

(Aus der physikalischen Abtheilung des physiologischen Instituts zu Berlin.)

Ueber die Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden.

Von

RICHARD SIMON.

(Mit 1 Fig.)

SCHIRMER¹ hat, im Gegensatz zu vielen anderen Untersuchern, gefunden, daß das WEBER'sche Gesetz auch für den Lichtsinn in weiten Grenzen gültig sei, wenn nur die Adaptation genügend berücksichtigt würde. Auf Herrn Professor ARTHUR KÖNIG's Veranlassung begann ich vor mehreren Jahren, die SCHIRMER'schen Versuche nachzuprüfen. Wenngleich das erhaltene Resultat aus später zu erörternden Gründen mancher Ergänzung bedarf, so erscheint es mir doch gerechtfertigt, kurz über die Versuche zu berichten, da sich dabei eine Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit (U.E.) von mehreren Bedingungen ergab, die deren Gröfse nicht unbeträchtlich beeinflussen, bisher aber, soviel ich sehe, nicht genügend berücksichtigt worden sind. Für die Mehrzahl der Versuche wurden die MASSON'schen Scheiben verwandt.

I. Einfluß der Uebung.

Wenngleich schon von vielen Seiten auf den Einfluß der Uebung hingewiesen worden ist, so scheint es doch noch wenig bekannt und berücksichtigt worden zu sein, nach wie langer Zeit sie sich noch bemerklich macht. So giebt z. B. SCHIRMER an, daß er nach 8 tägiger Uebung bereits das Maximum seiner

¹ Ueber die Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes für den Lichtsinn. v. GRAEFÉ's *Arch. f. Ophthalmol.* 36 (4), 121.

U.E. ($\frac{1}{217}$) erlangt habe. Meine eigene U.E. war nach wochenlangen Versuchen auf $\frac{1}{220}$ gestiegen. Ich benutzte nun zu den definitiven Versuchen Scheiben, deren kleinster Helligkeitsunterschied $\frac{1}{220}$ betrug. Nach monatelanger Prüfung war ich zum Zweck anderer Versuche einmal genöthigt, Scheiben mit noch geringerem Unterschied zu benutzen und bemerkte zu meinem Erstaunen, daß jetzt meine U.E. eine weit bessere geworden war, daß ich bei guter Beleuchtung selbst $\frac{1}{250}$ meistens erkennen konnte. Die Resultate bezüglich des WEBER'schen Gesetzes wurden dadurch stark geschädigt. Leider zu spät fand ich, daß MÜLLER-LYER dieselbe Beobachtung gemacht hatte.¹

Jedenfalls erscheint es nach diesen Erfahrungen dringend geboten, sich vor Anstellung definitiver Versuche viel länger zu üben als es z. B. SCHIRMER gethan hat, der seine nach 8 Tagen erlangte U.E. als das Maximum der überhaupt erreichbaren betrachtete. Ueber weitere Erfahrungen bezüglich der Uebung werde ich weiter unten berichten.

II. Einfluß der Gröfse des beleuchteten Gesichtsfeldes.

Die Gröfse der Unterschiedsempfindlichkeit hängt nicht nur von der Gröfse des Objectes, d. h. dem zugehörigen Gesichtswinkel ab, sondern auch von der Ausdehnung des beleuchteten Gesichtsfeldes, und zwar ist die U.E. umso gröfser, je gröfser der belichtete Netzhautbezirk ist.

