

Die Wahrnehmung von Tonveränderungen.

Von

L. WILLIAM STERN.

Erste Mitteilung.

(Mit zwei Figuren im Text.)

Die „Auffassung von Veränderungen“, schon zweimal von mir in diesen Blättern behandelt, ist es wieder, der auch die folgenden Darlegungen gewidmet sind. Und wenn ich schon in meiner ersten Veröffentlichung es aussprach, daß hier ein Forschungsobjekt von hohem Interesse verborgen liege, so kann ich dies heute, nach mehrjähriger Beschäftigung mit dem Thema, in erhöhtem Maße bekräftigen. Wir haben hier in der That ein psychologisches Problem von außerordentlicher Fruchtbarkeit, freilich auch von großer Schwierigkeit, vor uns, ein Gebiet, das noch zum größten Teil terra incognita ist und dessen Bearbeitung ein umfassendes psychologisches Rüstzeug erfordert. So einfach, wie SCRIPTURE und PREYER — die einzigen fast, die das Problem als solches erkannt haben — es sich zu denken scheinen, ist das Thema nicht; wir haben es nicht nur mit den von jenen allein berücksichtigten und schon an sich hinreichend schwierigen Empfindungstatsachen zu thun, sondern auch Vorstellungs- und Urteilmomente von Wichtigkeit müssen herangezogen werden, um den psychischen Inhalt der Veränderungsauffassung einigermaßen zu erschöpfen. Der Unterschied zwischen der momentanen Auffassung des Überganges, der zeitlich ausgedehnten kontinuierlichen Wahrnehmung einer Veränderung und der durch Vergleichung mehrerer Phasen erschlossenen Änderung — das Zustandekommen der Stetigkeits- und Allmählichkeitsvorstellung — der Ursprung der mit der Veränderung so eng verwandten Vorstellung des Geschehens — das Mitspielen von Phänomenen des

primären und sekundären Gedächtnisses, von Aufmerksamkeits- und Ermüdungserscheinungen — ferner die psychische Veränderungsschwelle und ihre Abhängigkeit von der Änderungsgeschwindigkeit — seien nur als einige Teilprobleme erwähnt. Hierzu kommt noch der innige Zusammenhang, in dem die Veränderungsfrage mit dem so wichtigen Problem der Zeitauffassung steht.

Eine Monographie, enthaltend eine allgemeine Theorie der Veränderungsauffassung, wird nach alledem vielleicht kein ganz wertloses Unternehmen sein, und es mag in den eben aufgeführten zahlreichen Substantiven nicht nur eine Anhäufung von Problemstellungen, sondern zugleich eine Andeutung der Richtungen erblickt werden, in welchen ich selbst das Thema zu bearbeiten mir zur Aufgabe gestellt habe.

Diese Bearbeitung soll freilich noch nicht in den folgenden Zeilen gegeben werden, vielmehr enthalten dieselben nur ein weiteres Glied in der Reihe der experimentellen Vorarbeiten, die ich zu einer gründlichen Behandlung der Frage durchaus für nötig halte; denn sie müssen wesentlich beitragen zur Gründung der Thatsachenbasis, auf der sich dann allgemeinere Betrachtungen erheben können. PREYER¹ hat es freilich versucht, auf Grund des verhältnismäßig spärlichen, früher vorhandenen Thatsachenmaterials ein ganz allgemeines Gesetz über die Wahrnehmung von Veränderungen aufzustellen (daß nämlich die Änderungsempfindlichkeit zunehme mit der Änderungsgeschwindigkeit); mit welchem Rechte, mögen die folgenden Ausführungen lehren.

Die experimentellen Voruntersuchungen werden sich naturgemäß wesentlich mit der sensorischen Seite des Problems zu beschäftigen haben; und nachdem ich bisher auf optischem Gebiete gewelt,² wandte ich mich nunmehr zu den Gehörsempfindungen. Die Wahrnehmung von Tonhöheveränderungen schien mir ein besonders günstiges Untersuchungsobjekt zu sein, einerseits, weil hier am wenigsten Störungen von Ermüdungseinflüssen zu befürchten sind, andererseits, weil die hohe

¹ W. PREYER, Die Empfindung als Funktion der Reizänderung. *Diese Zeitschr.* VII. S. 241 ff.

² W. STERN, Die Wahrnehmung von Helligkeitsveränderungen. *Diese Zeitschr.* VII. S. 249 ff. u. 395 ff. — Die Wahrnehmung von Bewegungen ermittelt durch das Auge. *Diese Zeitschr.* VII. S. 321.

