tabelle bemerkt worden, wahrscheinlich bei einem etwas höheren Werthe liegen. Die mittlere Proportionale ist in diesem Falle 39,99.

Aus dieser Einzelbetrachtung ergibt sich, dass ein ganz regelmäßiges Gesetz zwar nicht zu erweisen ist, wohl aber eine nicht zu verkennende Tendenz zu einem solchen. Und mehr durften wir im Grunde nicht erwarten. Auf jene Tendenz wurde ich erst bei der Bearbeitung der Versuchsergebnisse und besonders bei der Zeichnung der Curven aufmerksam, also zu einem Zeitpunkt, wo die experimentelle Arbeit schon längst abgeschlossen war und ich leider auch nicht mehr zu dem Laboratorium Zugang hatte. Es scheint mir aber in hohem Grade wahrscheinlich, dass Versuche mit absichtlich gewählten Abstufungen eine noch entschiedenere Bewährung der geometrischen Progression der Nullpunkte zu Stande bringen würden.

Um das bisherige Resultat unserer Untersuchung mit Rücksicht auf ihre letzte Erweiterung zu formuliren, mögen wir also behaupten, dass für die Bewährung des Weber'schen Gesetzes bei übermerklichen Lichtunterschieden gewisse, ganz bestimmte Uebermerklichkeitsgrade erforderlich sind, nämlich: 1) ein größerer, wahrscheinlich mit dem Maximalcontraste zusammenfallender Unterschied, der von jeder beliebigen Helligkeit ausgehend gefunden werden kann; und 2) ein geringerer, der wahrscheinlich immer hergestellt wird durch je eine der dort gefundenen Intensitäten und die ihrer mittleren Proportionale entsprechende Helligkeit. Genauer ausgedrückt besteht nun die »Bewährung des Weber'schen Gesetzes« darin, dass die mittlere Proportionale von je zweien der soeben beschriebenen physikalischen Intensitäten als ihre genaue Mitte empfunden wird.

Indessen ist dieser Satz noch sehr allgemein gehalten, und es fragt sich zunächst, ob das Verhältniss jener bestimmten Uebermerklichkeitsgrade ein constantes ist. Oder mit andern Worten: haben jene geometrischen Reihen, welche wir zu finden glaubten, einen gemeinschaftlichen Quotienten?

Bei der Berechnung dieser Quotienten müssen wir selbstverständlich an unserer Annahme einer geometrischen Progression festhalten und somit uns nicht der unter willkürlichen Versuchsbedingungen

gefundenen approximativen, sondern der idealen Werthe, d. h. der wirklichen mittleren Proportionalen bedienen. Wir erhalten aber dann folgende Zahlenreihe:

Tabelle X.

No.	Günstige Unterschiede.	Quotienten.
I.	1 : 2,9 : 8,44	2,90
II.	2,49 : 6,15 : 15,14	2,47
III.	5,93 : 12,91 : 27,8	2,17
IV.	6,39 : 13,32 : 27,8	2,08
V.	8,44 : 17,69 : 37,1	2,09
VI.	15,14 : 25,31 : 42,31	1,67
VII.	23,52 : 39,10 : 65,02	1,66
VIII.	23,52 : 39,99 : 86	1,69
IX.	27,8 : 43,47 : 68	1,56

Es ergibt sich hieraus, dass der besagte Quotient durchaus kein gemeinschaftlicher ist. Während er sich in unserer ersten Reihe auf 2,90 beläuft, ist er in der letzten bis auf 1,56¹⁾ gesunken und scheint mithin der absoluten Lichtintensität reciprok zu wachsen. Zwar verläuft jene Entwicklung nicht ganz regelmäßig; dies lässt sich aber leicht erklären. Der Quotient IV ist etwas zu klein; von der Besprechung der betreffenden Curve (II) erinnern wir uns aber, dass in der That der wirkliche primäre Nullpunkt nicht bei 27,8, sondern irgendwo zwischen jenem Werth und 34,5 liegen muss, daher auch der (von uns übersprungene) secundäre etwa bei 14 gefunden werden dürfte. Der Quotient VIII ist etwas zu groß. Nun wies aber die Vergleichung der Curven VI und VII darauf hin, dass in der letzten die Nullpunkte etwas zu fern lagen, was gerade einen verhältnissmäßig zu großen Quotienten bedingen musste.

Die Thatsache, dass wir keinen gemeinschaftlichen Quotienten nachweisen können, darf indessen nicht als ein Beweis gegen die Richtigkeit unseres oben aufgestellten Gesetzes ganz bestimmter Werthe der »günstigen« Uebermerklichkeitsgrade betrachtet werden;

1) Dieser Quotient, obgleich schon jetzt der geringste, dürfte wohl noch kleiner werden, wenn unsere Helligkeitsscala uns erlaubte, anstatt des jetzigen approximativen, den wahren günstigen Unterschied herzustellen.

dazu sind die durch die Erfahrung gelieferten Belege für das Dasein eines derartigen Gesetzes allzu gewichtig. Suchen wir aber nach einer Regelmäßigkeit in der Variabilität unserer Quotienten, so können wir nicht umhin, zu unserer alten Vermuthung noch einmal zurückzukehren, dass jene periodische Bewährung des Weber'schen Gesetzes schlechthin eine Contrasterscheinung ist. Es ergibt sich aus Lehmann's Contrasttabellen, dass der maximale Contrast nicht von einem constanten Verhältniss zwischen der inducirenden (J) und der inducirten (i), sondern zwischen jener und der reagirenden (r) Helligkeit abhängt; das Verhältniss $\frac{i_m}{J_m}$ dagegen ist variabel. Nun würden aber, wie wir schon längst bemerkt haben, unsere Helligkeiten, wenn sie in Bezug auf ihre Contrastverhältnisse bestimmt würden, gerade unter J und i zu suchen sein. Ferner ist der Verlauf der soeben berechneten Quotienten selbstverständlich nichts anderes, als der Verlauf des relativen Maßes unserer günstigen Unterschiede, mithin des Bruches $\frac{d}{h}$, der mit $\frac{i}{J}$ gleich zu setzen ist.

Aus dem zuletzt Gesagten erhellt, dass wir uns jener Quotientenreihe bedienen können, um die Beziehung unserer günstigen Unterschiede zur absoluten Lichtintensität genau auszudrücken. Wir haben früher gesehen, dass diese günstigen Unterschiede nur innerhalb einer sehr engen Zone mäßiger Lichtintensität mit den aus Lehmann's Tabellen abzulesenden einseitigen Maximalcontrasten zusammenfielen, während diese und jene außerhalb der erwähnten Zone auseinandergingen und zwar in entgegengesetzter Richtung. Jetzt werden wir dieses gegenseitige Verhältniss durch zwei Zahlenreihen ausdrücken können, wenn wir in Lehmann's Tabellen die verschiedenen J 's und i 's ablesen, ihre mittleren Proportionalen suchen und schließlich den Quotienten jeder Reihe berechnen. Ebenso wie bei der Berechnung unserer eigenen Quotienten werden wir in Lehmann's Tabellen nicht die gefundenen approximativen, sondern die nach dem mittleren Maximalwerthe 4,76 berechneten, übrigens von jenen wenig abweichenden Idealwerthe benutzen. Diese Berechnung lässt sich durch Vergleichung der Tabellen und Curven mit einer für unseren Zweck genügenden Genauigkeit zustandebringen¹⁾.

1) Philos. Stud. III, Taf. IV. Noch besser sind zu dieser Vergleichung die der dänischen Ausgabe der Lehmann'schen Arbeit beigegebenen Curven geeignet.

Bei der Aufstellung der gefundenen Zahlen folge ich der Ordnung der Lehmann'schen Tabellen, welche zuerst, von der unteren Intensitätsgrenze aufwärts, vier positive Maximalcontraste angeben, und sodann wieder, von einer ziemlich niedrigen Intensität anfangend, sieben negative.

Tabelle XI.

J	$\frac{J}{\sqrt{J_{im}}}$ (Quotienten)
1,00	+ 2,45
3,14	+ 2,39
6,03	+ 2,37
8,44	+ 2,35
15,14	- 2,46
25,19	- 2,51
31,89	- 2,52
38,97	- 2,54
48,09	- 2,62
56,83	- 2,66
68	- 2,75

Tabelle XII.

Lehmann's	unsere
2,45	2,90
2,46	2,47
2,37	2,17
2,35	2,08
2,51	2,09
2,54	1,67
2,62	1,66
2,66	1,69
2,75	1,56

Um die Vergleichung zu erleichtern, habe ich in Tab. XII unter der Lehmann'schen neun den unsrigen möglichst entsprechende Helligkeitsstufen ausgewählt und jene wie unsere nach ihrer Intensität geordnet. Stellen wir nun die beiden Reihen zusammen, so ergibt sich, dass ihr Verlauf gerade die erwarteten gegenseitigen Abweichungen zeigt. An der unteren Intensitätsgrenze ist der Quotientenwerth in unserer Reihe beträchtlich größer; auf einer etwas höheren Helligkeitsstufe fallen beide zusammen; sehr bald fangen sie aber wieder an auseinanderzugehen, indem unsere Werthe immer kleiner, die Lehmann'schen dagegen größer werden.

Indessen begegnet uns hier eine Ausnahme von jener Entwicklung der Quotientenwerthe. Bei unseren Versuchen mit verdunkelnden Gläsern wurden je zwei Scheiben beträchtlich verdunkelt, aber ohne in Bezug auf ihre Helligkeitsdifferenz verändert zu werden; dabei schienen die betreffenden Scheiben (40° und 0° , 76° und 8°) sowohl nach wie vor der Verdunkelung einen »günstigen Unterschied« abzugeben. Dies will aber sagen, dass das Verhältniss $\frac{d}{h}$, also auch der

Quotient $\frac{d}{v} \left(\frac{v}{h} \right)$, der Verdunkelung ungeachtet, constant geblieben ist. Hinwiederum würde hieraus folgen, dass die oben nachgewiesene Variation der für die Bewährung des Weber'schen Gesetzes erforderlichen Uebermerklichkeitsgrade nicht bei den allerschwächsten Lichtintensitäten vorkommt, sondern erst bei einer mäßigen Helligkeit; diese mäßige Helligkeitsstufe scheint fernerhin dieselbe zu sein, bei der wir die günstigen Unterschiede mit dem einseitigen, positiven oder negativen, Maximalcontrasten zusammenfallen sahen. Offenbar würde eine nähere Untersuchung dieser Frage von großem Interesse sein, und zwar sind hierzu weit umfassendere Versuche erforderlich als jene einzelnen Experimente mit verdunkelnden Gläsern, auf welche unsere obige Betrachtung gestützt ist. Auch die Versuchsmethode muss beträchtlich verändert werden, wenn man zur Herstellung der sehr schwachen Intensitäten dunkle Gläser benutzen will. Denn um die aus solchen Versuchen sich ergebenden Resultate mit denjenigen genau vergleichen zu können, welche durch Beobachtung mit bloßem Auge gewonnen werden, ist es schlechthin unumgänglich, das Aequivalent einer durch Gläser reducirten Helligkeit nach demselben Maße wie die ohne Gläser betrachteten bestimmen zu können, also durch die Winkelbreiten der Sektoren einer rotirenden Scheibe. Einer derartigen Bestimmung würden aber wahrscheinlich sehr große Schwierigkeiten in den Weg treten, welche leicht die ganze Verwendung von dunklen Gläsern verhindern könnten.