Betrachte ich z. B. eine MASSON'sche Scheibe, die 4 cm vom Mittelpunkt entfernt einen schwarzen Sectorabschnitt von 2 mm Höhe trägt, in 50 cm Entfernung und eine gleichgrofse Scheibe mit einem Sectorabschnitt von 20 mm Höhe, gleichweit vom

¹ Psychophysische Untersuchungen. *Arch. für Anatomie u. Physiologie* 1889, Physiolog. Abth., Supplementband, S. 96: „Die Versuche, die ich in dieser Richtung angestellt, sind zeitlich von den bisher mitgetheilten getrennt; dieselben wurden mehrere Monate nach jenen angestellt und dieses Intervall war durch beinahe tägliche anderweitige Untersuchungen über optische Unterschiedsempfindlichkeit ausgefüllt. Es zeigte sich sofort bei Beginn dieser Versuche, daß die Unterschiedsempfindlichkeit jetzt beträchtlich höhere Werthe erreichte, als in den anfänglichen Versuchen. Da die Versuchsbedingungen in keiner Weise geändert worden waren, so kann die Veränderung nur auf die unterdessen erlangte gröfsere Uebung bezogen werden.“

Centrum entfernt, aus einer Distanz von 5 m, wobei also der Gesichtswinkel des Objectes der gleiche ist, so ist in letzterem Falle die U.E. deutlich vermindert, d. h. die Breite des Sectorabschnittes muß im letzteren Falle gröfser sein als in ersterem.

Sicherer erschien es mir, die Untersuchung nicht aus verschiedener Entfernung, wobei vielleicht noch andere Momente mitspielen, anzustellen, sondern stets aus der gleichen Distanz. Aus diesem Grunde bediente ich mich der von MÜLLER-LYER¹ angegebenen Untersuchungsmethode. An dem einen Ende einer Rutschbahn, auf der eine sehr gleichmäfsig brennende Petroleumlampe angenähert und entfernt werden konnte, wurde ein weißer Carton aufgestellt, der von vorn durch 2 seitlich vom Untersucher befindliche Gaslampen erleuchtet und aus 60 cm Entfernung durch eine schwarze Röhre betrachtet wurde. Am Ende der Röhre wurden verschiedengrofse Diaphragmen angebracht, so dafs ein gröfseres oder kleineres Gesichtsfeld herausgeschnitten wurde. Die Untersuchung fand in einem Raum mit schwarzen Wänden statt, ausserdem wurde durch ein über den Kopf gezogenes schwarzes Tuch alles seitliche Licht vom Auge des Untersuchers abgehalten. Sollten dunkle Objecte auf hellerem Grunde geprüft werden, so wurden unmittelbar hinter den Carton schwarze Scheiben von verschiedener Gröfse an ganz dünnen unsichtbaren Fäden gehängt. Helle Objecte auf dunklerem Grunde wurden so erzielt, dafs dicht hinter dem Carton, also zwischen ihr und der Petroleumlampe, eine schwarze Scheibe aus Metall aufgestellt wurde, die in ihrer Mitte runde Ausschnitte von verschiedener Gröfse hatte. Auf Adaptation wurde natürlich sorgfältig geachtet. Es ergaben nun zahlreiche Untersuchungen bei gleicher Gröfse des Objectes — und zwar sowohl eines dunklen auf hellerem Grunde wie eines hellen auf dunklerem — stets eine bessere Unterschiedsempfindlichkeit bei grossem als bei kleinem Gesichtsfeld. So wurde z. B. bei einem Durchmesser des Gesichtsfeldes von etwas über 3° das Object bei einem Abstand der Petroleumlampe vom Carton von ca. 130 cm nur noch undeutlich, bei 150 cm überhaupt nicht mehr gesehen, während unter sonst genau den gleichen Bedingungen, aber bei einem Gesichtsfeld von ca. 19° Durchmesser das Object bei einem Ab-

¹ Experimentelle Untersuchungen zur Amblyopiefrage. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* (Physiol. Abth.) Jahrg. 1887, S. 400.

stand der Petroleumlampe von 235 cm noch undeutlich zu sehen war. Die Unterschiedsempfindlichkeit wächst also recht beträchtlich bei Größerwerden des beleuchteten Gesichtsfeldes.

