

Ueber den Einfluss der Intensität der Reize auf die Reactionszeit der Klänge.

Von

Dr. Götz Martius

in Bonn.

In seiner Besprechung¹⁾ meiner Arbeit über die Reactionszeit und Perceptionsdauer der Klänge²⁾ hat C. Stumpf den Einwurf erhoben, dass eine völlige Sicherheit für die längere Perceptionsdauer der tieferen Töne aus dem Grunde nicht durch meine Versuche gewährleistet sei, weil die Intensitäten der benutzten Töne von Einfluss auf die gefundenen Zeiten sein konnten. Höhere Töne, so führt Stumpf aus, besitzen eine besondere Empfindungsstärke, und es wird auf stärkere Eindrücke im allgemeinen schneller reagirt. Nach Stumpf wäre daher ein Schluss auf die längere Perceptionsdauer der tieferen Töne erst dann mit Sicherheit aus solchen Versuchen zu machen, wenn auf die Gleichheit der Intensitäten der Klänge, »soweit eben Stärkevergleichung verschiedener Töne möglich ist«, richtig Acht gegeben würde. So sehr ich anerkenne, dass die Intensitätsverhältnisse der Töne bei Untersuchung ihrer Reactionszeit und daraus zu ziehenden Folgerungen Berücksichtigungen verdienen, vermag ich doch nicht der Hereinziehung der größeren Empfindungsstärke³⁾ höherer Töne in diese Sache einen Werth beizumessen. Wenn man schließt, dass hohe Töne als

1) Zeitschr. f. Psychol. u. Phys. der S. Bd. II, S. 230 ff.

2) Phil. Stud. VI, S. 394 ff.

3) Vergl. Stumpf, Tonpsychologie I, S. 365 ff.

solche stärkere Eindrücke sind und mithin schon ihrer Höhe wegen eine kürzere Reactionszeit haben müssen, so nimmt man offenbar den Mittelbegriff der Stärke in doppelter Bedeutung. Das eine Mal heißen die Empfindungen stark in Bezug auf andere gleichartige, die schwächer sind als sie, das andere Mal heißen sie stark in Bezug auf die sie verursachenden äußeren Reize. Man kann den in diesem Falle gemeinten Sachverhalt auch so ausdrücken, dass man sagt, die absolute Reizschwelle liege bei hohen Tönen niedriger, die Empfindlichkeit sei also hier größer als bei tiefen, indem man die Reizschwelle durch die lebendige Kraft des physikalischen Reizvorganges gemessen denkt. Für die experimentelle Forschung liegt hier eine weitere dankbare, wenn auch schwierige Aufgabe. Was soll nun aber das Verhältniss der Reizintensität zur Empfindungsintensität uns lehren, wenn wir die Beziehung zwischen der Empfindungsintensität eines Tones und seiner Reactionszeit zu ermitteln suchen? Wenn der Satz, dass starke Tonempfindungen eine kürzere Reactionszeit haben als schwache, wirklich allgemein richtig ist, so würde er gelten und in den Versuchen sich bestätigen, ohne dass der Umstand irgendwie in Betracht käme, dass etwa die lebendige Kraft des Reizes eines hohen Tones von großer Empfindungsstärke und kurzer Reactionszeit dieselbe Größe besäße, wie die eines tieferen Tones von geringerer Empfindungsstärke und entsprechend längerer Reactionszeit. Die Stärke einer Empfindung darf nicht mit der Stärke des erweckenden Reizes vermengt werden; weder der physikalische noch der physiologische Reizvorgang ist irgendwie mit der Empfindung selbst gleich zu setzen. Wir beurtheilen die Stärke einer Empfindung nicht nach der lebendigen Kraft des Reizes, sondern untersuchen umgekehrt diese im Verhältniss zur Empfindung, und die subjective Empfindung ist überall der natürlich gegebene Ausgangspunkt, das eine Mal im Vergleich zum physikalischen Vorgang, das andere Mal in Bezug auf die sich anschließende Reactionsbewegung.

Auf die Stärke der Reize war in jenen Versuchen hinreichend Rücksicht genommen. Es wurde eine bequeme mittlere Intensität der Töne angewandt. Es hätte sich dies, selbst wenn die bewusste Absicht nicht vorhanden gewesen wäre, bei der gewählten Versuchsanordnung auch von selbst verstanden. Schwache Reize sind dem

Reagenten unbequem, und bei sehr starkem Anschlage der Saiten lassen sich die Nebengeräusche viel schwerer vermeiden, als bei mittlerer und geringer Stärke, so dass schon aus diesen Gründen eine mittlere Stärke des Reizes überall, wo es sich nur um die Tonhöhe handelt, von selbst gewählt werden wird.

Immerhin war die Frage eine offene, wie weit die Stärkeverhältnisse der Töne die gewonnenen Resultate etwa beeinflusst haben. Bei Anstellung neuer Versuche über diesen Punkt war meine Absicht zunächst nur, zur Sicherung der Ergebnisse der früheren Arbeit den Grad des Einflusses der Stärke der benutzten Töne auf die gefundenen Zeiten zu untersuchen. Ich glaubte innerhalb zunächst kleinerer Intensitätenstrecken zahlenmäßig den in den Intensitätsverhältnissen liegenden möglichen Fehler leicht feststellen zu können. Als weitere Aufgabe hätte sich dann die allgemeine Bestimmung der Reactionszeiten in Abhängigkeit von den Intensitäten der Tonreize angeschlossen.

Die Versuche wurden im Winterhalbjahr 1890/91 unter Theilnahme der Herren stud. theol. Müller und Semmelroth begonnen und im Sommerhalbjahr 1891 mit den Herren stud. philos. Marbe und stud. phil. Boschulte zu Ende geführt. Da im Winter nur wenige Stunden wöchentlich zur Verfügung standen, auch den beteiligten Herren die unumgänglich nothwendige Uebung fehlte, gelang es erst im Sommer durch den dankenswerthen Eifer der zweiten Mitarbeiter, von denen der eine bereits an der Arbeit über die Perceptionsdauer der Töne betheilt war, zu einem Ergebniss zu kommen.