Wegen der Kürze der Zeit wurden wir gezwungen auf jene neuen Experimente zu verzichten, um den vorliegenden Resultaten ausschließlich unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Auch die Frage, ob die oben entwickelten Zahlenreihen das Verhältniss des gegenseitigen Maximalcontrastes zum einseitigen thatsächlich ausdrücken oder nicht, kann, wie schon bemerkt, nur durch eine neue experimentelle Untersuchung endgültig beantwortet werden. Indessen ist für unsere Aufgabe diese Frage von keinem directen Interesse. Es mögen jene »bestimmten Uebermerklichkeitsgrade« oder »günstigen Unterschiede« mit dem maximalen oder aber mit einem andern constanten Contrastverhältnisse zusammenfallen, unsere Annahme, dass die Bewährung des Weber'schen Gesetzes bei übermerklichen Unterschieden schlecht-

hin eine Wirkung des Contrastes ist, wird davon nicht beeinträchtigt. Wohl aber erhebt sich jetzt wieder die alte Frage: wie jene Wirkung des Contrastes zu denken sei. Die hauptsächlichste Verbesserung unserer Versuchsmethode bestand ja gerade in der Ausscheidung jeder Einwirkung des simultanen Contrastes; zu dem Zwecke wurden alle drei Scheiben auf Hintergründen von gleicher Helligkeit gesehen, und wurden die Scheiben durch beträchtliche Zwischenräume isolirt. Sind wir nun dessenungeachtet gezwungen worden, in unseren Resultaten durchgängig Contrasterscheinungen zu entdecken, so bleibt also nur übrig, einen von den Scheiben trotz der Entfernung aufeinander ausgeübten Contrast anzunehmen. Hier würde es selbstverständlich am nächsten liegen, anzunehmen, dass die benachbarten Scheiben, also d und v , v und h in constanter Weise contrastiren. Indessen, wie wir gefunden haben, handelt es sich im Gegentheil durchgängig um den constanten, etwa maximalen, Contrast der durch die variable mittlere von einander getrennten Scheiben d und h . Dennoch lässt sich diese Erscheinung begreiflich machen, wenn wir annehmen, dass bei einem »günstigen Unterschiede« der Grenzhelligkeiten d und h die genau nach dem Weber'schen Gesetze abgestufte mittlere Helligkeit v genau gleich starke Contraste mit d und h bildet. Setzen wir aber dies voraus, so werden wir auch nichts befremdliches darin finden, dass es gerade die getrennten Scheiben d und h sind, deren Maximalcontrast für die Bewährung des Weber'schen Gesetzes erforderlich ist. Denn es würde sich diese Thatsache dann in die weit begreiflichere auflösen: dass bei einem gewissen Contrastverhältniss zweier Helligkeiten diejenige dritte, welche mit jenen beiden gleich stark contrastirt, der physikalischen Intensität nach, ihre mittlere Proportionale bildet. Hieraus würde fernerhin folgen, dass bei allen anderen Verhältnissen zweier Helligkeiten, bez. ungünstigen Unterschieden, die mit jenen beiden gleichstark contrastirende dritte irgend welcher anderen Intensität als der mittleren Proportionale entsprechen muss.

Eine derartige Auslegung der »günstigen Unterschiede« würde sodann einen einfachen Weg bieten, ihre bisher so räthselhaften Doppelgänger, die »secundären« günstigen Unterschiede, zu erklären. Gibt es nämlich ganz bestimmte Contrastverhältnisse, welche so beschaffen sind, dass die mittlere Proportionale zweier Lichtintensitäten ihren

gegenseitigen Contrast in zwei gleich intensive Theile theilt, so mag hinwiederum dasselbe Gesetz sich innerhalb der Theilcontraste bethätigen, mithin mögen auch die mittleren Proportionalen jene neuen Contraste in gleicher Weise halbiren. Wir würden so auf ein specifisches Contrastgesetz gestoßen sein, wonach in ganz bestimmten Fällen gleich starke Contraste entstehen, wenn die physikalischen Intensitäten in einer geometrischen Reihe wachsen. Nennen wir also v eine mit zwei Helligkeiten d und h gleich stark contrastirende Helligkeit, v , und v'' , die entsprechenden zwischen d und v , v und h balancirenden Helligkeiten, so würden wir dem soeben formulirten Gesetze zufolge sagen können, dass die Contraste $d v$, $v v$, $v v''$ und $v'' h$ gleich stark sind, weil $\frac{d}{v} = \frac{v}{v} = \frac{v}{v''} = \frac{v''}{h}$ 1).

Um die Richtigkeit dieser Hypothese zu prüfen, welche somit den doppelten Vortheil hat, nicht nur unsere günstigen Unterschiede überhaupt, sondern auch die früher wahrgenommene Tendenz zu einer geometrischen Progression der primären und secundären Nullpunkte unserer Curven zu erklären, wurden selbstverständlich neue Versuche erforderlich, deren Resultate ich im folgenden Capitel mittheilen werde.

Bevor ich aber dazu übergehe, ist nun noch ein Ergebniss der bisherigen Versuche näher zu besprechen, dasjenige nämlich, welches hinsichtlich der Theorie des Präcisionsmaßes aus ihnen abgeleitet werden kann.

Bekanntlich spielt das Präcisionsmaß in den psychophysischen Untersuchungen eine große Rolle, indem es bei den Methoden der richtigen und falschen Fälle wie der mittleren Fehler als directes Maß der Unterschiedsempfindlichkeit benutzt wird. Während aber

1) Ob jene Reihe fortzusetzen ist, lässt sich bei dem gegenwärtigen Umfang unserer Versuche zwar nicht entscheiden. Durch eine Vergleichung der verschiedenen Curven sind wir aber früher zu der Ueberzeugung gelangt, dass die thatsächlich vorliegende Zahl der Nullpunkte keine endgültige ist. Doch nur auf experimentellem Wege kann nachgewiesen werden, wo die zu erwartenden neuen Nullpunkte eintreffen, und ob etwa unsere bisherigen primären Nullpunkte selbst nur die mittleren Proportionalen größerer Reihen bezeichnen.

bei jenen Methoden es sich nur um eben merkliche, bez. eben unmerkliche Unterschiede handelt, sucht G. E. Müller auch bei der Methode der übermerklichen Unterschiede die Möglichkeit eines Präcisionsmaßes nachzuweisen¹⁾. Durch eine Betrachtung der Delboeuf'schen Versuchsergebnisse gelangt nämlich Müller zu der Ueberzeugung, dass diese auf dasselbe analoge Verhalten hindeuten, welches nach Fechner's Gewichtversuchen, Volkmann's Augenmaßversuchen und Masson's elektrischen Lichtversuchen das Präcisionsmaß und die absolute Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender absoluter Reizstärke zeigen. Er hebt hervor, dass der mittlere Fehler, welcher bei Delboeuf's Versuchen gemacht wurde, nicht sowohl dem Grade der Uebermerklichkeit der gegebenen Unterschiede, als vielmehr der absoluten Intensität der gegebenen Helligkeiten proportional sei. Da nun aber das Präcisionsmaß als dem mittleren Werthe der zufälligen Beobachtungsfehler reciprok betrachtet wird, würde also; Delboeuf's Versuchen zufolge, das Präcisionsmaß proportional der absoluten U. E. bei wachsender Reizstärke abgenommen haben.

In Betreff der auffallend großen mittleren Fehler, welche Delboeuf's Tabellen zeigen, habe ich schon gelegentlich bemerkt, dass sie höchst wahrscheinlich aus dem störenden Einflusse des simultansuccessiven Contrastes zu erklären sind. Fällt aber, wie es unsere Versuche zeigen, durch Vermeidung der erwähnten störenden Einflüsse, der zufällige Beobachtungsfehler gänzlich oder beinahe gänzlich weg, so ist selbstverständlich auch jede Möglichkeit verschwunden, jenen Fehler irgendwie zu verwerthen. Die Untriftigkeit des Präcisionsmaßes bei der Methode der übermerklichen Unterschiede geht mit ganz besonderer Deutlichkeit hervor, wenn unsere Tabellen VII und VIII der Müller'schen Erwägung gegenübergestellt werden. Die in jenen Tabellen aufgeführten Helligkeiten sind gerade die größten und zwar durchgängig größer, als die größten in den von Müller betrachteten Delboeuf'schen Versuchstabellen. Wäre Müller's Theorie stichhaltig, so müsste also hier der Fehler am beträchtlichsten sein. Indessen gerade hier ist der Fehler nahezu verschwindend.

Ebenso wie das bisher behauptete Verhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit zur absoluten Lichtstärke bei übermerk-

1) Grundlegung p. 98 f.

lichen Unterschieden sich nicht zu bewähren schien, zeigt es sich mit hin jetzt, dass das Verhältniss der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit zur absoluten Lichtstärke bei übermerklichen Unterschieden jedenfalls nicht durch ein Präcisionsmaß sich erweisen lässt.

Capitel III.

Der Contrast und das Weber'sche Gesetz.

Dem Vorigen zufolge galt es jetzt, durch exacte quantitative Contrastbestimmungen zu untersuchen:

- 1) ob in den Fällen, wo wir »günstige Unterschiede« bestätigt hatten, die mittlere Scheibe v mit d und h genau gleich starke Contraste bildet;
- 2) ob umgekehrt in solchen Fällen, wo das Weber'sche Gesetz sich nicht bewährt hatte, diejenige Helligkeit, welche mit d und h gleich stark contrastirt, nicht $= \sqrt{d \cdot h}$ ist.

Da eine möglichst vollständige experimentelle Untersuchung der betreffenden Erscheinungen sehr werthvolle Resultate in Aussicht stellte, wäre es natürlich wünschenswerth gewesen, diese Versuche in recht großem Umfange machen zu können. Leider wurde ich aber schon bald gezwungen, Leipzig zu verlassen; ich musste mich infolgedessen auf das Wichtigste beschränken. Indessen die neuen Versuche fielen verhältnissmäßig sehr glücklich aus, und es mag deshalb der entscheidende Charakter der gefundenen Resultate als Ersatz einer größeren Menge von Experimenten gelten.

Als Versuchsmethode empfahl sich offenbar das von Lehmann angewandte Verfahren. Früheren Erwägungen zufolge (vgl. oben p. 31) hatte ich die zu untersuchenden Helligkeiten als gegebene inducirende (J) und inducirte (i) zu benutzen und in jedem Falle die entsprechende reagirende Helligkeit (r) experimentell herzustellen. Nun lag es aber in der Natur der Sache, dass bei meinen Versuchen, wo es sich um den gegenseitigen Contrast je zweier Lichtreize handelte, während Lehmann entweder nur positive oder nur negative Contrastintensitäten gemessen hatte, jedes Resultat nur aus einer doppelten Versuchsreihe hervorgehen konnte. Während also in jeder Lehmann'schen Tabelle die Helligkeit J constant bleibt, fungirte in meinen

Versuchen jede von zweien Helligkeiten abwechselnd als inducirend und inducirt.

