

Zur Frage der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes bei Lichtempfindungen.

Von

Dr. Emil Kraepelin.

Die Frage nach der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes bei Lichtempfindungen ist schon zu wiederholten Malen und nach sehr verschiedenen Methoden einer experimentellen Prüfung unterzogen worden.¹⁾ Wenn ich gleichwohl im Nachfolgenden über einige weitere Versuchsreihen berichte, die von mir über die nämliche Frage im Wundt'schen Laboratorium angestellt wurden, so berechtigen dazu wohl einerseits die nicht unerheblichen Meinungsdivergenzen, welche in Bezug auf die Deutung der Ergebnisse, wie auf das thatsächliche Verhalten selber zwischen den einzelnen Beobachtern noch immer bestehen, andererseits aber, wie ich hoffe, die Resultate, die ich hinsichtlich mehrerer bis dahin noch unsicherer Punkte gewonnen habe.

Die allgemeine Methode der Untersuchung war diejenige der eben merklichen Unterschiede, das technische Princip dasjenige der Masson'schen Scheiben in der Helmholtz'schen Modification, welche durch graue Gläser von verschiedener Intensität betrachtet wurden. Die fast ausschließlich in Anwendung gezogene Scheibe bestand aus mäßig starkem weißem Cartonpapier und besaß einen Radius von 10 cm. Die Breite des radiären, unterbrochenen Streifens, dessen einzelne Ab-

1) Vgl. darüber die ausführlichen Referate in den verschiedenen Schriften Fechner's (Elemente der Psychophysik, I, S. 255; In Sachen der Psychophysik, S. 149; Revision der Hauptpunkte der Psychophysik, S. 152), ferner G. E. Müller, Zur Grundlegung der Psychophysik, S. 102, Wundt; Physiologische Psychologie I, S. 335; Aubert, Physiologie der Netzhaut, S. 49.

schnitte unter der Lupe mittelst feiner chinesischer Tusche aufgetragen waren, betrug 5 mm, die Länge der Segmente ebenfalls 5 mm, diejenige der freien Zwischenräume 2 mm. Es entstanden auf diese Weise 14 vollständige schwarze und weiße Abschnitte des bezeichneten Streifens, von denen jedoch ein schwarzer und zwei weiße fast ganz durch die Mutter verdeckt wurden, mit Hilfe deren die Scheibe auf der Schraube eines durch ein Uhrwerk getriebenen Rotationsapparates befestigt war. Bei rascher Rotation ließen sich somit auf der Scheibe 13 graue Ringe von peripheriewärts abnehmender Intensität, und dazwischen 12 schmalere weiße Ringe wahrnehmen. Als Mischungsverhältniss des Schwarz und Weiß in den grauen Ringen ergab sich auf Grund einfacher Berechnung des Flächeninhaltes folgende Reihe:

I.	1 :	15,9646
II.	1 :	24,7611
III.	1 :	33,5576
IV.	1 :	42,3541
V.	1 :	51,1506
VI.	1 :	59,9470
VII.	1 :	68,7435
VIII.	1 :	77,5400
IX.	1 :	86,3365
X.	1 :	95,1329
XI.	1 :	103,9292
XII.	1 :	112,7259
XIII.	1 :	121,5224

Bei maximal erhaltener Rotationsgeschwindigkeit wurde nun festgestellt, wie viele weiße Ringe sich bei wechselnder Stärke der objectiven Beleuchtung noch deutlich nach der Peripherie hin abgrenzen ließen. Das Mischungsverhältniss des zunächst nach außen gelegenen grauen Ringes gab dann direct ein Maß für die Unterschiedsempfindlichkeit, dessen allgemeine Vergleichbarkeit allerdings noch einer genauen Feststellung des Helligkeitsverhältnisses zwischen dem weißen Grunde der Scheibe und dem angewandten Schwarz erfordert haben würde. Da es uns hier jedoch nur auf die Untersuchung der relativen Unterschiedsempfindlichkeit ankommt, so genüge die Angabe, dass sämtliche maßgebende Beobachtungen an einer und derselben Scheibe gewonnen wurden.

Zur Variirung der objectiven Beleuchtung diente einmal die Anwendung verschiedener Lichtquellen, dann ein Wechsel des Abstandes

der Scheibe von Lichtquelle und Auge und endlich die Einschiebung von 9 verschiedenen dunklen grauen Gläsern, die in zwei drehbare Pappscheiben eingelassen waren und in rascher Aufeinanderfolge zwischen Auge und Scheibe eingeschoben werden konnten. Es entstanden auf diese Weise zunächst 3 große Gruppen von Versuchen, die bei Tageslicht, bei Kerzenlicht und bei Lampenbeleuchtung angestellt waren, und jede dieser Gruppen zerfiel wieder nach der verschiedenen Distanz der Scheibe und der wechselnden Intensität der verdunkelnden Gläser in kleinere Reihen von Einzelbeobachtungen. Schon hier sei bemerkt, dass unter dieser Gesamtzahl von gegen 3000 Versuchen eine gewisse Vollständigkeit eigentlich nur den bei Lampenlicht gewonnenen Reihen beizumessen ist, welche auch etwa die Hälfte des ganzen Materials umfassen. Wir werden uns daher am besten zunächst mit dieser Gruppe beschäftigen, um dann die Ergebnisse derselben in manchen Richtungen durch die übrigen Beobachtungen zu bestätigen und zu ergänzen.

Angestellt wurden die Versuche bei Lampenlicht in einem vollständig von jedem äußeren Lichte abgeschlossenen, durchweg schwarz angestrichenen und mit schwarzem Mobiliar versehenen Dunkelzimmer. Als Lichtquelle dienten zwei gleiche Moderateurlampen, die mit Rüböl von constantem spezifischen Gewichte gespeist wurden. Die Breite des Doctes betrug 23 mm, der Durchmesser desselben 15 mm. Die Flamme war außer von einem stets rein geputzten Cylinder noch von einem schwarzen Pappschirm umgeben, der nur nach einer Seite hin dem Lichte einen Ausweg bot und dessen oberer Rand als Grenze für die Regulirung der Flammenhöhe benutzt wurde. Die Gleichmäßigkeit beider Lichtquellen im Verlaufe einer Versuchsreihe konnte überdies nach der Form und Intensität der beiden Schatten beurtheilt werden, welche durch die centrale Schraubenmutter der Masson'schen Scheibe geworfen wurden. Die Lampen standen symmetrisch zu beiden Seiten vom Beobachter in einer transversalen Distanz von 26 cm, zwischen beiden die Drehscheibe mit den grauen Gläsern und parallel dieser letzteren, abwechselnd in einem Abstände von 25 cm und von 40 cm die Masson'sche Scheibe. Die Entfernung des Mittelpunktes dieser letzteren von den Flammen betrug unter diesen Umständen 17,5 cm resp. 28,5 cm. Das Centrum der Masson'schen Scheibe befand sich dabei 32,5 cm, der untere Rand der Flammen 38 cm, das Auge des

Beobachters 39 cm über der Ebene des Tisches. Diese ganze Anordnung wurde vom ersten Male an auf den Tisch aufgezeichnet, so dass demnach die genaue Innehaltung aller Entfernungen für die Zukunft garantiert war. Die Beobachtung der in maximale Rotationsgeschwindigkeit¹⁾ versetzten Scheibe geschah regelmäßig, indem der rechte obere Quadrant derselben fixirt wurde; alle Beobachtungen wurden sofort notirt.