Die Versuchseinrichtung blieb die bereits beschriebene (a. a. O. S. 401). Die Controlzeiten wurden nach der ebendort (S. 408) angegebenen Methode gemessen. Durch kleine Verstellungen der die Controlhebel regulirenden beiden Federn gelang es leicht, die Controlzeit stets auf nahezu gleicher Höhe zu halten. Eine Reduction der Zahlen ist dann unnöthig. Mir scheint dies Verfahren jedem andern, auch dem der Regulirung durch den Rheostaten, wegen seiner Einfachheit und dabei doch großen Sicherheit vorzuziehen. An Stelle des früher zum Anschlage der Saiten dienenden Citherrings wurde zumeist ein Eisenstäbchen von der Größe, Form und Stärke eines Federhalters benutzt, das unten in eine stumpfe, ganz glatte Spitze

auslief und an das ein Draht angelöthet war. Mit diesem gelang es, die Nebengeräusche, die sich bei starkem Anschlage der Saiten nur allzu leicht einstellen, in zureichender Weise zu vermeiden.

Was die Abstufung der verschiedenen Intensitäten betrifft, so waren wir hierbei auf die rein manuelle Geschicklichkeit angewiesen. Bei einiger Uebung ist es nicht schwer, den Anschlag der Saiten stets in einer bestimmten Stärke gleichmäßig zu erhalten. Fiel ein Ton merkbar aus der Reihe heraus, so bezeichnete der Reagent den Versuch als ungültig. Die Ausdrücke sehr stark, stark, mittelstark, schwach, sehr schwach mussten zur Bezeichnung der Abstufungen genügen. Sehr stark hieß ein Klang, bei dem die Saite an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit stand, stark und schwach entsprachen etwa dem forte und piano in der Musik, als sehr schwach wurde ein Klang bezeichnet, zu dessen Perception die Aufbietung besonderer Aufmerksamkeit erforderlich war, der also der Schwelle mehr oder weniger nahe lag. Es versteht sich, dass nicht an jedem Tage derselbe »starke« oder »schwache« Klang die absolut gleiche Stärke besaß, und dass die Stärkengrenzen der verschiedenen Klänge durch die Natur, Spannung und Länge der schwingenden Saite mitbestimmt war, dass mithin bei verschiedenen Klängen die genannten Bezeichnungen wieder durchaus verschiedenen physikalischen Verhältnissen entsprachen. Diese in der Versuchseinrichtung liegenden Unvollkommenheiten fallen aber für die psychologische Seite der Sache wenig ins Gewicht.

Die Ergebnisse der Versuche entsprachen nicht der Erwartung. Es gelang nicht, für den Verfasser als Reagenten einen festen Unterschied der Reactionszeit auf schwache und starke Toneindrücke zu bestimmen. Wenn auch anfangs in Uebereinstimmung mit der bestehenden Ansicht die Reactionszeit der starken Töne niedriger war, als die der schwachen, so verschwand dieser Unterschied doch bei Fortsetzung der Versuche sehr schnell. Wir erhielten beispielsweise am 12. Decbr. 1890 für $c = 132$ Schwingungen die Zahlen 138,3 (stark, $mV = 7,6$) und 138,5 (schwach, $mV = 6,0$) bei einer Controlzeit von 124,6.

Für den unmittelbaren Zweck der Versuche wäre dies Ergebniss ausreichend gewesen. Wenn der Unterschied zwischen der Reactionszeit starker und schwacher Klänge nach einiger Uebung gleich Null

wird, so ist es von vornherein wahrscheinlich, dass bei Anwendung mittlerer Stärken von Klängen verschiedener Höhe der Einfluss der Intensität auf die gefundenen Zeiten ebenfalls gleich Null gesetzt werden darf. Voraussetzung dabei ist nur, dass der Reagent, von dem die Zahlen stammen, eine gründliche und systematische Uebung besitzt, eine Voraussetzung, die aber für derartige feinere Untersuchungen eine ganz allgemeingültige ist.

Wie ist nun aber dies nicht erwartete Ergebniss zu erklären und mit den bisherigen Feststellungen auf diesem Gebiet zu vereinen?

Dass im allgemeinen die Reactionszeit mit der Stärke abnimmt, ist von Wundt, Exner, von Kries und Auerbach, Berger übereinstimmend gefunden worden. Eine Meinungsverschiedenheit besteht nur über Nebensächliches. Nach Wundt¹⁾ nimmt die Reactionszeit bei sehr starken Reizen wieder zu, während nach Exner bei solchen Reizen die relativ kürzesten Zeiten sich ergeben, eine Differenz, die in einer Verschiedenheit der Versuchsbedingungen ihre volle Erklärung findet. Die Exner'schen Fälle sind solche, welche Wundt als extrem musculär bezeichnen würde, bei den Wundt'schen handelt es sich um eine durch die abnorme Stärke des Reizes veranlasste Störung des Vorganges. Nach Wundt ist ferner die Abnahme der Reactionszeit bei zunehmender Reizstärke nur in der Nähe der Schwelle eine bedeutende, während sie bei mittleren und höheren Reizstärken eine nur sehr geringe ist. Auch Berger nimmt die Gültigkeit des allgemeinen Satzes von der Abnahme der Reactionszeit mit wachsender Stärke des Eindrucks als feststehend an, obschon gerade er bei Lichteindrücken in gewissen mittleren Reizzonen eine zeitweise Constanz feststellen konnte. Die Reihe der von ihm für acht der Intensität nach wachsende Lichteindrücke gefundenen Zahlen ist die folgende: 338, 265, 238, 230, 222, 225, 207, 198.

Wie lässt sich also mit dieser durch die allgemeine Uebereinstimmung gedeckten Ansicht unser obiges Ergebniss in Einklang bringen? Die Vereinbarkeit hängt offenbar von dem Grunde ab, welcher für die Verkürzung der Reactionszeit bei Verstärkung des Reizes in Anspruch zu nehmen ist.

1) Vergl. Wundt, Phys. Psychol. II. Aufl. S. 242. III. Aufl. S. 286.

