

Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung.

Von

Dr. Julius Merkel.

Zweite Abtheilung.

Mit Tafel III und 1 Holzschnitt.

Vorbemerkung.

Der am Schlusse der ersten Abtheilung dieser Abhandlung zum Ausdruck gebrachte Wunsch, es möchten die vorliegenden Untersuchungen, anstatt weitere theoretische Erörterungen von Seiten der vielen Gegner zu veranlassen, vielmehr die Anregung zu neuen Versuchen geben, welche die Frage über die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung einer endgültigen Lösung entgegenzuführen im Stande seien, hat sich nicht erfüllt. Bereits wenige Monate nach dem Erscheinen meiner Abhandlung suchte Arwid Grotenfelt¹⁾ nicht nur eine bereits verlassene Anschauung über die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung zu neuer Geltung zu bringen, sondern gleichzeitig auch meine Ergebnisse und Ansichten nach allen erdenklichen Richtungen hin zu bekämpfen. Eine eingehendere Widerlegung der Ausführungen Grotenfelt's muss an dieser Stelle unterbleiben, nur die wichtigsten und für das Folgende unentbehrlichsten Entgegnungen und Richtigstellungen sollen hier Platz greifen.

Ich habe allerdings bereits in der Einleitung meiner Abhandlung auf das entschiedenste betont, dass es sich bei meinen Unter-

1) Das Weber'sche Gesetz und die psychische Relativität, academ. Abhandlung von Arwid Grotenfelt. Helsingfors, 1888.

suchungen nur um die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindungsschätzung handeln könne, und ich verstehe unter Empfindungsschätzung nichts anderes, als was das Wort seinem eigentlichen Sinne nach besagt, nämlich die Art und Weise, wie wir die Empfindungen auffassen. Dabei kommt ja nicht nur der unmittelbare Eindruck derselben in Frage, sondern auch alle Erfahrungen, die wir in dem betreffenden Empfindungsgebiete gesammelt haben. Selbstverständlich ist die unmittelbare Schätzung einer Empfindung, d. h. die Angabe ihrer absoluten Größe ohne jede Vergleichung mit einer ähnlichen bekannten Empfindung ein Ding der Unmöglichkeit. Wirkt nur ein Reiz auf uns ein, so wird eine Schätzung desselben nur möglich sein, wenn wir uns eine Reihe von Reizen mit den zugehörigen Empfindungen eingepägt haben, zu denen er in einer erkennbaren Beziehung steht. Nach diesem Falle will nun Grotenfelt eine jede Schätzung der Reize beurtheilt wissen. Der einfachste Fall ist natürlich gegeben, wenn die Empfindung sich ohne weiteres mit einer bekannten deckt; ebenso könnte sie auch zwischen zwei bekannten Empfindungen sei es in der Mitte, sei es der einen oder andern näher liegen. Angenommen nun, wir hätten uns die Empfindungen genau eingepägt, welche den Reizen:

1 5 10 15 20 25 30

entsprechen, so würden wir möglicherweise, gleichviel welches Verhältniss zwischen Reiz und Empfindung bei unmittelbarer Vergleichung stattfinden möge, als mittleren Reiz zu 5 und 25 den Reiz 15 bestimmen, oder als doppelten Reiz zu 10 den Reiz 20 u. s. w. In diesem Sinne müssten die Ergebnisse meiner Versuche nach der Meinung Grotenfelt's¹⁾ aufgefasst werden. Es kann natürlich Niemandem untersagt sein, sich über die Versuche Anderer eine Vorstellung nach eigenem Gutdünken zu machen, ich bin indessen der Meinung, dass bei meinen Versuchen vorwiegend eine unmittelbare Vergleichung der Empfindungen stattgefunden habe. Ich glaube, dass eine solche unmittelbare Vergleichung der Empfindungen eintritt, wenn es sich darum handelt, zu entscheiden, ob eine Empfindung sich von einer gegebenen eben unterscheidet, ob sie mindestens doppelt so stark als eine andere ist, oder ob sie endlich die Mitte

1) A. a. O. S. 56 und 112.

zwischen zwei bekannten Empfindungen innehält. Wir folgen hierbei in erster Linie dem unmittelbaren Eindrucke der Empfindungen, ohne dass dabei die absolute Stärke der in Frage kommenden Empfindungen geschätzt wird. Wir haben ja oft Gelegenheit gehabt, Empfindungen in eine Reihe zu ordnen, aber wir besitzen kaum in einem Empfindungsgebiete genauere Kenntniss über die absolute Größe derselben gemessen in den Einheiten der zu Grunde liegenden Reize. Es würde uns z. B. sehr schwer fallen, in der oben geschilderten Art Versuche über Schallintensitäten nach der Methode der mittleren Abstufungen anzustellen, während wir ohne jede Kenntniss der absoluten Schallstärken die mittlere Schallstärke außerordentlich leicht und genau nach der Empfindung herzustellen vermögen. Frühere Erfahrungen und Associationen können meiner Meinung nach nur in letzter Linie bei meinen Versuchen maßgebend gewesen sein und am stärksten jedenfalls bei der Methode der doppelten Reize. Sie lassen sich aber unmöglich aussondern, und deshalb gelten die Ergebnisse meiner Versuche eben nur für die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindungsschätzung.

Grotenfelt¹⁾ ist weiterhin der Ansicht, dass meine Versuche nach der Methode der mittleren Abstufungen, verglichen mit denen nach der Methode der ebenmerklichen Unterschiede, durchaus nicht in unmittelbarer, befriedigender Uebereinstimmung stehen mit der Theorie, die ich aufstellen will. Hiergegen ist zu bemerken, dass bei allen meinen Versuchsreihen die relativen Abweichungen vom geometrischen Mittel größer sind, als die entsprechenden Abweichungen vom arithmetischen Mittel, dass ferner die Ergebnisse beider Methoden sich völlig decken, wenn die äußeren Reize bei der Methode der mittleren Abstufungen das Verhältniss 4 nicht wesentlich übersteigen. Die Abweichungen bei bedeutenden Unterschieden sind entschieden zum großen Theile eine Folge des Contrastes; ich glaube das in der nächsten Abtheilung unzweifelhaft nachweisen zu können auf Grund von Versuchen, welche unmittelbar nach der Delboeuf'schen Methode angestellt worden sind. Wenn aber bereits die Versuche über Lichtempfindungen weit eher die Benutzung der Verhältnisshypothese als der Unterschiedshypo-

1) A. a. O. S. 112.

these erheischen, so war die Anwendung der ersteren Hypothese entschieden geboten im Hinblick auf die Ergebnisse bei den Gewicht- und Schallempfindungen, welche uns bei Bearbeitung jener Versuche bereits zu Gebote standen. Das letztere Empfindungsgebiet wird uns wegen der großen Unterschiedsschwelle Gelegenheit geben zu untersuchen, welche mittleren Werthe sich bei Reizen ergeben, die etwa nur um die doppelte Schwelle von einander abweichen. Dann werden wir auch auf die Seite 109 erhobenen Bedenken gegen unsere Versuche einzugehen Gelegenheit nehmen.

Grotenfelt¹⁾ selbst kommt in seiner Arbeit zu der Schlussfolgerung: »Die Verhältnishypothese kann nicht anerkennen, dass irgend welche psychophysische Beobachtungen, seien es methodische oder alltägliche, einen Ausgangspunkt zur näheren Bestimmung der Functionsabhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung abgäben, als zur Aufstellung des allgemeinen Weber'schen Gesetzes und zur Ermittlung, inwiefern dasselbe sich bewährt, inwiefern Abweichungen stattfinden. Auf Grund dieses Gesetzes erkennen wir die Formel $E = cR^\epsilon$ als überhaupt gültig an. Ob aber ϵ hier als kleiner oder größer als 1 gedacht werden soll, ob die Empfindung langsamer oder schneller als der Reiz wächst, darüber geben die psychophysischen Maßmethoden und überhaupt alle die bis jetzt angeführten Thatsachen keine zuverlässige Aufklärung«. Auf Grund dieser Meinung werden natürlich die Ansichten verschiedener Psychophysiker, welche $\epsilon < 1$ annehmen, verworfen und ebenso meine Behauptung, dass sich bei schwachen Reizen ein größerer Bruchtheil des Reizes in Empfindung umsetzt als bei starken²⁾. Ich habe letzteres als unzweifelhafte Thatsache hingestellt, weil es zweifellos aus den Ergebnissen meiner Versuche folgt, weil es aus ihnen auch bei Zugrundelegung einer anderen Hypothese folgen würde. Meine Behauptung fußt keineswegs auf irgend einer hypothetischen Annahme über die Größe von ϵ , sie gründet sich lediglich auf die Folgerungen, die sich aus der unteren Abweichung vom Weber'schen Gesetze ziehen lassen.

Im Zusammenhange hiermit erfährt auch die von mir gemachte

1) A. a. O. S. 149.

2) A. a. O. S. 149.

Annahme, in der Formel $E = kR$ sei $k < 1$, eine Zurückweisung¹⁾. Ich halte es indessen nach wie vor mit den physiologischen Bedingungen für unvereinbar, dass sich alle Energie des Reizes in Empfindung umsetzen kann, und ich glaube nicht, dass gegen diese Annahme zur Zeit begründete Einwände erhoben werden können. Dabei kommt keineswegs in Frage, in welchen Maßeinheiten »disparater Natur« die Empfindungen zu messen sind. Gegenwärtig und voraussichtlich für immer verfügen wir eben nur über ein relatives Maß, welches die Reizgrößen selber zu Grunde legt. Ich habe in meiner Abhandlung nur behauptet, bei dem Reize 1 betrage die Empfindung 0,75, bei dem Reize 100 dagegen nur 0,25 des Reizes; ich hätte für diese Brüche ebenso gut 0,9 und 0,3 setzen können, da es nur auf die Verhältnisse ankommt, was durch die willkürliche Wahl des einen k zum Ausdruck kommt. Von einer willkürlichen Wahl eines zweiten k (k_1), welche mir Grotenfelt²⁾ zur Last legt, ist keine Rede; alle übrigen k sind auf Grund der Versuchsergebnisse berechnet unter Annahme desjenigen Verhältnisses zwischen E_1 und E , welches die Versuche nach der Methode der mittleren Abstufungen und der doppelten Reize erheischten. (Das k_1 der Fechner'schen Formel, für welches in meinem Manuscripte übrigens k' stand, hat natürlich zu unseren k keine Beziehung; dasselbe wurde allerdings passend gewählt, nämlich so, dass bei einem bestimmten Reize die Werthe der Empfindungen nach den beiderseitigen Formeln übereinstimmten.)

Auch meine Berechnungen nach der Fechner'schen Formel und vor allem diejenigen nach der Plateau'schen werden von Grotenfelt³⁾ entschieden zurückgewiesen. Die erstere Formel anlangend, wird mir die Nichtbeachtung des Schwellenwerthes zur Last gelegt. Die Schwelle ist aber bei Lichtempfindungen noch nicht bestimmt, ihr Dasein noch keineswegs erwiesen. Wenn also die Fechner'sche Formel überhaupt Anwendung finden soll, so kann es nur unter Annahme eines beliebigen Schwellenwerthes geschehen. Meine Berechnungen gründen sich auf den Schwellen-

1) A. a. O. S. 151.

2) A. a. O. S. 151.

3) A. a. O. S. 151 u. 152.

werth 1, den ungünstigsten, den ich für meine Vergleichenungen überhaupt wählen konnte. Für jeden Schwellenwerth < 1 wird das Verhältniss der Zunahme der Empfindungen im Vergleich mit dem von mir gefundenen ungünstiger. Bei Besprechung der Berechnungen nach der Plateau'schen Formel wird mir eine völlige Unkenntniss der Bedeutung dieser Formel vorgeworfen, ich soll nicht einmal beachtet haben, dass ε innerhalb der Gültigkeitsgrenzen des Weber'schen Gesetzes eine Constante sein soll. Ich habe aber selbstverständlich eine Prüfung der Plateau'schen Theorie selbst gar nicht vornehmen können, da weder über die Constante c noch über ε irgend welche bestimmten Angaben vorliegen. Ich habe das auch in der Einleitung ausdrücklich hervorgehoben ¹⁾. Ich habe auf Seite 576 meiner Abhandlung die Gründe angegeben, warum ich mich für meine Untersuchungen der Formel $E = kR$ und nicht der vereinfachten Plateau'schen Formel $E = R^\varepsilon$ ($c = 1$) bedient habe, ich habe dann 2 Seiten später lediglich die ε berechnet, welche, in diese letztere Formel eingeführt, dieselben Werthe für E geben, die ich auf Grund meiner Formel gefunden. Das muss doch meines Erachtens erlaubt sein, auch wenn sich in einem einzelnen Falle der sinnlose Werth $-\infty$ ergibt. In diesem einen Falle ist dann eben eine brauchbare Uebertragung der einen Formel auf die andere unter den gemachten Voraussetzungen unmöglich. Hätte ich mich also der Plateau'schen Formel bedient, so wäre eine andere Annahme erforderlich gewesen, ich hätte für $R = 1$ auch $\varepsilon = 1$ und damit $E = 1$ annehmen und dann auch für c einen Werth < 1 einführen müssen. Ich bemerke, dass die Constanz von ε nur für die Grenzen der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes unter der Annahme $c = 0,246$ erreicht wird, und dann hat ε den Werth 1, die Plateau'sche Formel geht dann in die von mir benutzte über. Ich habe übrigens nur die Berechnung der ε durchgeführt, ohne daran irgend welche Angriffe gegen die Plateau'sche Theorie, noch überhaupt irgend welche Bemerkungen zu knüpfen.

Ich will zum Schluss den Unterschied zwischen den Ansichten Grotenfelt's und den von mir vertretenen noch einmal scharf hervorheben und gleichzeitig einem Einwurfe begegnen, den Groten-

1) Wundt, Philos. Studien, IV, S. 544.

felt von seinem Standpunkte aus möglicherweise noch erheben könnte.

Die Fragen, deren experimentelle Entscheidung ich für möglich halte, sind:

I. Findet innerhalb gewisser Gebiete Proportionalität zwischen Reiz und Empfindungsschätzung statt?

II. Ist das Abhängigkeitsverhältniss zwischen Reiz und Empfindungsschätzung ein anderes, sei es dass die Empfindungen langsamer oder schneller wachsen als die entsprechenden Reize?

Diese Fragen vermögen die Versuche über das Weber'sche Gesetz nicht zu entscheiden, da sich hier die Anwendung der Unterschieds- oder Verhältnishypothese als gleichmöglich erweist. Die Entscheidung kann jedoch durch Versuche nach der Methode der mittleren Abstufungen herbeigeführt werden. Liefert dieselbe die geometrischen Mittel, so liegen 2 Schlussfolgerungen vor:

1. Es entsprechen den in einer geometrischen Reihe fortschreitenden Reizen Empfindungen, welche eine arithmetische Reihe bilden.

Dieser von Wundt und Fechner vertretenen Ansicht stimme ich vollständig bei, ich kann dabei immer nur wieder auf die Worte Wundt's¹⁾ hinweisen, in denen er die Bedeutung der Versuche nach der Methode der mittleren Abstufungen am schärfsten betont, auf die Worte: »Wenn wir drei Empfindungen a , b , c so abstufen, dass b genau die Mitte zwischen a und c hält, so müssen wir selbstverständlich die absolute Größe des Unterschieds zwischen a und b gleichsetzen der absoluten Größe des Unterschieds zwischen b und c . Wir würden alle Principien der Größenvergleichung auf den Kopf stellen, wenn wir anders verfahren«.