Dieser Ausführung zufolge wurde die quantitative Contrastbestimmung je eines günstigen, bez. ungünstigen Unterschiedes durch folgende vier Combinationen zustandegebracht:

$$J = d, \quad i = v;$$

$$i = d, \quad J = v;$$

$$J = v, \quad i = h;$$

$$i = v, \quad J = h;$$

Von vornherein war es aus vielfachen Gründen einleuchtend, dass wir auf eine vollständige Genauigkeit der zu erwartenden Resultate verzichten müssten. Beispielsweise mache ich auf folgende Umstände aufmerksam. 1) Die durch die bisherigen Versuche hergestellten Helligkeiten der variablen Scheibe waren, der wachsenden Sicherheit der Beobachter ungeachtet, dennoch nur approximativ. Ebenso erlaubte uns die periodische Abstufung unserer Hintergründe die wahren günstigen Unterschiede nur annähernd zu erreichen. Es ist aber offenbar, dass eine Ungenauigkeit, welche bei den Dreischeibenversuchen von fast verschwindender Bedeutung gewesen, jetzt einen ganz anderen Einfluss üben musste, da jede Helligkeit als inducirende Intensität einer sehr exacten Messung ausgesetzt wurde. 2) In Betreff der quantitativen Bestimmung des Contrastes ergab sich aus Lehmann's Versuchen, dass die Sicherheit der Beobachtung eine ziemlich große ist. Aber auch hier mussten die experimentellen Angaben immer noch mehr oder weniger approximativ werden, was abermals nicht zu eliminirende Fehler herbeiführen musste. 3) Es ist fernerhin leicht nachzuweisen, dass, der Versuchsanordnung zufolge, schon ein ganz geringer Beobachtungsfehler, welcher bei der Herstellung der reagirenden Helligkeit gemacht wird, auf das Endergebniss einen sehr beträchtlichen Einfluss ausüben muss. Die relative Stärke des Contrastes wird, wie man sich erinnert, durch den Bruch $\frac{i-r}{r}$ gemessen. Dem früher Gesagten zufolge ist i gegeben, r wird gesucht. Wird nun bei der Herstellung der Intensität r auch nur ein ganz verschwindender Fehler begangen, so wird immerhin dieser Fehler vervielfältigt, indem er zuerst den Zähler des obigen Bruches um die betreffende Größe zu groß bez. zu klein, sodann aber den Nenner um dieselbe Größe zu klein

bez. zu groß macht. Ist nun noch dazu der Werth von i kein absoluter, sondern nur ein approximativer, so muss man von vornherein auf beträchtliche Unregelmäßigkeiten der schließlich gefundenen Zahlen gefasst sein.

Ich wählte demnach zuerst aus unseren früher mitgetheilten Versuchstabellen einige Reihen aus, in denen das Weber'sche Gesetz sich bewährt hatte, nämlich die folgenden:

d	h
$0^\circ W = 1,00$	$40^\circ = 8,44$
$8^\circ = 2,49$	$76^\circ = 15,14$
$26,5^\circ = 5,93$	$144^\circ = 27,8$
$29^\circ = 6,39$	$180^\circ = 34,5^1)$
$40^\circ = 8,44$	$194^\circ = 37,1$
$76^\circ = 15,14$	$222^\circ = 42,31$
$144^\circ = 27,8$	$360^\circ = 68$

Die betreffenden Winkelbreiten der Scheibe v mussten in der Regel etwas abgerundet werden, wegen der Schwierigkeit, sehr feine Abstufungen genau abzulesen.

(Siehe Tabelle XIII auf f. S.)

Mit Ausnahme der bekannten Werthe d , v , h (welche, um Platz zu sparen, nur in reducirter Form aufgeführt sind), bedürfen die verschiedenen Bezeichnungen der Tabelle XIII einer kurzen Erklärung. Die unter $d v$, $v h$ stehenden Zahlen beziehen sich auf den gegenseitigen Contrast der betreffenden Helligkeiten. r , bezieht sich auf den positiven, $r_{,,}$ auf den negativen Contrast. Somit ist r , in der ersten Gruppe die reagirende Helligkeit für $J = d, i = v$; $r_{,,}$ für $J = v, i = d$; in der zweiten Gruppe entspricht r , dagegen $J = v, i = h$, und $r_{,,}$, $J = h, i = v$. Sämmtliche Werthe von k entsprechen, wie es die beigefügten ausführlichen Bezeichnungen angeben, den verschiedenen Brüchen $\frac{i-r}{r}$; k , ist die relative Stärke des positiven, $k_{,,}$ des negativen Contrastes. Oder genauer ausgedrückt: k , bezeichnet den simultanen Contrast, welchen d auf v , v auf h ; $k_{,,}$ denjenigen, welchen v auf d , h auf v ausübt. Die beiden Columnen k , $+ k_{,,}$ enthalten schließ-

1) Dies h , obgleich wahrscheinlich etwas zu groß, wurde wegen des mit dieser Winkelbreite sehr genau übereinstimmenden Hintergrundes vorgezogen.

lich die Summen des positiven und negativen Contrastes in je einer Gruppe.

Dass zur Rechtfertigung unserer Annahme eines Contrastgleichgewichts zwischen $d v$ und $v h$ es schlechthin auf jene Summen, nicht aber auf eine etwaige Gleichförmigkeit der entsprechenden Theilcontrastes k , bez. k_n in beiden Fällen ankommt, ist der Natur der Sache nach leicht zu erweisen. Die Contrasterscheinungen lassen sich, von allen theoretischen Streitigkeiten betreffs ihres Ursprungs gänzlich abgesehen, am einfachsten als eine Art von Repulsion unserer Empfindungen auf je einem Sinnesgebiete veranschaulichen, wodurch jede andere in einer Richtung abstoßt, welche der ihrigen conträr ist¹⁾. Das Kleine macht das Große noch größer, das Warme das Kalte kälter, das Helle das Dunkle dunk-

1) Es ist dies übrigens nur in anderen Worten dieselbe Definition des simultanen Contrastes, welche Chevreul aufstellte in seinen bahnbrechenden »Mémoires sur quelques phénomènes de la juxtaposition des couleurs« (Mém. de l'acad. des sciences T. XI. 1832).

Tabelle XIII.

No.	d	v	h	$d v$				$v h$					
				r	r_n	$\frac{k, v-r,}{r,}$	$\frac{k_n, d-r_n}{r_n}$	$\frac{k, v-r,}{r,}$	$\frac{k_n, d-r_n}{r_n}$	r	r_n	$\frac{k, v-r,}{r,}$	$\frac{k_n, v-r_n}{r_n}$
I.	1,00	2,94	8,44	7,75° = 2,44	1,5° = 1,28	+ 0,205	- 0,218	0,423	32,5° = 7,05	15° = 3,79	+ 0,197	- 0,224	0,421
II.	2,49	6,21	15,14	15,5° = 3,88	10° = 2,86	+ 0,600	- 0,129	0,729	47,25° = 9,79	34° = 7,32	+ 0,547	- 0,151	0,698
III.	5,93	12,91	27,8	53° = 10,86	31,75° = 6,91	+ 0,188	- 0,142	0,330	123,5° = 23,98	81° = 16,07	+ 0,159	- 0,196	0,355
IV.	6,39	14,84	34,5	67° = 13,47	37° = 7,88	+ 0,102	- 0,189	0,291	159° = 30,59	89° = 17,56	+ 0,128	- 0,155	0,283
V.	8,44	17,75	37,1	71° = 14,21	48° = 9,93	+ 0,249	- 0,150	0,399	154° = 29,66	107° = 20,91	+ 0,250	- 0,151	0,401
VI.	15,14	25,28	42,31	102° = 19,98	96,5° = 18,96	+ 0,65	- 0,201	0,466	165° = 31,71	162° = 31,15	+ 0,334	- 0,188	0,526
VII.	27,8	43,47	68	198,5° = 37,94	170° = 32,64	+ 0,145	- 0,148	0,293	318° = 60,18	273° = 51,81	+ 0,129	- 0,161	0,290

ler u. s. f. Diese Repulsion ist ferner gegenseitig; die endliche Entfernung der betreffenden Empfindungen, der »Arbeitseffect«, muss, wenigstens theoretisch gedacht, in jedem Falle in Componenten zerlegt werden können. Für die Größe der Arbeit aber ist die resp. Größe der einzelnen Componenten ohne directe Bedeutung; sie wird schlechthin durch ihre Summe gemessen. Hieraus erhellt, dass im gegenwärtigen Falle die einseitigen Inductionen der einzelnen Scheiben (k_1, k_n) jede beliebige sein können, wenn nur die entsprechenden gegenseitigen Contraste (also die Summen $k_1 + k_n$) gleich sind.

Wenn es sich aber ergibt, dass jene Contrastsummen gleich sind, so wird dadurch auch eine andere Annahme bestätigt werden, die wir bei einer früheren Gelegenheit gemacht haben. Man erinnert sich der Erwägung, deren wir uns bedienten, um die Contrastverhältnisse unserer Scheiben d und h in den Lehmann'schen Tabellen ablesen zu können; wir nahmen an, dass der Maximalcontrast nicht zwischen einer Helligkeit (J) und der gegen sie reagirenden objectiven Intensität (r) stattfindet, sondern zwischen J und derjenigen Helligkeit (i), deren Intensität die Lichtfläche r wegen der Contrastwirkung subjectiv angenommen hat. Jener Voraussetzung analog läuft unsere letzte Hypothese darauf hinaus, dass die Contraste $d v$ und $v h$ gleich stark sein sollen, wenn wir bei der vorgenommenen experimentellen Messung die Scheiben d und v , v und h nicht als die bez. inducirenden und reagirenden, sondern als die inducirenden und die inducirten Helligkeiten fungiren lassen.

Betrachten wir jetzt die experimentell gefundenen Werthe jener Contraste, und erinnern wir uns gleichzeitig an die durch unsere Versuchsanordnung bedingten vielfachen Fehlerquellen, so muss eingeräumt werden, dass jene über alle Erwartung gleichmäßig ausgefallen sind, was aber, meines Erachtens, mit einer sehr entscheidenden Bestätigung unserer Hypothese gleichbedeutend ist. Eine auffallend große Differenz kommt nur in einem Falle vor (Versuchsreihe VI); dass aber jene Differenz von ungenauer Beobachtung bedingt worden ist, wird durch eine Vergleichung der verschiedenen Zahlen der betreffenden Versuchsreihe mit denjenigen der übrigen sehr wahrscheinlich. In der Regel kommt jedes r dem entsprechenden i mehr oder weniger nahe, z. B. in der Gruppe $d v$ kommt jedes r , dem entsprechenden Werthe von v , jedes r_n dem Werthe von d am nächsten, was hin-

wiederum zur Folge hat, dass $r_{,,}$ immer bedeutend kleiner wird als r . Weil, früheren Ausführungen gemäß, r die durch den Contrast hervorgerufene subjective Veränderung der Helligkeit i bezeichnet, liegt die soeben bemerkte Erscheinung gänzlich in der Natur der Sache. Aber während nun die Werthe r , und $r_{,,}$ in der Regel sehr verschieden sind, finden wir sie im erwähnten Falle von nahezu gleicher Größe. Betrachten wir sodann diejenige Versuchsreihe (II), wo die Differenz der Summen die nächstgrößte ist, so zeigt es sich, dass eine ganz ähnliche Abnormität der Werthe von r , und $r_{,,}$ stattfindet, obwohl in geringerem Grade. Leider hatte ich keine Zeit, die in Frage stehenden Versuche zu wiederholen; die auffallende Gleichmäßigkeit der sämtlichen übrigen Resultate scheint mir aber jene Lücken genügend zu überdecken.