Sämmtliche hier erwähnte Lampenversuche zerfallen in eine Anzahl kleinerer Gruppen. Zunächst sind von einander zu trennen die Beobachtungen mit dem rechten und diejenigen mit dem linken Auge, da dieselben erhebliche Differenzen von einander darbieten. Ferner haben wir zu unterscheiden zwischen solchen Reihen, innerhalb deren von den hellsten grauen Gläsern zu den dunkleren fortgeschritten wurde (Typus I), und zwischen solchen, in denen der umgekehrte Gang eingehalten wurde (Typus II). Endlich sind noch auseinanderzuhalten die bei 25 cm und die bei 40 cm Distanz zwischen Masson'scher Scheibe und Auge erhaltenen Beobachtungen. Um die aus successivem Helligkeitscontraste hervorgehenden Fehler möglichst zu eliminiren, wurde die Aufeinanderfolge der Distanzen in bestimmter Weise variirt. Auch in der einzelnen Reihe wurde mit dem Typus derart gewechselt, dass an die erste Folge von Beobachtungen unmittelbar regelmäßig eine zweite sich anschloss, welche in umgekehrter Richtung die einzelnen Helligkeitsgrade der grauen Gläser durchlief, wie jene erstere. Vor dem Beginn jeder aus 4 Reihen bestehenden Versuchsgruppe wurde, nachdem etwa 5—10 Minuten mit der Anordnung der Apparate im schwarzen Zimmer hingegangen waren, für einige Minuten die nicht beleuchtete Wand desselben fixirt, um den Einfluss des ersten raschen Anstiegs der Adaptationscurve möglichst aus den Versuchsergebnissen fern zu halten. Die Gesamtdauer der in einer Sitzung angestellten Versuche betrug im Allgemeinen eine Stunde oder etwas darüber.

Nachdem alle Versuche abgeschlossen waren, wurden die grauen Gläser aus ihrem Rahmen herausgenommen und einer wiederholten photometrischen Prüfung mittelst eines Polarisationsphotometers un-

1) Die Zahl der Umdrehungen wurde nicht constatirt, doch sind nur diejenigen Beobachtungen berücksichtigt worden, bei denen die Ringe ohne jedes Schwanken und Flimmern durchaus gleichmäßig grau erschienen.

terworfen. Aus dem Mittel von je 20 Einzelbeobachtungen ergab sich dann mit Hilfe der Formel $i_n = i_1 \cdot \text{tg}^2 (45 - \alpha)$ die relative Helligkeit jedes einzelnen Glases, wo i_1 die Helligkeit des Fensterglases 1 und α den ermittelten Ablenkungswinkel bedeutete.

Die Ablenkungswinkel betragen für die verschiedenen Gläser:

1 =	0°
2 =	4° 57'
3 =	7° 23'
4 =	13° 4'
5 =	13° 8'
6 =	16° 4'
7 =	27° 46'
8 =	29° 21'
9 =	39° 24'

Setzen wir nun diejenige Lichtmenge = 1000, welche bei einer Distanz $d = 25$ cm zwischen Masson'scher Scheibe und Auge durch das Glas 1 in unser Auge dringt, so erhalten wir mit Hilfe der angeführten Formel eine Reihe von Helligkeitsgraden, welche den verschiedenen Gläsern bei $d = 25$ cm entsprechen. Bei $d = 40$ cm lässt sich die Beleuchtung der Scheibe für jedes einzelne Glas $i_n = i_n \left(\frac{17,5}{28,5}\right)^2 = 0,377 i_n$ berechnen. Allein, da sich nun auch die Entfernung zwischen Auge und Scheibe geändert hat, so erhalten wir als Helligkeitsgrade des wirklich in das Auge gelangenden Lichtes $i'_n = i_n \left(\frac{25}{40}\right)^2 = 0,3906 i_n = 0,147 i_n$.

Die nachstehende Tabelle gibt eine auf Grund dieser Erwägungen berechnete Uebersicht über die sämtlichen Helligkeitsgrade, mit denen experimentirt wurde:

$d = 25$ cm	$d = 40$ cm
$i_1 = 1000,00$	$i'_1 = 147,26$
$i_2 = 706,59$	$i'_2 = 104,06$
$i_3 = 593,78$	$i'_3 = 87,43$
$i_4 = 388,44$	$i'_4 = 57,20$
$i_5 = 386,44$	$i'_5 = 56,90$
$i_6 = 305,58$	$i'_6 = 45,00$
$i_7 = 96,22$	$i'_7 = 14,17$
$i_8 = 78,48$	$i'_8 = 11,56$
$i_9 = 9,61$	$i'_9 = 1,42$

Durch das Einschieben der grauen Gläser zwischen Scheibe und Auge bei den zwei verschiedenen Abständen dieser letzteren von ein-

ander konnte demnach die Beleuchtungsintensität von 1,42 bis zu 1000 variirt werden. Zwar ist dieser Spielraum sehr bedeutend kleiner, als der von Aubert untersuchte, aber er ist, wie wir sehen werden, jedenfalls weiter, als die Grenzen, innerhalb derer bis jetzt eine empirische Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes nachgewiesen werden kann. Außer den Gläsern befand sich in einer meiner beiden Drehscheiben noch eine unverschlossene Oeffnung, durch welche die Masson'sche Scheibe direct betrachtet werden konnte; dieselbe soll im Folgenden mit θ bezeichnet werden.

Um nun zunächst einen Ueberblick über die allgemeinen Versuchsergebnisse zu gewinnen, stelle ich tabellarisch für die verschiedenen Helligkeiten und die beiden Augen Mittel der Unterschiedsschwellenwerthe zusammen, die je aus 32 resp. 64 Einzelbeobachtungen gewonnen worden sind. Die Zahlen für die Gläser 1—5 sind dabei fast durchgehends als etwas zu groß anzusehen, da sie leider nur nach Typus I erhalten wurden, der, wie ich erst später entdeckte, regelmäßig zu hohe Schwellenwerthe ergibt.