U.-E. förderlich schien, und endlich, weil die hier mehr als anderwärts zu Tage tretenden individuellen Differenzen manch' interessantes Ergebnis erwarten ließen.

Die Litteratur über experimentelle Untersuchungen der Wahrnehmung von Tonveränderungen umfaßt nur wenige Nummern. Hier ist in erster Linie SCRIPTURE zu erwähnen. Er hat mit einer Wellensirene gearbeitet, deren Ton er durch eine fortwährende Änderung der Rotationsgeschwindigkeit allmählich vertiefte. Trotz vieler Bemühungen gelang es ihm indessen nicht, ein Haupterfordernis für solche Versuche zu erfüllen, nämlich die Geschwindigkeit der Tonänderung kontrollierbar zu machen; die Untersuchung wurde auch unvollendet abgebrochen. Irgendwelche quantitative Bestimmungen zu geben, ist er nicht im stande; er beschränkt sich auf die qualitative Kennzeichnung seiner Ergebnisse: „*The least perceptible variation increases as the rate of variation decreases, and vice versa*“,¹ zu welchem Resultat, wie man sehen wird, die meinigen in direktem Gegensatze stehen.

Im übrigen fand ich nur noch bei PREYER² und HÖFLER³ Vorschläge, wie man allmähliche Tonänderungen erzeugen könne; jener benutzte seinen Tondifferenzapparat, dieser denkt an eine offene Pfeife mit einem mechanisch zu verschiebenden Deckel.

¹ E. W. SCRIPTURE, *Americ. Journ. of Psych.* IV. (nicht VI., wie er sich selbst einmal falsch citiert) S. 580. An einer anderen Stelle freilich („Über die Änderungsempfindlichkeit.“ *Diese Zeitschr.* VI. S. 473) sagt SCRIPTURE das gerade Gegenteil hiervon: „Man beobachtet, daß . . . die eben merkbare Änderung im gleichen Sinne mit der Geschwindigkeit sich vergrößert oder verkleinert.“ Dies würde also mit meinen Ergebnissen übereinstimmen, aber daß hier nur ein Fehler in der Ausdrucksweise vorliegt, zeigt sofort der darauffolgende Satz: „Wenn die Änderung sehr langsam geschieht, kann man den Ton durch etwa eine ganze Tonstufe ändern, ohne daß man die Änderung bemerkt, während dagegen bei schnellerer Änderung das Ohr sehr viel empfindlicher ist,“ und auch die weiteren Ausführungen bewegen sich sämtlich in der Richtung des oben citierten englischen Textes. — Ein Schwellenwert von einer ganzen Tonstufe ist übrigens ein ganz erstaunlich hoher Grad von Unempfindlichkeit, der mir auch nicht annähernd selbst bei noch so geringen Änderungsgeschwindigkeiten begegnet ist. Freilich giebt S. nicht einmal die Gegend des Tonreiches an, in der jene merkwürdige Beobachtung gemacht wurde.

² A. a. O.

³ A. HÖFLER, *Psychische Arbeit. Diese Zeitschr.* VIII. S. 61.

Höchst wertvolle Bemerkungen über Stetigkeit der Tonveränderung, über „Übergangsempfindungen“ auf dem Gebiete des Tonsinnes und anderes finden sich bei STUMPF;⁴ doch muß ich mir deren Besprechung, da dieselben wesentlich theoretischer Natur sind, auf einen anderen Ort versparen.

Der Apparat.

Die Vorrichtungen, wie sie in den bisherigen Veröffentlichungen vorgeschlagen werden, ermöglichen wohl die Herstellung recht langsamer, kontinuierlicher Tonveränderungen, nicht aber — und darauf kam es mir besonders an — die Erzeugung gleichmäßiger Änderungen oder überhaupt solcher, deren Geschwindigkeit in jedem Punkt ihres Verlaufes kontrolliert und nach Wunsch variiert werden konnte. Erschwert wird diese Aufgabe noch sehr durch die komplizierten Beziehungen, in denen die Tonhöhe zu den Ausmessungen der tonerzeugenden Instrumente steht. Denn es ließe sich wohl eine Methode erdenken, um auf mechanischem Wege den Deckel einer Pfeife oder den Steg einer Saite gleichmäßig zu verschieben, aber diesen gleichmäßigen Verschiebungen entspricht nicht eine konstante Geschwindigkeit der Tonänderung. Von der Benutzung der Sirene schreckten mich die geringen Erfolge SCRIPTURE's ab, zumal mir nicht bekannt ist, daß ein Mittel zur völlig gleichmäßigen Erhöhung einer Rotationsgeschwindigkeit existiert. Es galt somit, andere Wege zu finden, und da sei hier zunächst kurz, um vielleicht anderen etwaige Enttäuschungen zu ersparen, eines mißglückten Versuches gedacht.