Allerdings in einer Hinsicht scheint in obiger Tabelle ein tatsächlicher Mangel an Regelmäßigkeit stattzufinden, indem nämlich die Werthe der Summen k , + $k_{,,}$ keine continuirliche Entwicklung zeigen, wie dies zu erwarten wäre. Nehmen wir, um jene Entwicklung übersichtlicher zu machen, die Mittel der Werthe von k , + $k_{,,}$ in beiden Gruppen:

I.	0,422
II.	0,714
III.	0,343
IV.	0,287
V.	0,400
VI.	0,496
VII.	0,292

Während die Contrastsumme in der ersten Versuchsreihe 0,422, in der letzten 0,292 beträgt, was auf einen der absoluten Lichtintensität reciproken Verlauf der Contraststärke unserer günstigen Unterschiede hinzudeuten scheint, stufen sich die zwischenliegenden Zahlen durchaus nicht in der zu erwartenden Weise ab. Die Summen II, V und VI sind alle auffallend groß, die Summe IV wieder sehr klein, und alle vier treten somit aus der Reihe hinaus. Indessen die Erklärung liegt vielleicht nicht so fern, wie man beim ersten Anblick glauben könnte. Die in obiger Tabelle mitgetheilten Versuche wurden nicht in derselben Ordnung gemacht, wie sie hier nach einander folgen: außerdem schoben sich, der Zeitfolge nach, zwischen jene Versuchs-

reihen andere ein, zu deren Besprechung ich später übergehen werde. Die frühesten von allen Contrastversuchen, die überhaupt angestellt wurden, waren aber gerade jene Reihen II, V und VI der Tab. XIII, während IV zu den letztgemachten gehörte. Dieser Umstand darf keineswegs übersehen werden. Ich erinnere mich nämlich, dass auch bei den von Lehmann und mir früher ausgeführten Contrastversuchen die anfangs gemachten Beobachtungen sehr große Werthe ergaben, welche indessen beträchtlich herabgedrückt wurden, als wir später dieselben Versuche wiederholten. Die Ursache hiervon ist leicht zu finden. Wenn eine Lichtfläche auf eine andere von verschiedener Intensität gelegt und somit dem von dieser bewirkten simultanen Contraste ausgesetzt wird, breitet sich bekanntlich die inducirte Helligkeit nicht gleichmäßig über die ganze reagirende Fläche aus; die hervorgerufene Veränderung ist am stärksten am Rande und wird schwächer gegen das Centrum hin. Diese Ungleichmäßigkeit des simultanen Contrastes wird wahrscheinlich außerdem, wegen der Bewegung der Augen, durch successive Contrasterscheinungen gerade in der Gegend, wo die beiden Lichtflächen an einander grenzen, nochmals gehoben. Nun fällt natürlich der starke Randcontrast zuerst in's Auge und nimmt infolge dessen die Aufmerksamkeit des ungeübten Beobachters allein in Anspruch. Bei fortgesetzter Uebung lernt man inzwischen von jener grell hervorspringenden Grenzzone abstrahiren, um auf die mäßiger veränderten centralen Theile seine vergleichende Aufmerksamkeit zu richten.

Fernerhin ist es einleuchtend, dass die Größe von r gerade davon abhängt, ob man den Contrast schärfer oder weniger scharf wahrnimmt. Concentrirt sich die Vergleichung auf den Randcontrast, so muss beim positiven Contraste r zu klein, beim negativen zu groß werden, was bewirkt, dass sowohl im ersten Falle der positive als im zweiten der negative Rest $i - r$ zu groß wird. Auch der Bruch $\frac{i-r}{r}$ wird demzufolge in beiden Fällen zu groß; und zwar wächst er, wie leicht zu sehen ist, im ersten Falle weit rascher als im zweiten. Eben dies ist nun der Fall in den betreffenden Versuchsreihen, welche, wie schon gesagt, unsere drei frühesten waren. So beträgt z. B. in der Reihe II die Differenz $i - r$ für $d v$ 2,33, für $v h$ 5,35, während sie nach der Analogie der später gemachten Versuche etwa nur resp.

1 bis 1,5 und 2,5 bis 3 hätte betragen sollen. Dass jene Erscheinung schlechthin Sache der Uebung ist, geht aus dem Umstande sehr deutlich hervor, dass Beobachter, welche gleichzeitig dieselben Uebungsstufen durchlaufen, wie früher Lehmann und ich und jetzt Alexander und ich, immer gegenseitig übereinstimmende Contrastwerthe angeben, obgleich diese Werthe selbst sich mit der Zeit zu verändern scheinen¹⁾. Ich bin deshalb auch überzeugt, dass alle jene zu großen Werthe bedeutend herabgedrückt worden wären, wenn wir die betreffenden Experimente nach erlangter größerer Uebung wiederholt hätten. — Vergleicht man, insofern dies möglich ist, die von uns gefundenen Werthe mit den entsprechenden Fällen in Lehmann's Tabellen, so kommt man zu demselben Resultat, und zwar nicht nur betreffs der drei bisher besprochenen Versuche; auch die in den Reihen I und III angegebenen Contraststärken scheinen, mit entsprechenden oder nahestehenden Lehmann'schen Fällen verglichen, ziemlich viel zu groß zu sein.

Aus dieser ganzen Betrachtung geht aber hervor, dass, obgleich die Contrastsummen sehr übereinstimmend sind, somit die Richtigkeit unserer Hypothese von einem Contrastgleichgewicht zwischen $d v$ und $v h$ beweisen, die Versuchsbedingungen indessen nicht constant genug gewesen sind, um einen zuverlässigen Schluss auf die Beziehung jener Contrastsummen zur absoluten Lichtintensität zu erlauben. Außerdem ist es offenbar, dass, sogar wenn die Zahlenreihen $k_i + k_{ii}$ obiger Tabelle durch Ausscheidung aller störenden Umstände auf ihre endgültige Form gebracht würden, das Verhältniss des gegenseitigen Contrastes zur absoluten Lichtintensität daraus doch nicht unmittelbar hervorgehen würde. Denn hierzu wäre es erforderlich, dass zwischen jenen auf verschiedenen Intensitätsstufen gewählten Helligkeiten, deren gegenseitige Contraststärken durch die Summen $k_i + k_{ii}$ ausgedrückt sind, jedesmal eine constante Beziehung bestände. Dies ist aber keineswegs der Fall. Von vorn herein wissen wir schon, dass die Quotienten unserer früher besprochenen geometrischen Reihen, somit die Verhältnisse $\frac{J}{i}$ obiger Tabelle sehr variabel sind, indem sie bei wach-

1) Lehmann, der sich jetzt mit neuen Contrastuntersuchungen beschäftigt, hat mir gelegentlich mitgetheilt, dass zwei neue Beobachter ganz dieselbe Entwicklung von großen zu kleinen Werthen gezeigt haben.

sender Lichtstärke kleiner werden. Ein Blick auf die jetzt gefundenen Werthe von r überzeugt uns sodann, dass auch das Verhältniss $\frac{J}{r}$, welches Lehmann's Untersuchungen zufolge bei dem maximalen einseitigen Contrast immer constant ist, hier sich durchaus nicht constant erweist, indem es annähernd den nämlichen Verlauf wie $\frac{J}{i}$ zeigt.

Wenn also unsere bisherigen Contrastversuche über das Verhalten des gegenseitigen Contrastes auf verschiedenen Lichtstufen bei constanter Beziehung der contrastirenden Helligkeiten keine Auskunft liefern, so bieten sie uns dagegen eine Möglichkeit, umgekehrt bei constanter Contraststärke auf verschiedenen Lichtstufen die absolute Differenz der entsprechenden Helligkeiten zu vergleichen. Constante Contrastintensitäten finden wir in je einem Paar von Summen $k_1 + k_n$; die absolute Lichtstärke ist aber in beiden Fällen eine verschiedene. Weil die Helligkeit v hier die mittlere Proportionale der Helligkeiten d und h bildet, ist sodann immer der Unterschied $h - v > v - d$. Hieraus folgt aber unmittelbar, als ein Ergebniss unserer sämtlichen Versuchsreihen, dass die einer constanten gegenseitigen Contrastintensität entsprechende absolute Helligkeitsdifferenz mit wachsender Lichtstärke größer wird, mithin dass die Intensität des gegenseitigen Contrastes einer constanten absoluten Helligkeitsdifferenz mit wachsender absoluter Lichtstärke abnimmt. Wir werden später, bei der endlichen Verwerthung unserer Versuchsergebnisse, uns an diese Thatsache erinnern.

Die in der Tabelle XIII enthaltenen Contrastbestimmungen beziehen sich sämtlich auf unsere früher sogenannten primären oder großen günstigen Unterschiede, betreffs welcher wir also jetzt bestätigt haben, dass ihre mittleren Proportionalen (v) mit den beiden Grenzhelligkeiten gleichstarke Contraste bilden. Indessen ist die Prüfung unserer Hypothese hiermit nicht erschöpft. Außer den erwähnten großen begegneten uns bekanntlich kleinere, secundäre günstige Unterschiede, bei welchen wir das nämliche Verhalten des Contrastes wie bei jenen angenommen haben. Wir vermutheten schließlich, und zwar in voller Uebereinstimmung mit jener Annahme, dass in allen übrigen, bez. ungünstigen Fällen, der Halbierungspunkt des Contrastes dh nicht bei der Helligkeit \sqrt{dh} eintreffen würde. Weil mir

die erste und dritte Aufgabe als die dringendste erschien, wandte ich den letzten Theil meines Aufenthalts in Leipzig zu Experimenten an, welche auf die Lösung jener beiden Probleme hinzielten. Auf diesen Entschluss wirkten außerdem praktische Bedenken ein. Bei den secundären günstigen Unterschieden waren die Helligkeitsdifferenzen ziemlich gering, was, wie ich damals glaubte, eine genaue quantitative Bestimmung des Contrastes beträchtlich erschweren würde. Außerdem waren jene kleinen Unterschiede, wie aus der Besprechung der Tabellen und Curven deutlich hervorging, nur ganz approximativ gefunden. Aus diesen Gründen glaubte ich hier eine Lücke in meiner Untersuchung lassen zu müssen. Da ich mich aber später während der Bearbeitung meiner Versuchsergebnisse in Kopenhagen aufhielt, bot sich eine Gelegenheit jene Lücke auszufüllen. Im Laufe des vorigen Sommers hatte hier Lehmann ein kleines, vorläufig auf optische Versuche berechnetes Laboratorium für experimentelle Psychologie eingerichtet; seine freundliche Einladung, meine Versuche dort zu vervollständigen, war mir sehr willkommen. Bei diesen neuen Experimenten wurden vor allem die früher hintangesetzten secundären günstigen Unterschiede aufgenommen; obgleich noch etliche früher gefundene Resultate rückständig sind, werde ich, wegen des Zusammenhanges mit dem vorigen, jene jüngsten Versuche zunächst erwähnen.

Ich hatte sowohl die Hintergründe als einige Scheiben aus Leipzig mitgebracht; auch eine Beleuchtungsstärke, welche der früher angewandten jedenfalls sehr nahe kam, gelang es uns herzustellen. Ich konnte daher die neuen Versuche an die älteren direct anknüpfen. Zu vielem Zeitgewinn gereichte es außerdem, dass ich sogleich einen fertig geübten Mitarbeiter fand, indem sich Herr Cand. theol. Henr. Gad, der sich schon eine Zeit lang an Lehmann's eigenen Contrastversuchen betheiligte, bereit erklärte, bei meinen Experimenten mitzuwirken.

(Siehe Tabelle XIV auf f. S.)

In der ersten und zweiten Versuchsreihe der Tab. XIV entsprechen d und h je einem secundären günstigen Unterschiede, nämlich (I) $76^\circ - 40^\circ$ aus der Tab. IV, und (II) $121^\circ - 76^\circ$ aus der Tab. V. Unter v stehen ihre abgerundeten mittleren Abstufungen, in der ersten Reihe 56° (11,42) anstatt 55,85, in der zweiten 96° (18,86) anstatt $96,12^\circ$. Wie man sieht, gestalten sich die Resultate jener beiden Ver-

suche ganz nach unserer Erwartung: hier wie bei den früher untersuchten großen günstigen Unterschieden contrastirt die Scheibe v gleich stark mit d und h . Die sehr geringen Differenzen der resp. Summen $k_r + k_n$ lassen sich theils aus den Schwierigkeiten der Versuchsmethode, theils daraus erklären, dass die beiden Helligkeiten v wahrscheinlich hätten um einige Grade größer sein sollen.