Die Vorgänge, welche bei der Reactionszeit in Betracht kommen, sind ihrer Art nach, abgesehen von den physikalischen Reizvorgängen, periphere, Leitungsvorgänge und centrale. Die centralen sind theils solche, welche der Entstehung des bewussten Vorganges vorhergehen oder (bei Auslösung der Bewegung) nachfolgen, theils solche, welche die Bewusstseinserscheinung begleiten. Vom physiologischen Standpunkt aus lassen sich diese beiden Seiten des centralen Vorganges nicht trennen, da es uns nicht bekannt ist, ob eine Verschiedenheit derselben ihrer physiologischen Natur nach vorhanden ist. Dem Physiologen stellt sich jeder centrale Vorgang, so verschieden auch seine Leistung ist, allgemein als Erregungsvorgang dar; für ihn steht der Gehirnreflex mit der centralen Erregung in dem Gehirn des schaffenden Künstlers, des sinnenden Denkers, des handelnden Praktikers auf einer Stufe. Der Psychologe darf jene Unterscheidung aber nicht versäumen; er ist im Stande, die der äußern Betrachtung als gleichartig gegebene Erregungsreihe in die verschiedenartigsten Theile ihrer in dem Bewusstsein sich darstellenden Natur nach zu zerlegen. Beide Gesichtspunkte dürfen dann nicht vermengt werden; auch die zeitlichen Verhältnisse bleiben der gleichen Unterscheidung unterworfen. Es lässt sich daher der ganze Reactionsvorgang, so sicher er sich in einer bestimmten Zeitstrecke abspielt, doch der Zeit nach nicht derart in zwei Theile theilen, dass der eine für die physiologischen, der andere für die bewussten Theilvorgänge in Anspruch zu nehmen wäre. Dieselbe eine Zeit ist nach dem doppelten Gesichtspunkt des äußern (physiologischen) und inneren (psychischen) Geschehens zu betrachten. Die hergebrachte Eintheilung der Reactionszeit in fünf Theile, von denen der erste und letzte (Leitung ins Gehirn, Erregung des motorischen Systems) rein physiologischer, der zweite, dritte und vierte (Perception, Apperception, Willensact) psychischer und mithin zugleich psychophysischer Natur sind, ist daher nur mit der Einschränkung haltbar, dass es sich hier um willkürliche Ausschnitte nach dem doppelten Gesichtspunkte handelt.

Das Bewusstsein und die Bewusstseinsvorgänge sind ebenso continuirlich, wie die physiologischen Vorgänge im Centralsystem. Der Reactionsact ist stets ein vorbereiteter. Zahlreiche Associationen liegen für die richtige Ausführung der Bewegung, wie sie den

Versuchsvorschriften entspricht, bereit und sind lebendig, ehe überhaupt der äußere Reiz entsteht; sie sind von unbezweifelbarer Wesentlichkeit für die Reaction selbst. Es wäre mithin unrichtig, die Apperceptions- und Willenszeit als Acte, die sich gesondert an die physiologischen Zeiten der Leitung anschließen, aufzufassen; es ist nur möglich, bestimmte Momente der bewussten Theilvorgänge, so den Moment der Apperception, und ihre Dauer aus dem gesammten continuirlichen bewussten Geschehen herauszulösen. Eine nahe hiermit in Beziehung stehende falsche, nicht bloß Ausdrucks-, sondern Vorstellungsweise ist es auch, zu sagen, ein Reiz gelange an die Seele und es entstände nun aus seelischen Beziehungen die besondere Art des Bewusstseinsvorganges. Reize sind äußere oder innere, rein körperliche Vorgänge, die in ihrem gesammten Verlauf den allgemeinen Bedingungen des körperlichen Geschehens unterstehen und nur in der Abstraction aus der mechanischen Gesetzmäßigkeit der körperlichen Welt ausgeschieden werden können. Für die alte Substanztheorie hat die Auffassung einen Sinn, dass der körperliche Reiz in bestimmter Zeit die Seelensubstanz trifft, in welcher dann zeitlich anschließend die Bewusstseinsvorgänge sich entwickeln können. Den Resten dieser Auffassungsweise begegnet man aber auch an Stellen, wo die Substanztheorie selbst längst aufgegeben ist.

Halten wir die unmissverständliche Eintheilung des Reactionsvorganges in die Theile der peripheren Erregung, der Leitung und der centralen Erregung fest, so können nun offenbar die Gründe für die Verlängerung der Zeit bei schwachen Eindrücken in jeder der drei Arten von Theilvorgängen gesucht werden. Der schwache Schalleindruck könnte das Corti'sche Organ langsamer zur nöthigen Erregung bringen, es könnte bei Klängen die Anzahl der zur Empfindungserregung nothwendigen Schwingungen mit der Schwäche der Reize wachsen. Der Leitungsprocess der Nerven könnte bei schwachen Reizen sich verlangsamten, oder die Gründe könnten in den centralen Vorgängen liegen. Und auch hier könnte der Zeitverlust der schwachen Reize zeitlich vor der Entstehung ihrer Perception in der langsameren Erregung der Centralsubstanz begründet sein, oder er könnte in die Zeit der eigentlichen Bewusstseinsvorgänge zwischen Perception und Bewegung fallen.

Exner spricht keine bestimmte Ansicht über den Grund der Erscheinung aus, von Kries und Auerbach (a. a. O. S. 317 ff.) stellen sich vor (allerdings handelt es sich bei ihnen wesentlich um die Unterscheidungszeiten), dass die Empfindung zu ihrem Anwachsen von Null bis zu einem gewissen Stärkegrade Zeit brauche. Die Unterscheidungszeit des schwächeren Reizes sei dann darum eine größere, weil der unterscheidende Reagent bei der schwächeren Empfindung, die als Stadium auch in der entstehenden stärkeren vorhanden ist, abwarten muss, ob dieselbe nicht noch zur stärkeren anwachsen wird. Auf die einfache Reactionszeit würde diese Erklärung nur in sehr gezwungener Weise übertragen werden können. Sie beruht auf einer falschen Auffassung der Empfindungsstärken, die unter dem Einfluss der Fechner'schen Erörterungen entstanden ist und heute wohl einer Widerlegung nicht mehr bedarf.