Das physikalische Institut der königl. Ingenieur- und Artillerie-Schule zu Charlottenburg (Leiter Herr Prof. NEESEN) besitzt einen tönenden, elektrisch erregbaren Stahlstab, der, der Länge nach ausgehöhlt, in seiner Tonhöhe abhängt von dem Maße, in dem er mit Quecksilber gefüllt ist. Durch das liebenswürdige und dankenswerte Entgegenkommen des Herrn Prof. NEESEN war es mir ermöglicht, den Stab auf seine Verwendbarkeit zu meinen Zwecken zu untersuchen. Indem ich ein mit dem Stab kommunizierendes Gefäß voll Quecksilbers durch einen Elektromotor heben ließ, wurde der Stab allmählich gefüllt und änderte seine Tonhöhe; aber leider war auch hier einerseits nicht die wünschenswerte Konstanz der Änderungsgeschwindigkeit zu erzielen, andererseits waren die Grenzen, innerhalb deren der Ton sich änderte, außerordentlich gering und die Geschwindigkeit wenig variierbar.

⁴ C. STUMPF, *Tonpsychologie*. I. 33. 138. 184. II. 340 u. a.

Nunmehr ging ich, einer Anregung des Herrn Professor STUMPF folgend, dazu über, die Benutzung angeblasener Flaschen in Betracht zu ziehen, und hier gelang es mir nach längeren Vorbereitungen, einen verhältnismäßig einfachen Apparat zu konstruieren, der durchaus den oben formulierten Anforderungen genügt.

Eine zylindrisch oder parallelepipedisch geformte Glasflasche giebt, durch einen kontinuierlichen Luftstrom angeblasen, bekanntlich einen sanften und ziemlich obertonfreien Klang.¹ Wird die Flasche mit Wasser gefüllt, so ändert sich der Ton; er wird um so höher, je mehr die Höhe der schwingenden Luftsäule durch das Wasser eingeschränkt wird. Eine allmähliche Füllung oder Entleerung der Flasche hat daher eine allmähliche Tonveränderung im Gefolge. Das Einfachste wäre nun, einen gleichmäßigen Wasserstrahl direkt in die Flasche eintreten oder aus ihr austreten zu lassen; das geht aber aus mehreren Gründen nicht an, denn 1. würde ein durch den Hals einfließender Strahl und der seitlich wirkende Luftstrom nicht ungehindert nebeneinander bestehen können; ersterer wird zerstäubt, letzterer an der Tonerzeugung gehindert; 2. würde ein noch so dünner Strahl, einer nicht allzugroßen Flasche direkt zugeleitet oder entnommen, das Niveau in der Flasche und damit die Tonhöhe außerordentlich schnell ändern; 3. — und das ist das Wichtigste, — würde die Tonhöhe nicht gleichmäßig mit dem steigenden oder fallenden Niveau sich ändern. Denn zwischen der Höhe der in der Flasche schwingenden Luftsäule und der Tonhöhe besteht nicht umgekehrte Proportionalität, sondern ein, unten näher auseinanderzusetzendes, komplizierteres Verhältnis, demzufolge bei höherem Wasserstande der Ton sich viel schneller ändert als bei niederem.

Alle diese Mängel fallen fort, wenn man das Wasser nicht direkt, sondern durch ein kommunizierendes Gefäß zuführt, in welches der Wasserstrahl hineingeleitet wird. Für dieses Gefäß möchte ich, da es die Veränderungen reguliert, den Namen „Variator“ vorschlagen. Bei einer solchen, umstehend (Fig. 1) schematisch dargestellten Vorrichtung wird, da das Wasser in die Flasche von unten eintritt, der Prozeß des Tönens nicht im geringsten gestört; es ist ferner die Geschwindigkeit der Niveauänderung innerhalb außerordentlich weiter Grenzen

¹ S. z. B. HELMHOLTZ, *Tonempfindungen*, IV. Aufl. S. 103.

variierbar (durch Änderung der Zufließgeschwindigkeit), namentlich läßt sich hier, da ja stets nur Bruchteile des dem Apparat zugeführten Wassers in die Flasche gelangen, die Langsamkeit der Tonänderung bis zu einem Grade steigern, der mit anderen Apparaten auch nicht annähernd erreichbar ist; ja, eigentlich giebt es, da man den Variator ja beliebig weit machen kann, überhaupt keine untere Grenze der Änderungsgeschwindigkeit.