Rechts:		Links:	
i_0 0,00824	i'_0 0,00835	i_0 0,00877	i'_0 0,00923
i_1 0,00823	i'_1 0,00855	i_1 0,00928	i'_1 0,01054
i_2 0,00823	i'_2 0,00855	i_2 0,00928	i'_2 0,01054
i_3 0,00823	i'_3 0,00855	i_3 0,00928	i'_3 0,01054
i_4 0,00823	i'_4 0,00855	i_4 0,00928	i'_4 0,01054
i_5 0,00823	i'_5 0,00855	i_5 0,00928	i'_5 0,01054
i_6 0,00827	i'_6 0,00856	i_6 0,00920	i'_6 0,00983
i_7 0,00850	i'_7 0,00877	i_7 0,01016	i'_7 0,01191
i_8 0,00852	i'_8 0,00873	i_8 0,01017	i'_8 0,01198
i_9 0,00917	i'_9 0,01065	i_9 0,01613	i'_9 0,03360

Man ersieht aus dieser Tabelle sofort, dass die Unterschiedsschwellen unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht ganz constant sind, sondern offenbar mit der Abnahme der Beleuchtungsintensität im Allgemeinen wachsen und zwar anfangs langsamer, später jedoch ziemlich rasch. Nur bis zu i_5 und i_6 bleiben die Differenzen unerheblich, dann zeigt sich wieder eine leidliche Uebereinstimmung zwischen i_7 und i_8 mit i'_0 — i'_6 , während von i'_7 und i'_8 zu i_9 und i'_9 ein rasches Ansteigen der Werthe constatirt werden kann. Mit anderen Worten: Die Unterschiedsschwelle bleibt ziemlich unverändert, während die Beleuchtungsintensität von 1000 auf 305 sinkt; sie wächst

mäßig an bei weiterer Abnahme der Helligkeit bis zu 45, um von da ab etwas rascher höhere Beträge zu erreichen. Gleichwohl steigt der Schwellenwerth im Ganzen für das rechte Auge nur von 1 auf 1,3, für das linke von 1 auf 3,8, während die Beleuchtungsintensität gleichzeitig von 1000 auf 1,42 gesunken ist. Die Unterschiedsschwelle geht demnach im Gebiete der sog. unteren Abweichung nur sehr langsam in die Höhe, so dass sie selbst von $i'_7 - i'_9$, bei einem Zurückgehen der Lichtstärke von 14,17 auf 1,42, nur von 1,2 auf 2,8 anwächst.

Allerdings kann man schon hier, wie das auch von Aubert gegenüber Masson geschehen ist, den Einwurf machen, dass möglicher Weise bei i_1 oder i_0 das Maximum der Unterschiedsempfindlichkeit noch nicht erreicht war, dass also wenigstens bei den höheren Intensitäten nicht eben merkliche, sondern übermerkliche Unterschiede mit einander verglichen wurden. Indessen einerseits entspricht der Werth $0,00823 = \frac{1}{121,52}$ fast genau der auch von anderen Beobachtern aufgefundenen Unterschiedsschwelle, andererseits war ja bei i_0 links, sowie bei i'_0 beiderseits die Schwelle sicher erreicht, da die Scheibe hier für die Feststellung geringerer Werthe noch genug Spielraum geboten hätte. Endlich könnte man auch auf die allerdings kaum bemerkliche Erhöhung bei i_0 rechts hinweisen, die möglicher Weise schon als erste Andeutung der sog. oberen Abweichung zu betrachten wäre.

Sehr auffallend ist in der vorstehenden Tabelle der trotz einer gewissen allgemeinen Analogie deutlich hervortretende Unterschied zwischen den beiden Augen. Derselbe hat seinen Grund hauptsächlich in der verschiedenen Sehschärfe dieser letzteren. Herr Privatdocent Dr. Oeller, der die Güte hatte, eine Prüfung in dieser Richtung vorzunehmen, constatirte Rechts Myopie von 1,25 Dioptrien, Sehschärfe $\frac{2}{3}0$; Links Hyperopie von 0,75 Dioptrien, Sehschärfe $\frac{2}{3}0$. Die Sehschärfe ist demnach links auf $\frac{2}{3}$ der Norm herabgesunken, ein Umstand, der offenbar denselben Effect haben muss, wie eine gleichwerthige Herabminderung der objectiven Reizstärke. Die Scala der Intensitäten erfährt auf diese Weise durch den Zustand des linken Auges noch eine weitere Ausdehnung. Der Differenz in der Refraction beider Augen dürfte im Bereiche der benutzten Distanzen kaum ein wesentlicher Einfluss auf den Ausfall der Versuche zuzuschreiben sein.

Gehen wir nun daran, das in der obigen Tabelle ausgedrückte

Resultat im Einzelnen näher zu prüfen und namentlich die noch darin steckenden Fehler ausfindig zu machen, so haben wir vor Allem des Einflusses zu gedenken, welcher der zeitlichen Aufeinanderfolge der Versuche zukommt. Wie bereits erwähnt, habe ich in dieser Beziehung ein doppeltes Verfahren eingeschlagen. Beim Typus I wurde in der Feststellung der Beobachtungen vom hellsten zu den dunkleren Gläsern (Reihe 1) und dann wieder zu den helleren zurück (Reihe 2) geschritten, während beim Typus II die Reihe 1 dem Uebergang von Dunkel zu Hell, die Reihe 2 demjenigen von Hell zu Dunkel entsprach. In beiden Fällen war also die Forderung erfüllt, dass der Grenzwert von zwei verschiedenen Richtungen her eruiert und als das Mittel aus beiden Bestimmungen fixirt werden soll. Einmal jedoch traf sogleich im Beginne der Versuchsreihe maximale Beleuchtung die Netzhaut, während das andere Mal sich dem für schwaches Licht adaptirten Auge zunächst nur sehr geringe Helligkeitsintensitäten darboten. Die Differenz im Ausfalle der Beobachtungsergebnisse war unmittelbar überraschend. Leider konnten die Versuche nach Typus II nur mit einer der beiden Drehscheiben ausgeführt werden, welche die Gläser VI—IX und die Oeffnung θ enthielt. Die nachfolgende Tabelle liefert einen Ueberblick über die Ergebnisse:

	Rechts					Links					
	I	II		I	II	I	II		I	II	
i_0	0,00824	0,00823	i'_0	0,00845	0,00831	i_0	0,00902	0,00857	i'_0	0,00971	0,00876
i_6	0,00828	0,00825	i'_6	0,00861	0,00838	i_6	0,00957	0,00883	i'_6	0,01039	0,00927
i_7	0,00865	0,00839	i'_7	0,00893	0,00860	i_7	0,01059	0,00973	i'_7	0,01202	0,01181
i_8	0,00862	0,00839	i'_8	0,00885	0,00860	i_8	0,01059	0,00975	i'_8	0,01208	0,01189
i_9	0,00971	0,00864	i'_9	0,01091	0,01039	i_9	0,01774	0,01453	i'_9	0,03908	0,02813
Δ	0,00147	0,00040		0,00250	0,00208		0,00872	0,00596		0,02937	0,01937

Ausnahmslos ist hier sowohl die absolute Höhe, wie der Spielraum Δ der Unterschiedsschwelle zwischen dem niedrigsten und dem größten Werthe einer Reihe beim Typus I beträchtlicher, als beim Typus II. Es muss daher entweder bei I eine Fehlerquelle mitspielen, welche die Schwelle erhöht und ihre Constanz stört, oder aber wir haben bei II ein Moment anzunehmen, welches eine Verwischung der natürlichen Differenzen und eine Steigerung der Unterschiedsempfindlichkeit verursacht. Hinweisen will ich hier zunächst auf den Umstand, dass wir bei I zweimal einem Sinken der Unterschiedsschwelle

von 7 auf 8 begegnen, während bei II sich entweder ein Steigen der Werthe oder Gleichbleiben derselben findet. In der Drehscheibe waren nämlich auf Grund einer vorläufigen ungenauen Schätzung der Helligkeitsgrade 7 und 8 mit einander vertauscht worden, so dass bei I in Wirklichkeit zunächst durch das dunklere 8 und dann erst durch das hellere 7 beobachtet wurde. Wenn gleichwohl die Unterschiedschwelle bei 7 noch ein wenig anstieg, so deutet dieser Umstand darauf hin, dass wir es hier mit einem constanten Fehler zu thun haben, der im Sinne einer successiven Erhöhung des Schwellenwerthes einwirkte und dessen Einfluss selbst durch das geringe Anwachsen der Beleuchtungsintensität bei 7 nicht ganz paralytirt werden konnte. Dieser constante Fehler kam bei II offenbar in Wegfall, da hier trotz der umgekehrten Reihenfolge auf die Helligkeitsdifferenz stets im richtigen Sinne oder doch wenigstens nicht falsch reagirt wurde.