Berger (a. a. O. S. 78) nimmt eine allgemeine Verlangsamung der physiologischen und psychophysischen Vorgänge bei schwächeren Reizen an. Bei Lichteindrücken, auf welche er exemplificirt, tritt nach ihm eine Verlängerung der Zeit ein, die nöthig ist, damit der zur Entstehung eines Lichteindrucks nöthige Grad der Erregung der Netzhaut zu Stande kommt, sowie derjenigen Zeit, welche den nöthigen Grad der Erregung des Sehcentrums bedingt. »Die Verlängerung würde also einerseits den physiologischen Act 1 (Leitung vom Sinnesorgan zum Gehirn) treffen, andererseits die Acte 2, 3 (Eintritt in Blickfeld und Blickpunkt des Bewusstseins) und vielleicht auch noch die Auslösung des Willensimpulses, während Act 5 (Leitung der motorischen Erregung in die Muskeln und Anwachsen der Energie in denselben) voraussichtlich constant bleibt«. Gründe für diese Ansicht sind nicht hinzugefügt.

Wundt hatte in der 2. Auflage seiner physiologischen Psychologie den Grund der Erscheinung zum kleineren Theil in den rein physiologischen Vorgängen gesucht, zum größeren Theil aber auf Rechnung der psychophysischen Zeiträume gesetzt. »Wie diese sich wieder in die auf sie fallende Zeit theilen, lässt sich nicht mit Sicherheit ermitteln. Doch machen es verschiedene Betrachtungen wahrscheinlich, dass namentlich bei stärkeren Reizen die Apperceptions- und die äußere Willenszeit zusammenfallen¹⁾. Es würden also, um den

1) Phys. Psychol. 2. Aufl. Bd. II, S. 225.

seitdem geschaffenen Kunstausdruck zu gebrauchen, bei starken Reizen die Reactionen mehr musculär werden.

In Uebereinstimmung hiermit führt Wundt in der 3. Auflage¹⁾ folgendes aus: »Hiernach ist es wahrscheinlich, dass bei jeder der beiden Reactionsformen mit zunehmender Stärke des Eindrucks die Reactionszeit abnimmt, dass aber diese Abnahme so lange eine geringe ist, als man innerhalb einer und derselben Reactionsform verbleibt, wogegen sie beträchtliche Werthe annimmt, sobald mit dem Uebergang von schwachen zu starken Reizen zugleich ein Uebergang von vollständigen zu verkürzten Reactionsformen stattfindet. Natürlich sind aber die so gewonnenen Zeiten eigentlich nicht mehr mit einander vergleichbar und nur die Neigung, einen solchen Wechsel der Reactionsweise eintreten zu lassen, besitzt ein gewisses psychologisches Interesse. Hiervon abgesehen dürften sich die bei constant erhaltener Reactionsweise noch zurückbleibenden Unterschiede vollständig aus der Zunahme der Leitungsgeschwindigkeit erklären, welche mit wachsender Erregungsstärke in der peripherischen sowohl wie in der centralen Nervensubstanz eintritt«. Wundt nimmt also an, dass die Abnahme der Reactionszeit mit Zunahme der Intensität des Eindrucks eine sehr geringe und aus den physiologischen Leitungsvorgängen erklärbar ist, sobald die Reactionsart dieselbe bleibt, dass, wo größere Unterschiede sich zeigen, sie auf Rechnung der Neigung bei schwachen Eindrücken sensorieell zu reagiren gesetzt werden müssen. Wundt schließt dies aus dem gesammten Versuchsmaterial, das ihm vorlag, das aber nicht mit bewusster Rücksicht auf die Unterscheidung der musculären und sensoriellen Richtung der Aufmerksamkeit gewonnen war. Es ist keine Frage, dass das Material ihn zu seinen Annahmen vollkommen berechnete und in ihnen die nöthige Erklärung finden konnte. Erst die weitere experimentelle Prüfung konnte die Entscheidung bringen, ob einerseits der allgemeine Satz von der Abnahme der Reactionszeit mit wachsender Reizstärke überhaupt noch aufrechtzuhalten sei, und ob andererseits die Neigung zum Wechsel der Reactionsart genügt, die bis dahin als vorhanden gefundenen Zeitdifferenzen zu erklären. Die sogleich mitzutheilenden Versuche wurden nicht genau im Anschluss an diese

1) Phys. Psychol. 3. Aufl. Bd. II, S. 286.

durch die Erörterungen Wundt's sich aufdrängende Fragestellung unternommen. Sie waren die Folge der mitgetheilten Erfahrung, dass für den Verfasser als Reagenten der Unterschied der Reactionszeit auf starke und schwache Eindrücke zum Verschwinden kam. Es fragte sich zunächst, ob dies eine singuläre oder allgemeine Erscheinung sei. Zugleich war so viel von vornherein sicher, dass der Grund der Reactionszeitunterschiede bei verschieden starken Eindrücken unter allen Umständen in den centralen Vorgängen, und zwar in den eigentlich psychophysischen Theilen, gesucht werden muss, falls der Unterschied ein schwankender und durch Uebung oder eine besondere Art der Reactionsweise zu beseitigender ist.

Es ist mir nun in der That bei den weiteren in diesem Sommersemester gemachten Versuchen gelungen, für ziemlich erhebliche Reizdifferenzen den Zeitunterschied der Reaction zum gänzlichen Verschwinden zu bringen. Ich theile zunächst die Zahlen mit. Reagent G. M. ist Verfasser, Mb. bezeichnet Herrn Marbe.

Tabelle I.

1) *c*.

<i>I</i>	R_z	mV	<i>n</i>	<i>R</i>	C_z	mV	<i>D</i>
Stark	138,3	7,6	18	G. M.	124,6	3,1	12. XII. 90
Schwach	138,5	6,0	11	G. M.	124,6	3,1	12. XII. 90

2) *c'*.

<i>I</i>	R_z	mV	<i>n</i>	<i>R</i>	C_z	mV	<i>D</i>
Stark	121,1	5,2	13	Mb.	124,2	0,72	14. VI.
Schwach	123,0	4,5	12	Mb.	124,2	0,72	14. VI.

3) *c''*.

<i>I</i>	R_z	mV	<i>n</i>	<i>R</i>	C_z	mV	<i>D</i>
Stark	125,1	8,8	15	G. M.	124,3	0,7	23. VI.
Schwach	125,1	8,6	17	G. M.	124,3	0,7	23. VI.

4) c''' .