Der Umstand, daßs vermittelt des Variators eine ungestörte und langsame Tonveränderung möglich ist, verleiht demselben eine noch weitergehende Verwendbarkeit für alle Zwecke, bei denen angeblasene Flaschen überhaupt benutzt werden. Er erleichtert nämlich außerordentlich die Abstimmung der Flaschen, bei denen man bisher mit allen oben geschilderten Mißständen der direkten Einfüllung zu kämpfen hatte und auf ein tastendes Ausprobieren angewiesen war. Jetzt läßt man einen dünnen Wasserstrahl in den Variator eintreten und schließt den Wasserhahn in dem Moment, da die allmählich langsamer werdenden Schwebungen der Flasche mit einer Stimmgabel oder Pfeife der gewünschten Höhe ganz aufhören.

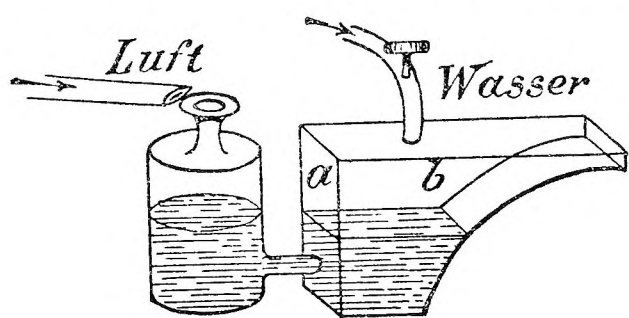


Fig. 1.

Dem dritten oben gestellten Erfordernis endlich, dem einer gleichmäßigen¹ Tonänderung, vermag man mit dem Variator dadurch entgegenzukommen, daßs man die eine Seitenwand desselben in eigentümlicher Weise

formt, wie schon im Schema angedeutet ist. Da zur Erzielung einer gleichmäßigen Tonänderungsgeschwindigkeit das Wasser in den oberen Flaschen querschnitten langsamer steigen muß als in den unteren, so macht man die entsprechenden oberen Variatorquerschnitte größer als die unteren, so daßs, je höher das Wasser steht, der Variator um so größere Bruchteile des zufließenden Wassers absorbiert und um so kleinere an die Flasche abgeben kann. Die Kurve des Variators läßt sich leicht aus den Gesetzen des Flaschentönens berechnen. — Es braucht kaum erwähnt zu werden, daßs sich auf gleiche Weise eine Variatorkurve nicht nur für gleichmäßige, sondern für jede beliebige andere gesetzmäßige Änderung konstruieren läßt, z. B. für gleichmäßig beschleunigte oder verlangsamte, ferner für eine solche, bei der nicht der absolute, sondern der relative Schwingungszusatz pro Sekunde konstant ist u. s. w.

¹ „Gleichmäßig“ nenne ich hier stets eine solche Änderung, bei welcher in gleichen Zeiten gleiche Anzahlen von Schwingungen hinzugefügt oder fortgenommen werden.

Nach diesen Prinzipien konstruierte ich meinen Apparat, vor dessen spezieller Schilderung jedoch die Gesetzmäßigkeit des Flaschentönens und die Berechnung der Variatorkurve dargelegt werden müssen.

Ich benutzte zu meinen Versuchen eine kleine zylindrische Flasche von der Höhe $H = 106,78$ mm (exkl. Hals) und einem Durchmesser von $2r = 33$ mm. Diese stimmte ich durch Vergleichung mit Stimmgabeln auf verschiedene Tonhöhen ab und las jedesmal den Wasserstand in der Flasche durch Fernrohr ab. Durch Abzug dieser Wasserstandshöhe von der Höhe der ganzen Flasche erhielt ich die Höhe der schwingenden Luftsäule. Es ergaben sich folgende Werte, deren jeder als Mittelwert aus mehreren Messungen zu betrachten ist:

Schwingungszahl (n)	Höhe der schwingenden Luftsäule (h).
400	61,18
500	39,08
608,85	26,38

Das Gebiet zwischen 400 und 600 Schwingungen war dasjenige, bei welchem die Flasche am besten ansprach.