2. Es entsprechen den in einer geometrischen Reihe fortschreitenden Reizen Empfindungen, welche ebenfalls eine geometrische Reihe bilden.

Diese der Plateau'schen Formel entsprechende Ansicht vertritt Grotenfelt.

Auf Grund dieser beiden Ansichten würden beispielsweise den Reizen:

1 3 9 27 81 243 ...

1) Wundt, Philos. Studien, II, S. 25.

die folgenden Empfindungen entsprechen können:

| | | | | | |
|---------------|---|---|---|----|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 ... |
| (Wundt), | | | | | |
| 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 ... |
| (Grotenfelt). | | | | | |

Für die letztere Reihe könnte nach der Ansicht Grotenfelt's auch eine in gleicher Weise wie die Reihe der Reize oder eine stärker anwachsende Reihe treten. Setzt man diese Reihen nach rückwärts fort, so erhält man für den Reiz $\frac{1}{3}$ die Empfindungen 0 oder $\frac{1}{2}$, im ersteren Falle die Schwelle, über die hinaus sich negative Empfindungen ergeben, im letzteren Falle einen größeren Werth für die Empfindung als den Reiz. Dieses letztere merkwürdige Ergebniss wird nicht vermieden, wenn man für die Constante c der Plateau'schen Formel einen echten Bruch wählt, denn dann übersteigen die Empfindungswerthe an einer früheren Stelle die Werthe der Reize. Es ist nicht unsere Sache, diese eigenthümliche Erscheinung zu erklären, die natürlich nicht auftreten würde, wenn man für die Reihe der Empfindungen die mit einem constanten Factor multiplicirte Reihe der Reize wählte.

Liefert jedoch die Methode der mittleren Abstufungen die arithmetischen Mittel, so entspricht einer arithmetischen Reihe der Reize eine ebensolche Reihe der Empfindungen.

Nach Grotenfelt würde nun möglicherweise für die Reihe der Reize:

| | | | | | |
|---|---|---|---|----|-----|
| 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | ... |
|---|---|---|---|----|-----|

die folgende Reihe der Empfindungen treten können:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|-----|
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | ... |
|---|---|---|---|---|-----|

Geht man hier rückwärts, so erhält man für den Reiz 0 die Empfindung 1, was natürlich undenkbar ist. Der Fehler liegt meines Erachtens daran, dass man, falls die Methode der mittleren Abstufungen innerhalb der Grenzen der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für eine gewisse Gruppe von Reizen die arithmetischen Mittel liefert, dies für das ganze Gebiet voraussetzen muss. Setzt man durchgängige Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes voraus, so ist die arithmetische Reihe der Reize mit 0 zu beginnen und zu setzen:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|----|-----|
| 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | ... |
|---|---|---|---|---|----|-----|

während die Reihe der Empfindungen alsdann etwa folgende wird:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|-----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ... |
|---|---|---|---|---|---|-----|

Diese Werthe ordnen sich aber vollständig der Formel $E = kR$ unter, da wir k innerhalb der Grenzen der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes constant gefunden haben. Die Versuche nach der Methode der doppelten Reize geben übrigens eine unmittelbare Lösung der Frage, welche die Methode der mittleren Abstufungen nur mittelbar entscheidet, indem sie zu den Reizen 0 und 2 den Reiz 4 zu bestimmen verlangen.

Es ist sonach nicht die allgemeine Verhältnisshypothese, wie sie Plateau aufgestellt hat und Grotenfelt vertritt, für die ich eintrete, sondern die Verhältnisshypothese unter der Annahme $\varepsilon = 1$, oder unter der Voraussetzung, dass das Verhältniss $\frac{\Delta E}{E}$ gleichwerthig mit $\frac{\Delta R}{R}$ sei. Meiner Meinung nach ist also eine experimentelle Entscheidung zu Gunsten der Frage I oder II möglich, während Grotenfelt¹⁾ diese Entscheidung schlechterdings leugnet.

Nach den vorstehenden Auseinandersetzungen finde ich keinerlei Veranlassung, in der Fortsetzung meiner Abhandlung, welche bei Kenntnissnahme der Grotenfelt'schen Arbeit bereits an die Redaction der Philosophischen Studien eingesandt war, irgend welche Aenderung eintreten zu lassen.

II. Druckreize.

Die Versuche Ernst Heinrich Weber's über Druck- und Bewegungsempfindungen bilden die erste Grundlage des nach ihm benannten psychophysischen Grundgesetzes²⁾. Doch wurde bei diesen Versuchen weder auf den Einfluss der Uebung noch auf den Einfluss des Armgewichts Rücksicht genommen. Im Bezug auf die Unterscheidung gehobener Gewichte ist das Weber'sche Gesetz in ausgedehnter Weise von Fechner³⁾ nach der Methode der richtigen und falschen Fälle untersucht worden. Ueber die Beweiskraft dieser Versuche ist viel gestritten worden; einzelne, und unter

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

2) E. H. Weber, Der Tastsinn und das Gemeingefühl, in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, III, 2.

3) Fechner, Elem. der Psychophysik, I, S. 193; In Sachen der Psychophysik, S. 164; Revision der Hauptpunkte der Psychophysik, S. 358.

ihnen Fechner, erblicken in den Ergebnissen der Versuche abgesehen von einer unteren Abweichung eine Bestätigung des Weber'schen Gesetzes, während andere das Gegentheil behaupten.

Die Fechner'schen, wie auch die unter Hering's Leitung von Biedermann und Löwit¹⁾ angestellten Versuche leiden an dem Mangel, dass sich bei ihnen das Armgewicht in störender, nicht genau berechenbarer Weise geltend macht.

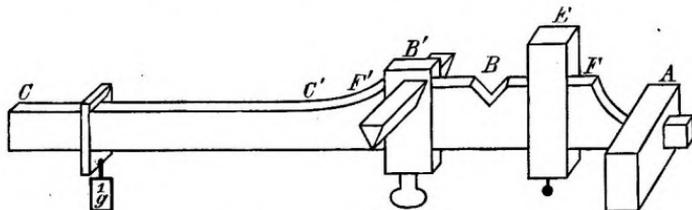
Die vorliegenden Versuche suchen die Mängel der bisher veröffentlichten Untersuchungen nach Möglichkeit zu vermeiden und erstrecken sich über ein wesentlich größeres Reizgebiet. In der Hauptsache beziehen sich dieselben auf Druckreize, während bei den früheren Versuchen zumeist Druck- und Bewegungsempfindungen gleichzeitig einwirkten.

Die Versuche wurden mittels zweier eigens zur Prüfung von Druckreizen construirten Apparate ausgeführt. Der erste gestattete zugleich eine Untersuchung der Druck- und Bewegungsreize. An den Experimentirtisch war ein in der Mitte offener Aufsatz aus starkem, festen Holze vollständig sicher befestigt; zu beiden Seiten desselben ruhte ein eiserner Hebel auf einer scharfen Kante. Jeder Hebel wurde auf der einen Seite durch die Feder einer Federwage festgehalten, auf der andern Seite konnte er an zwei verschiedenen gleichweit vom Stützpunkt entfernten Stellen mit dem Finger niedergedrückt werden. Je tiefer dies geschah, um so größer war der Druck. Durch angehängte Gewichte konnte vorher bestimmt werden, welcher Druck bei den einzelnen Stellen der kreisförmigen Skalen ausgeübt wurde. Bei diesem Apparate fand also eine stetige Drucksteigerung während der Versuche statt, während bei der Fechner'schen Versuchsanordnung der jeweils einwirkende Reiz unverändert blieb. Die Versuche mussten ziemlich schnell und möglichst gleichmäßig ausgeführt werden und, um vergleichbare Zahlen zu gewinnen, mussten immer je 10 Beobachtungen derselben Art hinter einander angestellt werden, aus denen dann das Mittel genommen wurde.

Der zweite wesentlich vollkommnere Apparat, welcher schon bei 0,01 g Belastung einen Ausschlag gab, beruhte auf dem Princip

1) Hering, Ueber Fechner's psychophysisches Gesetz, S. 33 f. Vergl. auch Fechner, In Sachen der Psychophysik, S. 186 f.

der früher vielfach angewandten Schnellwagen. Die eigentlichen Wagen bestanden hier aus drei Wagebalken, wie nebenstehende Figur einen solchen veranschaulicht. Bei B und B' konnte durch



eine den Balken vollständig umschließende Hülse ein scharfkantiger Stahlkern fest angeschraubt werden. Die Schneiden ruhten auf harten Stahlunterlagen, wie es bei den verschiedenen Gattungen von Wagen üblich ist. Die Entfernung AB betrug 20 cm, AB' 30 cm und $B'C$ etwa 50 cm. Bei E war ein verschiebbares Laufgewicht angebracht, welches so eingestellt wurde, dass die Wagebalken ohne Belastung die horizontale Lage annahmen. Die Wagen hatten eine zu dem Beobachter senkrechte Stellung, die Enden waren in etwa 10 cm Entfernung dem Beobachter zugekehrt. Bei A konnten 2 verschiedene 2,5 cm lange und oben 7, beziehentlich 1 mm breite Platten aufgeschraubt werden, auf welche durch die Finger der Druck ausgeübt wurde. Die Belastung geschah durch verschiedene in 20 cm Entfernung von B , oder in 30 cm Entfernung von B' auf scharfen Kanten ruhende Gewichte, welche auf dem Hebelarm CC' verschoben werden konnten. Die Gewichte lagen zwischen 1 g und 5000 g. Die Wagebalken waren aus verschiedenem Material hergestellt, für die kleinsten Gewichte aus festem Holz, für die größeren aus schwachen und für die größten aus starken Stahlschienen. Alle übrigen Theile der Wagen konnten für die verschiedenen Wagebalken gleichmäßig verwandt werden. Wollte man übrigens die Versuche auf noch kleinere Gewichte als 1 g ausdehnen und die Verwendung von Holzschienen vermeiden, so würde es sich empfehlen, die Wagebalken kürzer und durchbrochen zu construiren, wie es bei den genauen chemischen Wagen der Fall ist. Etwa 5 mm über F und F' und ebenso 25 mm unter F und F' befanden sich Querbalken, so dass die Wagebalken nur einen Spielraum von 30 mm hatten. Die Gewichte konnten ent-

weder durch einen Gehilfen verschoben werden oder auch vom Beobachter selbst mittels drehbarer, nach vorn und rückwärts beweglicher und vorn gebogener Stäbe, welche unmittelbar neben den Wagebalken angebracht waren. Dabei hatte der Beobachter keine Kenntniss von der Entfernung der Gewichte vom jeweiligen Ausgangspunkte. Die Strecke CC' war in mm getheilt.

Dieser Apparat, welcher zum größten Theile in der mechanischen Werkstatt von Müller und Preusker in Zittau nach meinen Angaben hergestellt und von mir selbst zusammengesetzt worden ist, erwies sich als überaus vortheilhaft. Die einzelnen Beobachtungsreihen, bei denen nicht mehr, wie früher, 10 Versuche gleicher Art angestellt wurden, sondern bei jeder Zeit- und Raumlage nur ein Versuch, zeigten eine wesentlich bessere Uebereinstimmung, als die entsprechenden Versuche bei den Lichtreizen. Durch Auflegen eines Gewichtes von 0,1 g auf die Strecken BC und $B'C$ konnte übrigens nicht nur die Schwelle annähernd ermittelt werden, sondern auch die jeweilige Empfindlichkeit der Wage. Vor Herstellung dieses Apparates hatte ich einen ähnlichen Apparat mit 2 seitlich angebrachten Wagen gebaut, mit welchem Versuche von 10 bis 8000 g angestellt werden konnten. Derselbe eignete sich jedoch nicht zu Versuchen nach der Methode der mittleren Abstufungen und wurde daher durch den im Vorstehenden beschriebenen, in vielen Punkten verbesserten Apparat mit 3 Wagen ersetzt. Der erste Apparat mit Federwagen gestattete übrigens nur die Benutzung der Reize 25 bis 5000 g.

Ich wende mich nunmehr zur Mittheilung der Versuchsergebnisse bei Anwendung der drei bereits bei Lichtempfindungen berücksichtigten Methoden der ebenmerklichen Unterschiede, der doppelten Reize und der mittleren Abstufungen.

A. Die Methode der ebenmerklichen Unterschiede.]

Bei den Versuchen mit Hülfe des ersten Apparates wurde links der Hebelarm mit dem Zeigefinger der linken Hand so weit herabgedrückt, bis die Skala den Druckreiz 50, 100 u. s. w. bis 5000 g zeigte, und rechts mit demselben Finger der rechten Hand jeweils soweit, bis der Unterschied der beiderseitigen Reize eben empfunden

wurde. Dieser Punkt wurde zur Sicherheit etwas überschritten und dann soweit zurückgegangen, bis der Unterschied eben wieder sicher verschwunden war. Beide Punkte wurden aufgezeichnet. Wirkten die Reize nicht gleichzeitig, so waren die Raumlagen und die Zeitfolgen des constanten und veränderlichen Reizes zu ändern. Nachdem alle Gewichtsreize vom niedrigsten bis zum höchsten benutzt worden waren, wurde unter möglichst gleichen Bedingungen eine weitere Versuchsgruppe ausgeführt, bei der mit dem höchsten constanten Reize begonnen wurde, um den während der Versuche sich geltend machenden Einfluss der Uebung zu eliminiren.

Ich theile die Versuche mittels des ersten Apparates nur in den erhaltenen Gesamtmitteln mit und bezeichne durch r die unveränderliche Reizstärke, durch r_0 die obere Schwelle und durch C das Verhältniss $\frac{r_0}{r}$. MW bezeichnet den Mittelwerth derjenigen C , welche durch die Klammer abgesondert sind.

Tab. I.

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 |
| r_0 | 55,4 | 108,3 | 214,8 | 534,2 | 1077 | 2134 | 5308 |
| C | 1,108 | 1,083 | 1,074 | 1,068 | 1,077 | 1,067 | 1,062 |

$\underbrace{\hspace{15em}}_{MW\ 1,071.}$

Wirkten die Reize nach einander ein, so waren die erhaltenen Werthe bei demselben Apparate die in nachstehender Tabelle enthaltenen :

Tab. II.

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| r | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 |
| r_0 | 54,2 | 106,3 | 211,2 | 525,6 | 1050,2 | 2106,6 | 5207,5 |
| C | 1,084 | 1,063 | 1,056 | 1,051 | 1,050 | 1,053 | 1,042 |

$\underbrace{\hspace{15em}}_{MW\ 1,052.}$

Bei den weiteren Versuchen wirkten die Reize ausschließlich nach einander ein. Diese Methode erwies sich nicht nur als leichter ausführbar, sondern sie lieferte auch geringere Werthe von C , wie eine Vergleichung der Tabellen I und II auf den ersten Blick lehrt.