Da unsere Annahme von analogen Bedingungen der beiden Arten von Nullpunkten hiernach durch die soeben erwähnten Versuche bestätigt wurde, so schien es mir von verhältnissmäßig geringem Interesse, das nämliche Experiment in mehreren Fällen zu wiederholen. Indessen erinnern wir uns aus der Betrachtung der Curven, dass es Fälle gegeben, wo wir entweder gar keinen secundären Nullpunkt angetroffen hatten, oder auch die experimentelle Herstellung des genannten Punktes, wie z. B. in der Curve V, sehr unbefriedigend ausgefallen war. Während dort die mittlere Proportionale des großen günstigen Unterschiedes, also $\sqrt{27,8.5,93}$, nur 12,91 betrug, gab die Curve einen approximativen Nullpunkt bei 21,84 an. Das betreffende Experiment zeigte sich allerdings, näher besehen, mit einem unver-

Tabelle XIV.

No.	d	v	h	$d v$				$v h$									
				r_1	r_n	$\frac{k_r}{v-r_1}$	$\frac{k_n}{d-r_n}$	$k_r + k_n$	r_1	r_n	$\frac{k_r}{h-r_1}$	$\frac{k_n}{v-r_n}$	$k_r + k_n$				
I.	8,44	11,42	15,14	49°	10,11	44,5°	9,28	+ 0,129	- 0,090	0,219	67°	13,47	62,5°	12,63	+ 0,124	- 0,098	0,222
II.	15,14	18,86	23,52	88°	17,38	85°	16,68	+ 0,085	- 0,092	0,177	111°	21,66	107°	20,91	+ 0,086	- 0,098	0,184
III.	12,91	18,86	27,8	85°	16,68	76°	15,14	+ 0,130	- 0,147	0,277	123,5°	23,98	109,5°	21,38	+ 0,159	- 0,118	0,277
VI.	6,96	9,93	14,20	43,5°	9,09	37,5°	7,98	+ 0,092	- 0,128	0,220	62,5°	12,63	54°	11,05	+ 0,124	- 0,101	0,225
V.	5,84	8,63	12,91	33°	7,51	29,5°	6,49	+ 0,149	- 0,100	0,249	56°	11,42	47,5°	9,84	+ 0,130	- 0,123	0,253

hältnissmäßig großen zufälligen Beobachtungsfehler behaftet, was uns zu der Vermuthung veranlasste, dass der ganze Versuch verfehlt, somit auch sein Resultat — der scheinbare Nullpunkt — illusorisch sei. Dagegen konnte der wahre secundäre Nullpunkt, bei der beschränkten Zahl unserer Versuche, sehr wohl übersprungen sein, und der Umstand, dass sein theoretisch berechneter Ort gerade zwischen zwei beträchtlich entfernte, aber nahezu gleichgroße Ordinaten fiel, schien jener Möglichkeit noch eine weitere Stütze zu verleihen. Wir ließen uns daher nicht in unserer Annahme erschüttern, dass die Nullpunkte durchgängig geometrische Reihen bildeten. Um diese Erscheinung zu erklären, wurden wir fernerhin genöthigt, eine neue und zwar doppelte Hypothese aufzustellen: erstens dass die mittleren Proportionalen der großen günstigen Unterschiede den Contrast der ganzen Helligkeitsdifferenz genau in zwei Hälften theilen, und zweitens dass hinwiederum die beiden Theilcontraste von ihren mittleren Proportionalen in gleicher Weise halbirt würden und infolge dessen selber neue günstige Unterschiede abgeben. Dass die experimentell gefundenen günstigen Unterschiede in Bezug auf den Contrast sich so verhalten, wie wir es vermutheten, haben wir schon erfahren. Aber wegen der Schwierigkeiten, die dem thatsächlichen Nachweise einer streng geometrischen Reihe der Nullpunkte in den Weg traten, schien es nothwendig, vor dem Abschluss unserer Untersuchung jene Frage nochmals zu prüfen.

Um nun einen vermeintlich übersprungenen secundären Nullpunkt experimentell zu finden, wenn der primäre gegeben war, boten sich unserer Hypothese zufolge zwei Auswege dar: entweder mit den theoretisch berechneten Helligkeiten von d und h einen Dreischeiden-Versuch anzustellen und die etwaige Uebereinstimmung der experimentell hergestellten mittleren Abstufung mit $\sqrt{d \cdot h}$ zu prüfen, oder aber auch die mittlere Abstufung $= \sqrt{d \cdot h}$ theoretisch zu berechnen und sodann die gegenseitigen Contrastintensitäten der drei berechneten Helligkeiten experimentell zu bestimmen. Im ersten Falle wäre das Dasein eines günstigen Unterschiedes bewiesen, wenn $\frac{d}{v} = \frac{v}{h}$, im zweiten, wenn $k_1 + k_n$ für $d \cdot v = k_1 + k_n$ für $v \cdot h$ würde. Es ist offenbar, dass das zweite dieser Verfahren die strenge Gültigkeit der sämtlichen Annahmen erfordert. Aber es bot sich gerade hierdurch

zugleich die Gelegenheit dar, alle unsere successiv aufgestellten Hypothesen auf eine entscheidende Probe zu stellen. Nun fügte es sich außerdem so glücklich, dass nicht nur im oben erwähnten Falle (Curve V) der große günstige Unterschied $27,8 - 5,93$ ungemein genau bestimmt war (wie dies aus der Tab. VI hervorgeht), sondern ich auch in einem aus unserer zweiten und vierten Tabelle bekannten Hintergrunde $= 64^\circ$ (12,91) gerade eine Helligkeit besaß, welche der mittleren Proportionale jenes primären günstigen Unterschiedes entsprach. Die zu untersuchenden Helligkeiten waren also $d = 12,91$ (64°), $h = 27,8^\circ$ (144°), $v = \sqrt{12,91 \cdot 27,8} = 18,94$ ($96,39^\circ$) oder abgerundet 96° (18,86). Die quantitative Bestimmung der beiden Contrastpaare wurde nun mit möglichst großer Sorgfalt ausgeführt, und wenn aus den vier gefundenen Werthen von r die beiden Summen $k_1 + k_2$ berechnet wurden, so ergab sich, nicht wie bei allen bisherigen Fällen, wo wir uns vorher zu den günstigen Unterschieden experimentell herangetastet hatten, nur ein annäherndes Gleichgewicht der beiden Summen, sondern, wie es die Reihe III in obiger Tabelle zeigt, zwei vollständig identische Zahlen. Sogar wenn wir einige Tausendtheile jener Zahlen einem günstigen Zufalle verdanken sollten, lässt sich dieses Ergebniss doch nicht wohl anders erklären denn als ein schlagender Beweis für die Richtigkeit unserer früheren Hypothesen, sowohl von der specifischen Art der Contrasterscheinungen, durch welche die günstigen Unterschiede überhaupt bedingt werden, als von einer wirklichen geometrischen Progression der Nullpunkte unserer Curven.

Wenn uns bei der Betrachtung der Curve V der scheinbar gefundene secundäre Nullpunkt verdächtig vorkam, so hatten wir dagegen in der Curve II durchaus keinen derartigen Punkt angetroffen. Auch in diesem Falle dünkte es uns aber wahrscheinlich, dass er nur übersprungen war, was mit der Gestaltung der Curve an der betreffenden Stelle sich ganz wohl vereinigen ließ. Selbstverständlich entschloss ich mich nun, den soeben beschriebenen Controlleversuch auch hier auszuführen. Der große günstige Unterschied war allerdings diesmal nicht so genau angegeben wie oben; er erstreckte sich, wie früher bemerkt, von $h = 27,8$ bis $h = 34,5$. Der secundäre Nullpunkt war also etwa bei 14 zu erwarten. Um das Experiment ausführen zu können, wurde ich indessen gezwungen einen neuen Hintergrund herzu-

stellen; unter mehreren gleichzeitig bemalten Papieren wählte ich eines aus, das zu 71° (14,20) bestimmt wurde. Zwar war diese Helligkeit etwas zu groß, weil aber der früher zu 29° bestimmte Hintergrund sich mit der Zeit verändert hatte und jetzt mit einer Winkelbreite von 32° (6,96) zusammenfiel, schienen die beiden Verschiebungen einander aufzuheben. Die Helligkeit v war also $= \sqrt{5,96 \cdot 14,10} = 9,94$ ($48,03^\circ$), oder abgerundet 48° (9,93). Die Reihe IV obiger Tabelle zeigt, dass auch in diesem Falle die beiden gefundenen Contrastsummen nahezu identisch sind, woraus folgt, dass 1) das Dasein eines (früher übersprungenen) secundären Nullpunktes in der Curve II bewiesen, 2) die geometrische Reihe der verschiedenen Nullpunkte nochmals nachgewiesen und 3) das Bedingtsein der günstigen Unterschiede vom Contrastgleichgewicht nochmals bestätigt ist.

Dem in der Reihe III obiger Tabelle mitgetheilten Experiment konnte ein interessanter Parallelversuch angeschlossen werden, welcher uns gewissermaßen das Mittel darbieten sollte, in noch einem Punkte unsere Hypothesen experimentell zu stützen. Unsere Dreischeiben-Versuche waren, wie man sich erinnert, in Gruppen eingetheilt, wo eine constante Helligkeit successiv mit mehreren andern combinirt wurde. Wenn die Ergebnisse jener Versuche uns u. A. zu der Vermuthung veranlassten, dass auch die secundären günstigen Unterschiede von ihren mittleren Proportionalen in gleich starke Theilcontraste gespalten wurden, so enthielt diese Vermuthung allerdings etwas mehr, als aus den Drei-Scheiben-Versuchen selber hervorging. Denn gerade weil eine Scheibe (d oder h) immer das ganze Versuchssystem hindurch unverändert blieb, konnte offenbar nur ein secundärer günstiger Unterschied angetroffen worden, nämlich der von der mittleren Proportionale des primären Unterschiedes und eben jener constanten Helligkeit hergestellte. So z. B. ist in der Tab. IV, wo die constante Helligkeit $= 40^\circ$ ist, $194^\circ - 40^\circ$ der große günstige Unterschied, der (approximative) secundäre $76^\circ - 40^\circ$; dagegen wissen wir nicht, ob etwa auch $194^\circ - 76^\circ$ einen günstigen Unterschied abgeben würde, weil diese Scheibencombination wegen der Versuchsanordnung gar nicht vorgekommen ist. Indessen, dass es sich in der That so verhalten muss, geht aus der ganzen Art und Weise hervor, wie wir die gefundenen günstigen Unterschiede aufgefasst, bez. in Contrasterscheinungen zerlegt haben; es wäre der zweite secundäre

Unterschied nur die Fortsetzung derselben geometrischen Reizserie, welche sich im ersten kundgegeben hat. Deshalb machten wir auch, wie gesagt, die Annahme, dass innerhalb der beiden Theilcontrasten des großen Unterschiedes die Halbierung durch mittlere Proportionalen wiederholt werden sollte.

Um nun die Richtigkeit dieser Annahme zu prüfen, war es natürlich am rätlichsten einen Fall zu wählen, wo die schon gefundenen günstigen Unterschiede mit möglichst großer Genauigkeit hergestellt waren, und einen derartigen Fall hatten wir bekanntlich in der Tab. VI. Ebenso wie die in der dritten Versuchsreihe obiger Tabelle angegebenen Contrastsummen genau gleichstark waren, sollten wir also hinwiederum gleiche Summen finden, wenn die gegenseitigen Contrasten der Helligkeiten 12,91 und 5,93 mit ihrer mittleren Proportionalen untersucht wurden. Der früher zu $26,5^\circ$ (5,93) bestimmte Hintergrund war inzwischen beträchtlich abgeblasst und musste übermalt werden; dabei gelang es mir allerdings nicht, die alte Helligkeit genau zu treffen, der Hintergrund entsprach jetzt einer Winkelbreite von 26° (5,84). Die Helligkeit der mittleren Scheibe wurde also $= \sqrt{5,84 \cdot 12,91} = 8,68$ ($41,26^\circ$), oder abgerundet 41° (8,63). Die gefundenen Werthe von $k_1 + k_2$ (s. Tab. XIV, Reihe V) sind unserer Erwartung gemäß nahezu identisch. Die kleine Differenz (0,004) ist entweder einem Beobachtungsfehler oder der soeben erwähnten kleinen Verschiebung der Helligkeit zuzuschreiben.