Indessen die Aufdeckung dieser kleinen Abweichungen vermag uns offenbar keine genügende Erklärung für die auffallenden Unterschiede der beiden betrachteten Versuchstypen an die Hand zu geben. Dagegen ist es nach dieser Richtung hin von Interesse, die beiden Reihen jedes Typus mit einander zu vergleichen. Wenn die verschiedenartige Aufeinanderfolge der Beobachtungen in der That eine Fehlerquelle in sich birgt, so muss dieselbe bei einer derartigen Zusammenstellung ebenfalls sich geltend machen.

	I. Rechts		II.		I. Links		II.	
	1	2	1	2	1	2	1	2
i_0	0,00826	0,00823	0,00823	0,00823	0,00899	0,00905	0,00855	0,00859
i_6	0,00834	0,00823	0,00823	0,00828	0,00959	0,00955	0,00883	0,00884
i_7	0,00871	0,00859	0,00831	0,00847	0,01065	0,01054	0,00978	0,00968
i_8	0,00866	0,00859	0,00831	0,00847	0,01064	0,01054	0,00978	0,00973
i_9	0,00974	0,00968	0,00860	0,00869	0,01839	0,01740	0,01319	0,01587
i'_0	0,00855	0,00835	0,00831	0,00831	0,00991	0,00952	0,00874	0,00879
i'_6	0,00871	0,00851	0,00834	0,00842	0,01047	0,01032	0,00922	0,00932
i'_7	0,00904	0,00881	0,00855	0,00866	0,01192	0,01212	0,01181	0,01181
i'_8	0,00895	0,00876	0,00855	0,00866	0,01211	0,01206	0,01181	0,01197
i'_9	0,01093	0,01089	0,01003	0,01075	0,04134	0,03682	0,02153	0,03474

Eine Musterung dieser Zahlenreihen lässt erkennen, dass, von einigen unbedeutenden Ausnahmen abgesehen, überall die zweiten Reihen des Typus I und die ersten Reihen des Typus II eine gering-

gere Höhe der Unterschiedsschwelle und gleichzeitig eine größere Constanz ihrer Werthe aufweisen. In allen diesen Fällen handelt es sich aber um den Uebergang von niederen Helligkeitsgraden zu höheren, während beim umgekehrten Gange offenbar die Unterschiedsempfindlichkeit sinkt und die Schwankungen derselben zunehmen. Die Differenzen zwischen den beiden Reihen treten dabei hauptsächlich im Bereiche der geringeren Lichtintensitäten (bei i_0 und i'_0 links) zu Tage. Wir werden kaum fehl gehen, wenn wir zur Erklärung dieses Verhaltens die physiologischen Vorgänge der Adaptation herbeiziehen. Die Adaptation an niedrigere Helligkeitsgrade geht, wie A u b e r t gezeigt hat, zwar sehr rasch von Statten, aber sie bedarf doch immerhin, um eine gewisse Ausgibigkeit zu erreichen, einer Zeit von mehreren Minuten. Sie war nahezu vollkommen im Beginne der ersten Reihe des Typus II, um natürlich mit wachsender Beleuchtungsintensität wieder zu sinken. Bei der raschen Aufeinanderfolge der einzelnen Beobachtungen konnte sie sich dann im Verlaufe der Reihe 2 ebensowenig genau den abnehmenden Helligkeitsgraden anpassen, wie bei der ersten Reihe des Typus I. In diesem letzteren spricht aber das Sinken der Unterschiedsschwelle bei den unmittelbar auf i_0 resp. i'_0 der Reihe 1 folgenden gleichnamigen Beobachtungen der Reihe 2 mit aller Entschiedenheit für eine inzwischen eingetretene Steigerung der Unterschiedsempfindlichkeit durch das Fortschreiten der Adaptation. Die bei geringen Lichtstärken hervortretende Steigerung der Schwellenwerthe kann demnach, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, durch die Adaptation wieder ausgeglichen werden; die obere Grenze der sog. unteren Abweichung vom Weber'schen Gesetze wird für das adaptirte Auge deutlich nach abwärts verschoben. Wir sehen somit schon hier, dass ein Theil jener Fehlerquellen, welche die Constanz der Unterschiedsschwelle beeinträchtigen, ohne Zweifel in peripheren physiologischen Vorgängen zu suchen ist. Beim Uebergange von i_0 zu i_0 sahen wir früher den Schwellenwerth für das rechte Auge im Mittel um 0,00092 ansteigen; für das schlecht adaptirte Auge beträgt diese Differenz 0,00146, für das besser adaptirte dagegen nur 0,00033. Wie mir scheint, darf man aus dieser Erfahrung mit Recht auf eine tiefer begründete, aber durch periphere Factoren leicht verdeckte Neigung der Unterschiedsschwelle schließen, sich auf constanter Höhe zu halten, um so mehr, wenn man

bedenkt, dass ja in meinen Versuchen das erst nach mehr als stundenlanger Zeit auftretende Maximum der Adaptation nicht im Entferntesten erreicht war, dass also jene letzte Differenz sich bei völliger Vermeidung der besprochenen Fehlerquelle voraussichtlich noch würde herabmindern lassen.

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle einige Beobachtungen herbeizuziehen, die nach der angedeuteten Richtung nicht ohne Interesse sein dürften. Auf den Rath des Herrn Professor Wundt suchte ich nämlich in einem Theile meiner Versuche den Einfluss auszuschalten, welcher der Irisbewegung zukommt. Zu diesem Zwecke bediente ich mich einer 1%igen Lösung des Homatropinum hydrobromatum, von der einige Tropfen genügten, um Iris und Accommodation eines Auges (regelmäßig des rechten) für einige Stunden vollständig zu lähmen. Von dem erreichten und andauernden Erfolge des Mittels überzeugte ich mich natürlich jedes Mal sowohl vor wie nach der Anstellung meiner Beobachtungen. Eine vergleichende Zusammenfassung der Resultate gibt die folgende Tabelle, in der mit α die ohne Atropin gewonnenen, mit β die bei maximaler Atropinisirung erhaltenen Werthe bezeichnet sind.