Es könnte dies eine Eigenthümlichkeit des ersten Apparates sein, indessen haben uns einzelne Versuchsreihen mit dem zweiten Apparate überzeugt, dass ähnliche Verhältnisse auch bei ihm stattfanden. Uebrigens hat bereits Weber bemerkt, dass das gleichzeitige Einwirken der Druckreize die Unterscheidung derselben erschwere. Mit dem weniger vollkommenen zweiten Apparate wurden im ganzen 12 vollständige Versuchsgruppen ausgeführt. Bei den 6 ersten lagen die Reize zwischen 10 und 6020 g, bei den 6 letzten zwischen 10 und 8020 g. Die Reize wurden durch aufgehängte Gewichte hervorgerufen. Während das Gewicht der linken Wage unverändert in 30 cm Entfernung blieb, wurde das der rechts gelegenen Wage soweit hinausgeschoben, bis ein Unterschied sicher bemerkbar wurde, dann wieder soweit zurückgenommen, bis der Unterschied wieder sicher verschwand. Bei 1 g entsprach der Entfernung von 1 mm eine Druckänderung von $\frac{1}{300}$ g, bei 2 g eine solche von $\frac{2}{300}$ g u. s. w. Wollte man noch feinere Unterschiede erzielen, so könnte man als bewegliche Gewichte noch kleinere wählen und die beiden Vergleichsgewichte in der Ruhelage lassen. Doch war dies für die vorliegenden Versuche keineswegs nöthig. Bei der Ausübung des Druckes wurde die bei A befindliche Platte etwa 4—6 mm herabgedrückt, also nur eine verschwindende Bewegung ausgeführt, so dass es sich bei diesen Versuchen hauptsächlich um Druckempfindungen handelte, denen übrigens auch die Aufmerksamkeit ausschließlich zugewandt war. Die Größe der Bewegung war bei allen Versuchen möglichst gleich, was bei den Versuchen der Tabellen I und II nicht der Fall war, wohl aber bei den Fechner'schen Versuchen.

Die folgenden Tabellen enthalten die Mittelwerthe von je 6 Versuchsgruppen.

Tab. III.

| <i>r</i> | 10 | 30 | 60 | 110 | 210 | 510 | 1020 | 2020 | 4020 | 6020 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>r</i> ₀ | 11,45 | 33,36 | 65,22 | 118,5 | 225,6 | 548,8 | 1093 | 2166 | 4296 | 6366 |
| <i>C</i> | 1,145 | 1,112 | 1,087 | 1,077 | 1,074 | 1,076 | 1,072 | 1,072 | 1,069 | 1,057 |

MW 1,074.

Tab. IV.

| <i>r</i> | 10 | 20 | 40 | 70 | 110 | 2020 | 4020 | 6020 | 8020 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>r_o</i> | 11,36 | 22,08 | 43,45 | 75,5 | 118,4 | 2178 | 4329 | 6363 | 8341 |
| <i>C</i> | 1,136 | 1,104 | 1,086 | 1,079 | 1,076 | 1,078 | 1,077 | 1,057 | 1,040 |

$\overbrace{\hspace{10em}}^{MW\ 1,077}$

Vergleichen wir diese Werthe mit denjenigen der Tabelle II, so zeigt sich, dass die Unterschiedsschwellen für Druck- und Bewegungsempfindungen geringer sind, als für bloße Druckempfindungen, eine Thatsache, auf welche Weber ebenfalls bereits hingewiesen hat.

Mit dem neuesten Apparate wurden eine große Anzahl von Versuchsgruppen unter Beachtung verschiedener Nebenumstände ausgeführt. Die Versuche wurden zunächst nicht mehr mit 2 verschiedenen Fingern, sondern nur mit einem Finger und zwar mit dem Zeigefinger der rechten Hand ausgeführt. Ferner wurde bei einem großen Theile der Versuche die etwa 7 mm breite Berührungsfläche mit einer solchen von 1 mm Breite vertauscht. Aehnlich wie bei den Versuchen mit Lichtreizen wurden auch hier Versuche angestellt, bei denen bei Bestimmung der Unterschiedsschwelle nur der Punkt aufgezeichnet wurde, bei welchem der Unterschied eben merklich war. Da bei diesen Versuchen eine vollständige Gruppe wesentlich schneller zum Abschluss gebracht werden konnte, so war es möglich, durch eine Reihe von planmäßig angeordneten Versuchsgruppen den Einfluss der oben genannten Nebenumstände einer vergleichenden Betrachtung zu unterziehen. Ueberdies muss die genauere Untersuchung all' dieser Verhältnisse bei einer Arbeit in den Hintergrund treten, welche als Hauptzweck die Untersuchung der Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung in verschiedenen Sinnesgebieten im Auge hat.

Ich theile zunächst diejenigen Versuchsgruppen mit, bei welchen nur ein Finger verwandt wurde, die Berührungsfläche aber noch 7 mm betrug. Um den Gang der Rechnung zu erläutern, führen wir ein Beispiel vollständig durch. Bei beiden Wagen ist in einer Entfernung von 30 cm das Gewicht eines Gramms aufgehängt, rechts bleibt dasselbe in unveränderter Stellung, links wird es weitergeschoben. Bei den Versuchen wird anfangs links zuerst niederge-

drückt, dann rechts und die obere Schwelle ermittelt. Dasselbe geschieht alsdann, indem rechts zuerst niedergedrückt wird. Hierauf bleibt das links befindliche Gewicht in unveränderter Stellung und es erfolgt wieder unter Abwechslung der Zeitlage eine zweimalige Bestimmung der Schwelle. Da jedesmal 2 Punkte aufgezeichnet werden, erhält man im ganzen 8 Werthe. Dieselben waren bei Tabelle V:

| | | | | |
|------|------|------|------|------------------|
| 424. | 414. | 420. | 408. | <i>MW</i> 416,5. |
| 345. | 338. | 339. | 336. | <i>MW</i> 339,5. |

Aus den beiden Mittelwerthen bildet man das arithmetische oder besser das geometrische Mittel, welches 376 beträgt. *Mit dieser Zahl ist das Gewicht zu multipliciren und das Product durch 300 zu dividiren, um r_0 zu erhalten. Da das Gewicht im vorliegenden Falle 1 g beträgt, erhält man $r_0 = 1,253$ g, also $C = \frac{r_0}{r} = 1,253$. Die Versuche wurden dann bis zum Gewicht 5000 g durchgeführt und in den nächsten Tagen eine ähnliche Reihe, bei welcher das Gewicht 5000 g den Anfang machte. Bei 1 g angekommen ergaben sich die Werthe:

| | | | | |
|------|------|------|------|------------------|
| 412. | 425. | 418. | 422. | <i>MW</i> 419,2. |
| 339. | 343. | 338. | 342. | <i>MW</i> 340,5. |

Das geometrische Mittel ist hier 377,8, der Unterschiedswellenwerth $r_0 = 1,259$ g und $C = 1,259$. Den weiteren Rechnungen wurden dann die Mittelwerthe der C zu Grunde gelegt. Eine derartige Versuchsgruppe konnte in 4—6 Tagen zu Ende geführt werden. Uebrigens waren die Einflüsse der Uebung und der Ermüdung nur von untergeordneter Bedeutung, da zwischen den Versuchen stets Pausen gemacht wurden und die Versuchsdauer nie über $1\frac{1}{2}$ Stunde ausgedehnt wurde. Wegen einzelner Aenderungen der constanten Reize theilen wir in den folgenden Tabellen die Mittelwerthe je einer Versuchsgruppe mit.

Tab. V.

| r | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r_0 | 1,256 | 2,391 | 5,722 | 11,17 | 21,89 | 54,56 | 108,0 | 215,0 | 537,5 | 1069 | 2138 | 5231 |
| C | 1,256 | 1,195 | 1,144 | 1,117 | 1,094 | 1,087 | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,069 | 1,069 | 1,046 |

MW 1,072.

Tab. VI.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>r</i> | 1 | 3 | 6 | 11 | 21 | 51 | 110 | 210 | 510 | 1010 | 2010 | 5025 |
| <i>r</i> ₀ | 1,289 | 3,62 | 6,96 | 12,36 | 23,12 | 55,28 | 118,1 | 224,2 | 544 | 1080 | 2139 | 5231 |
| <i>C</i> | 1,289 | 1,207 | 1,160 | 1,124 | 1,101 | 1,084 | 1,074 | 1,068 | 1,067 | 1,070 | 1,064 | 1,041 |

MW 1,067.

Tab. VII.

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>r</i> | 1 | 2 | 6 | 11 | 21 | 51 | 110 | 210 | 510 | 1010 | 2010 | 4010 | 8010 |
| <i>r</i> ₀ | 1,251 | 2,405 | 6,9 | 12,26 | 22,8 | 55,11 | 117,7 | 223,3 | 544 | 1071 | 2141 | 4221 | 8258 |
| <i>C</i> | 1,251 | 1,202 | 1,150 | 1,115 | 1,095 | 1,081 | 1,070 | 1,063 | 1,067 | 1,060 | 1,065 | 1,050 | 1,031 |

MW 1,064.

Die Mehrgewichte über die einfachen Zahlen 10, 20, 50 u. s. w. sind durch die Vorrichtung zum Aufhängen bedingt, welche bei den kleineren Gewichten 1 g, bei den größeren 10 g betrug. Durch Aenderung der Entfernungen konnten die in Tabelle V benutzten Gewichte hergestellt werden. Bei den weiteren Versuchen wurden ausschließlich die runden Zahlen angewandt.

Die nachfolgenden 2 Tabellen geben die Mittelwerthe der Versuchsgruppen bei 1 mm Berührungsfläche und Benutzung zweier beziehentlich eines Fingers.

Tab. VIII.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>r</i> | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| <i>r</i> ₀ | 1,206 | 2,316 | 5,600 | 10,91 | 21,48 | 52,80 | 106,4 | 210,8 | 525,0 | 1057 | 2080 | 4100 |
| <i>C</i> | 1,206 | 1,158 | 1,120 | 1,091 | 1,074 | 1,056 | 1,064 | 1,054 | 1,050 | 1,057 | 1,040 | 1,025 |

MW 1,056.

Tab. IX.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>r</i> | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| <i>r</i> ₀ | 1,180 | 2,284 | 5,570 | 10,91 | 21,50 | 53,07 | 105,0 | 210,5 | 523,1 | 1050 | 2064 | 4062 |
| <i>C</i> | 1,180 | 1,142 | 1,114 | 1,091 | 1,075 | 1,061 | 1,050 | 1,052 | 1,046 | 1,050 | 1,032 | 1,015 |

MW 1,050.

Eine Vergleichung dieser Ergebnisse ist nicht thunlich, da die Tabellen die Mittelwerthe aus mehreren, zu sehr verschiedenen Zeiten angestellten Versuchsgruppen enthalten. Dagegen wurden die in den folgenden Tabellen mitgetheilten Gruppen so ausgeführt, dass alle Zeit- und Raumfehler nach Möglichkeit ausgeschlossen sein dürften. Bei diesen Versuchen wurden der Reihe nach 2 Finger und 1 mm beziehentlich 7 mm Berührungsfläche, 1 Finger und 1 mm beziehentlich 7 mm Berührungsfläche benutzt und überdies wurde jeweils nur derjenige Werth aufgezeichnet, bei welchem der Unterschied eben bemerkt werden konnte. Da alle Versuche in völlig entgegengesetzter Reihenfolge wiederholt wurden, so enthält jede Tabelle die Mittel aus 2 Versuchsgruppen.

Tab. X.

| r | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r_o | 1,358 | 2,547 | 6,020 | 11,66 | 22,64 | 55,08 | 109,6 | 222,2 | 548,2 | 1092 | 2164 | 4201 |
| C | 1,358 | 1,273 | 1,204 | 1,166 | 1,132 | 1,102 | 1,096 | 1,111 | 1,098 | 1,092 | 1,082 | 1,050 |

MW 1,100.

Tab. XI.

| r | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r_o | 1,397 | 2,643 | 6,340 | 12,25 | 23,87 | 58,65 | 115,1 | 226,8 | 567,8 | 1128 | 2262 | 5372 |
| C | 1,397 | 1,321 | 1,268 | 1,225 | 1,193 | 1,173 | 1,151 | 1,134 | 1,136 | 1,128 | 1,131 | 1,074 |

MW 1,132.

Tab. XII.

| r | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r_o | 1,323 | 2,513 | 5,960 | 11,40 | 22,04 | 54,23 | 107,4 | 215,6 | 538,9 | 1081 | 2126 | 4156 |
| C | 1,323 | 1,256 | 1,192 | 1,140 | 1,102 | 1,085 | 1,074 | 1,078 | 1,078 | 1,081 | 1,063 | 1,039 |

MW 1,078.

Tab. XIII.

| r | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r_o | 1,343 | 2,547 | 6,110 | 11,84 | 23,13 | 56,86 | 111,8 | 218,4 | 544,0 | 1087 | 2184 | 5326 |
| C | 1,343 | 1,273 | 1,222 | 1,184 | 1,156 | 1,137 | 1,118 | 1,092 | 1,088 | 1,087 | 1,092 | 1,065 |

MW 1,090.

Diese Versuche zeigen unzweideutig, dass die C bei Benutzung eines Fingers wesentlich kleiner sind, als bei Anwendung zweier Finger, und dass ferner die C bei 7 mm Berührungsfläche größer sind als bei 1 mm. Im übrigen zeigen alle Beobachtungsgruppen in gleicher Weise eine Abnahme der C bis zu 200 g bei 7 mm und bis zu 100 (50) g bei 1 mm Berührungsfläche und sodann eine weitere Abnahme über 2000 beziehentlich 1000 g hinaus. Innerhalb dieser Grenzen zeigen sich nur unregelmäßige Schwankungen, die C sind also für diese Reizwerthe als constant zu betrachten. Demnach erweist sich das Weber'sche Gesetz für eine mittlere Gruppe von Reizen (200 bis 2000, bez. 100 bis 1000 g) als gültig, während es nach unten und oben Abweichungen darbietet.

Die Resultate sind mit den Werthen anderer Forscher nicht vergleichbar, da sich alle Versuche, welche ein größeres Reizgebiet umfassen, auf Druck- und Bewegungsempfindungen beziehen. Die Versuche Weber's¹⁾ über bloße Druckreize beziehen sich nur auf 2 verschiedene constante Reize (32 Unzen und 32 Drachmen [d. i. 4 Unzen]) und lieferten bei gleichzeitigem Einwirken der Reize für C den Werth 1,500 bis 1,333, während bei Aufeinanderfolge der Reize die Grenzen 1,071 bis 1,034 sich herausstellten.

Die Versuche Hering's²⁾, welche sich auf die Gewichte 250 bis 3000 g beziehen, ergaben folgende Werthe von C :

Tab. XIV.

| r | 250 | 500 | 750 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2250 | 2500 | 3000 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C | 0,050 | 0,027 | 0,017 | 0,015 | 0,013 | 0,011 | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,009 | 0,010 |

MW 0,010.

Hier zeigt sich eine annähernde Uebereinstimmung der C erst von dem Reize 1500 g an, jedenfalls infolge des störenden Einflusses des Armgewichtes.

Bevor wir die weitere Behandlung der Versuchsergebnisse dieses Abschnittes vornehmen, wollen wir die Versuche nach der Methode der doppelten Reize zur Mittheilung bringen. Wegen der unter-

1) Vergl. Müller, Zur Grundlegung der Psychophysik, S. 191 u. 192.

2) Vergl. Fechner, In Sachen der Psychophysik, S. 193.

geordneten Bedeutung gerade dieser Versuche wollen wir uns in der Hauptsache auf die Mittheilung derjenigen Versuche beschränken, welche mit dem letzten und vollkommensten Apparate angestellt worden sind.