Es könnte allerdings auffallend scheinen, dass die Werthe von $k_1 + k_2$ der Reihe V mit denjenigen der Reihe III nicht gänzlich übereinstimmen, obgleich diese beiden Reihen den Theilcontrasten eines großen günstigen Unterschiedes entsprechen. Erinnern wir uns aber an die früher besprochene Thatsache, dass man bei fortgesetzter Uebung die Stärke der Induction niedriger schätzt, so scheint die, übrigens nicht sehr große, Differenz der zwei Reihen aus dem Umstande entsprungen zu sein, dass die Versuche in der Ordnung angestellt wurden, wie sie in der Tabelle XIV aufgeführt sind.

Wenden wir uns nun zu den für die Bewährung des Weber'schen Gesetzes ungünstigen Unterschieden. Unseren bisherigen Ergebnissen zufolge erwarten wir, dass, wenn die Helligkeit der Scheibe

$v = \sqrt{dh}$ genommen wird, die Werthe von $k, + k_n$ für dv und $v h$ differiren sollen. Weil aber die Günstigkeit bez. Ungünstigkeit eines Unterschiedes auf die Beobachtung keinen Einfluss übte, sondern vielmehr die mittlere Abstufung mit gleicher Sicherheit hergestellt wurde, sei es dass das experimentelle Resultat mit dem theoretisch berechneten zusammenfiel oder nicht, so ist es fernerhin überhaupt zu vermuthen, dass wir nicht nur bei günstigen, sondern auch bei ungünstigen Uebermerklichkeitsgraden die mittlere Abstufung gerade bei dem Punkte gefunden haben, wo die beiden Contraste dv und $v h$ gleich wurden. Die Richtigkeit dieser Annahme geht in der That aus Tabelle XV hervor. Alle sechs Versuchsreihen beziehen sich auf drei früher als ungünstig bestätigte Unterschiede, nämlich

- $d = 76^\circ; h = 144^\circ$
- $d = 76^\circ; h = 360^\circ$
- $d = 144^\circ; h = 286^\circ$

Aber in den drei ersten Reihen entspricht v der experimentell hergestellten mittleren Abstufung, während in den drei letzten $v = \sqrt{dh}$ ist. Wie man sieht, stimmen im ersten Falle

Tabelle XV.

No.	v	h	dv					vh							
			r	r_n	$\frac{k_r}{v - r_r}$	$\frac{k_n}{d - r_n}$	$\frac{k_r + k_n}{r_n}$	r	r_n	$\frac{k_r}{h - r_r}$	$\frac{k_n}{v - r_n}$	$\frac{k_r + k_n}{r_n}$			
Ia	15,14	20,92	27,8	86°	17	+ 0,098	- 0,109	0,207	129°	25,28	119°	= 23,15	+ 0,099	- 0,096	0,195
IIa	15,14	31,43	68	88°	= 17,38	+ 0,131	- 0,129	0,260	316°	= 60,16	191°	= 36,55	+ 0,130	- 0,140	0,270
IIIa	27,8	40,82	54,22	162°	= 31,15	+ 0,075	- 0,107	0,162	269,5°	= 51,15	239°	= 45,48	+ 0,060	- 0,102	0,162
Ib	15,14	20,45	27,8	84,5°	= 16,72	+ 0,100	- 0,094	0,194	124°	= 24,08	115°	= 22,40	+ 0,154	- 0,087	0,241
IIb	15,14	32,08	68	90°	= 18,31	+ 0,127	- 0,173	0,300	320°	= 60,55	191°	= 36,55	+ 0,123	- 0,122	0,245
IIIb	27,8	38,78	54,22	189°	= 36,17	+ 0,079	- 0,074	0,146	265°	= 52,32	226°	= 43,06	+ 0,077	- 0,099	0,176



1*

die resp. Werthe von $k_1 + k_2$ nahezu überein oder kommen einander jedenfalls weit näher als im zweiten. In der Reihe IIIa beträgt die Differenz zwar 0,020; aber gerade in diesem Falle scheint auch, wie aus einer Vergleichung der benachbarten Versuche (Tab. VI) hervorgeht, die Abweichung von der theoretisch berechneten mittleren Abstufung etwas zu groß ausgefallen zu sein, indem sie nicht weniger als $+ 10,62^\circ$ betrug. In der That deuten nun die beiden Contrastsummen darauf hin, dass v der Helligkeit h etwas zu nahe gerückt worden war, indem $k_1 + k_2$ für $v h$ kleiner ist als für $d v$.

Unsere Drei-Scheiben-Versuche ergaben fernerhin theils positive, theils negative Werthe für die Größe f . Ich habe daher die obigen Contrastversuche so gewählt, dass sie beide Fälle umfassen. In den Reihen I und III war f positiv, in II dagegen negativ, woraus hervorzugehen schien, dass dort die Helligkeit $\sqrt{d h}$ gegen d schwächer contrastirte als gegen h , hier umgekehrt stärker gegen d als gegen h . Auch diese Vermuthung ist durch das Resultat der Contrastversuche gerechtfertigt worden, indem wir in den Reihen Ib und IIIb für $d v$ die Werthe von $k_1 + k_2 < k_1 + k_2$ für $v h$, in IIb dagegen für $d v$ $k_1 + k_2 > k_1 + k_2$ für $v h$ gefunden haben.

Als Gesamtergebniss der oben mitgetheilten Contrastversuche können wir die im Schluss des zweiten Abschnittes hypothetisch aufgestellten, jetzt experimentell bewiesenen Sätze betrachten:

- 1) In einigen Fällen entspricht, so wie es das Weber'sche Gesetz fordert, der arithmetischen Reihe von Empfindungsunterschieden eine geometrische Reihe von physikalischen Reizen: dann ruft diese geometrische Reizserie eine Reihe von gleichstarken gegenseitigen Contrasten hervor;
- 2) in anderen Fällen, und zwar den meisten, trifft das Weber'sche Gesetz nicht zu: dann entsprechen aber auch die gleichstarken Contraste keiner geometrischen Reihe der Reize.

Es fragt sich offenbar nun, wie jene Erscheinungen sich in den Rahmen der bisher bekannten psychologischen Thatsachen einfügen lassen. So viel ich weiß, ist bisher nur ein Versuch gemacht worden,

den Zusammenhang der Contrastphänomene mit dem Weber'schen Gesetze und zwar gerade in Bezug auf den Lichtsinn nachzuweisen. Ich meine die von Wundt in seiner Physiologischen Psychologie I, p. 459 f. aufgestellte Theorie vom Helligkeitscontrast. Sowohl die »physiologische« als die rein »psychologische« Auffassung des Contrastes ablehnend, sieht Wundt in dieser Erscheinung »eine letzte Anwendung jenes allgemeinen Gesetzes der Beziehung, welches alle unsere Empfindungen beherrscht«; während der Farbencontrast noch nicht genügend untersucht worden ist, um seinen Zusammenhang mit dem Weber'schen Gesetze sicher erkennen zu lassen, deuten indessen mehrfache experimentelle Ergebnisse darauf hin, dass »der Helligkeitscontrast nur einen Specialfall des Weber'schen Gesetzes darstellt«.

Dass die Wundt'sche Theorie die Resultate der obigen Untersuchung anticipirt, ist einleuchtend. Von dem Zusammentreffen unserer ersten »günstigen Unterschiede« mit den von Lehmann gefundenen maximalen Contrastfällen bis zu den Ergebnissen unserer letzten Contrastmessungen hat sich ein Parallelismus kundgegeben, welcher schlechthin auf das Gegenseitigkeitsverhältniss der beiden betreffenden Erscheinungen hinweist. Indessen zeigt die obige Formulierung unserer Ergebnisse, dass sich der von Wundt ausgesprochene Satz doch nicht mit allen Momenten unserer Untersuchung in Einklang bringen lässt. Anstatt den Helligkeitscontrast als einen Specialfall des Weber'schen Gesetzes zu betrachten, würde es im Grunde mit unseren Versuchsergebnissen besser stimmen, das Weber'sche Gesetz für den Lichtsinn gewissermaßen als einen Specialfall des Helligkeitscontrastes zu erklären.

Zur näheren Erklärung des Gesagten hebe ich folgendes hervor:

1) Damit der Helligkeitscontrast als ein Specialfall des Weber'schen Gesetzes erklärt werden könnte, wäre es erforderlich, dass beide Erscheinungen überhaupt den nämlichen Verlauf zeigten. Dies glaubte Wundt in der That auch nachweisen zu können. Wenn man schwarze Sektorenabschnitte von verschiedener Breite auf einer weißen Scheibe anbringt, oder umgekehrt weiße Sektoren vor einem schwarzen Hintergrunde rotiren lässt, entstehen aneinander grenzende concentrische Ringe von verschiedener Helligkeit. Dieses Verfahrens bedienen sich einerseits, wie schon im Anfang dieser Arbeit bemerkt, Delboeuf,

um die Unterschiedsempfindlichkeit des Lichtsinns zu untersuchen, anderseits Helmholtz¹⁾ und Wundt²⁾ zu Versuchen über den simultanen Helligkeitscontrast. Wundt macht nun darauf aufmerksam, dass, wenn man bei constantem Helligkeitsverhältniss der contrastirenden Ringe entweder die Beleuchtungsstärke wechselt, oder die Scheiben durch graue Gläser betrachtet, »die absolute Helligkeit innerhalb ziemlich weiter Grenzen variirt werden kann, ohne dass sich die Stärke des Contrastes verändert«. Da hierbei die absoluten Helligkeiten der contrastirenden Flächen wechseln, ihr Helligkeitsverhältniss aber constant bleibt, so zieht Wundt die Folgerung, dass der Helligkeitscontrast nur einen Specialfall des Weber'schen Gesetzes darstellt. Das soeben beschriebene Experiment lässt aber immerhin die Frage offen: wie es sich, unter den nämlichen Versuchsbedingungen, mit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit verhält. Betreffs der von Delboeuf gewonnenen Resultate hat Lehmann bereits nachgewiesen, dass die dabei bestätigten Abweichungen vom Weber'schen Gesetze größtentheils vom Contraste verursacht sind. Die nämlichen Abweichungen sind in unsern eigenen, wegen der viel geringeren Größe der mittleren Fehler noch mehr Zutrauen erweckenden Versuchen durchaus regelmäßig aufgetreten, und sie haben schließlich durch die in den Tabellen XV mitgetheilten Betrachtungen ihre Erklärung gefunden. Sie lassen sich schlechthin in Contrasterscheinungen auflösen, indem als mittlere Abstufung zweier Helligkeiten immer diejenige Helligkeit empfunden wird, welche mit jenen beiden gleich starke Contraste bildet. Dies trifft in einigen Fällen ein, wenn die physikalischen Intensitäten eine geometrische Reihe bilden, in den meisten aber ist das Verhältniss der den gleichen Contrasten entsprechenden Reize nicht geometrisch. Hieraus geht sehr deutlich hervor, dass der Helligkeitscontrast und das Weber'sche Gesetz nicht denselben Verlauf zeigen, sondern dass dies vielmehr nur dann sich bewährt, wenn der Halbirungspunkt des Contrastes der ganzen Helligkeitsdifferenz $h - d$ mit ihrem geometrischen Mittel zusammenfällt.