Es gehört diese Thatsache wohl in jene Reihe von Erscheinungen, die zuerst URBANTSCHITSCH¹ fand, der nachwies, daß die Sehschärfe eines Auges zunahm nicht nur, wenn das andere Auge beleuchtet wurde, sondern auch, wenn in das lesende Auge noch directe Strahlen gelangten. SEWALL² und später SCHMIDT-RIMPLER³ bestätigten die Zunahme der Sehschärfe bei einem gewissen Grad skleraler Beleuchtung. Auch MÜLLER-LYER⁴ constatirte eine bessere Unterschiedsempfindlichkeit, wenn nicht alles seitliche Licht abgehalten wurde. Vielleicht gehört hierher auch eine Beobachtung WERTHEIM's.⁵ Zur Prüfung der indirecten Sehschärfe benutzte er kreisrunde Gitter von parallelen schwarzen Drähten, deren Entfernung von einander gleich dem Durchmesser der Drähte war. blieb nun der Durchmesser der ganzen Gitter gleich und wurde nur die Drahtstärke geändert, so war die Sehschärfe für die Ferne schlechter als für die Nähe. Wurde aber das ganze Gitter, nicht nur die einzelnen Stäbe, auf gleiche relative GröÙe gebracht, so war die Sehschärfe stets dieselbe. Die Sehschärfe hing also nicht allein von dem gegenseitigen Abstand der Gitterstäbe, sondern auch von der GesamtgröÙe des Gitters ab. Je größer das Prüfungsobject und damit die Netzhautfläche war, deren Sehschärfe bestimmt wurde, desto größer wurde die letztere gefunden.

III. Einfluß des Gesichtswinkels.

AUBERT⁶ hatte bei Untersuchung mit MASSON'schen Scheiben gefunden, daß die Unterschiedsempfindlichkeit mit kleiner werdendem Gesichtswinkel sehr schnell abnimmt. Er stellte die

¹ Ueber die Wechselwirkung der innerhalb eines Sinnesgebietes gesetzten Erregungen. *Arch. f. d. ges. Physiol.* 31, 280. 1883.

² On the Physiological Effect of Light which enters the Eye through the Sclerotic Coat. *Journ. of Physiol.* 5, 132.

³ Ueber den Einfluß peripherer Netzhautreizung auf das centrale Sehen. *Bericht d. XIX. Vers. der ophth. Gesellsch. zu Heidelberg* 76.

⁴ l. c. 105.

⁵ Ueber die indirecte Sehschärfe. *Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. der Sinnesorg.* 7, 172.

⁶ Physiologie der Netzhaut, 85.

Prüfung in folgender Weise an: „Eine MASSON'sche Scheibe wird von einer Stearinkerze beleuchtet, welche 2300 mm von ihr entfernt ist, und deren Licht durch einen Schirm von dem Beobachter abgeblendet wird. Der Beobachter befindet sich zuerst in größter Nähe der Scheibe und stellt dieselbe so ein, daß er in dieser Nähe d. h. bei größtem Gesichtswinkel eben noch einen Kranz unterscheiden kann. Während ein Gehülfe die Scheibe dreht, entfernt sich der Beobachter allmählich, bis er den Kranz nicht mehr unterscheiden kann; dann wird ein größerer Sector eingestellt, und für diesen die Entfernung bestimmt, in welcher der Beobachter eben noch den Kranz unterscheiden kann u. s. w. Bei der Berechnung des Gesichtswinkels wurde die Breite des Kranzes oder der Radiustheil des Sectorabschnittes = 25 mm zu Grunde gelegt, welcher dividirt durch die Entfernung die Tangente des Gesichtswinkels giebt.“

Bei weißen Scheiben mit schwarzem Sectorabschnitt betrug die Unterschiedsempfindlichkeit

bei einer Entfernung von	200 mm	(= 7° Gesichtswinkel)	$\frac{1}{72}$
„ „ „ „	2000 „	(= 0° 43' „	$\frac{1}{35}$
„ „ „ „	5000 „	(= 0° 17' 10'' „	$\frac{1}{28}$
„ „ „ „	13500 „	(= 0° 6' 22'' „	$\frac{1}{11}$