<i>I</i>	R_z	mV	<i>n</i>	<i>R</i>	C_z	mV	<i>D</i>
Stark	110,0	8,5	18	Mb.	123,8	0,3	17. VI.
Schwach	111,7	7,7	12	Mb.	123,8	0,3	17. VI.

 5) c'''' .

<i>I</i>	R_z	mV	<i>n</i>	<i>R</i>	C_z	mV	<i>D</i>
Stark	120,5	7,8	11	G. M.	124,3	0,7	23. VI.
Schwach	117,8	7,4	17	G. M.	124,3	0,7	23. VI.
Stark	106,9	8,3	18	Mb.	123,8	0,3	17. VI.
Schwach	106,6	6,8	16	Mb.	123,8	0,3	17. VI.

6) Geräusch.

<i>I</i>	R_z	mV	<i>n</i>	<i>R</i>	C_z	mV	<i>D</i>
Stark	122,4	5,1	20	G. M.	125,0	0,4	21. VI.
Schwach	116,9	6,5	13	G. M.	125,0	0,4	21. VI.
Stark	119,5	9,3	20	Mb.	125,0	0,4	21. VI.
Schwach	117,5	6,9	14	Mb.	125,0	0,4	21. VI.

Eine Zusammenstellung der Einzelergebnisse gibt die folgende Tabelle.

Tabelle II.

<i>I</i>	<i>c</i>	<i>R</i>	<i>c'</i>	<i>R</i>	<i>c''</i>	<i>R</i>	<i>c'''</i>	<i>R</i>	<i>c''''</i>	<i>R</i>	Ge- räusch	<i>R</i>
Stark	138,3	G. M.	121,1	Mb.	125,1	G. M.	110,0	Mb.	120,5	G. M.	122,4	G. M.
									106,9	Mb.	119,5	Mb.
Schwach	138,5	G. M.	123,0	Mb.	125,1	G. M.	111,7	Mb.	117,8	G. M.	116,9	G. M.
									106,6	Mb.	117,5	Mb.

Zur bequemeren Vergleichung mit den in der früheren Arbeit erhaltenen Zahlen der beiden Reagenten folgt die dortige Tabelle II (vergl. S. 409 a. a. O.) hier als

Tabelle III.

<i>R</i>	<i>C'</i>	<i>c'</i>	<i>e'''</i>	<i>e''''</i>	Hammer
G. M.	165,6	145,0	139,4	131,5	109,1
v. Pr.	155,3	138,3	125,5	121,1	117,3
Mb.	146,9	139,3	119,7	107,6	109,2

Fassen wir zunächst die Zahlen der Tab. I ins Auge, so ergibt sich eine Uebereinstimmung derselben für starke und schwache Reize, wie sie bei den bekannten Schwierigkeiten der Reactionsmethode kaum erwartet werden konnte. Jede Versuchsreihe bestand ursprünglich in zwanzig Einzelversuchen. Die Verschiedenheit der unter Rubrik *n* angeführten wirklich benutzten Einzelversuche war Folge der Streichungen. Es wurden aber nur die Zahlen solcher Versuche fortgelassen, die vom protokollirenden Reagenten selbst sofort nach der Reaction als misslungen bezeichnet waren. Bei der später erfolgenden Ausrechnung wurden Streichungen nicht mehr zugelassen.

Suchen wir nun aus den Zahlen auf die oben aufgeworfenen Fragen eine Antwort zu gewinnen, so scheint mir nach denselben die Annahme, dass in Folge der langsameren Geschwindigkeit in der leitenden Substanz eine wenn auch geringe allgemeine Abnahme der Reactionszeit beim Wachsen der Intensität der Reize stattfindet, nicht mehr haltbar zu sein. Ist der Process in den leitenden Nerven thatsächlich allgemein bei schwächeren Reizen ein langsamerer als bei starken, so ist diese Geschwindigkeitsänderung so gering, dass sie mit der Reactionsmethode nicht mehr feststellbar ist, kommt also auch bei Beurtheilung der Reactionszeiten nicht in Betracht.

Was weiter den Grund der ursprünglich überall auftretenden Verlängerung der Zeiten für schwache Reize betrifft, so scheinen mir einige Erfahrungen maßgebend, die sich leicht bei diesen

Versuchen machen lassen. Es drängt sich dem geübten Beobachter, wenn er auf schwache Reize reagiren soll, unmittelbar das Gefühl auf, als ob er nicht schnell genug reagire, nicht so schnell als er sollte und nicht so schnell als er könnte. Es gelingt ihm nicht, so lässt sich diese Erfahrung ausdrücken, den Eindruck richtig zu »fassen« und mit ihm die Bewegung sofort zu verbinden. Und diese Unfähigkeit ändert sich keineswegs sofort durch das Bestreben rein musculär zu reagiren, also die Aufmerksamkeit auf die Bewegung zu concentriren. Im Gegentheil tritt dann noch stärker die Unmöglichkeit, die Bewegung rechtzeitig auszuführen, hervor. Dem zweiten Reagenten (Mb.) gelang es auch keineswegs leicht, diese Schwierigkeit zu überwinden. Bei ihm hatten die Unterschiede der Zeit für starke und schwache Eindrücke ursprünglich wechselnd bis zu 25 σ betragen. Bei dem Bestreben nun, auch auf schwache Eindrücke möglichst kurz zu reagiren, stellte sich, obwohl Reagent hinreichende Uebung besaß und auch Versuche in den beiden Reactionsarten vielfach gemacht hatte, eine Periode des Vorreagirens und der Unsicherheit ein, die es zu keinen brauchbaren Resultaten kommen ließ, in der Weise dass auch bei starken Reizen sich keine regelmäßigen Reihen ergaben. Nach einiger Uebung verschwand dieser Fehler, und wir bekamen die obigen Resultate, ohne dass noch zweifelhafte Reihen untergelaufen wären. Es hatte also ein förmliches Erlernen der Reaction auf schwache Eindrücke stattgefunden. Ich schließe daraus, dass bei schwachen Eindrücken nicht bloß eine gewisse Neigung sensoruell zu reagiren, also den Eindruck länger, als nöthig ist, festzuhalten vorliegt, sondern eine wirkliche Erschwerung des ganzen Reactionsvorganges, die mit der Perception beginnt und bis zur Auslösung der Bewegung andauert. Der schwache Eindruck vermag unter gewöhnlichen Umständen nicht so leicht zur Geltung zu kommen als der starke; die Menge gleichzeitiger Vorstellungen hindert ihn daran. Und der zur Perception gelangte Eindruck braucht mehr Zeit, bis die bereitliegende Bewegungsassociation zur actuellen Entwicklung der Bewegung führt. Durch Uebung und Anspannung der Aufmerksamkeit gelingt es, diese Schwierigkeiten zu überwinden und den Zeitverlust auszugleichen. Es wird Niemandem entgehen, wie nahe sich dieses Ergebniss mit der oben geschilderten Auffassung Wundt's in ihrem zweiten Theile berührt.