	I.		II.			I.		II.	
	α	β	α	β		α	β	α	β
i'_0	0,00823	0,00823	0,00823	0,00823	i'_0	0,00833	0,00871	0,00823	0,00823
i'_6	0,00829	0,00839	0,00823	0,00823	i'_6	0,00855	0,00887	0,00846	0,00831
i'_7	0,00863	0,00887	0,00839	0,00823	i'_7	0,00889	0,00887	0,00871	0,00871
i'_8	0,00856	0,00887	0,00839	0,00823	i'_8	0,00871	0,00887	0,00871	0,00871
i'_9	0,00980	0,01158	0,00885	0,00855	i'_9	0,01077	0,01256	0,01134	0,01160

Man sieht sogleich, dass die Einwirkung der Irislähmung (die Lähmung der Accommodation dürfte bei dem Refraktionszustande meines rechten Auges ohne erhebliche Bedeutung sein) sich bei den nach Typus I und II angestellten Versuchen in fast ausnahmslos entgegengesetzter Richtung bewegt. Während beim Uebergange von dunklen zu hellen Gläsern durch das Atropin die Unterschiedsschwelle herabgedrückt wird, steigt diese letztere bei Typus I in erheblichem Maße an. Offenbar wirkt demnach im ersteren Falle die Vermehrung des Lichteintrittes in das Auge durch die ad maximum erweiterte Pupille günstig auf die Unterschiedsempfindlichkeit ein, während bei Typus I

die Adaptation, vielleicht in Folge einer Nachwirkung der ersten, fast blendenden Helligkeitsgrade, langsamer und unvollkommener als gewöhnlich zu Stande zu kommen scheint. Die Differenz der Schwellenwerthe zwischen i_0 und i_9 sinkt in Folge der Atropinisirung gegenüber derjenigen der α -Reihe (0,00058) auf 0,00028 herab, also noch etwas tiefer, als das oben erwähnte Minimum für das unbeeinflusste adaptirte Auge betrug. Wir können somit die Beschränkung des Lichteintrittes durch die Iris als ein, wenn auch unerhebliches, physiologisches Hinderniss für die Constanz der Unterschiedsschwelle betrachten.

Wir haben jedoch mit diesen Betrachtungen die Zahl der Fehlerquellen, welche uns die richtige Würdigung der Versuchsergebnisse erschweren, noch nicht erschöpft. So gering auch im Verhältnisse zu der ungemeynen Complication der Frage die Zahl meiner Beobachtungen erscheint, so erlauben dieselben gleichwohl wenigstens die Andeutungen zweier weiterer, den Ausfall der Untersuchung beeinflussender Momente nachzuweisen, des successiven Contrastes und der Ermüdung. Es wurde bereits erwähnt, dass ich in verschiedenartiger Aufeinanderfolge mit den beiden Distanzen von 25 cm und 40 cm zwischen Auge und Masson'scher Scheibe wechselte. In jeder Sitzung wurde nämlich eines der beiden nachfolgenden Schemata eingehalten:

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
	25 cm	40 cm	40 cm	25 cm
oder:	40 »	25 »	25 »	40 »

Auf diese Weise entstanden für jede der beiden Distanzen 4 verschiedene Gruppen von Versuchsreihen, die ich mit den ersten Buchstaben des Alphabets bezeichnete. Ein Blick auf das Schema zeigt, dass bei b_{40} und d_{40} von einer geringeren zur größeren Distanz, mithin von Hell zu Dunkel, übergegangen wurde, während bei b_{25} und d_{25} der umgekehrte Gang stattfand. Man sollte daher nach den Gesetzen des Contrastes erwarten, dass die Unterschiedsschwelle bei b_{40} und d_{40} verhältnissmäßig hoch, bei b_{25} und d_{25} verhältnissmäßig niedrig gelegen sei, da im ersteren Falle die objective Beleuchtung durch den Contrast abgeschwächt, im letzteren dagegen verstärkt werden musste. Indem ich gleich vorweg bemerke, dass ein derartiger regelmäßiger Einfluss bei den nach Typus II angestellten Versuchen nicht hervortrat, gebe ich zunächst einen Ueberblick über die einzelnen Reihen des Typus I:

	Rechts				Links			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
i'_0	0,00823	0,00823	0,00823	0,00831	0,00871	0,00940	0,00928	0,00871
i'_6	0,00823	0,00834	0,00823	0,00831	0,00888	0,01032	0,00996	0,00912
i'_7	0,00871	0,00866	0,00866	0,00845	0,01001	0,01148	0,01124	0,00965
i'_8	0,00871	0,00855	0,00866	0,00845	0,01001	0,01146	0,01124	0,00965
i'_9	0,00911	0,00972	0,00989	0,00911	0,01509	0,01956	0,02033	0,01661
i'_0	0,00823	0,00855	0,00839	0,00844	0,00997	0,00962	0,00888	0,01044
i'_6	0,00844	0,00855	0,00863	0,00867	0,01129	0,00995	0,00937	0,01097
i'_7	0,00880	0,00911	0,00886	0,00899	0,01234	0,01190	0,01130	0,01256
i'_8	0,00855	0,00911	0,00881	0,00887	0,01222	0,01223	0,01123	0,01267
i'_9	0,01038	0,01056	0,01081	0,01116	0,04175	0,03929	0,03277	0,04253

Was vorerst die Reihen *d* anbetrifft, so wird leicht erkannt, dass mit zwei unbedeutenden Ausnahmen in der That für beide Augen die Unterschiedsschwelle bei d_{25} regelmäßig niedriger ist, als bei c_{25} , während durchweg das umgekehrte Verhältniss zwischen d_{40} und c_{40} angetroffen wird. Weniger klar ist aus einstweilen nicht ganz erkennbaren Gründen, die aber vielleicht in Adaptations- und Ermüdungsvorgängen zu suchen sind, die Sachlage bei der Reihe *b*. Nur für das rechte Auge fügen sich die Ergebnisse einigermaßen unseren Erwartungen. So sehen wir die Schwellenwerthe für b_{40} durchweg höher als für a_{40} und meist auch c_{40} ausfallen, während dieselben für b_{25} im Ganzen unter diejenigen von c_{25} und sogar zweimal unter die Zahlen von a_{25} heruntergehen, was aus später anzuführenden Gründen besondere Beachtung verdient. Beim linken Auge jedoch, dessen Beobachtungen überhaupt als weniger zuverlässig betrachtet werden müssen, lassen uns die Zahlen den vermutheten Einfluss des Contrastes in der Reihe *b* nicht erkennen.

Mit viel größerer Regelmäßigkeit, als die Contrastwirkung des Wechsels zwischen stärkeren und schwächeren Helligkeitsgraden, tritt in meinen Versuchsreihen endlich als weiteres modificirendes Element der Einfluss der Ermüdung hervor. Am besten wird dies aus den nach Typus II angestellten Beobachtungen ersehen, weil hier die störenden Schwankungen der Adaptation wenigstens zu einem großen Theile in Wegfall kommen.