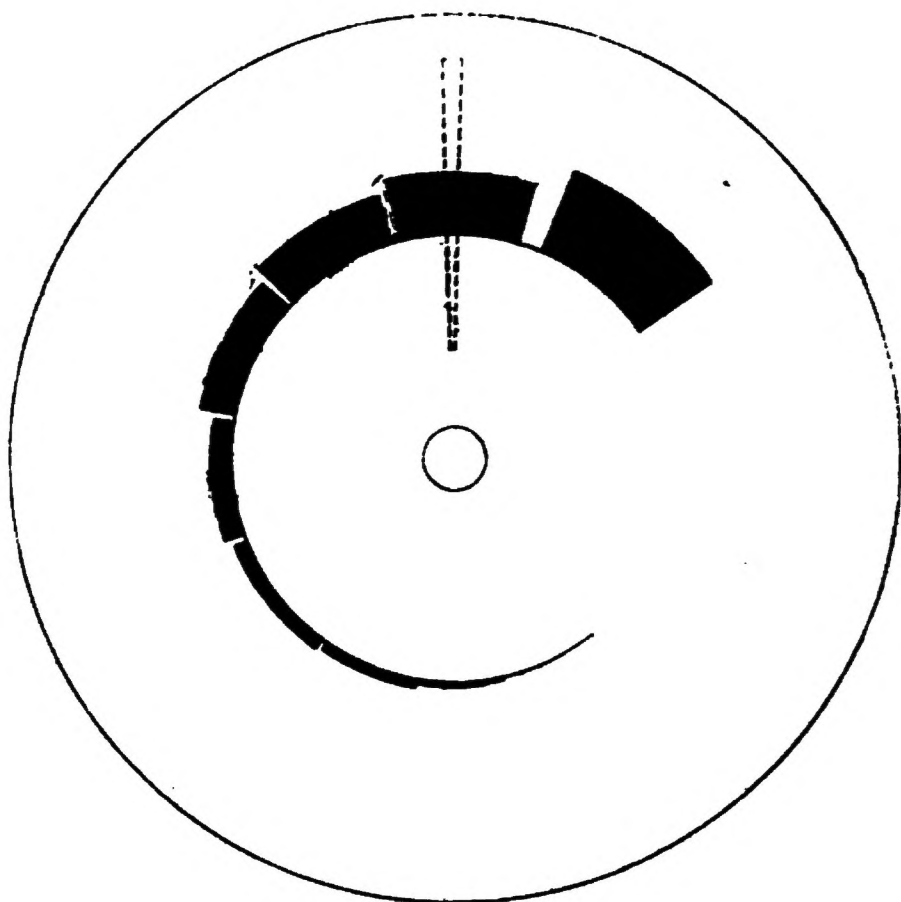
Die Unterschiedsempfindlichkeit hatte also bei einer 10fachen Verkleinerung um die Hälfte, bei einer 25fachen um das 3fache, bei einer ca. 60fachen um das 6fache abgenommen.

MÜLLER-LYER hat nach der oben beschriebenen Methode untersucht und ebenfalls eine Zunahme der Unterschiedsempfindlichkeit mit Größerwerden des Gesichtswinkels constatirt. —

Die Versuchsanordnung AUBERT's unterliegt verschiedenen Bedenken. Erstens hat er bei außerordentlich geringer Helligkeit untersucht und das Ergebniss läßt sich nicht ohne Weiteres auf gute Beleuchtung übertragen. Vor Allem aber waren bei den verschiedenen Größen des Gesichtswinkels die sonstigen Bedingungen nicht die gleichen. Die Flächenhelligkeit blieb zwar gleich, die GröÙe des Gesichtsfeldes nahm aber in gleichem Maafse wie die des Gesichtswinkels ab, und wir haben oben gesehen, daß schon bei Gesichtsfeldern, deren Durchmesser sich ungefähr wie 1 : 6 verhalten, die Unterschiedsempfindlichkeit bedeutend differirt; bei AUBERT's Versuchen aber betrug das Verhältniß des Durchmessers des größten Gesichtsfeldes zu den