Aus obigen Zahlen geht zunächst deutlich hervor, daß die Tonhöhe nicht, wie es etwa bei Pfeifen der Fall ist, der Höhe der schwingenden Luftsäule umgekehrt proportional sei; dagegen fügen sich die Zahlen mit überraschender Genauigkeit einer anderen Gesetzmäßigkeit: Die Tonhöhe ist umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Lufthöhe; d. h. es ist, wenn c eine Konstante bedeutet,

$$n = \sqrt{\frac{c}{h}} \text{ oder } n^2 h = c.$$

Denn berechnen wir dieses c für die drei gemessenen Tonhöhen, so ergibt sich:

n	$c = n^2 h$
400	9 788 000
500	9 770 000
608,85	9 779 012
	<hr/> Mittel 9 779 004

und c stellt sich in der That als eine Konstante dar.¹

¹ Wie ich nachträglich fand, ist von HELMHOLTZ schon längst eine gleiche Gesetzmäßigkeit auf rein mathematisch-theoretischem Wege für „Röhren mit offenen Enden“ festgestellt worden. *S. Crelle's Journ.* Bd. LVII.

Ich nenne diesen Wert c die Konstante der Flasche.

Nunmehr läßt sich die Form des Variators auf folgende Weise berechnen:

Gegeben sind als konstant:

Q der Querschnitt der tönenden Flasche = 855,3,

c die Konstante der Flasche = $n^2 h = 9\,779\,004$,

ω die Geschwindigkeit des Wasserzuflusses,

und als konstant soll erhalten werden

ε die Geschwindigkeit der Tonveränderung = $\frac{dn}{dt}$.

Variabel dagegen sind

h die Höhe der tönenden Luftsäule,

n die Schwingungszahl (Tonhöhe),

R der Querschnitt des Variators.

Die Menge des einfließenden Wassers in jedem Augenblick ist einerseits gleich der Zuflußgeschwindigkeit multipliziert mit dem Differential der Zeit: $\omega \cdot dt$, andererseits gleich der Summe der Querschnitte multipliziert mit dem Differential der Höhe: $(Q + R) \cdot -dh$ (negativ, weil h nicht die Höhe der Wassersäule, sondern die der Luftsäule bedeutet).

$$\omega \cdot dt = (Q + R) \cdot -dh.$$

Da nun $c = n^2 h$, ist $dh = -\frac{2c}{n^3} dn$

$$\omega \cdot dt = (Q + R) \cdot \frac{2c}{n^3} dn$$

$$\frac{\omega}{2c} \frac{dt}{dn} n^3 = Q + R$$

$$\frac{\omega}{2c\varepsilon} n^3 = Q + R.$$

Da der Koeffizient von n^3 lauter Konstanten enthält, so ergibt sich: Um eine gleichmäßige Tonänderungsgeschwindigkeit zu erzielen, muß man die Summe der Querschnitte proportional der dritten Potenz der Schwingungszahl steigen lassen,

Da nun die Werte c und Q mit der Flasche gegeben sind, so hängt die Berechnung der Variatorquerschnitte für die verschiedenen Tonhöhen ab von der willkürlichen Festsetzung eines

Wertes für den Quotienten $\frac{\omega}{\varepsilon}$. Ich setzte denselben = $\frac{1000}{1}$,

womit ausgedrückt ist, daß, um den Ton um je eine Schwingung zu verändern, ein Wasserzufluß von $1000 \text{ cmm} = 1 \text{ ccm}$ nötig ist.

Aus Konstruktionsrücksichten wählte ich, wie schon das Schema Figur 1 andeutet, für die Querschnitte des Variators die Grundform des Rechtecks, und zwar so, daß die Dicke a konstant bleibt (40 mm), dagegen die Breite b nach oben hin weit auslädt.

Setzen wir nun $R = a \cdot b$, führen für n wieder den Wert $\sqrt{\frac{c}{h}}$ ein und benutzen alle bekannten Zahlenwerte, so ergibt sich:

$$\frac{1000 \cdot \sqrt{9779004}}{2 \cdot \sqrt{h^3}} = 855,3 + 40b.$$

Hieraus ist für jeden Wert von h der zugehörige von b zu finden und so eine Kurve zu konstruieren, nach welcher die Anfertigung eines Variators möglich ist.

Figur 2 zeigt den fertigen Tonveränderungsapparat.