Verstehen wir unter musculärer Reaction ohne weitere Nebenbedeutung die verkürzte oder möglichst kurze Reaction, bei welcher es zur vollen Apperception des Eindrucks nicht kommt, so können wir unserer Ansicht auch dahin Ausdruck geben, dass bei schwachen Eindrücken die Ausführung der verkürzten Reaction auf Schwierigkeiten stößt, die in der Langsamkeit der Perception schwacher Eindrücke und der Langsamkeit ihrer Coordination mit der Bewegung ihre Erklärung findet. Allerdings ist nach meiner Meinung das Sensoriellwerden der Reaction bei schwachen Eindrücken nicht Ursache, sondern Folge der Erscheinung.

Es bleibt die Frage, ob die Möglichkeit der Ausgleichung der Reactionszeit auch für allerschwächste oder allerstärkste Reize vorhanden ist, oder ob dieselbe eine Grenze hat, ehe der Reiz unter die Schwelle sinkt oder die Höhe erreicht. Was die von Berger benutzten Schallintensitäten betrifft, so vermuthe ich allerdings, wenn es erlaubt ist ohne specielle Versuche ein Urtheil zu wagen, dass sie innerhalb der Grenzen lagen, in welchen eine Gleichheit der Reactionszeit von geübten Experimentatoren leicht erzielt würde. In Bezug auf die Reizhöhe liegen keine Erfahrungen vor. Eine Zunahme der Zeit der Reaction bei den stärksten Einwirkungen auf die Sinnesorgane wäre sehr wahrscheinlich und würde sich durch Störungen des Gesamtvorganges, sowohl in seinen peripheren als centralen Theilen, unschwer erklären, ohne dass damit etwas für den Reactionsvorgang als solchen ausgemacht wäre. Es käme auf die Frage hinaus, ob überhaupt bei überstarken Eindrücken ein geordneter Ablauf der Coordination von Eindruck und Bewegung möglich ist. Dass dabei große individuelle Verschiedenheiten sich zeigen würden, lehrt die alltägliche Erfahrung. Auf einen Schall von der Stärke eines in unmittelbarer Nähe abgeschossenen Kanonenschusses würden viele nur mit einer ungeordneten Reflexbewegung (Schreck) antworten können, während bei nervenstarken und an solche Schallstärken gewöhnten Individuen der Ausführung einer geordneten Reactionsbewegung nichts im Wege steht. Dass bei starken Eindrücken, wenn sonst die Reaction regelmäßig und richtig verläuft, eine kleine Zeitvermehrung eintreten kann, zeigen auch die obigen Zahlen (Tab. I, 6). Es liegt dies daran, dass der starke

Eindruck leichter eine geringe Festlegung der Aufmerksamkeit, eine sensorielle Ablenkung hervorbringt, als der schwache.

Um das Verhalten bei sehr geringen der Reizschwelle nahe liegenden Reizen zu ermitteln, wurden von uns noch Versuche gemacht, bei welchen der Tonerzeuger in ein dem Zimmer des Reagenten benachbartes, geschlossenes Zimmer gesetzt wurde. Die Entfernung zwischen dem Orte, wo der Ton entstand, und dem Reagenten betrug 10 m, 8 m mehr als sonst. Es genügte dann der bis dahin als schwach bezeichnete Ton nicht mehr, um überhaupt das Reagiren zu ermöglichen; es bedurfte eines etwas verstärkten Anschlagens der Saite, um eine immer noch sehr geringe Stärke des Tones zu erzeugen, bei welcher eben reagirt werden konnte. Die Reactionszeit für c lag bei beiden Beobachtern um 200 mit großer mittlerer Variation, und wenn der Klang verstärkt wurde, so dass er wohl vernehmbar war, immer noch um 170, sie war also, auch wenn man 20σ für den weiteren Weg der Schallbewegung in Abzug bringt, immer noch höher als die Reactionszeit für nahe Eindrücke. Offenbar tritt hier die Entfernung der Tonquelle als neues, störendes Moment hinzu. Es befinden sich so zu sagen zwischen dem Reagenten und dem Tone in diesem Falle eine größere Anzahl von (Gesichts- und Gehörs-) Vorstellungen wie sonst, aus denen heraus der schwache und örtlich unbestimmte Schalleindruck erfasst werden soll. Die so entstandene Schwierigkeit scheint mir in erster Linie die Adaptation der Aufmerksamkeit zu betreffen. Will man die aufgeworfene Frage auf experimentellem Wege entscheiden, so muss der der Schwelle nahe liegende Reiz unter den einfachsten Bedingungen hervorgebracht werden, also in der Nähe des Reagenten und möglichst bei absoluter Stille. Dass bei sehr schwachen Eindrücken die Verlangsamung der Reactionsbewegung schließlich nicht mehr überwunden werden kann, auch wenn alle sonstigen störenden Einflüsse entfernt sind, scheint mir aller Wahrscheinlichkeit zu entsprechen. Nimmt doch die Schwierigkeit mit Abnahme der Reize entschieden zu.