anderen 10 : 1, 25 : 1 und 67,5 : 1. Angenommen, AUBERT's Scheiben hatten 20 cm im Durchmesser, so hätte dies in der größten Distanz einem Winkel von 51' entsprochen, das Bild der ganzen Scheibe hätte also noch nicht einmal die Fovea bedeckt. Und dabei wurde auf Adaptation an die geänderten Verhältnisse nicht die geringste Rücksicht genommen.

Ich selbst kam bei Prüfung dieser Frage mit Hülfe der MASSON'schen Scheiben zu anderen Ergebnissen. Vor Allem war es wichtig, die Untersuchung stets unter sonst den gleichen Be-



dingungen anzustellen und nur die Größe des Objectes, also die Höhe des Sectorabschnittes, zu variieren. Es war dies leicht möglich durch Anwendung doppelter Scheiben. Auf die eine (siehe obenstehende Figur) wurden mit einem Zirkel mit Tusche Sectorabschnitte von $\frac{1}{2}$ bis 20 mm Höhe mit dem centralen Rande in gleicher Entfernung vom Mittelpunkt gezogen, die andere Scheibe hatte einen sectorförmigen Ausschnitt (in der Figur punktirt eingezeichnet). Je nachdem dieser breit oder schmal genommen wurde, nahm der Helligkeitsunterschied zwischen Grund und dem grauen Ring zu oder ab. Indem ein höherer oder niedrigerer Sectorabschnitt der unteren Scheibe

vor den Ausschnitt der oberen geschoben wurde, wechselte die Gröfse des Gesichtswinkels ohne Aenderung der Helligkeitsdifferenz. Da auf diese Weise stets aus derselben Entfernung untersucht werden konnte, blieben alle übrigen Versuchsbedingungen genau die gleichen.

Die Herren Professor KÖNIG, Dr. GINSBERG und Dr. SALOMONSON sowie der Diener des physiologischen Institutes, der in solchen Untersuchungen natürlich nicht geübt war, fanden gleich mir die beste Unterschiedsempfindlichkeit bei einem Gesichtswinkel von ca. 15' bis 30', darüber und darunter nahm sie ab. Bei sehr starker Herabsetzung der Beleuchtung scheint allerdings eine Aenderung einzutreten. Wurden die Scheiben in einem vollkommen dunkeln Raum durch eine Normalkerze aus ca. 4 bis 6 m Entfernung beleuchtet, so fand ich meine Unterschiedsempfindlichkeit am besten bei einer einem Gesichtswinkel von ca. 2° entsprechenden Höhe des Ringes, was bei guter Beleuchtung schon eine deutliche Verminderung der Unterschiedsempfindlichkeit ergab. Doch konnte ich auch bei so geringer Helligkeit AUBERT's Angaben nicht bestätigen, daß die Unterschiedsempfindlichkeit mit zunehmendem Gesichtswinkel ständig wächst.

Diese Ergebnisse gelten zunächst nur für MASSON'sche Scheiben und zwar weiße Scheiben mit dunklerem Objecte. Bei umgekehrter Anordnung, hellere Objecte auf dunklen Scheiben, konnte ich nicht untersuchen, da es mir nicht gelang, derartige Scheiben in wünschenswerther Vollkommenheit herzustellen.

Die MÜLLER-LYER'schen Angaben konnte ich nicht mehr nachprüfen, vermag daher auch nicht zu sagen, woher die differenten Resultate kommen.