	Rechts				Links			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
\dot{z}_0	0,00823	0,00823	0,00823	0,00823	0,00839	0,00871	0,00855	0,00863
\dot{z}_6	0,00823	0,00831	0,00823	0,00823	0,00871	0,00881	0,00898	0,00888
\dot{z}_7	0,00823	0,00847	0,00847	0,00855	0,00887	0,00964	0,00985	0,01056
\dot{z}_8	0,00823	0,00847	0,00847	0,00855	0,00887	0,00974	0,00985	0,01056
\dot{z}_9	0,00823	0,00863	0,00855	0,00947	0,01199	0,01457	0,01606	0,01550
\dot{z}'_0	0,00823	0,00823	0,00823	0,00855	0,00871	0,00879	0,00887	0,00871
\dot{z}'_6	0,00823	0,00823	0,00869	0,00855	0,00897	0,00928	0,00977	0,00906
\dot{z}'_7	0,00839	0,00855	0,00887	0,00855	0,01105	0,01269	0,01297	0,01052
\dot{z}'_8	0,00839	0,00855	0,00887	0,00855	0,01105	0,01269	0,01297	0,01083
\dot{z}'_9	0,00906	0,01078	0,01190	0,00938	0,01947	0,03190	0,04172	0,01946

Mit der größten Regelmäßigkeit, die nur für das linke Auge von einigen unbedeutenden Ausnahmen durchbrochen wird, sehen wir hier überall die Reihe *a* geringere Unterschiedsschwellenwerthe darbieten, als sämtliche übrige Reihen. Dieselbe Erscheinung tritt bei den nach Typus I angestellten Versuchen, wenigstens für das rechte Auge, deutlich genug hervor, während das linke Auge dort in noch höherem Grade Abweichungen und Schwankungen zeigt. Als Erklärung dieses höchst auffallenden Verhaltens der Reihe *a* vermag ich kein anderes Moment aufzufinden, als die bei den übrigen Reihen sich allmählich geltend machende Ermüdung und die naturgemäß damit einhergehende Herabsetzung der absoluten Empfindlichkeit des Auges. Der relativ ausgeruhte Zustand der vor dem Beginn der Versuche immer einige Zeit an das verdunkelte Zimmer gewöhnten Netzhäute ist wenigstens das einzige Element, welches den Reihen *a* allein eigenthümlich war. Dass in den ferneren Reihen ein regelmäßiges Fortschreiten der Ermüdung mit successiver Erhöhung der Schwellenwerthe nicht zu Tage tritt, dürfte einerseits durch den Wechsel der Distanzen, andererseits durch die mannigfachen anderweitigen diese Regelmäßigkeit verwischenden Fehlervorgänge bedingt sein. Das mit größerer Empfindlichkeit der Netzhaut ausgerüstete rechte Auge scheint auf die Einflüsse der Ermüdung in ausübigerem Maße und prompter zu reagiren als das linke.

Ganz besondere Beachtung verdient es, dass in der Reihe *a* der letzten Tabelle die Differenz der Unterschiedsschwellen für \dot{z}_0 und \dot{z}_9 vollkommen verschwunden ist. Mit anderen Worten: Für das unermüdete und gut adaptirte Auge ist die Unterschiedsschwelle constant geblieben, während wir die Lichtin-

tensität von 1000 auf 9,61 herabgemindert haben. Ja, selbst die Differenz zwischen i_0 und i'_9 ist auf 0,00083 und, wenn wir nur die Reihe 1 berücksichtigen, sogar auf 0,00064 herabgesunken, ein Betrag, der kaum mehr $\frac{1}{13}$ des ganzen Werthes bedeutet, während die Beleuchtungshelligkeit von 1000 auf 1,42 abgeschwächt wurde. Leider besitze ich für i'_9 der Reihe α keine Bestimmungen mit atropinisirtem Auge, die voraussichtlich noch eine weitere Verkleinerung der letztgenannten Differenz ergeben haben würden.

Gegenüber der bis hierher discutirten Beobachtungsreihe kommen die Resultate der übrigen von mir angestellten Versuche kaum in Betracht, da in diesen auf die Eliminirung von Fehlervorgängen noch nicht diejenige Rücksicht genommen worden war, die sich im weiteren Verlaufe als nothwendig erwies. Ich kann daher füglich über sie mit kurzen Worten hinweggehen. Zunächst mag erwähnt werden, dass ich auch noch mit einer zweiten Scheibe eine Anzahl von Versuchen unternahm. Der Inhalt der einzelnen Abschnitte des unterbrochenen Streifens betrug 1 qcm, die Breite der Zwischenräume 3 mm. In Folge dessen stellte sich das Mischungsverhältniss des äußersten grauen Ringes nur = 1 : 58,7; die Unterschiedsschwelle bei mittlerer Beleuchtung war also lange nicht erreicht. Natürlich blieb unter diesen Umständen die Zahl der abgrenzbaren Ringe lange constant, für das rechte Auge sogar bei i'_9 , während für das linke Auge bei i_9 wie bei i'_9 eine Erhöhung des unterschiedenen Werthes von 0,01704 auf 0,01979 eintrat. An diesem Punkte war offenbar die Differenz eine nur eben merkliche geworden. Der gefundene Schwellenwerth stimmt mit dem früher (ebenfalls nach Typus I) bei i_9 gewonnenen gut überein, während er für i'_9 verhältnissmäßig niedrig ausgefallen ist.

Eine weitere Gruppe von bei Lampenlicht, aber nicht im Dunkelmzimmer angestellten Versuchen übergehe ich, da die Resultate derselben fast in allen Punkten genau mit den früher berichteten Reihen des Typus I übereinstimmen. Nur den Umstand will ich anführen, dass sämmtliche Unterschiedsschwelle hier etwas höher ausgefallen sind, als in den oben besprochenen Beobachtungen, vielleicht wegen der diffuseren Beleuchtung der Netzhaut im nicht geschwärtzten Zimmer. Wichtiger erscheinen die Versuche bei Tagesbeleuchtung, über die ich hier eine Uebersicht gebe. Dieselben wurden regelmäßig während

der Zeit von 12—1 $\frac{1}{2}$ Uhr an heiteren sonnigen Tagen, aber im diffusen Lichte, ohne directe Sonnenbestrahlung, vorgenommen. Den Hintergrund bildete eine große schwarze Papptafel.

	Rechts			Links			
	25 cm	30 cm	40 cm	20 cm	25 cm	30 cm	40 cm
0	0,00887	0,00887	0,00887	0,00866	0,01025	0,00912	0,01003
1	0,00887	0,00887	0,00879	0,00866	0,01006	0,00912	0,01011
2	0,00887	0,00887	0,00879	0,00866	0,01006	0,00912	0,00999
3	0,00887	0,00887	0,00879	0,00866	0,01006	0,00887	0,00999
4	0,00887	0,00887	0,00879	0,00866	0,01006	0,00887	0,00999
5	0,00887	0,00887	0,00879	0,00866	0,01006	0,00887	0,00999
6	0,00887	0,00887	0,00909	0,00866	0,01060	0,00912	0,01015
7	0,00899	0,00887	0,00909	0,00866	0,01170	0,00912	0,01115
8	0,00899	0,00887	0,00909	0,00866	0,01170	0,00912	0,01108
9	0,00977	0,00887	0,00999	0,00887	0,01479	0,00996	0,01372