F ist die oben beschriebene tönende Flasche, welche mittelst eines von einem Blasebalg herkommenden, durch den Schlauch W zugeführten Luftstromes angeblasen wird. Dem Schlauche ist die eigentliche Anblaseröhre aus Glas eingefügt, aus deren schmalem Spalt die Luft unmittelbar über dem Flaschenrande austritt. Diese Röhre ist an ein Stativ geschraubt und dadurch in einer bestimmten Stellung zur Flasche fixiert. Das ist sehr wichtig, weil geringe Verschiebungen des Anblaserohres gegen die Flasche die Tonhöhe schon merklich verändern können. Überhaupt spricht in einer bestimmten Stellung der Anblaseröhre die Flasche nicht in allen Tonhöhen gleich gut an, so daß bei der von mir gewählten Stellung der Ton nicht durch das früher berechnete Gebiet von 200 Schwingungen, sondern nur durch ca. 50—75 Schwingungen hindurch (von 400—475) gut war und sich als brauchbar erwies. Übrigens ist auch dieser Umfang für gewisse Versuchsgruppen (und insbesondere für die im Folgenden zu schildernden) reichlich groß genug.¹ — Der Blasebalg (in der Figur nicht dargestellt)

¹ Bei Anfertigung fernerer Tonveränderungsapparate wird es sich empfehlen, schon vor der ersten Bestimmung der Flaschenkonstante

war mit der Hand zu bedienen, durch einen eingeschalteten Regulator wurden die Ungleichheiten im Luftzufluss zwar nicht ganz aufgehoben, doch soweit herabgesetzt, daß von den dadurch bewirkten minimalen Intensitätsschwankungen im Tone mit Leichtigkeit abstrahiert werden konnte.

V ist der Variator, aus Zinkblech verfertigt (vom Mechaniker des Physiologischen Instituts zu Berlin, Herrn Oehmcke), 40 mm breit und oben 291,5 mm lang. Die Kurve entspricht den