IV. Einfluß monocularer und binocularer Beobachtung.

Nachdem ich mich schon Monate lang mit Untersuchungen der Unterschiedsempfindlichkeit beschäftigt hatte, prüfte ich diese einmal für das rechte und das linke Auge allein. Ich hatte entweder keine oder, entsprechend der geringen Abnahme der Sehschärfe bei monocularem Sehen, eine nur ganz unbedeutende Verringerung der Unterschiedsempfindlichkeit erwartet; sie erwies sich aber als recht beträchtlich. Sowohl mit dem rechten

wie mit dem linken Auge allein betrug sie nur ca. $\frac{1}{150}$. Erst nach vierwöchentlicher, allerdings nicht täglicher Uebung mit dem linken Auge allein war sie auf ca. $\frac{1}{204}$ gestiegen, also immer noch geringer als bei binocularer Beobachtung. Die Unterschiedsempfindlichkeit des nicht geübten rechten Auges war in gleichem Maasse gestiegen.

Die Thatsache ist recht bemerkenswerth, daß monoculare Uebung und binoculare Uebung zwei nicht parallel gehende Vorgänge sind, so daß jede einzeln erst erworben werden muß.

V. Einfluß der Untersuchungsmethode.

Sowohl KÖNIG und BRODHUN¹ wie DRESER² hatten mit einer anderen Untersuchungsmethode, bei der polarisirtes Licht zur Verwendung kam, ihre Unterschiedsempfindlichkeit beträchtlich geringer gefunden, als es nach den meisten früheren Angaben zu erwarten war, und zwar KÖNIG und BRODHUN = $\frac{1}{60}$. Ich selbst stellte ungefähr 14 Tage lang Untersuchungen mit dem von KÖNIG und BRODHUN benutzten Apparat an und fand dann meine Unterschiedsempfindlichkeit gleich $\frac{1}{50}$ gegen ungefähr $\frac{1}{250}$ an der MASSON'schen Scheibe. Worauf diese großen Differenzen beruhen, ist noch ganz unklar. Zum Theil mögen sie von der verschiedenen GröÙe des beleuchteten Gesichtsfeldes herrühren. Aber allein scheint mir dieser Umstand zur Erklärung nicht genügend. Der naheliegende und von DRESER auch ausgesprochene Hinweis auf die Polarisation des Lichtes, „daß es vielleicht eine Eigenthümlichkeit des Auges sei, daß es bei der Reizung mittels polarisirten Lichtes größerer Unterschiede in den Reizstärken bedarf, damit ein eben merklicher Unterschied in der Empfindung auftritt“, ist nicht zutreffend. Wenn ich bei der oben erwähnten Versuchsanordnung nach MÜLLER-LYER den Carton mit bloßem Auge oder durch einen Nicol betrachtete, so war in beiden Fällen die Unterschiedsempfindlichkeit die gleiche.

Auch hier zeigt sich übrigens wieder der außerordentliche Einfluß der Uebung. Während meine Unterschiedsempfindlichkeit an den MASSON'schen Scheiben beträchtlich größer war als

¹ Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn. *Sitzgs.-Ber. d. Berl. Acad. d. Wiss.* 1889. S. 641—644.

² Ueber die Beeinflussung des Lichtsinnes durch Strychnin. *Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmacol.* 33, 251.

die von Herrn Professor KÖNIG, erreichte ich an dem KÖNIG'schen Apparate dessen Unterschiedsempfindlichkeit nicht vollkommen. Der Grund dafür kann wohl nur darin gefunden werden, daß ich mich an den MASSON'schen Scheiben viele Monate, an dem anderen Apparate nur 14 Tage geübt hatte, während Professor KÖNIG keine besondere Uebung an MASSON'schen Scheiben hatte.