Noch ein Wort zur Vergleichung der vorliegenden mit den früheren Resultaten (Tab. II und III). Für den Reagenten G. M. hat eine weitere Verkürzung der Zeiten stattgefunden; die Zeitdifferenz zwischen hohen und tiefen Tönen ist aber constant geblieben; sie betrug nach

Tab. III zwischen c' und c''' 13,5 σ und beträgt nach Tab. II zwischen c und c''' 17,8 bez. 20,7 σ . Für den Reagenten Mb. ist ebenfalls eine weitere Verkürzung eingetreten, so dass die für diesen Reagenten bis dahin etwas zu große Differenz der Reactionszeit auf hohe und tiefe Töne sich vermindert hat. Eine wesentliche Abweichung der neuen Versuche von den alten besteht nur in Bezug auf die Reactionszeit für das Geräusch. Während die frühern Zeiten für G. M. und Mb. 109,1, bez. 109, 2 σ waren,] haben wir jetzt die Zahlen 120,5 und 117,8 erhalten. Die auffallende Erscheinung findet ihre Erklärung in der Umänderung der Versuchsbedingungen. In dem früheren Falle war die Zeit mit dem Fallhammer gemessen; über die Versuchsanordnung dabei vergl. a. a. O. S. 401 ff. Jetzt wurde das knallartige Geräusch auf einer ganz kurzen überangespannten Saite hervorgebracht. Die Messung der Geräuschzeit fand also genau unter den gleichen Umständen statt wie die der Klänge. Wie weit außer dieser Verschiedenheit der äußeren Bedingungen etwa andere Momente mitgesprochen haben, ist nicht zu entscheiden.

Für die Folgerungen, die ich seinerzeit aus dem Vergleich der Reactionszeit von Geräuschen und Tönen gezogen habe, ist aber nunmehr eine Einschränkung zu machen. Im Anschluss an Exner¹⁾ hatte ich es für möglich gehalten, aus den Differenzen der Reactionszeit für Geräusch und Töne die Anzahl der nöthigen Schwingungen zu berechnen, die zur Erregung des Perceptionsorgans erforderlich sind. Ich habe es dabei zwar nicht für »unbezweifelbar« gehalten, wie Stumpf meint (a. a. O. S. 231), »dass die einzige Wirkung eines knallartigen Geräusches im Ohre in der einmaligen Excursion der nämlichen Nervenendigungen besteht, die auch den Tonempfindungen dienen«, was wohl heute Niemand für unbezweifelbar halten wird; wohl aber habe ich es als wohlbegründet angesehen²⁾, dass ein knallartiges Geräusch nur eine einmalige Erregung des Organs bewirkt, aus dem Grunde, weil ein solches Geräusch seiner physikalischen Natur nach nur einen einmaligen

1) Vergl. Pflüger's Archiv Bd. XIII, 1876. S. 228 ff.

2) Besonders mit Rücksicht auf die Untersuchungen Brücke's, »Ueber die Wahrnehmung der Geräusche«, Wiener Akad. Ber. XC, B., III. Abth. S. 199.

Impuls darstellt. Die weitere Voraussetzung aber, dass diese einmalige Erregung der Zeit nach mit der Erregung einer schwingenden Faser durch die regelmäßigen Klangwellen direct verglichen werden kann, scheint mir heute nicht mehr haltbar. Die Explosionswelle könnte eine einmalige, unregelmäßige Erschütterung des Perceptionsorgans bewirken, von ungleich längerer Dauer und Langsamkeit als die Erregung einer specifischen Faser durch eine einzelne Tonwelle. Das Auftreten der längern Reactionszeit für Geräusche würde dadurch erklärt sein.

Zur genaueren Bestimmung der zu einer Tonerregung nöthigen Schwingungen würde dann nur die Vergleichung der Reactionszeiten der Töne untereinander dienen können. Indem man annimmt, dass bereits bei c'''' , dem höchsten der benutzten Töne, die Zeit, welche für die zur Erregung nöthigen Schwingungen erforderlich ist, in Folge ihrer Kleinheit vernachlässigt werden kann (bei 4 Schwingungen würde sie nur $1,9 \sigma$ betragen), erhält man für die tieferen Töne die gesuchte Zahl, indem man die Differenz der Reactionszeit des betr. Tones und c'''' in seine Schwingungszahl multiplicirt. Stumpf hat mit Recht bemerkt, dass bei Anwendung dieser Rechnungsweise die in der früheren Arbeit niedergelegten Zahlen mit der Tonhöhe aufsteigende Werthe für die Anzahl der zur Erregung der Nervenendigungen nöthigen Schwingungen ergeben. Nach den jetzt vorliegenden Reactionszahlen wäre das nicht der Fall, wie die folgende Tabelle zeigt, in welcher die Zahlen also die für den betr. Ton nöthige Schwingungszahl bedeuten. Zur Berechnung haben die in Tab. II gegebenen Reactionszeiten beider Reagenten gedient.

Tabelle IV.

c	c'	c''	c''''
2,6	3,7	3,6	3,2

Zum Vergleiche folgt Tab. V, welche nach derselben Berechnungsweise aus den in Tab. III wiedergegebenen früheren Reactionszeiten gewonnen ist.

Tabelle V.

<i>R</i>	<i>C'</i>	<i>c'</i>	<i>c'''</i>
G. M.	1,1	3,5	8,4
Mb.	1,2	8,4	12,6

Eine Entscheidung, welche Zahlen das größere Zutrauen verdienen, ist kaum zu treffen; die größere Uebung spricht für Tab. IV. Nur die directe Untersuchung wird die Frage in allen Anforderungen entsprechender Weise definitiv lösen können¹⁾.

Folgende Sätze können als das Ergebniss dieser Untersuchung bezeichnet werden:

1) Der allgemeine Satz, dass die Reactionszeit mit wachsender Intensität der Eindrücke abnimmt, ist nicht bedingungslos richtig.

2) Bei richtiger Uebung und Anspannung der Aufmerksamkeit ergibt sich, wenigstens auf dem Gebiete des Gehörs, für verschieden starke Eindrücke in ziemlich weitem Umfange der Reizscala die gleiche Reactionszeit.

3) Der Grund der Zunahme der Reactionszeit bei abnehmender Reizintensität, wie sie bei sorgloser Ausführung der Reaction überall auftritt, liegt in der Schwierigkeit der Perception schwächerer Eindrücke und in der langsameren Coordination von Eindruck und Bewegung.