B. Die Methode der doppelten Reize.

Bei den vorliegenden Versuchen galt es, ähnlich wie bei den entsprechenden Versuchen über Lichtreize, zu einem gegebenen Reize R nach der Empfindung den doppelten Reiz zu ermitteln. Zu dem Zwecke wurde der Vergleichsreiz erst so lange vergrößert, bis er mindestens die doppelte Empfindung zu verursachen schien, sodann wurde der Vergleichsreiz wesentlich stärker genommen und so lange verkleinert, bis die doppelte Empfindung noch sicher wahrzunehmen war. Bezeichnet man die beiden Werthe durch R_1^u und R_1^o , so bildete das geometrische Mittel aus diesen Werthen den gesuchten doppelten Reiz R_1 . Auch hier musste R in jeder Versuchsreihe einmal rechts, einmal links liegen, einmal musste R zuerst, dann R_1 zuerst einwirken. Wurde ferner bei Beginn mit dem kleinsten Ausgangsreize immer R_1^u zuerst ermittelt, so wurde bei dem umgekehrten Gange R_1^o zuerst bestimmt. Bei diesen Versuchen waren übrigens im Gegensatze zu den Lichtversuchen R_1^u und R_1^o wesentlich verschieden und überdies durchgängig $R_1^u < R_1^o$. Es ist deshalb das Verhältniss $A = \frac{R_1^o}{R_1}$ neben $B = \frac{R_1}{R}$ berechnet worden. Ersteres muss sich innerhalb der Grenzen der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes als constant erweisen. Bei diesen Versuchen befand sich übrigens der Drehpunkt der Wagen in einer Entfernung von 20 cm, um durch bloße Verschiebung die doppelte Reizstärke erreichen zu können. War letzteres nicht der Fall (bei kleinen Gewichtsreizen), so musste als Vergleichsreiz ein größeres Gewicht benutzt werden. Um auch hier ein vollständiges Beispiel mitzutheilen, wählen wir wieder den Ausgangsreiz 1 g, welcher durch das Gewicht von 1 g in 20 cm Entfernung hervorgebracht wurde. Für den Vergleichsreiz erhielten wir bei Beginn mit 1 g die Werthe:

| | | | | |
|--------------|------|------|------|-----------|
| R_1^u 493. | 480. | 513. | 486. | MW 493. |
| R_1^o 569. | 576. | 605. | 582. | MW 583. |

Das geometrische Mittel ist 536,1. Mit dieser Zahl ist wieder das jeweils benutzte Gewicht zu multipliciren und das Product durch 200 zu dividiren. Man erhält im vorliegenden Falle $R_1 = 2,680$ g, ferner $A = 1,087$ und $B = 2,680$.

Bei der entgegengesetzten Reihenfolge der Gewichte ergaben sich die Werthe:

| | | | | |
|--------------------|------|------|------|-------------|
| R_1° 598. | 579. | 573. | 607. | MW 589,2. |
| $R_1^{\#}$ 502. | 490. | 496. | 511. | MW 499,7. |

Das geometrische Mittel beträgt hier 543,2, ferner ist: $R_1 = 2,716$ g, $A = 1,085$, $B = 2,716$. Den weiteren Rechnungen wurden wieder die Mittelwerthe zweier solcher Reihen zu Grunde gelegt, falls nicht mehrere Versuchsgruppen vereinigt wurden.

Bei Benutzung eines Fingers und bei der Berührungsfläche 7 mm ergaben sich die Werthe der folgenden Tabellen, die sich der Zeit nach den Versuchen der Tabellen V bis VII anschlossen. Um nämlich die Resultate der verschiedenen Methoden besser vergleichen zu können, mussten die einzelnen Versuchsgruppen gleich bei allen 3 Methoden durchgeführt werden. Letzteres ist bei den sämtlichen Versuchen mittels des neuen Apparates geschehen.

Tab. XV.

| R | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R_1 | 2,698 | 4,782 | 11,22 | 21,46 | 41,50 | 100,9 | 200,0 | 398,0 | 983,0 | 1906 | 3902 |
| A | 1,086 | 1,095 | 1,083 | 1,089 | 1,084 | 1,088 | 1,081 | 1,065 | 1,071 | 1,065 | 1,073 |
| B | 2,698 | 2,391 | 2,244 | 2,146 | 2,075 | 2,018 | 2,000 | 1,990 | 1,966 | 1,906 | 1,851 |

Tab. XVI.

| R | 1 | 3 | 6 | 11 | 21 | 51 | 110 | 210 | 510 | 1010 | 2010 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R_1 | 2,705 | 6,952 | 13,44 | 23,61 | 43,62 | 102,0 | 215,6 | 406,3 | 971,5 | 1884 | 3608 |
| A | 1,086 | 1,103 | 1,105 | 1,108 | 1,121 | 1,091 | 1,087 | 1,078 | 1,067 | 1,070 | 1,066 |
| B | 2,705 | 2,317 | 2,232 | 2,146 | 2,077 | 2,000 | 1,960 | 1,935 | 1,905 | 1,865 | 1,795 |

Tab. XVII.

| R | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 51 | 110 | 210 | 510 | 1010 | 2010 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R_1 | 2,669 | 4,722 | 11,21 | 21,29 | 40,88 | 101,5 | 213,9 | 399 | 951,1 | 1863 | 3638 |
| A | 1,099 | 1,100 | 1,108 | 1,113 | 1,110 | 1,112 | 1,122 | 1,125 | 1,120 | 1,109 | 1,094 |
| B | 2,669 | 2,361 | 2,242 | 2,129 | 2,004 | 1,990 | 1,945 | 1,900 | 1,865 | 1,845 | 1,810 |

Den Tabellen VIII und IX entsprechend ergaben sich bei den weiteren Versuchsgruppen bei Benutzung von 2 Fingern, beziehentlich eines Fingers und 1 mm Berührungsfläche die in folgenden Tabellen verzeichneten Mittelwerthe.

Tab. XVIII.

| <i>R</i> | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> ₁ | 4,380 | 6,927 | 14,16 | 23,98 | 43,52 | 104,0 | 200,7 | 399,0 | 979 | 1881 | 3497 |
| <i>A</i> | 1,118 | 1,116 | 1,104 | 1,111 | 1,115 | 1,111 | 1,123 | 1,104 | 1,090 | 1,067 | 1,065 |
| <i>B</i> | 4,380 | 3,463 | 2,832 | 2,398 | 2,176 | 2,080 | 2,007 | 1,995 | 1,958 | 1,881 | 1,748 |

Tab. XIX.

| <i>R</i> | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> ₁ | 3 | 5,176 | 11,96 | 21,89 | 41,42 | 101,2 | 200,7 | 399,0 | 974,6 | 1856 | 3456 |
| <i>A</i> | 1,057 | 1,076 | 1,079 | 1,081 | 1,071 | 1,073 | 1,082 | 1,085 | 1,079 | 1,070 | 1,061 |
| <i>B</i> | 3 | 2,588 | 2,392 | 2,189 | 2,071 | 2,024 | 2,007 | 1,995 | 1,949 | 1,856 | 1,728 |

Schließlich fügen wir noch die Mittelwerthe aus einigen zur Ergänzung angestellten Versuchsgruppen bei, bei welchen die Berührungsfläche 7 mm war und beide Finger benutzt wurden.

Tab. XX.

| <i>R</i> | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> ₁ | 4,680 | 7,192 | 14,46 | 25,08 | 44,78 | 105,1 | 204,6 | 401,6 | 985,6 | 1899 | 3568 |
| <i>A</i> | 1,111 | 1,101 | 1,099 | 1,106 | 1,112 | 1,090 | 1,112 | 1,104 | 1,094 | 1,076 | 1,068 |
| <i>B</i> | 4,680 | 3,596 | 2,892 | 2,508 | 2,239 | 2,102 | 2,046 | 2,008 | 1,971 | 1,899 | 1,784 |

Was zunächst die Werthe *A* anlangt, so sind dieselben in jeder Tabelle nahezu constant und bei Benutzung zweier Finger größer als bei Anwendung eines Fingers, wie die Tabellen XVIII und XIX erkennen lassen. Ferner zeigen die Verhältnisse *B* durchgängig eine beständige Abnahme. Hinsichtlich der Verhältnisse *B* findet aber im Bezug auf die absoluten Werthe ein wesentlicher Unterschied bei Benutzung eines Fingers oder zweier verschiedener Finger statt. Im letzteren Falle erreichen die Verhältnisse *B* namentlich bei den kleineren Reizen wesentlich höhere Werthe. Aehnliches

gilt bei Anwendung eines Fingers beim Uebergange von 7 mm zu 1 mm Berührungsfläche; auch hier sind die Werthe von *B* im letzteren Falle größer als im ersteren, ohne jedoch die Höhe der entsprechenden Werthe bei Benutzung verschiedener Finger zu erreichen. Gerade diese Verhältnisse sind für die Erklärung der Versuchsergebnisse von besonderer Wichtigkeit. Die Ergebnisse der Tabelle XX entsprechen übrigens vollkommen den Resultaten der zahlreichen Versuche, welche mit dem unvollkommeneren zweiten Apparate angestellt wurden und die sich auf den Reizumfang 10 bis 2010 erstreckten. Die Versuche mittels der Federwagen zeigten ähnlich wie bei den Versuchen nach der Methode der ebenmerklichen Unterschiede größere Werthe für *A* und *B*, wenn die Reize gleichzeitig einwirkten, als bei Aufeinanderfolge derselben. Wir theilen die Mittelwerthe dieser beiden Versuchsgattungen mit.

Tab. XXI.

| <i>R</i> | 25 | 50 | 100 | 250 | 500 | 1000 | 2500 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> ₁ | 61,8 | 104,1 | 200,9 | 501,2 | 998 | 1968 | 4780 |
| <i>A</i> | 1,250 | 1,184 | 1,193 | 1,209 | 1,186 | 1,157 | 1,191 |
| <i>B</i> | 2,472 | 2,082 | 2,009 | 2,005 | 1,996 | 1,968 | 1,912 |

Tab. XXII.

| <i>R</i> | 25 | 50 | 100 | 250 | 500 | 1000 | 2500 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> ₁ | 56,94 | 101,2 | 200,1 | 498,4 | 990,4 | 1939 | 4700 |
| <i>A</i> | 1,144 | 1,130 | 1,100 | 1,109 | 1,096 | 1,105 | 1,099 |
| <i>B</i> | 2,278 | 2,024 | 2,001 | 1,994 | 1,981 | 1,939 | 1,880 |

Wir wenden uns nunmehr zur Mittheilung der Versuchsergebnisse bei Anwendung der Methode der mittleren Abstufungen, nach welcher nur mit dem letzten Apparate Versuche angestellt werden konnten.

C. Die Methode der mittleren Abstufungen.

Die Versuche nach der Methode der mittleren Abstufungen wurden in den verschiedensten Anordnungen ausgeführt. Zunächst wurde nur ein Finger benutzt und eine Berührungsfläche von 7 mm. Die constanten Reize boten die verschiedensten Verhältnisse dar, von 2 bis 100. Auch bei diesen Versuchen war auf den allseitigen Wechsel der Zeit- und Raumlage zu achten. Um den Gang der Versuche zu erläutern, wählen wir am einfachsten ein vollständiges Beispiel. Die unveränderlichen Reize seien $R_1 = 1$ g und $R_2 = 10$ g, der eine links, der andere rechts. Der mittlere Reiz R wird alsdann bestimmt mittels eines Gewichts von 3 g, welches zunächst die Entfernung 180 mm hat. Die Entfernung wird dann so lange vergrößert, bis der Reiz in der Mitte zu liegen scheint. Dann geht man etwa von der Entfernung 500 mm aus und verringert dieselbe so lange, bis die Mitte wieder erreicht zu sein scheint. Beide Versuche werden ausgeführt, indem die Reize in den verschiedenen Reihenfolgen $R_1 R_m R_2$ und $R_2 R_m R_1$ einwirken. In ähnlicher Weise werden dann 4 Werthe gewonnen, während sich R_1 links und R_2 rechts befindet. Dadurch werden nicht nur die Zeit- und Raumfehler, sondern auch kleine Verschiedenheiten der Wagen aufgehoben.

Die erhaltenen Zahlen waren:

| | | | | |
|------|------|------|------|------------------|
| 290. | 270. | 283. | 310. | <i>MW</i> 288,2. |
| 350. | 328. | 338. | 359. | <i>MW</i> 343,7. |

Nachdem diese Versuche für die ganze Reihe der benutzten Gewichte durchgeführt waren, wurde wiederum eine ähnliche Reihe in entgegengesetzter Reihenfolge ausgeführt. Dieselbe lieferte für 1 und 10 g die Werthe:

| | | | | |
|------|------|------|------|------------------|
| 286. | 310. | 305. | 269. | <i>MW</i> 292,5. |
| 327. | 346. | 341. | 305. | <i>MW</i> 329,7. |

Die beiden kleinsten und größten Mittelwerthe wurden nun zu arithmetischen Mitteln vereinigt und aus beiden Werthen das geometrische Mittel gebildet. Dasselbe ist hier 312,6. Mit dieser Zahl ist das Gewicht 3 g zu multipliciren und das Product durch 200 zu dividiren. Man erhält so: $R_m = 4,689$ g. Das geometrische Mittel der Reize R_1 und R_2 ist $R_g = 3,162$ g, das arithmetische aber:

$R_a = 5,5$ g. Berechnet man wie bei den Lichtversuchen die relativen Abweichungen nach den Formeln:

$$F_g = \frac{R_m}{R_g} - 1 \quad \text{und} \quad F_a = \frac{R_m}{R_a} - 1,$$

so erhält man: $+0,483$ und $-0,157$. Auffällig ist hier der stets wieder sich geltend machende Unterschied der Zahlen beim Uebergange vom kleinsten zum größten Gewicht und umgekehrt. Im ersteren Falle ergaben sich stets größere Werthe als im letzteren. Bei ausschließlicher Benutzung der ersteren Werthe würde sich im vorliegenden Falle für R_m der Werth $4,882$ g, bei ausschließlicher Anwendung der letzteren aber $4,495$ g ergeben. Wir theilen in der folgenden Tabelle, welche sich der Zeit nach an die Tabellen V und XV anschloss, die Maximal- und Minimalwerthe von R_m mit unter der Bezeichnung Max. und Min. Die übrigen Bezeichnungen sind bereits im Vorangehenden erwähnt.

Tab. XXIII.

| R_1 | R_2 | R_m | Max. | Min. | R_g | R_a | F_g | F_a |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1 | 10 | 4,689 | 4,882 | 4,495 | 3,162 | 5,5 | 0,483 | - 0,157 |
| 2 | 20 | 9,801 | 10,27 | 9,327 | 6,325 | 11 | 0,550 | - 0,109 |
| 5 | 50 | 21,97 | 23,03 | 21,42 | 15,81 | 27,5 | 0,390 | - 0,201 |
| 10 | 100 | 46,36 | 48,1 | 44,57 | 31,62 | 55 | 0,466 | - 0,157 |
| 20 | 200 | 92,37 | 96,39 | 88,36 | 63,25 | 110 | 0,460 | - 0,160 |
| 50 | 500 | 215,3 | 220,3 | 209,0 | 158,1 | 275 | 0,336 | - 0,220 |
| 100 | 1000 | 430,7 | 446,8 | 415,0 | 316,2 | 550 | 0,362 | - 0,217 |
| 200 | 2000 | 948,3 | 994,5 | 901,9 | 632,5 | 1100 | 0,499 | - 0,138 |
| 500 | 5000 | 2435 | 2563 | 2306 | 1581 | 2750 | 0,540 | - 0,119 |

Die Versuche, welche sich an die früheren Tabellen VI, VII und XVI, XVII anschlossen, erstreckten sich auf die verschiedensten Reizverhältnisse $\frac{R_2}{R_1}$ und entsprachen den Versuchen über Lichtempfindungen. Wir wollen die zusammengehörigen durch dieselben Zahlen und die Buchstaben a , b , c kennzeichnen und der Raumsparniss wegen je 2 Tabellen zusammen fassen. Etwa eingeklammerte Zahlen beziehen sich immer auf die zweite Tabelle.