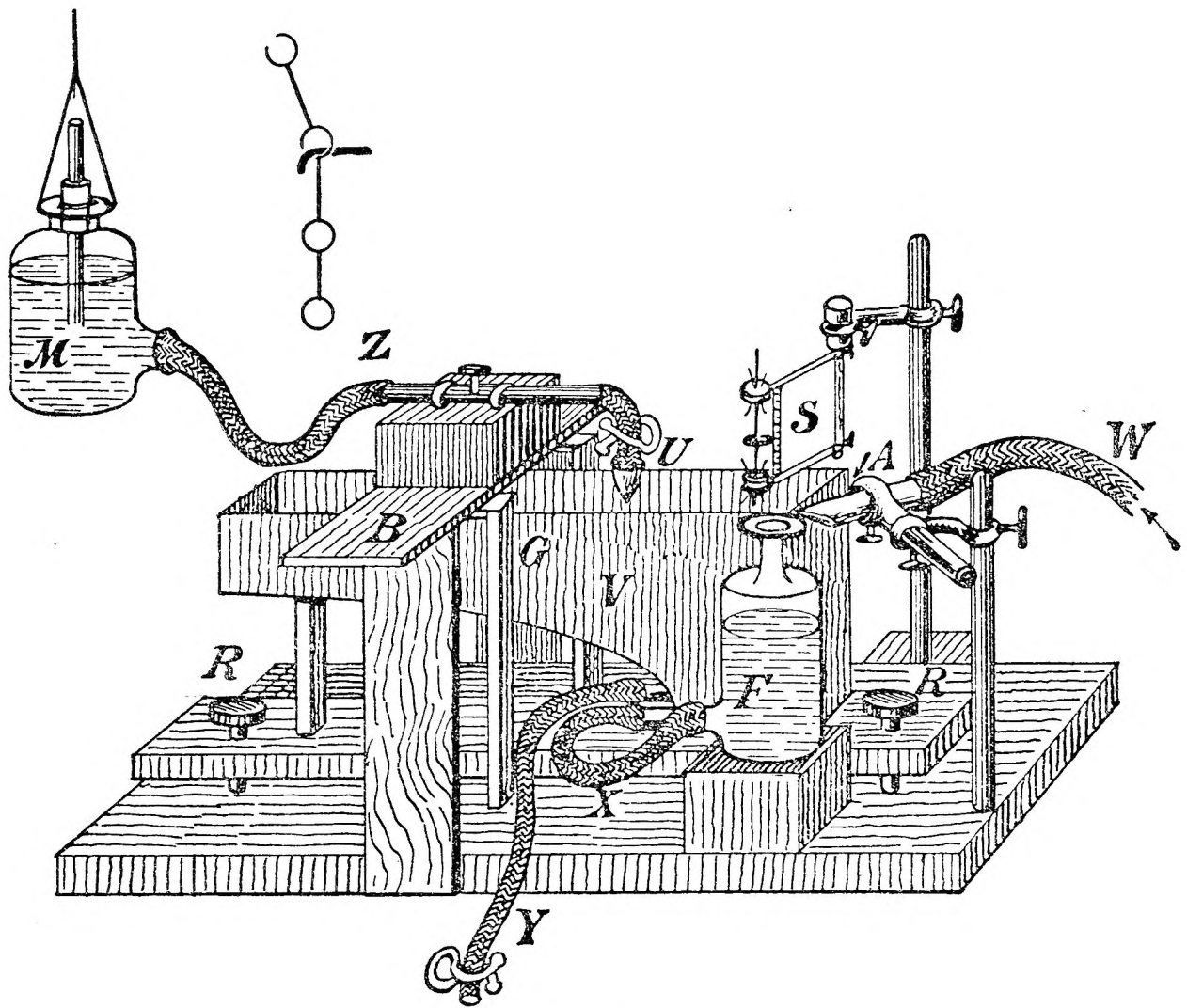


Fig. 2.

mittleren Teilen der Flasche, für welche oben die Schwingungen berechnet waren. Unten hat der Variator zwei offene Ansätze, auf dem einen sitzt der Schlauch *X*, durch welchen der Variator mit der Flasche kommuniziert, auf der anderen der Schlauch *Y*, mittelst dessen das Wasser aus dem Variator abgelassen werden kann. Der Schlauch ist durch einen federnden Quetschhahn geschlossen, um ihn möglichst schnell öffnen und sperren zu können. Der Wasserzufluß geschieht aus der Flasche *M* durch

das Anblaserohr mit der Flasche fest zu verbinden und diese Verbindung für alle Zeiten beizubehalten.

den Schlauch *Z* und die Ausflusssstelle *U*, wo dem Schlauch ein kleines in eine Spitze ausgezogenes Glasröhrchen oder Metallröhrchen eingefügt ist. Unmittelbar vor der Röhre ist auch dieser Schlauch, wieder um momentan Öffnung und Schluß herbeizuführen, mit einem Quetschhahn versehen. Um eine konstante Zuflufsgeschwindigkeit zu erzeugen, ist die Flasche *M* als Mariotte'sches Gefäß eingerichtet, d. h. mit einer oben und unten offenen Glasröhre versehen, die den Pfropfen durchsetzt und die, solange ihr unteres Ende unter Wasser steht, einen gleichmäßigen Abfluß herbeiführt.¹ Eine analoge Vorrichtung zur Ableitung des Wassers aus dem Variator zu treffen, war nicht möglich, doch läßt sich auch hier eine annähernd gleichmäßige Geschwindigkeit des Ausflusses herstellen, wenn man *Y* verhältnismäßig lang macht und nur innerhalb enger Grenzen den Ton sich vertiefen läßt. Denn die Ausflufsgeschwindigkeit hängt ab von der Höhendifferenz zwischen Niveau und Ausflußöffnung; ist diese Höhe beträchtlich, so können kleine Variationen des Niveaus unbedenklich vernachlässigt werden. Benutzt man den Schlauch *Y* zur allmählichen Vertiefung des Tones, so muß, damit das Wasser nicht zu schnell abfließe, auch hier eine Glas- oder Metallspitze eingesetzt werden.

Variieren kann man die Zufluß- und Abflufsgeschwindigkeit teils durch Einsetzen von Glasspitzen mit verschieden feiner Öffnung, teils durch Veränderung des Wasserdrucks; letzteres geschieht für den Zufluß durch Aufhängen der Flasche *M* in verschiedener Höhe, für den Abfluß dadurch, daß man den Schlauch *Y* mehr oder weniger weit herabhängen läßt. Durch geeignete Kombination dieser Mittel läßt sich die Geschwindigkeit innerhalb außerordentlich weiter Grenzen modifizieren.