Die Columnen unter $d = 25$ cm oder 40 cm enthalten Mittelwerthe aus einer größeren Zahl von Einzelbeobachtungen, während die Reihen $d = 20$ cm oder 30 cm nur aus je 2 oder 3 Versuchen zusammengezogen sind. Was zunächst in der vorstehenden Tabelle auffällt, ist die relative Höhe der Unterschiedsschwelle gegenüber den früher gefundenen Daten. Ich glaube nicht zu irren, wenn ich als die Ursache dieses Verhaltens auch hier die diffuse Beleuchtung der Netzhaut betrachte. Je heller der gesammte Augenhintergrund durch das von allen Seiten eindringende diffuse Tageslicht beleuchtet ist, desto weniger ist es möglich, sehr geringe Helligkeitsdifferenzen noch wahrzunehmen. Hier tritt derselbe Fall ein, wie bei dem oft besprochenen Verschwinden der Gestirne am Tage oder des Mondschattens im Bereiche des Lampenlichtes. In zweiter Linie ist es bemerkenswerth, dass hier mehrfach bei stärkerer Beleuchtung höhere Unterschiedsschwellenwerthe auftreten, als für die schwächeren Intensitäten. Höchst wahrscheinlich handelt es sich hier nicht um Zufälligkeiten, sondern wohl um den Beginn der oberen Abweichung, um Blendungserscheinungen. Von allergrößtem Interesse ist aber die in den Reihen mit $d = 20$ cm oder 30 cm hervortretende Constanz der Zahlen bei bedeutenden Schwankungen der objectiven Beleuchtungsstärke. Während die übrigen Reihen sich annähernd so verhalten, wie die bei Lampenlicht gewonnenen, sehen wir bei jenen Versuchen, die an einem besonders hellen, völlig wolkenlosen Tage angestellt wurden, das Weber'sche

Gesetz innerhalb weiter Grenzen bestätigt. Dass es sich dabei stets um wirklich eben merkliche Unterschiede handelt, und somit der oben erwähnte Aubert'sche Einwand nicht erhoben werden kann, wird durch den Umstand erwiesen, dass das früher constatirte Maximum der Unterschiedsempfindlichkeit hier nirgends erreicht war. In der Reihe »Rechts, 30 cm« und fast ebenso in »Links, 20 cm« ist die Forderung einer Constanz der Unterschiedsschwelle vollkommen erfüllt. Allerdings darf dabei nicht außer Acht gelassen werden, dass die Schwankungen der Beleuchtungsstärke hier nicht so ausgiebige sind, wie bei den Lampenversuchen, da ja das Moment einer Variirung des Abstandes hier in Wegfall kommt und die an verschiedenen Tagen bei verschiedenen Distanzen gewonnenen Resultate wegen der uncontrolirbaren Helligkeitsdifferenzen nicht mit einander verglichen werden dürfen. Zum Beweise führe ich die folgende Reihe an, die ich bei etwa 30 cm Entfernung zwischen Auge und Scheibe an einem hellen Februartage Nachmittags 5 Uhr gewann:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00887	0,00984	0,01076	0,01078	0,01137	0,01078	0,01051	0,01105	0,01105	0,01859

Diese Reihe bietet schlechtere Resultate, als irgend eine der bei Lampenlicht erhaltenen, höchst wahrscheinlich weil zu den früher besprochenen Fehlerquellen (besonders mangelhafte Adaptation) noch diejenige einer diffusen Beleuchtung des Augenhintergrundes hinzutrat, ein Umstand, der sich aus bekannten Gründen um so störender geltend machen muss, je geringer die absolute Helligkeit der zu unterscheidenden Reize ist.

Auch mit Atropinisirung des Auges habe ich bei Tageslicht einige Versuchsreihen angestellt. Das Ergebniss derselben entspricht in allen Stücken den analogen, bei Lampenlicht erhaltenen Resultaten. Wie dort, so wird auch hier bei den sämmtlich nach Typus I ausgeführten Beobachtungen durch die Lähmung der Iris die Unterschiedsschwelle erhöht und der Spielraum ihrer Schwankungen vergrößert. Wenn es gestattet ist, die an verschiedenen Tagen gewonnenen Zahlen mit einander zu vergleichen, so hat es den Anschein, als ob jener störende Einfluss des Atropins verhältnissmäßig etwas weniger bei den geringeren, als bei den stärkeren Beleuchtungsgraden bemerkbar hervortrete.

Machen wir nun den Versuch, uns über die allgemeinen Ergeb-

nisse unserer Experimente Rechenschaft zu geben, so tritt uns zunächst die Frage entgegen, welche Schlüsse sich aus denselben für oder gegen die empirische Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes ziehen lassen. Ich gestehe, dass ich lange Zeit hindurch, namentlich auf Grund von Versuchen, die ich mit sog. Normalkerzen ausgeführt hatte, die Gültigkeit jenes Satzes auf dem Gebiete der Lichtempfindungen verneinen zu müssen glaubte. Erst als es mir gelang, mittelst der Rüböllampen constantere Beleuchtungsbedingungen herzustellen und sodann einen Fehlervorgang nach dem andern durch geeignete Variation der Beobachtungen zu eliminiren, sah ich nach und nach die Grenzen, innerhalb deren die Unterschiedsschwelle constant blieb, sich immer weiter ausdehnen und schließlich fast die ganze Scala der von mir in Anwendung gezogenen Intensitäten umfassen. Dazu kommt, dass nach oben hin für die Lampenversuche wohl kaum schon jener Punkt ganz erreicht war, an welchem die Constanz der Unterschiedsschwelle erfahrungsgemäß ihre obere Abweichung erfährt. Leider sind meine bei Tageslicht angestellten Beobachtungen in Bezug auf diese Frage aus verschiedenen Gründen mit jenen nicht vergleichbar. Jedenfalls aber glaube ich den Nachweis geführt zu haben, dass das Weber'sche Gesetz innerhalb einer Breite von Lichtintensitäten, die sich verhalten wie 9,61 : 1000, eine strenge, in noch größerem Umfange aber wenigstens eine sehr annähernde empirische Gültigkeit hat, vorausgesetzt, dass man die periphere Erregbarkeit der Netzhaut auf gleicher, annähernd maximaler Höhe erhält. Wo diese letztere Bedingung nicht erfüllt ist, kann natürlich die Unterschiedsschwelle unmöglich constant sein, aber die Schwankungen ihrer Werthe haben dann auch keine andere Bedeutung, als dass sie uns eine ungefähre Vorstellung von dem complicirten Spiele jener Vorgänge gewähren, welche in der Netzhaut fortwährend die Empfänglichkeit für äußere Reize im positiven oder negativen Sinne beeinflussen.

Wenn es nach allem dem keinem Zweifel unterliegen kann, dass der wechselnde Zustand der Netzhauterregbarkeit, deren Größe durch die beiden Factoren der Adaptation und der Ermüdung in jedem Augenblicke bestimmt wird, die Constanz der Unterschiedsschwelle sehr erheblich beeinflusst, so liegt doch der Mechanismus dieses Vorganges nicht ohne Weiteres auf der Hand. Sicher ist es, dass wir bei

geeigneter Anordnung der Versuche, nämlich bei minimaler Ermüdung und maximaler Adaptation, die Unterschiedsschwelle in weiten Grenzen auf gleicher Höhe erhalten können, dass also unter diesen Umständen thatsächlich der Unterschied zweier Reize gleich empfunden wird, so lange ihr Verhältniss zu einander sich nicht ändert. Es liegt daher die Annahme nahe, dass wir in jenen Fehlerquellen Momente zu suchen haben, welche eben jenes Verhältniss der beiden Reize alteriren. Man sieht leicht, dass diese Vermuthung zu sehr complicirten Voraussetzungen über das Zustandekommen der Netzhauterregung führen würde, so lange man es dabei mit Reizen von einer gewissen Größe zu thun hat. An und für sich sollte ja die größere oder geringere Empfänglichkeit der Retina, ähnlich wie die Einschiebung grauer Gläser von verschiedener Helligkeit, wohl die Intensität beider verglichenen Reize abzuschwächen im Stande sein, ohne aber ihr gegenseitiges Verhältniss erheblich zu ändern.