VI. Ueber die Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes für den Lichtsinn.

Zur Prüfung dieser Frage wurden, um den Einfluß des Gesichtswinkels gänzlich auszuschließen, weiße MASSON'sche Scheiben benutzt mit schwarzen Sectorabschnitten, die bis zum Rande reichten, so daß also nur die Grenzlinie zwischen dem grauen Ring und der weißen Scheibe zur Beobachtung kam. Es wurde stets während der Mittagsstunden und nur an solchen Tagen untersucht, an denen ein Wechsel der Beleuchtung durch Wolken ausgeschlossen war. Auf Adaptation wurde sorgfältig geachtet und mindestens 20—30 Minuten vor Beginn der definitiven Versuche dazu verwandt. Da die Dauer der Versuche mindestens $\frac{1}{4}$ Stunde betrug, so können $\frac{3}{4}$ Stunden auf die Adaptation gerechnet werden. Während ein Gehülfe die Scheiben wechselte und das Uhrwerk in Gang setzte, wurde auf eine gleich helle Scheibe gesehen, bis die nöthige Rotationsgeschwindigkeit der MASSON'schen Scheiben erreicht war, so daß auch dabei eine Störung der Adaptation nicht eintreten konnte. Eine genügende Umdrehungsgeschwindigkeit ist, worauf auch HELMHOLTZ¹ aufmerksam macht, von größter Bedeutung. Nach vielen Versuchen glaube ich, daß dieselbe nicht unter 60 in der Secunde sinken darf. Es wurden deshalb Scheiben nur von solchem Durchmesser benutzt, daß ihnen mit dem zu Gebote stehenden Uhrwerk eine Geschwindigkeit von mindestens 70 Umdrehungen in der Minute ertheilt werden konnte, was um so nothwendiger ist, als sich Augenbewegungen, in Folge deren leichter Flimmern der Scheiben entsteht, bei dieser Art der Untersuchung nicht ausschließen lassen.

Die zu diesen Versuchen benutzten Scheiben trugen Sectorabschnitte, die bei Rotation einen Unterschied zwischen dem

¹ Physiolog. Optik. Zweite Auflage, S. 391.

hellen Grund und dem dunkleren Rand von $\frac{1}{95}$ — $\frac{1}{220}$ aufwiesen. Es ergab sich, daß meine Unterschiedsempfindlichkeit von ca. 700 Meterkerzen als größter Helligkeit, bei der ich untersuchte, bis gegen 40 Meterkerzen scheinbar gleich blieb; dann machte sich schon eine allerdings ganz geringe Abnahme bemerklich, indem $\frac{1}{220}$ nur noch unsicher erkannt wurde. Bei 12 Meterkerzen wurde $\frac{1}{220}$ überhaupt nicht mehr, $\frac{1}{204}$ dagegen deutlich unterschieden. Bei 1 Meterkerze wurde auch $\frac{1}{204}$ undeutlich und nicht immer erkannt. Wie bereits oben bemerkt, beging ich den Fehler, den schon viele frühere Untersucher gemacht hatten, mit Scheiben zu operiren, die nicht meiner höchsten Unterschiedsempfindlichkeit entsprachen. Da aber die Versuche bei den niedrigeren Helligkeitsstufen am Schluß der ganzen, sich über viele Wochen erstreckenden Untersuchungsreihe angestellt wurden, darf ich die Resultate, die von ca. 40 Meterkerzen an erhalten wurden, wohl als richtig betrachten. Es ergab sich also, daß das WEBER'sche Gesetz für den Lichtsinn entweder überhaupt nur eine angenäherte Gültigkeit hat oder wenigstens in viel engeren Grenzen gültig ist, als es SCHIRMER behauptet. Da er aber mit der nach nur 8 tägiger Uebung erzielten U.E. gerechnet hat, so ist es mir sehr wahrscheinlich, daß SCHIRMER denselben Fehler wie ich gemacht hat, die Unterschiedsempfindlichkeit geringer anzunehmen, als sie im Verlauf der Versuche thatsächlich geworden war.

Ich möchte nicht verfehlen, Herrn Professor A. KÖNIG für sein andauerndes Interesse an den Untersuchungen meinen Dank auch an dieser Stelle auszusprechen.

(Eingegangen am 24. Juli 1899.)