2) Wenn wir das Weber'sche Gesetz für den Lichtsinn gewissermaßen als einen Specialfall des Helligkeitscontrastes erklären,

1) Physiol. Optik p. 413.

2) Physiol. Psychol. I. p. 459.

so ist dies insofern nur so zu verstehen, dass sämtliche Ergebnisse unserer Drei-Scheiben-Versuche sich als Contrasterscheinungen betrachten lassen. Diejenigen Fälle, wo wir $\frac{d}{v} = \frac{v}{h}$ gefunden haben, bewiesen schlechthin nur, dass unter gewissen bestimmten Bedingungen gleiche Contraste entstehen, wenn die Helligkeiten in einer geometrischen Progression wachsen.

Nun würde es etwa am einfachsten sein, weil die Erfahrung uns ein fortlaufendes Gewebe von zusammenhängenden Erscheinungen darbietet, auch nicht mit doppelten Gesetzen zu operiren, sondern das Weber'sche Gesetz buchstäblich als einen durch das besondere Verhalten des Contrastes unter gewissen Umständen verursachten Specialfall desselben aufzufassen. Indessen einem derartigen Standpunkte würde sich sofort eine unüberwindliche Schwierigkeit in den Weg stellen. Es begegnet uns nämlich die Frage: wie die Contrasterscheinungen überhaupt mit der nicht zu leugnenden Thatsache einer Unterschiedschwelle in Einklang gebracht werden sollen. Durch den Contrast werden die Lichteindrücke in ihrer Verschiedenheit gehoben; wäre nun der Contrast das einzige Beziehungsgesetz unserer Empfindungen, so würde daraus nothwendig folgen, dass geringe und zwar auch die geringsten Reizunterschiede immer verhältnissmässig zu groß empfunden werden müssten. Das Dasein der Unterschiedschwelle beweist aber im Gegentheil, dass ein gewisses und zwar mit der absoluten Reizstärke wachsendes Minimum von Verschiedenheit erforderlich ist, damit der Unterschied zweier Reize eben merklich werde. Contrast und Unterschiedschwelle scheinen daher gewissermaßen entgegengesetzte Erscheinungen zu sein: diese bezieht sich auf das Bewusstwerden unserer Sinnesreize, jene auf die Reciprocität der empfundenen Eindrücke.

Die aus unseren Tabellen abzulesenden Abweichungen vom Weber'schen Gesetze sind allerdings nicht sehr groß; bisweilen ist $\frac{d}{v} > \frac{v}{h}$ bisweilen $\frac{d}{v} < \frac{v}{h}$, in jedem Falle aber kommen die Differenzen der experimentell hergestellten Helligkeiten dem geometrischen Verhältniss $\frac{d}{v} = \frac{v}{h}$ viel näher als dem einfach arithmetischen $v - d = h - v$. Hieraus erhellt, dass jene gleichstarken Contrastsummen, welche den gefundenen Helligkeitsdifferenzen $v - d$, $h - v$ entsprechen, wenn sie auch

nur in ganz speciellen Fällen von wirklichen geometrischen Reizserien hervorgerufen werden, doch immer ein annähernd constantes Verhältniss, nicht aber eine contante absolute Differenz zweier Helligkeiten bezeichnen. Wir haben früher (p. 92) auf die Thatsache aufmerksam gemacht, dass »die Intensität des gegenseitigen Contrastes einer constanten absoluten Helligkeitsdifferenz mit wachsender absoluter Lichtstärke abnimmt«. Dieser allgemein ausgedrückte Satz kann aber dem andern zur Seite gestellt werden, dass die absolute Unterschiedsempfindlichkeit mit wachsender Helligkeit abnimmt.

Den ersteren Satz haben wir sodann dahin erweitert, dass zur Herstellung gleichstarker gegenseitiger Contraste nicht constante Differenzen, sondern wenig variable Verhältnisse erforderlich sind, worin wiederum der Anknüpfungspunkt zu liegen scheint zwischen dem Contraste und der psychophysischen Thatsache, dass gleichen Empfindungsunterschieden nicht constante Reizdifferenzen, sondern (annähernd constante) Reizverhältnisse entsprechen.

Hier begegnet uns nun aber eine beträchtliche Verschiedenheit der Art, in welcher die Variation der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei endlichen und bei minimalen Abstufungen sich kundgibt. Während wir durchaus nicht eine der absoluten Lichtstärke proportional wachsende Abweichung vom Weber'schen Gesetze wahrgenommen haben, sondern vielmehr unsere »günstigen Unterschiede« auf den verschiedensten Helligkeitsstufen hergestellt werden konnten, gehen bekanntlich die von Aubert, Helmholtz, Volkmann u. A. gefundenen Resultate sämmtlich darauf hinaus, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit in bestimmter, obwohl noch nicht definirter Weise, von der einwirkenden absoluten Lichtstärke abhängt. Aubert, dessen Versuche über die größte Zahl von Lichtintensitäten sich erstrecken, behauptet fernerhin von dieser Abhängigkeit: »die Empfindlichkeit für Lichtunterschiede erreicht ein Maximum, und zwar für meine Augen bei einer Helligkeit, welche etwas geringer ist als die des diffusen Tageslichtes. Von diesem Maximum nimmt die Unterschiedsempfindlichkeit stetig ab, sowohl bei Abnahme als bei Zunahme der absoluten Helligkeit. 1)«

1) Physiologie der Netzhaut, p. 82.

Wie nun jene Stetigkeit mit den von uns bei endlichen Abstufungen gefundenen periodischen Variationen in Uebereinstimmung gebracht werden soll, darüber lassen sich offenbar vorläufig nur Vermuthungen aufstellen. Es dünkt mich indessen durchaus nicht unwahrscheinlich, dass die Verschiedenheit der Resultate in der Verschiedenheit der Versuchsmethoden ihren genügenden Grund haben mag. Wenn nämlich jene periodischen Schwankungen schon bei den von uns untersuchten großen Uebermerklichkeitsgraden verhältnissmäßig gering waren, so ist es wohl kaum denkbar, dass die Beobachtung von ebenmerklichen Unterschieden für dieselben, aber jetzt sehr reducirten Schwankungen überhaupt noch empfindlich sein könne. Vorausgesetzt, dass auch bei den minimalen Empfindungsunterschieden der Contrast zum Vorschein kommt, ist es daher a priori zu erwarten, dass der von ihm dort bewirkte Einfluss auf die Unterschiedsempfindlichkeit eine wesentlich andere Richtung nimmt als bei den endlichen Helligkeitsunterschieden.

Nur wenn eine, trotz der erwähnten Schwankungen, bestehende allgemeine Tendenz zur Abhängigkeit des Contrastes von der absoluten Lichtstärke constatirt würde, könnte man es unternehmen, die Uebereinstimmung dieser Tendenz mit dem Verhalten der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei minimalen Abstufungen zu prüfen. Fernerhin ist es offenbar, dass die erwähnte Tendenz, um zunächst die langsame Zunahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit zu erklären, folgende Bedingung erfüllen müsste: die Contrastintensität einer constanten relativen Helligkeitsdifferenz müsste mit der absoluten Lichtstärke überhaupt zunehmen oder, mit anderen Worten, die zur Herstellung einer constanten gegenseitigen Contrastintensität erforderliche relative Helligkeitsdifferenz müsste mit der absoluten Lichtstärke überhaupt abnehmen. Wie es sich mit dieser Sache verhält, wissen wir aber gar nicht. Lehmann, dem wohl das Verdienst gebührt, zum ersten Male eine genaue quantitative Bestimmung des Contrastes vorgenommen zu haben, hat sich in seiner von uns öfter citirten Untersuchung durchweg nur mit der einseitigen Induction beschäftigt. Ueber das Verhalten des gegenseitigen Contrastes geben fernerhin, wie schon früher hervorgehoben ist, unsere eigenen Versuche in der erwähnten Hinsicht keine zuverlässige Auskunft. Sie sind theils in viel zu geringer Zahl vorgenommen worden, theils

bezogen sie sich durchaus nicht auf constante relative Helligkeitsdifferenzen, und schließlich waren auch nicht die Versuchsbedingungen so constant, wie es schlechthin nöthig wäre, um die Entwicklung der Contrastintensitäten sicher erkennen zu können.

Dass die Wirkung des Contrastes sich nicht auf die großen Lichtunterschiede beschränkt, sondern auch bei minimalen Abstufungen auftreten kann und muss, gewinnt in der That an Wahrscheinlichkeit durch die Farbenversuche, welche von Zahn nach der Methode der ebenmerklichen (bez. eben unmerklichen) Unterschiede angestellt hat.¹⁾ Er suchte das Verhältniss zu bestimmen, worin zwei Farben in Bezug auf ihre Lichtstärke zu einander stehen in dem Moment, wo ein (*a*-farbiges) Scheibchen auf einem (*b*-farbigen) Hintergrunde eben unmerklich wird. Es ergab sich, dass jenes Verhältniss einerseits für verschiedene Farbencontraste ein verschiedenes war, andererseits auch beträchtlich davon abhing, ob eine hellere Farbe auf einer dunkleren (gelb auf blau, grün auf roth), oder eine dunklere auf einer helleren (blau auf gelb, roth auf grün) gesehen wurde. Bei variirten Versuchsbedingungen fand v. Zahn, betreffs des letzterwähnten Punktes, daß eine helle Farbe auf dunklerem Grunde viel, ja sogar vielfach leichter erkennbar war als eine dunkle auf hellem Grunde. Hieraus erhellt aber, dass die relative Empfindlichkeit für ebenmerkliche Farbenunterschiede durchgängig vom Contraste, und zwar sowohl vom Helligkeits- als vom Farbencontraste bestimmt wurde²⁾.

Andererseits können wir nicht umhin zu vermuthen, dass künftige Versuche nach der Methode der mittleren Abstufungen bei farbigem Lichte, wenn sie in gleicher Weise wie die unsrigen mit Versuchen zur quantitativen Bestimmung des Contrastes verknüpft werden, zu einer noch genaueren Nachweisung der Abhängigkeit führen müssen, welche zwischen den Contrasterscheinungen und der Unterschiedsempfindlichkeit zu bestehen scheint.

1) von Zahn's eigene Schrift (in Sitzungsber. der Leipziger Naturforscher-Gesellsch. 1874, No. 3 p. 25 ff.) ist mir nicht zu Händen gekommen; ich kenne sie nur aus dem ausführlichen Bericht Fechner's (In Sachen der Psychophysik p. 200 ff.). Vgl. auch Wundt l. c. I, p. 459, die Note.

2) Etwas ähnliches trat bei den von Aubert über den Einfluss des Gesichtswinkels auf die Wahrnehmbarkeit der Farben angestellten Versuchen hervor (Physiologie der Netzhaut p. 112). Es ergab sich nämlich, dass der Contrast des Pigments und seiner Umgebung hierbei in beträchtlichem Grade mitbestimmend war.

Eine fernere Frage wird es sein, ob jenes Ineinandergreifen der beiden Erscheinungen auf sämtlichen Sinnesgebieten stattfindet, oder ob wegen des Vermögens unserer Gesichtorgane, eine große Zahl gleichzeitiger Reize neben einander zu empfangen, die Bedingungen des Contrastes hier besonders günstig sind. Jedenfalls mag daran erinnert werden, dass in Betreff der übrigen Sinnesgebiete noch keine psychophysischen Versuche über große Empfindungsunterschiede vorliegen. Gerade dem Umstande, dass wir bei unserer Untersuchung uns der Methode der mittleren Abstufungen bedienen, verdanken wir aber, dass der Einfluss des Helligkeitscontrastes auf die Unterschiedsempfindlichkeit jetzt genauer definirbar geworden ist.