Tab. XXIV und XXVa.

| R_1 | R_2 | R_m | | R_g | R_a | F_g | | F_a | |
|-------|-----------|-------|-------|---------------|---------------|-------|-------|--------|--------|
| 1 | 2 | 1,481 | 1,466 | 1,414 | 1,5 | 0,047 | 0,037 | -0,013 | -0,023 |
| 1 | 5 | 2,721 | 2,784 | 2,236 | 3 | 0,217 | 0,245 | -0,093 | -0,072 |
| 1 | 11 (10) | 5,263 | 4,839 | 3,317 (3,162) | 6 (5,5) | 0,587 | 0,530 | -0,126 | -0,120 |
| 1 | 21 (20) | 9,255 | 8,885 | 4,583 (4,472) | 11 (10,5) | 1,019 | 0,987 | -0,159 | -0,154 |
| 1 | 51 (50) | 21,12 | 20,8 | 7,141 (7,071) | 26 (25,5) | 1,958 | 1,941 | -0,188 | -0,184 |
| 51 | 110 | 78,5 | 78,79 | 74,9 | 80,5 | 0,048 | 0,052 | -0,025 | -0,021 |
| 51 | 210 | 116,3 | 121,9 | 103,5 | 130,5 | 0,124 | 0,178 | -0,109 | -0,066 |
| 51 | 510 | 230,4 | 247,5 | 161,3 | 280,5 | 0,428 | 0,535 | -0,179 | -0,118 |
| 51 | 1010 (20) | 425,2 | 465,4 | 227 (228,1) | 530,5 (535,5) | 0,873 | 1,040 | -0,200 | -0,131 |
| 51 | 2010 | 793 | 887,4 | 320,2 | 1030,5 | 1,477 | 1,772 | -0,230 | -0,139 |
| 51 | 5025 | 2232 | 2101 | 506,2 | 2538 | 3,409 | 3,545 | -0,120 | -0,094 |

Tab. XXIV und XXVb.

| R_1 | R_2 | R_m | | R_g | R_a | F_g | | F_a | |
|---------|---------|-------|-------|---------------|-------------|-------|-------|--------|--------|
| 1 | 51 (50) | 20,96 | 20,57 | 7,141 (7,071) | 26 (25,5) | 0,935 | 1,909 | -0,194 | -0,193 |
| 3 (2) | 51 (50) | 23,87 | 22,02 | 12,37 (10) | 27 (26) | 0,930 | 1,202 | -0,116 | -0,153 |
| 6 (5) | 51 (50) | 27,34 | 25,15 | 17,49 (15,81) | 28,5 (27,5) | 0,564 | 0,591 | -0,041 | -0,085 |
| 11 (10) | 51 (50) | 30,03 | 28,80 | 23,69 (22,36) | 31 (30) | 0,268 | 0,129 | -0,031 | -0,040 |
| 21 (20) | 51 (50) | 35,60 | 34,50 | 32,73 (31,62) | 36 (35) | 0,100 | 0,091 | -0,011 | -0,014 |
| 51 | 4010 | 1998 | 1934 | 452,2 | 2030,5 | 3,411 | 3,277 | -0,016 | -0,048 |
| 110 | 4010 | 2061 | 2050 | 636,4 | 2060 | 2,239 | 2,221 | -0,000 | -0,005 |
| 210 | 4010 | 2132 | 2176 | 897,8 | 2110 | 1,375 | 1,424 | -0,010 | +0,031 |
| 510 | 4010 | 2397 | 2388 | 1416 | 2260 | 0,693 | 0,686 | -0,061 | +0,057 |
| 1010 | 4010 | 2664 | 2714 | 2012 | 2510 | 0,324 | 0,391 | -0,061 | +0,081 |
| 2010 | 4010 | 3361 | 3316 | 2839 | 3010 | 0,184 | 0,172 | -0,117 | +0,102 |

Tab. XXIV und XXVc.

| R_1 | R_2 | R_m | | R_g | R_a | F_g | | | F_a | |
|---------|---------|-------|--------|---------------|-------------|-------|-------|--------|--------|--|
| 1 | 5 | 2,52 | 2,52 | 2,236 | 3 | 0,127 | 0,127 | -0,160 | -0,160 | |
| 2 | 11 (10) | 5,55 | 5,19 | 4,69 (4,472) | 6,5 (6) | 0,183 | 0,161 | -0,146 | -0,135 | |
| 6 (5) | 21 (20) | 12,37 | 11,44 | 11,22 (10) | 13,5 (12,5) | 0,103 | 0,144 | -0,084 | -0,085 | |
| 11 (10) | 51 (50) | 29,03 | 28,20 | 23,68 (22,36) | 31 (30) | 0,226 | 0,261 | -0,063 | -0,060 | |
| 21 | 110 | 59,44 | 60,6 | 48,06 | 65,5 | 0,234 | 0,261 | -0,093 | -0,075 | |
| 51 | 210 | 123,5 | 126,5 | 103,5 | 130,5 | 0,193 | 0,222 | -0,054 | -0,031 | |
| 110 | 510 | 283,3 | 300,7 | 236,8 | 310 | 0,197 | 0,269 | -0,086 | -0,030 | |
| 210 | 1010 | 572,7 | 598,7 | 460,5 | 610 | 0,244 | 0,279 | -0,061 | -0,019 | |
| 510 | 2010 | 1257 | 1268,5 | 1015 | 1260 | 0,238 | 0,250 | -0,002 | +0,007 | |
| 1010 | 5025 | 3157 | 3186 | 2253 | 3017 | 0,401 | 0,414 | +0,046 | +0,056 | |

Während bei den vorstehenden Versuchen die Berührungsfläche stets 7 mm betrug, war dieselbe bei den Versuchen der Tabellen XXVI und XXVII nur 1 mm. Im ersteren Falle wurden überdies beide Zeigefinger benutzt. Bei dieser Versuchsanordnung musste R_m eben so oft mit dem Zeigefinger der linken Hand als mit demjenigen der rechten Hand ermittelt werden. Tabelle XXVIII bezieht sich schließlich auf Versuche mit 2 Fingern und 7 mm Berührungsfläche. Die Versuche dieser Tabellen schließen sich an VIII, IX, XI und XVIII, XIX, XX an.

Tab. XXVI, XXVII, XXVIII.

| R_1 | R_2 | R_m | | | R_g | R_a | F_g | | | F_a | | |
|--------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1 | 10 | 5,040 | 4,547 | 4,770 | 3,162 | 5,5 | 0,594 | 0,438 | 0,509 | -0,084 | -0,173 | -0,133 |
| 2 | 20 | 10,71 | 9,498 | 10,08 | 6,325 | 11 | 0,693 | 0,502 | 0,594 | -0,126 | -0,137 | -0,084 |
| 5 | 50 | 23,65 | 22,12 | 22,93 | 15,81 | 27,5 | 0,496 | 0,399 | 0,463 | -0,140 | -0,195 | -0,166 |
| 10 | 100 | 49,35 | 46,25 | 47,88 | 31,62 | 55 | 0,561 | 0,463 | 0,514 | -0,103 | -0,159 | -0,129 |
| 20 | 200 | 101,5 | 93,47 | 97,15 | 63,25 | 110 | 0,605 | 0,477 | 0,536 | -0,077 | -0,150 | -0,117 |
| 50 | 500 | 240,1 | 223,9 | 231,3 | 158,1 | 275 | 0,519 | 0,416 | 0,463 | -0,127 | -0,185 | -0,159 |
| 100 | 1000 | 475,6 | 445,2 | 460,9 | 316,2 | 550 | 0,504 | 0,408 | 0,458 | -0,135 | -0,191 | -0,162 |
| 200 | 2000 | 1063 | 981,8 | 1019 | 632,5 | 1100 | 0,681 | 0,552 | 0,611 | -0,034 | -0,107 | -0,074 |
| 400 (500) | 4000 (5000) | 3541 | 3022 | 3365 | 1265 (1581) | 2200 (2750) | 1,799 | 1,340 | 1,128 | +0,609 | +0,374 | +0,224 |

Die vorstehenden Tabellen zeigen, dass der erhaltene Mittelwerth in den meisten Fällen zwischen dem arithmetischen und geometrischen Mittel der unveränderlichen Reize gelegen ist, und zwar durchgängig sich dem ersten Mittel nähernd. In vereinzeltten Fällen ist R_m sogar größer als das arithmetische Mittel R_a . Die relativen Abweichungen F_g zeigen eine regelmäßige Zunahme mit dem Wachstum der Verhältnisse $\frac{R_2}{R_1}$, ähnliches gilt im allgemeinen auch von den wesentlich geringeren relativen Abweichungen F_a . Bei den gleichen Verhältnissen $\frac{R_2}{R_1}$ zeigt sich eine regelmäßige Zu- oder Abnahme der relativen Abweichungen nicht, dieselben zeigen vielmehr unregelmäßige Schwankungen.

Ich wende mich nun zur Untersuchung der Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindungsschätzung, wie sie sich in den Versuchsergebnissen der letzten 3 Abschnitte offenbart.

D. Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindungsschätzung.

1. Allgemeine Bemerkungen.

Die Versuche über die Prüfung des Weber'schen Gesetzes haben ohne Ausnahme zunächst eine beträchtliche Abnahme der Verhältnisse C ergeben, dann erwiesen sich dieselben innerhalb einer Gruppe mittlerer Reize als constant, um schließlich von neuem abzunehmen. Dem entsprechend zeigten die Versuche nach der Methode der doppelten Reize für die Verhältnisse B anfangs größere Werthe als 2, um alsdann bei den mittleren Reizen den Werth 2 zu erreichen und schließlich noch weiter abzunehmen. Von größter Wichtigkeit ist hier die Verschiedenheit der Resultate bei Benutzung zweier Finger und eines Fingers. Während die B im letzteren Falle nur innerhalb der Grenzen 2,7 bis 1,8 sich bewegen, liegen sie im ersteren Falle zwischen 4,7 und 1,8. Vergleicht man diese Abnahme mit derjenigen bei den Weber'schen Versuchen (1,25 bis 1,07), so erkennt man im Hinblick auf die Erfahrungen bei der Behandlung der Lichtversuche, dass diejenigen Versuchsergebnisse nach der Methode der doppelten Reize mit den Versuchen nach der Methode der eben merklichen Unterschiede mehr im Einklang stehen, bei

denen die B den größeren Zwischenraum durchlaufen. Die Ursache der Verschiedenheit ist jedenfalls in der Einwirkung des Contrastes zu suchen. Wenn derselbe Theil des Fingers bereits einen stärkeren Reiz empfunden hat, wird ein nachfolgender schwächerer nicht in seiner wirklichen Stärke empfunden, sondern er erscheint schwächer. Dies beruht jedenfalls auf einer Contrastwirkung, die in peripherischen Nachwirkungen ihre Ursache hat. Man sollte meinen, diesen Contrasteinfluss durch die Umkehrung der Versuchsanordnung aufheben zu können. Nun ergeben sich zwar bei umgekehrter Versuchsanordnung, also wenn der schwache Reiz zuerst einwirkt, bei Ermittlung des doppelten Reizes etwas größere Werthe als im ersten Falle, allein diese Zunahme ist zu unbedeutend, um den Einfluss des Contrastes aufheben zu können. Möglicherweise tritt zu jener peripherischen Contrastwirkung noch eine zweite, welche sich aus centralen Wirkungen erklären dürfte. Wir zeigen uns geneigt, einen stärkeren Reiz zu überschätzen, wenn er einem schwächeren unmittelbar folgt. Die peripherischen Contrastwirkungen verschwinden aber, wenn wir bei den Versuchen verschiedene Finger benutzen. Daher rührt der bedeutende Unterschied der Resultate bei der Methode der doppelten Reize, je nachdem ein oder zwei Finger verwandt werden. Diese Contrasteinflüsse werden auch zu einem Theile bei Benutzung der kleineren Berührungsfläche aufgehoben, weil bei dieser nicht immer dieselben Theile des Fingers vom Reize getroffen werden. Höchst wahrscheinlich ist auch die verschiedene Größe der C der Weber'schen Versuche eine Folge des Contrastes. Der Unterschied zweier Reize wird stets durch den Contrast gehoben; infolge dessen wird der Unterschied zweier Reize da eher erkannt werden, wo die Contrastwirkung nicht ausgeschlossen ist. Dieselbe kann aber am stärksten hervortreten bei Anwendung eines Fingers. In der That sind hier die Werthe C am kleinsten gefunden worden (1,100 und 1,132 bei zwei Fingern; 1,078 und 1,090 bei einem Finger).

Die Versuche nach der Methode der mittleren Abstufungen unterliegen ebenfalls der Einwirkung des Contrastes. Es geht dies deutlich aus den wesentlich geringeren Werthen R_m hervor, welche beim Ausgange von dem stärksten Reize erhalten wurden. Doch kann bei diesen Versuchen durch den Wechsel der Zeit- und

Raumlage der Einfluss des Contrastes in bei weitem höherem Maße aufgehoben werden.

Die Abweichungen vom arithmetischen Mittel erklären sich hier nicht allein durch die Einwirkung des Contrastes, sondern jedenfalls zum größten Theile durch die auch für Druckreize bestehende langsamere Zunahme der Empfindung mit dem Reize. Es handelt sich also zunächst darum, die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung auf Grund derjenigen Formeln zu berechnen, welche ich in der ersten Abtheilung dieser Abhandlung¹⁾ entwickelt habe, nämlich auf Grund der Formeln:

$$\text{I. } k_n = k \frac{\left(\frac{E_1}{E}\right)^n}{\frac{R_n}{R}},$$

$$\text{II. } k_n = \frac{k_1 R_1 + k_2 R_2}{2 R_n}.$$

2. Berechnung der Coefficienten k .

Die Berechnung der k geschieht auf dieselbe Weise wie bei den Versuchen über Lichtempfindungen. Die Tabellen I und II wegen ihres geringen Reizumfangs übergehend, erhalten wir zunächst für die Tabellen III und IV die in folgenden Tabellen enthaltenen Werthe für k .

Tab. XXIX.

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 10 | 19,87 | 41,07 | 71,4 | 104,4 | 205,4 | 4046 | 6249 | 8279 |
| k | 0,280 | 0,220 | 0,193 | 0,186 | 0,183 | 0,180 | 0,180 | 0,197 | 0,231 |
| E | 2,80 | 4,37 | 7,93 | 13,28 | 19,12 | 36,97 | 728,3 | 1231 | 1912 |

Tab. XXX.

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 10 | 22,1 | 39,6 | 67,6 | 100,8 | 2020 | 3980 | 6135 |
| k | 0,280 | 0,209 | 0,179 | 0,161 | 0,154 | 0,154 | 0,160 | 0,170 |
| E | 2,80 | 4,62 | 7,09 | 10,88 | 15,52 | 311,1 | 636,8 | 1043 |

1) Wundt, Philos. Studien, IV, S. 573.

Wir haben in den vorstehenden Tabellen für den Reiz 10 den Werth 0,280 für k zu Grunde gelegt, um die Resultate mit denjenigen der weiteren Tabellen vergleichen zu können, bei denen der Ausgangsreiz 1 g war. Für diese Tabellen legen wir für den Reiz 1 g durchgängig den Werth $k = 1$ zu Grunde. Den Tabellen V—VII entsprechen die in folgenden Tabellen verzeichneten Werthe für k . In der ersten Tabelle sind übrigens auch diejenigen Werthe von E mit den entsprechenden k mitgetheilt, welche der Fechner'schen logarithmischen Formel entsprechen würden (E_F und k_F), sowie die ε der bekannten Plateau'schen Formel. Die Abkürzung F. bedeutet die Zahl der benutzten Finger, B. die Berührungsfläche.