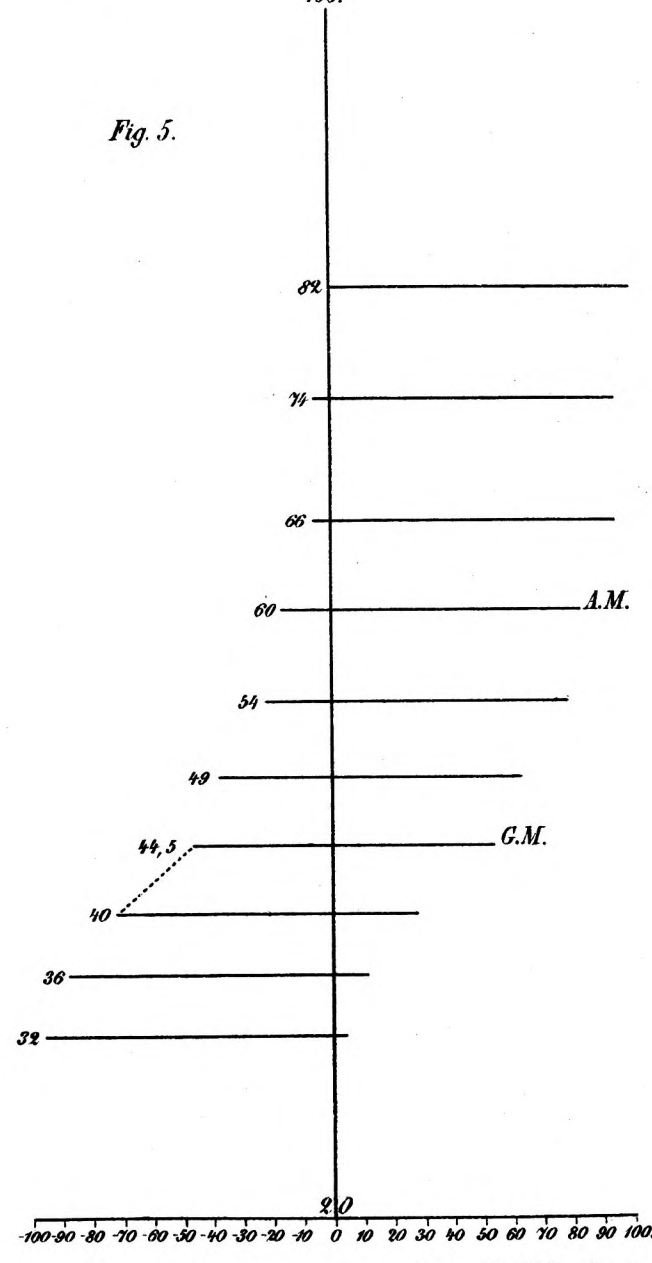
4) Zur Annahme, dass rein physiologische Gründe in den Leitungsvorgängen die Reactionszeit der schwächeren Eindrücke verlangsamten, liegt kein directer Anhaltspunkt in den Reactionsversuchen vor.

5) Bei sehr schwachen Eindrücken, die der Schwelle nahe liegen, ist die größere Langsamkeit der Perception und Reaction wahrscheinlich nicht durch Uebung oder Anspannung der Aufmerksamkeit vollständig zu beseitigen.

1) Eine Berichtigung nebenbei. Stumpf meint (a. a. O. S. 232), ich habe es nicht für richtig befunden, dass er die Versuche von von Kries und Auerbach in seiner Tonpsychologie berücksichtigt habe. Meine Bemerkung bezog sich nur auf die eine Reihe der den Gegenstand betreffenden Versuche, die in der That unbrauchbar ist. Von ihr gestattete ich mir die Bemerkung, dass Stumpf sie trotzdem herbeigezogen habe, indem er irrtümlich dabei die Hundertstel als Tausendstel angab. Die andere Reihe der auf denselben Gegenstand bezüglichen Versuche habe ich selbst ausführlich erörtert. Vergl. a. a. O. S. 396. »Anders steht es um die zweite Versuchsreihe.«

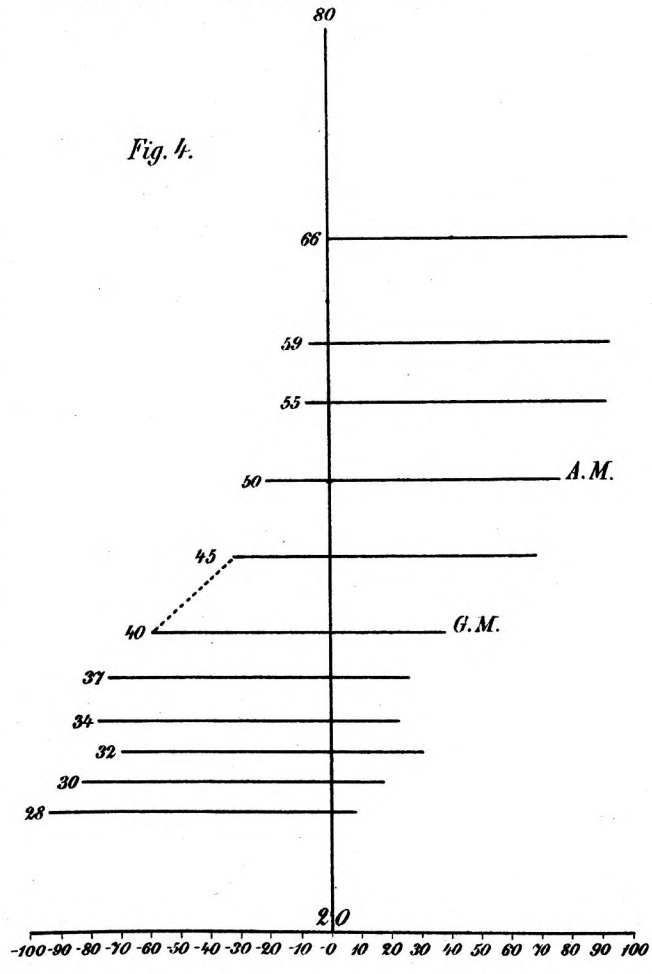
$R_1 = 20.$ $A.M. = 60.$ $R_m = 44.$
 $R_2 = 100.$ $G.M. = 44,7.$ $100.$

Fig. 5.



$R_1 = 20.$ $A.M. = 50.$ $R_m = 41,5.$
 $R_2 = 80.$ $G.M. = 44,7.$

Fig. 4.



$R_1 = 15.$ $A.M. = 37,5.$ $R_m = 28,5.$
 $R_2 = 60.$ $G.M. = 30.$

Fig. 3.