Aus dem Gesagten erhellt erstens, dass eine umfassende Untersuchung der gesammten Contrastphänomene für die endgültige Lösung der Streitfrage von einem psychophysischen Gesetze gute Dienste verspricht, und zweitens, dass, wenn die von W u n d t zuerst nachgewiesene und durch unsere Versuche noch wahrscheinlicher gewordene Verknüpfung jener beiden psychischen Thatsachen sich durchgängig bestätigt, auch die Lösung einer zweiten Frage, nämlich wie der Contrast selbst zu erklären sei, dadurch gefördert werden muss. In Anbetracht der Unvollständigkeit unserer Versuche dürfen wir freilich nicht aus den gefundenen Resultaten irgendwelche weitgehende Folgerungen ziehen; jedoch mögen schon jetzt einige sich ergebende Umstände eine nähere Besprechung verdienen.

Obgleich wir unsere Versuchsanordnung gerade auf eine sorgfältige Ausscheidung des simultanen Contrastes eingerichtet hatten, fanden wir schließlich, dass die gegenseitige Induction der drei Scheiben gar nicht verhindert werden konnte. Der nähere Verlauf dieser gegenseitigen Induction lässt sich nun aus einer Betrachtung unserer Contrastversuche ersehen. Die Lehmann'sche Methode erlaubt zunächst nur die Stärke derjenigen Induction zu bestimmen, welche ein Contrastfeld als unmittelbarer Hintergrund eines andern auf dieses ausübt. Um die von uns angenommene Induction auf Entfernung zu messen, hätten wir daher eigentlich ein anderes Verfahren nöthig gehabt, wodurch eben diese Wirkung in die Ferne sich direct würde bestimmen lassen. Wir hätten z. B. zwei Scheiben (J und r) in derselben Entfernung von einander, durch welche bei den Drei-Scheiben-Versuchen d , v , h getrennt waren, aufstellen und sodann eine dritte

(die zu vergleichende Helligkeit i) noch viel weiter zur Seite rücken müssen; in dem Moment, wo r dieselbe Helligkeit als i angenommen hätte, würden wir dann die von J bei der stattfindenden Entfernung thatsächlich auf r bewirkte Induction direct gefunden haben. Nun ist aber einleuchtend, dass sich einem derartigen Verfahren unüberwindliche Schwierigkeiten in den Weg stellen; eine sichere Vergleichung der Scheiben i und r auf dem erforderlichen großen Abstände lässt sich nämlich gar nicht ausführen. Es blieb uns also nur übrig, einen Umweg zu nehmen und diejenige Induction zu bestimmen, welche stattgefunden hätte, wenn die drei Felder unmittelbar an einander gestoßen wären. Indessen hierdurch wurden wir hinwiederum zu einer neuen Annahme genöthigt, deren Berechtigung schlechthin vom Versuchsergebnisse abhing. Indem wir die zwischen unseren Scheiben thatsächlich stattfindende gegenseitige Induction durch diejenige maßen, welche bei directer Berührung stattgefunden hätte, setzten wir nämlich voraus, dass auch diese Induction sich auf $d v$ und $v h$ in gleicher Weise vertheilen würde wie bei ursprünglicher Lage unserer Scheiben. Mit anderen Worten: wir nahmen an, dass die Stärke des simultanen Contrastes streng proportional dem Abstände abnimmt.

In der That hat sich nun die Richtigkeit dieser Annahme erwiesen. Wo die Ergebnisse unserer Drei-Scheiben-Versuche auf gleiche Contrastwirkungen in die Ferne hindeuteten, haben wir jetzt gleiche Contraste auch bei unmittelbarer Berührung gefunden. Diese Betrachtung macht es zwar nebenbei deutlich, dass die durch Verwendung von Lehmann's Methode gefundenen Werthe keineswegs als Aequivalente der bei ursprünglicher Lage unserer Scheiben stattgefundenen Inductionen zu betrachten sind; sie drücken schlechthin die größtmöglichen Intensitäten aus, welche der zwischen den betreffenden Helligkeiten herrschende Contrast überhaupt betragen kann. Zu unseren Zwecken lassen sie sich aber gerade deshalb verwerthen, weil sie den Contrast in einem bestimmten, für alle Scheiben gleich gewählten Falle angeben.

Hieraus erhellt nun schließlich auch, warum bei unseren Contrastversuchen die drei Scheiben gerade als inducirende und inducirte, nicht aber als inducirende und reagirende Helligkeiten fungiren mussten. Wenn wir nämlich eine früher experimentell gefundene Hellig-

keit, beispielsweise der Scheibe d , als reagirende oder resultirende angesehen, somit jetzt auf v als ihren Hintergrund constant eingestellt und zu jenem r das entsprechende i durch Variation einer dritten Scheibe nebst ihrem eigenen Hintergrunde gesucht hätten, würden wir die Stärke der Induction in die Ferne mit derjenigen bei directer Berührung gleichgesetzt haben, was obiger Ausführung zufolge ganz fehlerhaft gewesen wäre. Dagegen, wenn wir diejenige objective Helligkeit suchten, welche durch unmittelbare Reaction gegen v der Helligkeit d subjectiv gleich wurde, hatten wir zwar, wie soeben bemerkt, auf die Bestimmung der thatsächlich stattgefundenen Contrastwirkung verzichtet, lernten aber, ohne irgend etwas von jener unbekanntem Induction als gegeben anzusehen, die wirkliche Induction von v auf d in einem bestimmten, genau definirbaren Falle kennen.

Wegen der schon besprochenen praktischen Schwierigkeiten mag es vielleicht nie gelingen, die Induction in die Ferne direct zu messen; wohl aber besitzen wir gerade in der Methode der mittleren Abstufungen eine Möglichkeit, nicht nur die Existenz einer derartigen Induction nachzuweisen, sondern auch ihre Stärke relativ zu ermitteln, indem, wie es unsere Versuchsergebnisse zeigten, immer gleichzeitig mit der mittleren Abstufung zwei identische Contraste hergestellt werden. Durch diese Thatsache nun wird allerdings einer mehrfach behaupteten Erscheinung direct widersprochen, dass nämlich isolirte Eindrücke überhaupt nicht inducirt werden. Bekannt ist ein Experiment, wodurch Helmholtz¹⁾ zu dieser Ansicht gelangt ist. Zwischen den concentrischen Ringen des früher beschriebenen rotirenden Kreisels zog er feine schwarze Grenzlinien und fand dann, »dass jeder Ring, wie er wirklich ist, gleich hell oder gleich gefärbt erscheint«. Aehnliches zeigte sich bei Versuchen über den Farbencontrast, wo »dem inducirten Felde körperliche Selbständigkeit zugeschrieben wurde«.

Wäre nun die aus jenen Experimenten abgeleitete Regel allgemeingültig, so müsste auch zwischen unseren drei Scheiben kein Contrast auftreten können. Denn nicht nur wurden sie in beträchtlicher Entfernung von einander gesehen; jede Scheibe trat außerdem durch einen wenn auch schwachen Farbenunterschied von ihrem Hinter-

1) Helmholtz, Physiol. Optik p. 414.

grunde sehr deutlich hervor. Wenn der im ersterwähnten Helmholtz'schen Experimente angebrachte schwarze Grenzstrich hier fehlte, wurde nichtsdestoweniger eine entschiedene körperliche Selbständigkeit den Scheiben zugeschrieben. Ebenso war eine andere von Helmholtz für das Verschwinden des simultanen Contrastes statuirte Bedingung erfüllt, dass nämlich die Unterschiede der zu vergleichenden Felder genügend groß sein sollen, um zwischen allen Punkten derselben zweifellos wahrnehmbar zu sein. In einer Hinsicht ergab sich zwar ganz dasselbe in unseren Versuchen wie in den Helmholtz'schen: ebenso wie dort die abgegrenzten concentrischen Ringe, erschienen unsere Scheiben in ihrer ganzen Ausdehnung genau gleich hell. Möchte nicht etwa hieraus hervorgehen, dass der ganze durch Isolirung der Contrastfelder erlangte Effect sich auf die Unterdrückung des Grenzcontrastes, namentlich des dem successiven Contraste angehörenden Antheils der Veränderung beschränkt?

Wenn in der That dem simultanen Contraste unserer Scheiben durch die Absonderung der Eindrücke kein Abbruch geleistet wurde, so scheint diese Erfahrung mit einer von Chevreul gemachten in vollem Einklang zu stehen¹⁾. Chevreul's Versuch ist insofern noch überzeugender als die unsrigen, als dort die contrastirenden Eindrücke nicht auf je einem Hintergrunde von entsprechender Helligkeit gesehen wurden — was etwa immerhin als ein Uebertragungsmittel des Berührungscontrastes betrachtet werden könnte — sondern sämtliche farbige Schnitzel waren auf demselben Carton aufgeklebt; die Abgrenzung war somit noch schärfer als zwischen unseren Scheiben. Beiläufig mag bemerkt werden, dass die Entfernung der einander

1) In seinem schon erwähnten *Mémoire sur quelques phénomènes de la juxtaposition des couleurs* (Mém. de l'acad. des sciences T. XI, 1832, p. 452) schreibt er nämlich folgendes: Avant d'aller plus loin j'insisterai sur une des observations les plus importantes de ce Mémoire, c'est que les modifications mutuelles des couleurs ne sont pas bornées au cas où les zones colorées qui se modifient, sont contigues l'une à l'autre; car on les aperçoit encore lorsque ces zones sont séparées. Pour s'en convaincre il suffit de faire l'expérience suivante; prenez deux bandes d'un même papier bleu O, O' , deux bandes d'un même papier vert P, P' . Le bleu et le vert doivent être à la même hauteur de ton. Ces bandes doivent avoir $0^m,10$ de longueur et $0^m,02$ de largeur. Fixez-les parallèlement les unes aux autres de manière que O soit à $0^m,055$ de P et O' à $0^m,035$ de O et enfin P' à $0^m,035$ de P . Placez-vous ensuite à six pas du carton et vous verrez les couleurs modifiées, O sera d'un bleu moins vert que O' , et P sera d'un vert plus jaune que P' .

nächststehenden verschiedenfarbigen Schnitzel O und P 55 mm betrug, also nahezu dasselbe, wie die Abstände unserer Scheiben (6 cm).

Sowohl Chevreul's Experiment als die unsrigen sprechen offenbar dafür, dass gleichzeitige Lichtreize immer in wechselseitiger Beziehung stehen, und machen es wahrscheinlich, dass, wie schon angedeutet worden, das vermeintliche Verschwinden des Contrastes in gewissen Fällen vielmehr durch den »Mangel an einem absoluten Maße bei unserer Empfindung der Lichtquantitäten«¹⁾ erklärt werden möchte. Jene stetige Wechselseitigkeit macht es fernerhin, wie von Wundt hervorgehoben ist, ebenso unmöglich, den simultanen Contrast mit Helmholtz durch bloße »Urtheilstäuschungen« zu erklären, als das Eintreten des Maximalcontrastes, nicht bei dem größten, sondern bei mäßigem Unterschiede²⁾, sich mit einer physiologischen Theorie³⁾ vereinigen lässt, welche die simultane Induction in lauter peripherische Vorgänge bez. der Irradiation nahestehende Veränderungen der Retina verlegt.

1) Wundt, l. c. p. 458.

2) In Lehmann's Versuchen war z. B. für $J = 0^\circ$ (Schwarz) max. $\frac{i-r}{r}$ bei $i = 27^\circ W + 333^\circ S$. Vgl. auch Schmerler, Philos. Studien Band I, S. 388.

3) Vgl. unter neueren Verfassern z. B. Hering: Zur Lehre vom Lichtsinn, Wien, 1878, 6 Mittheilungen, p. 29, 31, 90.