Tab. XXXI.

1 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| R | 1 | 2,265 | 4,292 | 8,240 | 15,72 | 32,40 | 63,33 | 119,0 | 212,4 | 2000 | 3387 | 5063 |
| k | 1 | 0,583 | 0,406 | 0,300 | 0,238 | 0,202 | 0,179 | 0,167 | 0,163 | 0,163 | 0,165 | 0,180 |
| E | 1 | 1,320 | 1,744 | 2,469 | 3,746 | 6,533 | 11,39 | 19,87 | 34,65 | 326,0 | 558,8 | 909,1 |
| E_F | ~ | 1,320 | 2,35 | 3,41 | 4,45 | 5,62 | 6,70 | 7,72 | 8,66 | 12,28 | 13,13 | 13,78 |
| k_F | ~ | 0,583 | 0,548 | 0,414 | 0,282 | 0,174 | 0,106 | 0,065 | 0,041 | 0,006 | 0,004 | 0,0027 |
| ε | 1 | 0,339 | 0,382 | 0,429 | 0,479 | 0,540 | 0,586 | 0,626 | 0,662 | 0,761 | 0,778 | 0,799 |

Tab. XXXII.

1 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 1 | 2,048 | 4,428 | 8,134 | 16,43 | 31,95 | 62,05 | 121,2 | 210 | 2010 | 3552 | 5083 |
| k | 1 | 0,593 | 0,356 | 0,251 | 0,183 | 0,148 | 0,128 | 0,118 | 0,114 | 0,114 | 0,117 | 0,129 |
| E | 1 | 1,215 | 1,574 | 2,041 | 3,011 | 4,741 | 7,964 | 14,27 | 23,98 | 229,1 | 415,8 | 654,6 |

Tab. XXXIII.

1 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 1 | 1,86 | 3,75 | 7,79 | 15,28 | 31,49 | 64,61 | 123,7 | 220,8 | 2010 | 4017 | 8207 |
| k | 1 | 0,647 | 0,412 | 0,269 | 0,199 | 0,159 | 0,135 | 0,116 | 0,114 | 0,114 | 0,123 | 0,184 |
| E | 1 | 1,203 | 1,545 | 2,095 | 3,041 | 5,007 | 8,722 | 14,35 | 25,17 | 229,1 | 494 | 1510 |

Den Tabellen VIII und IX entsprechen die k der folgenden Tabellen:

Tab. XXXIV.

2 F. und 1 mm B.

| | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> | 1 | 2,217 | 4,298 | 8,244 | 16,15 | 30,17 | 51,03 | 1022 | 2022 | 3032 | 4069 |
| <i>k</i> | 1 | 0,592 | 0,401 | 0,290 | 0,229 | 0,200 | 0,193 | 0,193 | 0,209 | 0,268 | 0,364 |
| <i>E</i> | 1 | 1,313 | 1,724 | 2,391 | 3,697 | 6,036 | 9,856 | 197,2 | 422,9 | 813,2 | 1481 |

Tab. XXXV.

2 F. und 1 mm B.

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> | 1 | 2,109 | 4,402 | 8,210 | 16,15 | 30,67 | 60,40 | 102,2 | 1000 | 2061 | 3030 | 4056 |
| <i>k</i> | 1 | 0,605 | 0,389 | 0,279 | 0,210 | 0,171 | 0,149 | 0,143 | 0,143 | 0,160 | 0,249 | 0,448 |
| <i>E</i> | 1 | 1,276 | 1,710 | 2,292 | 3,386 | 5,254 | 8,986 | 14,64 | 143 | 329,1 | 754,4 | 1816 |

Da die Werthe *C* der Tabellen X bis XIII nur in ihren absoluten Werthen abweichen, der Gang aber der nämliche ist, so liefern sie auch im wesentlichen dieselben Werthe für *k*. Wir theilen nur die Werthe von *k* für die beiden ersten Tabellen mit, da wir diejenigen der beiden letzten Tabellen späterhin nicht benöthigen und entsprechende Versuche, bei denen nur 1 Finger und theils 1 mm, theils 7 mm Berührungsfläche verwandt wurden, im vorstehenden in großer Zahl vertreten sind.

Tab. XXXVI.

2 F. und 1 mm B.

| | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> | 1 | 2,276 | 4,384 | 8,946 | 16,11 | 33,25 | 50,06 | 1000 | 2154 | 3063 | 4060 |
| <i>k</i> | 1 | 0,585 | 0,404 | 0,290 | 0,236 | 0,202 | 0,196 | 0,196 | 0,207 | 0,234 | 0,285 |
| <i>E</i> | 1 | 1,331 | 1,771 | 2,594 | 3,797 | 6,727 | 9,848 | 196 | 445,6 | 717,7 | 1156 |

Tab. XXXVII.

2 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>R</i> | 1 | 2,503 | 5,401 | 10,50 | 22,46 | 52,21 | 110,4 | 213,1 | 2000 | 3033 | 4242 | 5443 |
| <i>k</i> | 1 | 0,580 | 0,390 | 0,291 | 0,223 | 0,179 | 0,157 | 0,151 | 0,151 | 0,152 | 0,157 | 0,177 |
| <i>E</i> | 1 | 1,451 | 2,104 | 3,053 | 5,012 | 9,317 | 17,32 | 32,20 | 151 | 459,2 | 665,8 | 965,9 |

Die sämmtlichen Tabellen zeigen zunächst eine beträchtliche Abnahme der Werthe *k*, alsdann erweisen sich die *k* für einen größeren Reizumfang als constant, um schließlich wieder anzuwachsen. Die Grenzen, innerhalb welcher sich die *k* bewegen,

liegen zwischen 1 und 0,114, sowie 1 und 0,196. Je nach den verschiedenen Versuchsbedingungen zeigen sich im einzelnen bemerkenswerthe Unterschiede.

Was die Vergleichung mit den Ergebnissen der Fechner'schen Formel anlangt, so zeigt sich, dass unsere Werthe E bei kleinen Reizen R langsamer wachsen als die Fechner'schen, bei größeren R findet das Gegentheil statt. Dementsprechend sind die Werthe k_F anfangs größer und späterhin kleiner, als die Werthe k . Die Exponenten ε der Plateau'schen Formel zeigen ähnlich wie bei Lichtempfindungen eine beständige Zunahme, vom ersten Werthe abgesehen.

Die auf 7 mm Berührungsfläche sich beziehenden Tabellen (XXXI bis XXXIII, XXXVII) zeigen eine Abnahme der k bis zu 200 g, alsdann tritt bis zu 2000 g Constanz ein, schließlich findet eine weitere Zunahme statt. Die Nachbarwerthe für 100 g und 4000 g zeigen übrigens nur geringe Unterschiede, so dass also zwischen 100 und 4000 g nahezu Proportionalität zwischen Reiz und Empfindung stattfindet.

Die übrigen Tabellen, die sich auf Versuche mit 1 mm Berührungsfläche beziehen, zeigen dasselbe Verhalten der k . Die Constanz gilt hier für den Reizumfang 50 bis 1000 g.

Dieser Unterschied ist leicht erklärlich. Die Empfindung, welche ein Druckreiz verursacht, ist nämlich um so stärker, je kleiner die Fläche ist, auf welche er wirkt. Eine scharfe Kante oder gar eine feine Nadel, welche mit derselben Kraft auf unsere Finger drücken, wie eine breite ebene Fläche, verursachen eine wesentlich stärkere Empfindung. Die Tabellen XXXIV und XXXV scheinen überdies zu ergeben, dass die k einen geringeren Betrag bei Benutzung von einem Finger, als bei Anwendung zweier Finger erreichen.

Unter Ausschluss der ersten Beobachtungsgruppe mit dem neuen Apparate ergibt die Vergleichung der Tabellen XXXII und XXXIII einerseits und XXXVII andererseits das nämliche.

Schließen wir die weiteren Betrachtungen für die Berührungsfläche 7 mm an die Tabelle XXXI an, welche ja auch auf die Fechner'sche und Plateau'sche Formel Rücksicht nimmt. Auf Grund dieser Tabelle entspricht einer 5063 fachen Steigerung des

Reizes eine 909fache Verstärkung der Empfindung oder einer 2235-fachen Vergrößerung des Reizes eine 689fache Empfindungssteigerung. Nach Fechner würde im letzteren Falle die Empfindungszunahme nur das 10fache betragen.

Die Versuche bei 1 mm Berührungsfläche ergeben auf Grund der Tabelle XXXVI für eine 4060fache Reizsteigerung eine 1156-fache Empfindungszunahme, welch' letztere Zahl auf Grund der beiden andern Tabellen sich sogar noch wesentlich höher stellen würde. Indessen sind die Zahlen für die höchsten Reize nicht völlig sicher, da bei ihnen die Empfindungen bereits schmerzhaft zu werden anfangen. Daher rühren auch die erheblichen Schwankungen für die Empfindungszunahme (von 1156 bis 1816 nach Tabelle XXXV).

Diese Ergebnisse stimmen im allgemeinen mit den Resultaten über Lichtempfindungen überein. Die auf Seite 578 und 580 erwähnte Darstellung der Ergebnisse der Tabelle XIV ist infolge eines Versehens nicht zum Abdruck gelangt und wird daher dieser Abhandlung beigelegt (Taf. IIIA)¹). In ähnlicher Weise soll die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung, wie sie durch die Tabellen XXXI und XXXVI dargestellt wird, durch eine Zeichnung gekennzeichnet werden. Die Reize sind dabei als Abscissen aufgetragen und die entsprechenden Empfindungen E und E_1 als Ordinaten. Ueberdies sind die auf Grund der Fechner'schen Formel berechneten E_F dargestellt, während die Linie $E = R$ die proportionale Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung kennzeichnet. Die Curven k und k_1 geben die Coefficienten k für die oben genannten Tabellen. (Taf. IIIB.) Die mittleren Reize, für welche k constant, also E durch eine gerade Linie dargestellt wird, sind bei der Zeichnung ausgeschlossen worden, um die Zeichnung in größerem Maßstabe ausführen zu können. Auch hier gleichen die Curven E und E_1 geraden Linien, während die Curven k und k_1 , welche in ihrem ersten Theile nahezu zusammenfallen, die Form einer Parabel haben. Die Curve für k_1 hebt sich immer mehr und mehr

1) Wundt, Philos. Studien, IV, S. 578 und 580. Die am Schluss der Abhandlung gegebene Berichtigung beruht auf einem Missverständniss. Ueberdies muss es S. 553, Zeile 12 von unten heissen: »etwa 10 cm breite Rinnen enthält. In jeder derselben« u. s. w.

über die Curve k , namentlich bei den Reizen 1000 bis 5000 wird der Unterschied immer bedeutender.

Die untere Abweichung vom Weber'schen Gesetze, in Folge welcher sich bei schwachen Reizen ein größerer Bruchtheil des Reizes in Empfindung umsetzt, als bei stärkeren Reizen, ist jedenfalls zum Theil bedingt durch die fortwährende Druckempfindung, unter welcher die Nerven der Finger beständig stehen. Unsere Bestimmungen der Schwelle gaben bei 1 mm Berührungsfläche als Maximalwerth 0,05 g. Auf Grund dieses Werthes würde sich bei Benutzung der Tabelle X der beständige Reiz $r = 0,5$ g ergeben. Berechnet man auf Grund der Formel¹⁾:

$$\text{III. } k_n = k \left(\frac{E_1}{E} \right)^n \left(\frac{R+r}{R_n+r} \right)$$

die Werthe k und E , so erhält man die Werthe der nachfolgenden Tabelle:

Tab. XXXVIII.

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| R | 1,5 | 2,776 | 4,884 | 9,446 | 16,61 | 33,75 | 50,56 | 1000,5 | 2154,5 | 3063,5 | 4060,5 |
| k | 1 | 0,719 | 0,544 | 0,412 | 0,343 | 0,299 | 0,292 | 0,294 | 0,310 | 0,351 | 0,427 |
| E | 1,5 | 1,996 | 2,657 | 3,890 | 5,696 | 10,09 | 14,77 | 294,0 | 668,4 | 1076 | 1734 |

Hiernach entspricht einer 2707fachen Steigerung des Reizes eine 1156fache Zunahme der Empfindung, während ohne Berücksichtigung von r erst eine 4060fache Reizsteigerung für die Empfindung das nämliche leistete. Uebrigens ist die Berechnung der k und E keineswegs nöthig, um den Einfluss der Schwelle zu untersuchen. Die Werthe der E berechnen sich ja nach der Formel $E_n = k_n (R_n + r)$. Mit Rücksicht auf Formel III ist aber:

$$\text{IV. } E_n = k_n (R_n + r) = k \left(\frac{E_1}{E} \right)^n (R + r).$$

Die rechte Seite dieser Formel zeigt, dass sich E_n bei Berücksichtigung von r nur insofern ändert, als der von r unabhängige Faktor $k \left(\frac{E_1}{E} \right)^n$ nicht mit R , sondern mit der constanten Größe $R + r$ multiplicirt wird. Infolgedessen ändert sich nur die Reizsteigerung, nicht aber die Empfindungszunahme bei Berücksichtigung von r .

1) Wundt, Philos. Studien, IV, S. 575.

Es ist daher eine Berechnung der k für die übrigen Tabellen nicht erforderlich. Auch bei den Lichtempfindungen brachte die Benutzung von r nur eine Aenderung in den Reizverhältnissen hervor. Führt man übrigens r unmittelbar in die Versuchsergebnisse ein und benutzt man die Formel I, so erhält man die nämlichen Resultate.

Ich gehe nun zur Mittheilung der k und E bei den Versuchen nach der Methode der doppelten Reize über und füge den Tabellen überdies die Verhältnisse $\frac{E_1}{E}$ bei, welche sich bei Benutzung der k der Versuche nach der Methode der eben merklichen Unterschiede ergeben, sowie die Abweichungen dieser Verhältnisse vom richtigen Werthe $2 \left(D = 2 - \frac{E_1}{E} \right)$. Für $R = 1$ ist auch hier $k = 1$ und infolgedessen $E = 1$. Wir lassen diese Werthe in den nachfolgenden Tabellen durchweg bei Seite. Den Tabellen XV bis XVII entsprechen die in den nächsten Tabellen mitgetheilten Werthe:

Tab. XXXIX.

1 F. und 7 mm. B.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 2,698 | 6,313 | 13,97 | 29,44 | 60,20 | 121,2 | 242,0 | 480,6 | 946,0 | 1809 | 3362 | 6082 |
| k | 0,741 | 0,634 | 0,573 | 0,543 | 0,532 | 0,528 | 0,529 | 0,533 | 0,541 | 0,566 | 0,609 | 0,673 |
| E | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 | 2048 | 4096 |
| $\frac{E_1}{E}$ | 1,425 | 1,465 | 1,513 | 1,569 | 1,612 | 1,651 | 1,690 | 1,725 | 1,750 | 1,766 | 1,776 | 1,802 |
| D | 0,575 | 0,535 | 0,487 | 0,431 | 0,388 | 0,349 | 0,310 | 0,275 | 0,250 | 0,234 | 0,224 | 0,198 |

Tab. XL.