In der That haben wir ja auch eine beschränkte Scala von Beleuchtungsstärken kennen gelernt, in deren Bereiche die Vorgänge der Adaptation und Ermüdung für die Höhe der Unterschiedsschwelle fast völlig belanglos sind. Bei sehr heller Tagesbeleuchtung sehen wir sogar trotz des beträchtlichen Unterschiedes in der absoluten Empfindlichkeit auf beiden Augen doch die Differenz in der Unterschiedsempfindlichkeit für eine gewisse Breite der Lichtintensität ziemlich verschwinden. Allein sobald die Stärke der äußeren Reize unter ein gewisses Maß heruntersinkt, tritt sofort die in der variablen Netzhauterregbarkeit liegende Fehlerquelle auf das deutlichste hervor. Nach meiner Auffassung beruht dieses Verhalten auf der Thatsache der physiologischen Schwelle der Netzhauterregung. Sobald nämlich für den Reiz eine gewisse Intensität erforderlich ist, um die in der Netzhaut liegenden Hemmungen zu überwinden und zum Centralorgan weiter befördert zu werden, so wird bei fortgesetzter Abschwächung beider Vergleichsreize an irgend einem Punkte der Fall eintreten müssen, dass zunächst der schwächere Reiz nicht mehr im Stande ist, die Netzhautelemente zu erregen, dass also damit die Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit sich nach abwärts verschiebt. Natürlich würde dieser Punkt, an dem die Unterschiedsempfindlichkeit zu sinken beginnt und die untere Abweichung vom Weber'schen Gesetze eintritt, einer präzisen und allgemein gültigen Be-

stimmung dann zugänglich sein, wenn jener physiologische Schwellenwerth, die Erregbarkeit der Netzhaut, eine constante Größe darstellte. Allein das ist, wie die tägliche Erfahrung und auf das genaueste auch der Ausfall unserer Versuche lehrt, keineswegs der Fall. Vielmehr kann man im Gegentheil behaupten, dass die Erregbarkeit der Retina, speciell bei wechselnder objectiver Beleuchtung, kaum für sehr kurze Zeitabschnitte als einigermaßen constant angesehen werden darf. Die Ursache der unteren Abweichung, soweit sie in den Verhältnissen der Netzhauterregung zu suchen ist, setzt sich somit höchst wahrscheinlich aus zwei verschiedenen Factoren zusammen, einem variablen, der unter dem Einflusse der Adaptations- und Ermüdungsvorgänge wechselnden Höhe des physiologischen Schwellenwerthes, und einem constanten, dem individuell verschiedenen, aber in sich unveränderlichen Minimalwerthe der Schwelle. Den ersteren Factor kann man experimentell eliminiren, wie das von mir wenigstens annähernd in der Reihe a_1 durch Einhaltung maximaler Adaptation und minimaler Ermüdung geschehen ist; der letztere dagegen bleibt, wie sehr man auch durch sorgfältiges Experimentiren die empirischen Gültigkeitsgrenzen des Weber'schen Gesetzes erweitern mag, principiell unnahbar.

Eine weitere Ursache der unteren Abweichung haben wir in der diffusen Beleuchtung des Augenhintergrundes kennen gelernt. Nur dann können ja die Netzhauterregungen das gleiche Verhältniss bewahren, wie die objectiven Reize, wenn sie durch diese letzteren allein ausgelöst werden. Durch jede gleichzeitige Beleuchtung der Netzhaut aus anderer Quelle empfängt der schwächere Reiz einen relativ größeren Zuwachs, als der stärkere. Auf diese Weise verkleinert sich das Verhältniss beider zu einander, und die Unterschiedsschwelle erfährt eine scheinbare Erhöhung. Dass diese theoretischen Ueberlegungen durch das Experiment bestätigt werden, ist wiederholt erwähnt worden. Natürlich ist es selbst im Dunkelzimmer nicht möglich, jede Reflexbeleuchtung der Netzhaut durch die immerhin nicht absolut schwarzen Wände und Mobilien auszuschließen, so dass die hier besprochene Fehlerquelle auch in den zuverlässigsten meiner Versuche noch eine gewisse Rolle spielen dürfte. Am stärksten macht sich dieselbe aber bei Reizen von geringer Intensität geltend, weil hier der Zuwachs durch die diffuse Beleuchtung das Verhältniss der Reize am eingreifendsten verändert. Als experimenteller Beleg dafür mag die oben ange-

führte, im Beginne der Abenddämmerung gewonnene Versuchsreihe dienen.

Wenn diese Beimischung diffusen Lichtes durch geeignete Cautelen bis zu einem gewissen Grade vermieden und somit als variabler Factor angesehen werden kann, so ist jene Möglichkeit ausgeschlossen bei der analogen Fehlerquelle, die aus der permanenten subjectiven Erleuchtung des Gesichtsfeldes, aus der von Fechner mit c bezeichneten Helligkeit des Augenschwarz ihren Ursprung nimmt. Durch dieses c wird das Verhältniss je zweier äußerer Lichtreize in der Netzhaut auf ganz gleiche Weise alterirt, wie durch die diffuse objective Beleuchtung. Allerdings besitzt die Helligkeit des Augenschwarz nur eine sehr geringe Intensität, so dass die durch sie vermittelte Aenderung des Reizverhältnisses nur bei schwachen Reizen in Betracht kommen kann, gegenüber denen jene Größe nicht als verschwindend klein angesehen werden darf. Fechner gesteht daher selbst zu, dass die Existenz von c nicht im Entferntesten genügt, um die empirische Ausdehnung der unteren Abweichung vom Weber'schen Gesetze zu erklären.

Wir hätten somit als Ursache der unteren Abweichung des Weber'schen Gesetzes bei Lichtempfindungen zwei Reihen von Factoren, die Erregbarkeit und die Erregungen der Netzhaut, kennen gelernt, von denen jede sich wieder aus einer variablen, der experimentellen Correctur wenigstens theoretisch zugänglichen, und aus einer constanten¹⁾, nicht eliminirbaren Componente zusammensetzt. Die Größe der beiden letzteren, des physiologischen Schwellenwerthes der Netzhaut und der Helligkeit des Augenschwarz, kann höchstens durch eigene Untersuchungen gesondert bestimmt und dann in ihrer Bedeutung für die untere Abweichung vom Weber'schen Gesetze berücksichtigt werden.

1) Allerdings ist auch c nicht ganz constant und kann nach Fechner ebenfalls wieder als aus einem veränderlichen Antheil und einem unveränderlichen Minimalwerthe bestehend angesehen werden.