1 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 2,705 | 6,303 | 13,99 | 29,62 | 60,4 | 120,2 | 236,2 | 456,3 | 871,5 | 1634 | 2976 | 5220 |
| k | 0,739 | 0,635 | 0,572 | 0,540 | 0,530 | 0,532 | 0,542 | 0,561 | 0,587 | 0,627 | 0,688 | 0,785 |
| E | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 | 2048 | 4096 |
| $\frac{E_1}{E}$ | 1,325 | 1,352 | 1,385 | 1,454 | 1,507 | 1,556 | 1,601 | 1,639 | 1,667 | 1,687 | 1,700 | 1,723 |
| D | 0,675 | 0,648 | 0,615 | 0,546 | 0,493 | 0,444 | 0,399 | 0,361 | 0,333 | 0,313 | 0,300 | 0,277 |

Tab. XLI.

1 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 2,669 | 6,197 | 13,70 | 28,56 | 57,75 | 114,7 | 222,7 | 422,0 | 788,3 | 1457 | 2659 | 4792 |
| k | 0,749 | 0,645 | 0,584 | 0,560 | 0,554 | 0,558 | 0,575 | 0,607 | 0,649 | 0,703 | 0,770 | 0,855 |
| E | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 | 2048 | 4096 |
| $\frac{E_1}{E}$ | 1,414 | 1,359 | 1,422 | 1,471 | 1,521 | 1,542 | 1,587 | 1,623 | 1,644 | 1,661 | 1,682 | 1,711 |
| D | 0,586 | 0,641 | 0,578 | 0,529 | 0,479 | 0,458 | 0,413 | 0,377 | 0,356 | 0,339 | 0,318 | 0,289 |

Den Tabellen XVIII und XIX entsprechen die Werthe der folgenden Tabellen:

Tab. XLII.

2 F. und 1 mm B.

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 4,380 | 12,79 | 29,57 | 63,04 | 130,1 | 260,1 | 517,6 | 1007 | 1894 | 3333 |
| k | 0,457 | 0,313 | 0,271 | 0,254 | 0,246 | 0,246 | 0,247 | 0,254 | 0,270 | 0,307 |
| E | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 |
| $\frac{E_1}{E}$ | 1,734 | 1,770 | 1,811 | 1,863 | 1,905 | 1,921 | 1,930 | 1,932 | 1,943 | 1,992 |
| D | 0,266 | 0,230 | 0,189 | 0,137 | 0,095 | 0,079 | 0,070 | 0,068 | 0,057 | 0,008 |

Tab. XLIII.

1 F. und 1 mm B.

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| R | 3 | 7,47 | 16,88 | 35,45 | 72,25 | 145,5 | 291 | 576,8 | 1116 | 2050 | 3551 |
| k | 0,667 | 0,553 | 0,474 | 0,451 | 0,443 | 0,440 | 0,440 | 0,444 | 0,459 | 0,499 | 0,577 |
| E | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 | 2048 |
| $\frac{E_1}{E}$ | 1,476 | 1,472 | 1,520 | 1,553 | 1,604 | 1,658 | 1,703 | 1,736 | 1,757 | 1,897 | 2,028 |
| D | 0,524 | 0,528 | 0,480 | 0,447 | 0,396 | 0,342 | 0,297 | 0,264 | 0,243 | 0,103 | -0,028 |

Der Tabelle XX entspricht schließlich:

Tab. XLIV.

2 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R | 4,680 | 13,74 | 32,69 | 69,96 | 145,5 | 295,0 | 587,9 | 1152 | 2158 | 3835 |
| k | 0,427 | 0,291 | 0,245 | 0,229 | 0,220 | 0,217 | 0,218 | 0,222 | 0,237 | 0,267 |
| E | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 |
| $\frac{E_1}{E}$ | 0,195 | 0,189 | 0,187 | 0,185 | 0,186 | 0,188 | 0,190 | 0,191 | 0,190 | 0,190 |
| D | 0,005 | 0,011 | 0,013 | 0,015 | 0,014 | 0,012 | 0,010 | 0,009 | 0,010 | 0,010 |

In sämtlichen Tabellen nehmen die k zunächst ab, erreichen dann einen Minimalwerth, um schließlich wieder zuzunehmen. Die Differenzen D zeigen im allgemeinen eine beständige Zunahme, bleiben aber abgesehen von einem einzigen Falle positiv. Bei Benutzung eines Fingers erreicht das Minimum von k bei 1 mm Berührungsfläche den Werth 0,440, bei 7 mm Berührungsfläche 0,528; bei Anwendung zweier Finger sind die entsprechenden Minima: 0,217 und 0,246. Im ersteren Falle bewegen sich die Werthe D

innerhalb der Grenzen 0,575 bis 0,198 und 0,524 bis 0,028, im letzteren zwischen 0,015 bis 0,005 und 0,266 bis 0,008. Hierbei ist besonders wieder der Unterschied der Resultate bei Benutzung eines Fingers oder zweier Finger bemerkenswerth. Auf Grund der Tabelle XXXIX entspricht einer 3362fachen Steigerung des Reizes eine 2048fache Steigerung der Empfindung, während nach den Tabellen XLII und XLIV dieselbe Empfindungszunahme wenigstens eine doppelte Reizsteigerung erfordern würde. Den Resultaten der Versuche nach der Methode der eben merklichen Unterschiede entsprechen am genauesten die Werthe der zuletzt genannten beiden Tabellen; namentlich die letztere Tabelle weist so geringe Differenzen D auf, dass mit Rücksicht auf die Natur der Versuche die Uebereinstimmung der Resultate beider Methoden eine ausgezeichnete genannt werden kann. Diejenigen Tabellen, welche sich auf die Anwendung nur eines Fingers beziehen, zeigen, dass wir das Verhältniss der Empfindungen wie 2:1 schätzen, während dasselbe diesen Werth noch nicht erreicht hat. Die Ursache ist in der Einwirkung des successiven Contrastes zu suchen, der ja gerade bei 7 mm Berührungsfläche am bedeutendsten wirksam ist. Daher ergeben sich auch die größten k und D gerade bei diesen Versuchen. Bei Benutzung zweier Finger wird der Contrast, soweit er durch peripherische Nachwirkungen bedingt ist, aufgehoben, weshalb sich auch wesentlich geringere Werthe für k und D herausstellen. Die Abnahme der D zeigt übrigens, dass die Einwirkung des Contrastes für diejenigen Reize am größten ist, für welche das Weber'sche Gesetz nicht gilt, während mit Zunahme der Reize die Contrastwirkung mehr und mehr schwindet.

Ich wende mich schließlich zur Mittheilung der Werthe k_m , welche den bei der Methode der mittleren Abstufungen erhaltenen R_m entsprechen. In den folgenden Tabellen bezeichnet V das Verhältniss der constanten Reize (in runden Zahlen angegeben) und D die Differenz zwischen dem gewonnenen k_m und dem entsprechenden Werthe auf Grund der Versuche nach der Methode der ebenmerklichen Unterschiede. Der Tabelle XXIII entsprechen die Werthe der folgenden Tabelle. In derselben sind unter Max. und Min. zugleich die größten und kleinsten Werthe von k_m angegeben, welche den beiden Zeitfolgen $R_1 R_m R_2$ und $R_2 R_m R_1$ entsprechen.

$V = 10.$

Tab. XLV.

1 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R_m | 4,689 | 9,801 | 21,97 | 46,36 | 92,37 | 215,3 | 430,7 | 948,3 | 2435 |
| k_m | 0,404 | 0,293 | 0,255 | 0,213 | 0,201 | 0,210 | 0,209 | 0,189 | 0,201 |
| k | 0,390 | 0,280 | 0,221 | 0,188 | 0,171 | 0,163 | 0,163 | 0,163 | 0,164 |
| D | 0,014 | 0,013 | 0,034 | 0,025 | 0,030 | 0,047 | 0,046 | 0,026 | 0,037 |
| Max. | 0,420 | 0,308 | 0,261 | 0,222 | 0,211 | 0,217 | 0,217 | 0,195 | 0,212 |
| Min. | 0,387 | 0,280 | 0,243 | 0,206 | 0,193 | 0,206 | 0,201 | 0,180 | 0,190 |

Den Tabellen XXIV a, b, c und XXV a, b, c entsprechen:

Tab. XLVIa.

1 F. und 7 mm B.

| V | 2 | 5 | 11 | 21 | 51 | 2 | 4 | 10 | 20 | 40 | 100 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R_m | 1,481 | 2,721 | 5,263 | 9,255 | 21,12 | 78,5 | 116,3 | 230,4 | 425,2 | 793 | 2232 |
| k_m | 0,743 | 0,487 | 0,317 | 0,243 | 0,184 | 0,126 | 0,132 | 0,141 | 0,143 | 0,149 | 0,147 |
| k | 0,765 | 0,490 | 0,320 | 0,233 | 0,167 | 0,124 | 0,119 | 0,114 | 0,114 | 0,114 | 0,114 |
| D | -0,022 | -0,003 | -0,003 | +0,010 | +0,017 | 0,002 | 0,013 | 0,027 | 0,029 | 0,035 | 0,033 |

Tab. XLVIb.

1 F. und 7 mm B.

| V | 50 | 20 | 10 | 5 | 2 | 80 | 40 | 20 | 10 | 5 | 2 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| R_m | 20,96 | 23,87 | 27,34 | 30,03 | 35,60 | 1998 | 2061 | 2132 | 2397 | 2664 | 3361 |
| k_m | 0,185 | 0,170 | 0,156 | 0,151 | 0,144 | 0,122 | 0,120 | 0,118 | 0,113 | 0,112 | 0,106 |
| k | 0,167 | 0,161 | 0,155 | 0,150 | 0,144 | 0,114 | 0,114 | 0,114 | 0,114 | 0,115 | 0,116 |
| D | 0,018 | 0,009 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,008 | 0,006 | 0,004 | -0,001 | -0,003 | -0,010 |

 $V = 4$ bis 5.

Tab. XLVIc.

1 F. und 7 mm B.

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R_m | 2,52 | 5,55 | 12,37 | 29,03 | 59,44 | 123,5 | 283,3 | 572,7 | 1257 | 3157 |
| k_m | 0,526 | 0,318 | 0,214 | 0,156 | 0,140 | 0,124 | 0,126 | 0,121 | 0,114 | 0,121 |
| k | 0,515 | 0,312 | 0,200 | 0,152 | 0,129 | 0,118 | 0,114 | 0,114 | 0,114 | 0,116 |
| D | 0,011 | 0,006 | 0,014 | 0,004 | 0,011 | 0,006 | 0,012 | 0,007 | 0,000 | 0,005 |

Tab. XLVIIa.

1 F. und 7 mm B.

| V | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 2 | 4 | 10 | 20 | 40 | 100 |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R_m | 1,466 | 2,784 | 4,839 | 8,885 | 20,8 | 78,79 | 121,9 | 247,5 | 465,4 | 887,4 | 2101 |
| k_m | 0,750 | 0,479 | 0,349 | 0,262 | 0,201 | 0,130 | 0,128 | 0,132 | 0,133 | 0,133 | 0,147 |
| k | 0,690 | 0,500 | 0,340 | 0,252 | 0,180 | 0,126 | 0,116 | 0,114 | 0,114 | 0,114 | 0,114 |
| D | 0,060 | -0,021 | 0,009 | 0,010 | 0,021 | 0,004 | 0,012 | 0,018 | 0,019 | 0,019 | 0,033 |

Tab. XLVIIb.

1 F. und 7 mm B.

| V | 50 | 25 | 10 | 5 | 2 | 80 | 40 | 20 | 8 | 4 | 2 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| R_m | 20,57 | 22,02 | 25,15 | 28,80 | 34,50 | 1934 | 2050 | 2176 | 2388 | 2714 | 3316 |
| k_m | 0,203 | 0,194 | 0,179 | 0,169 | 0,160 | 0,129 | 0,123 | 0,119 | 0,115 | 0,112 | 0,109 |
| k | 0,180 | 0,177 | 0,170 | 0,166 | 0,157 | 0,114 | 0,114 | 0,114 | 0,115 | 0,116 | 0,118 |
| D | 0,023 | 0,017 | 0,009 | 0,003 | 0,003 | 0,015 | 0,009 | 0,005 | 0,000 | -0,004 | -0,009 |

 $V = 4$ bis 5.

Tab. XLVIIc.

1 F. und 7 mm B.

| R_m | 2,52 | 5,19 | 11,44 | 28,20 | 60,6 | 126,5 | 300,7 | 598,7 | 1268,5 | 3186 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| k_m | 0,529 | 0,345 | 0,233 | 0,173 | 0,139 | 0,124 | 0,118 | 0,116 | 0,113 | 0,123 |
| k | 0,532 | 0,330 | 0,224 | 0,165 | 0,140 | 0,116 | 0,114 | 0,114 | 0,114 | 0,117 |
| D | -0,003 | +0,015 | +0,009 | +0,008 | -0,001 | +0,008 | +0,004 | +0,002 | -0,001 | +0,008 |

Den Tabellen XXVI bis XXVIII entsprechen endlich die Mittelwerthe der in folgenden Tabellen vereinigten Versuchsgruppen.

 $V = 10$.

Tab. XLVIII.

2 F. und 1 mm B.

| R_m | 5,040 | 10,71 | 23,65 | 49,35 | 101,5 | 240,1 | 475,6 | 1063 | 3041 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| k_m | 0,365 | 0,259 | 0,243 | 0,223 | 0,211 | 0,221 | 0,223 | 0,212 | 0,211 |
| k | 0,368 | 0,261 | 0,207 | 0,193 | 0,193 | 0,193 | 0,193 | 0,193 | 0,310 |
| D | -0,003 | -0,002 | 0,036 | 0,030 | 0,018 | 0,028 | 0,030 | 0,019 | -0,099 |

 $V = 10$.

Tab. XLIX.

1 F. und 1 mm B.

| R_m | 4,547 | 9,498 | 22,12 | 46,25 | 93,47 | 223,9 | 445,2 | 981,8 | 3022 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k_m | 0,385 | 0,274 | 0,214 | 0,180 | 0,174 | 0,177 | 0,177 | 0,175 | 0,298 |
| k | 0,382 | 0,255 | 0,191 | 0,155 | 0,144 | 0,143 | 0,143 | 0,143 | 0,248 |
| D | 0,003 | 0,019 | 0,023 | 0,025 | 0,030 | 0,034 | 0,034 | 0,032 | 0,050 |

 $V = 10$.

Tab. L.

2 F. und 7 mm B.

| R_m | 4,77 | 10,08 | 22,93 | 47,88 | 97,15 | 231,3 | 460,9 | 1019 | 3365 |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| k_m | 0,414 | 0,288 | 0,242 | 0,198 | 0,179 | 0,183 | 0,181 | 0,163 | 0,135 |
| k | 0,413 | 0,295 | 0,221 | 0,183 | 0,160 | 0,151 | 0,151 | 0,151 | 0,155 |
| D | 0,001 | -0,007 | 0,021 | 0,015 | 0,019 | 0,032 | 0,030 | 0,012 | -0,020 |

Die Tabellen XLVI und XLVII lassen erkennen, dass die Differenzen D nicht in bestimmter Weise von der Größe der Verhältnisse V abhängen. Tabelle XLV zeigt überdies, dass die Minima von k_m in den meisten Fällen k noch um einen, wenn auch kleinen Betrag übertreffen. Die Vergleichung der Tabellen XLVIII und XLIX zeigt, dass bei Benutzung zweier Finger die Differenzen D kleiner sind, als bei Anwendung eines Fingers. Ueberdies kommen im ersteren Falle neben positiven D auch negative vor. Die durch a , b , c bezeichneten Tabellen sind weniger maßgebend, da ihnen nur die Versuche je einer vollständigen Versuchsgruppe zu Grunde liegen, während bei Anwendung desselben Verhältnisses 10 immer mehrere Versuchsgruppen zum Mittel vereinigt wurden.

Die Werthe D sind durchgängig gering und im Vergleich mit den Unterschieden der k bei der Methode der eben merklichen Unterschiede und der Methode der doppelten Reize verschwindend klein zu nennen. Bei der Methode der doppelten Reize kommt eben der Einfluss des Contrastes zur vollen Geltung, während er sich bei der Methode der mittleren Abstufungen zum großen Theile aufhebt und zwar in stärkerem Maße bei Benutzung zweier Finger.

Die geringen Werthe der D weisen aber noch entschiedener als die Versuchsergebnisse bei den Lichtreizen auf die Gültigkeit der Verhältnishypothese hin, welche ja bei Behandlung der Weber'schen Versuche zu Grunde gelegt wurde.

Fassen wir diejenigen Versuche in's Auge, welche den geringsten Contrasteeinflüssen unterworfen waren, nämlich die Versuche der Tabellen XI, XX und XXVIII, so zeigt sich, dass die k eine Uebereinstimmung zeigen, wie sie wohl besser kaum erwartet werden dürfte. Die Zusammenstellung dieser k liefert folgende Tabelle:

Tab. LI.

2 F. und 7 mm B.

| R | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 2000 | 3000 | 5000 |
|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k_{XI} | 1 | 0,650 | 0,403 | 0,295 | 0,230 | 0,182 | 0,159 | 0,151 | 0,151 | 0,152 | 0,169 |
| k_{XX} | 1 | 0,658 | 0,415 | 0,318 | 0,267 | 0,235 | 0,223 | 0,218 | 0,234 | 0,252 | 0,320 |
| k_{XXVIII} | 1 | 0,650 | 0,408 | 0,288 | 0,245 | 0,197 | 0,178 | 0,180 | 0,150 | 0,140 | 0,119 |

Diese Tabelle lässt erkennen, dass die Coefficienten k , welche bei der Methode der doppelten Reize erhalten wurden, die weitaus

größten Abweichungen zeigen. Wenn man aber bedenkt, dass diese Abweichungen für die Verhältnisse $\frac{E_1}{E}$ den Minimalwerth 0,185 geben, während der richtige Werth 2 ist, so erkennt man, wie unbedeutend die Unterschiede der k sind. Aehnliches würde auch die Vergleichung der Versuchsergebnisse derjenigen Tabellen geben, welche sich auf die Benutzung zweier Finger bei 1 mm Berührungsfläche beziehen (VIII, XVIII, XXVI und XXXIV, XLII, XLVIII).

Größere Abweichungen zeigen alle die Versuche, welche sich auf die Benutzung nur eines Fingers beziehen, bei denen also namentlich bei der Methode der doppelten Reize der Contrast in bedeutender Weise sich geltend macht. Doch sind auch diese Abweichungen weit unbedeutender, als bei den entsprechenden Versuchen über Lichtreize.

Von hohem Interesse ist bei diesen Versuchen neben der bereits von anderen Forschern untersuchten unteren Abweichung vom Weber'schen Gesetze, die von mir namentlich bei 1 mm Berührungsfläche gefundene obere Abweichung, welche wieder auf ein schnelleres Wachsthum der Empfindung mit dem Reize hinweist. Ich habe diese Thatsache schon früher auf Grund einer Reihe von Versuchen erkannt, welche sich bis zur Einwirkung von Reizen erstreckten, die bereits bedeutende Schmerzempfindungen verursachten. Ich benutzte eine alte Schnellwage, an welcher sich zwei Haken in verschiedenen Abständen vom Drehpunkt befanden. Die Wage wurde nur für den entferntesten Haken eingetheilt. Der Wagebalken wurde alsdann nach einander durch die Gewichte 1; 1,5; 2; 3; 4 kg belastet. Drückte man dann abwechselnd mit demselben Finger auf den ersten und zweiten Haken und dann in eben so vielen Versuchen umgekehrt auf den zweiten und ersten, so ließen sich die Grenzen für das Verhältniss der Empfindungen annähernd ermitteln. Dieselben waren 3 und 5, 4 und 8, 10 und 20, 30 und 60 und im letzten Falle war das Empfindungsverhältniss bereits so groß, dass bestimmte Zahlen nicht mehr angegeben werden konnten. Man fühlte bei 4 kg bei dem näheren Haken bereits einen empfindlichen Schmerz, während der Druck auf den entfernteren Haken noch nicht schmerzhaft war. (Die Berührungsfläche war etwa 6 mm und nicht mehr völlig eben.) Da das Verhältniss der Reize, wie sich

durch nachträgliche Bestimmungen herausstellte, immer 3,75 war, so erhellt, dass bei starken Reizen die Empfindungen wesentlich schneller wachsen als die Reize. Während das Reizverhältniss noch immer 3,75 ist, erscheint uns schließlich das Verhältniss der entsprechenden Empfindungen überaus groß.

Dieses Ergebniss steht in entschiedenem Gegensatz zu den bisherigen aus der Annahme einer logarithmischen Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung abgeleiteten Anschauungen über das Verhältniss zwischen Reiz und Empfindung in der Nähe der Reizhöhe. Nach diesen nimmt die Empfindung bis zu einem bestimmten Reizwerth zu, über welchen hinaus weitere endliche Zunahmen des Reizes keine merkliche Steigerung der Empfindung mehr bewirken. Die Versuche bei Druckreizen zeigen aber, dass bereits bei verhältnissmäßig niedrigen Reizen die Empfindung einen so hohen Grad der Stärke zu erreichen vermag, dass man schwerlich noch Verlangen tragen wird, in die Geheimnisse der Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung bei weiterer Zunahme der Reizstärken einzudringen.

E. Zusammenstellung und Erklärung der Ergebnisse über Druckreize.

Die hauptsächlichsten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen über Druckreize sind folgende:

I. Die Unterschiedsschwelle C der Methode der ebenmerklichen Unterschiede nimmt bei 7 mm Berührungsfläche bis zu 200 g ab, bleibt alsdann bis zu 2000 g constant und wächst bei weiterer Zunahme der Reize von neuem. Bei 1 mm Berührungsfläche sind die entsprechenden Zahlen 50 und 1000 g.

II. Die Unterschiedsschwelle C ist geringer:

1. wenn die Reize nach einander einwirken, als bei gleichzeitiger Einwirkung;
2. wenn es sich gleichzeitig um Druck- und Bewegungsempfindungen handelt, als um bloße Druckempfindungen;
3. bei Benutzung eines Fingers, als bei Anwendung verschiedener Finger;

4. bei Benutzung einer kleineren Berührungsfläche als bei Anwendung einer größeren.

III. Die Verhältnisse B der Methode der doppelten Reize zeigen eine beständige Abnahme mit Zunahme der Reize und sind größer bei 1 mm Berührungsfläche als bei 7 mm und namentlich größer bei Benutzung zweier Finger, als bei Anwendung eines einzigen.

Die Verhältnisse A sind im allgemeinen constant und bei Anwendung zweier Finger größer als bei Benutzung eines einzigen.

IV. Bei gleichzeitigem Einwirken der Reize sind auch hier die Werthe B und A größer, als bei Aufeinanderfolge der Reize.

V. Der durch die Methode der mittleren Abstufungen gewonnene Mittelwerth liegt durchgängig dem arithmetischen Mittel der unveränderlichen Reize näher, als dem geometrischen, und übertrifft in vereinzelt Fällen sogar den ersteren Mittelwerth.

VI. Die relativen Abweichungen vom geometrischen Mittel wachsen mit den Reizverhältnissen; ähnliches gilt im allgemeinen auch von den geringeren relativen Abweichungen vom arithmetischen Mittel.

VII. Der mittlere Reiz der Methode der mittleren Abstufungen wird stets größer gefunden beim Uebergange von den kleinen zu den größeren Reizen, als bei der umgekehrten Reihenfolge.

VIII. Auf Grund der Verhältnishypothese ergeben die Versuche nach der Methode der eben merklichen Unterschiede eine langsamere Zunahme der Empfindung mit dem Wachsthum des Reizes. Wenn der Reiz 1 sich völlig in Empfindung umsetzt, geht bei 7 mm Berührungsfläche für den Reizumfang 200 bis 2000 g nur 0,114 bis 0,163 in Empfindung über, bei 1 mm Berührungsfläche für 50 bis 1000 g nur 0,143 bis 0,196.

IX. Die Methode der doppelten Reize liefert an Stelle der obigen Zahlen infolge der Einwirkung des Contrastes bei Benutzung eines Fingers 0,440 und 0,540, bei Anwendung zweier Finger aber 0,217 und 0,246. Die größeren Zahlen beziehen sich auf die größere Berührungsfläche.

X. Die Methode der mittleren Abstufungen stimmt in ihren Ergebnissen mit denen der Methode der ebenmerklichen Unterschiede nahezu überein. Die Abweichungen der Werthe k bewegen

sich zwischen 0 und 0,05, während die Methode der doppelten Reize Abweichungen bis zu 0,4 darbietet.

Ich habe bereits bei Gelegenheit der weiteren mathematischen Behandlung der Versuchsergebnisse einzelne Thatsachen zu erklären gesucht und zwar namentlich diejenigen Punkte berührt, welche auf Contrasteinflüsse zurückzuführen sind. Die größere Unterschiedschwelle bei gleichzeitigem Einwirken zweier Reize erklärt sich vermuthlich durch den Umstand, dass bei diesen Versuchen die Aufmerksamkeit gleichzeitig zwei getrennten Reizen zugewandt sein muss, die möglicherweise auch im Apperceptionscentrum verschieden localisirt sind. Hinsichtlich dieser Thatsache zeigen bekanntlich die Lichtreize ein anderes Verhalten. Bei ihnen zeigen gleichzeitig einwirkende Reize eine geringere Unterschiedschwelle, wahrscheinlich weil die Empfindungen nebeneinander liegen. Dass das Hinzutreten einer Bewegungsempfindung die Schwelle zu verringern vermag, ist von vornherein einleuchtend. Doch geben alle bisherigen Versuche keine genaue Kenntniss über den Einfluss der Bewegungsempfindung. Da übrigens die Hubhöhe bei den meisten Versuchen, namentlich bei den Versuchen Fechner's constant blieb, so beziehen sich die Versuche lediglich auf die Kraftempfindung bei der Bewegung, nicht aber auf die Fähigkeit der Unterscheidung von Bewegungsgrößen. Bei unseren Versuchen änderte sich gleichzeitig der Weg, welchen der betreffende Finger bei der Einwirkung des Druckes zurücklegte. Während bei den bloßen Druckempfindungen ein Unterschied von $\frac{1}{13}$ vorhanden sein musste, wenn die Empfindungen sich unterscheiden lassen sollten, betrug dieser Werth beim Hinzutreten einer Bewegungsempfindung nur $\frac{1}{19}$.

Durch den successiven Contrast erklären sich, um dies nochmals zu betonen, namentlich die kleineren Werthe für die Unterschiedschwelle und die doppelten Reize bei Benutzung eines Fingers, als bei Anwendung zweier Finger. Die verschiedene Empfindlichkeit der beiden Finger, welche bei mir übrigens nur bei den Versuchen der ersten Wochen merklich hervortrat, kommt hier nicht in Frage, da sie durch die Versuchsanordnung zum größten Theile beseitigt worden ist. Durch den Contrast erklären sich weiter die

wesentlich geringeren Werthe bei der Methode der mittleren Abstufungen beim Uebergange von dem stärksten zum schwächsten Reize, als bei der umgekehrten Reihenfolge, erklären sich schließlich die geringeren Werthe für die Schwelle bei Benutzung eines Fingers, als bei Anwendung zweier Finger.

Wie erklärt sich aber die aus der unteren Abweichung vom Weber'schen Gesetz folgende Thatsache, nach der sich bei schwächeren Reizen ein größerer Bruchtheil des Reizes in Empfindung umsetzt, als bei stärkeren? Vermuthlich dürfte auch hier, wie bei der ähnlichen Erscheinung bei Lichtempfindungen, eine physiologische Erklärung gegeben werden können. Beim Menschen kommen an den Fingern zahlreiche Tastkörper vor, welche die Nervenenden gleich elastischen Kapseln umhüllen und die Empfindlichkeit für schwache Druckreize erhöhen, für stärkere dagegen ermäßigen¹⁾. Daraus erklärt sich wahrscheinlich die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung bei schwachen Reizen. Ob die Proportionalität zwischen Reiz und Empfindung bei Erreichung der Elasticitätsgrenze eintritt oder eher, lässt sich nicht entscheiden. Vermuthen könnte man, dass diese Grenze erreicht werde beim Uebergang der bloßen Druckempfindung in eine Schmerzempfindung, so dass sich also der Druck bei der letzteren durch die zwischen der Haut und den Nerven befindliche minder elastische Zwischensubstanz den Nerven mittheilen würde. Diese Annahme wird unterstützt durch die obere Abweichung vom Weber'schen Gesetze, welche entschieden mit dem allmählichen Uebergange der Druckempfindung in eine Schmerzempfindung im Zusammenhang steht. Infolge dieser oberen Abweichung setzt sich bei stärkeren Reizen wieder ein größerer Bruchtheil des Reizes in Empfindung um, wahrscheinlich weil die Reize wegen der weniger elastischen Zwischensubstanz mehr und mehr direct auf den Nerven einwirken. Diese Erklärung wird auch indirect durch die Art und Weise, wie der Reiz nach dem Apperceptionscentrum geleitet wird, unterstützt²⁾. Während nämlich schwächere Reize sich nur auf der Hauptbahn fortpflanzen, über-

1) Wundt, *Physiolog. Psychologie*, 3. Aufl., I., S. 312.

2) Vergl. Wundt, *Physiolog. Psychologie*, 3. Aufl., I., S. 115 und Külpe, *Zur Theorie der sinnl. Gefühle*, Diss. Leipzig 1887. S. 35. (*Vierteiljahrsschr. f. wiss. Phil.* XI. S. 459.)

trägt sich die Erregung bei starken Reizen auch auf die Seitenbahnen, welche, durch die graue Substanz führend, größere Widerstände darbieten. Da die Erregbarkeit der grauen Substanz eine geringere ist, sollte man vermuthen, dass bei stärkeren Reizen nur ein geringerer Bruchtheil des Reizes empfunden werden könnte. Da aber die Versuche entschieden das Gegentheil ergeben, so bleibt nur die Annahme einer veränderten Einwirkung des Reizes auf die Nerven bei der Entstehung von Schmerzempfindungen übrig. Die Annahme besonderer schmerzempfindender Nerven erfordern die Ergebnisse unserer Versuche nicht, ja der allmähliche Uebergang der Druckempfindung in eine Schmerzempfindung scheint sogar gegen diese Annahme zu sprechen.

Die vorangehenden Untersuchungen stehen in ihren allgemeinen Resultaten in vollem Einklange mit den Ergebnissen der Lichtversuche, wenn sie auch in einzelnen Punkten, wie namentlich in Bezug auf die Methode der mittleren Abstufungen, noch entschiedener die Richtigkeit der Verhältnisshypothese bestätigen; sie führen in einzelnen Punkten über jene Versuche hinaus, namentlich in Bezug auf eine genauere Untersuchung der Contrasteeinflüsse und in Hinsicht auf die obere Abweichung vom Weber'schen Gesetze, welche ich bei Lichtempfindungen nicht zu erreichen vermochte.