S ist ein Schwimmer, der als bequemer Index des Wasserstandes dient. Er besteht aus einem dünnen Metallstab, welcher durch ein auf dem Wasser schwimmendes Korkstück getragen und durch zwei Führungen stets senkrecht gehalten wird. In der Mitte des Stabes ist ein Kupferplättchen befestigt, das, an einer Teilung vorbeistreichend, die jeweilige Höhe des Wasser-

¹ Wenn man eine sehr weite und große Flasche zur Verfügung hat, ist die Mariotte'sche Vorrichtung überflüssig, weil dann eine beträchtliche Wassermenge ausfließen kann, ohne daß sich die Geschwindigkeit des Ausflusses merklich ändert.

standes im Variator ablesen läßt. Zugleich ist der Schwimmer mit einer Vorrichtung versehen, die eine genaue Bestimmung der Änderungsgeschwindigkeit in verschiedenen Teilen der Flasche ermöglicht. Aus den beiden Führungen ragen je zwei Metallspitzen hervor, die mit einer Batterie und dem Chronoskop in Verbindung gesetzt werden können, und zwischen denen das Schwimmerplättchen bei Berührung Stromschluß herbeiführt. Nun stellt man zwischen den an einer Laufstange verschiebbaren Führungen einen nicht zu großen Abstand her, bestimmt die Tonhöhe, die bei oberer und unterer Berührung statthat, und läßt nun das Wasser in der oben beschriebenen Weise in den Variator eintreten. Es ist dann ohne weiteres vom Chronoskop abzulesen, wie lange der Strom unterbrochen war, d. h. wieviel Zeit die Veränderung zwischen den beiden vorher bestimmten Tonhöhen beansprucht hat. Solche genauen Messungen sind vor allem nötig, um den Variator in die richtige Stellung zur Flasche zu bringen. Die Schrauben *RR* dienen dazu, ihn so lange zu verstellen, bis der Schwimmer für verschiedene Niveauhöhen stets gleiche Änderungsgeschwindigkeit zeigt. Ist dies geschehen und handelt es sich nunmehr nur darum, die Änderungsgeschwindigkeiten für verschiedene Zufluß- und Abflußgeschwindigkeiten zu bestimmen, so giebt es ein einfacheres Mittel: Man stimmt die Flasche auf einen bestimmten Ton ab, läßt eine gewisse — mit der Fünftelsekundenuhr leicht kontrollierbare — Zeit lang, z. B. 30 Sekunden, Wasser zuströmen und eruiert vermittelst Tonmessers den nun erreichten Ton. Die Anzahl der hinzugekommenen Schwingungen, dividiert durch die Zeit, giebt die Geschwindigkeit der Änderung.

Die Stäbe *GG* bilden eine Führung, durch die der Variator nur parallel sich selbst verstellt werden kann. — Die Brücke *B* dient lediglich als Stütze für die Wasserzuleitung *Z*.

Versuche über Wahrnehmung von Tonerhöhungen.

Mit dem oben geschilderten Apparate begann ich Anfang Dezember 1895 im psychologischen Seminar zu Berlin Versuche anzustellen, die bei Niederschrift dieser Zeilen noch fortgesetzt werden. Da noch nicht abzusehen ist, wann dieselben völlig zu Ende geführt sein werden, so sei hier über eine Versuchsgruppe berichtet, die in sich relativ abgeschlossen ist und ein Resultat schon deutlich hervortreten läßt.

Es sei hervorgehoben, daß ich mich hier auf die Darstellung des rein Thatsächlichen beschränken werde, daß ich mir dagegen die theoretische Diskussion der Resultate, die psychologische Deutung, für einen anderen Ort aufspare. Soll ja doch diese Darlegung, wie schon betont, lediglich den Charakter einer Vorarbeit tragen.

Von den mannigfaltigen Teilproblemen suchte ich zunächst nur eines, freilich wohl das wichtigste, zu behandeln, die Abhängigkeit der Wahrnehmbarkeit von der Geschwindigkeit der Änderung. Die Gruppe umfaßt 700 Einzelversuche. Bei diesen fand die Tonveränderung stets nur in einer Richtung statt (eine Unvollkommenheit, die in neueren Versuchen vermieden ist, aber auch jene älteren nicht ganz entwertet), und zwar wurde der Ton stets erhöht.

Als Reagenten stellten sich mir mit großer Bereitwilligkeit eine Anzahl von Herren aus dem psychologischen Seminar zur Verfügung, denen an dieser Stelle mein aufrichtiger Dank ausgesprochen sei.

Die Zahlenwerte für v , die Änderungsgeschwindigkeit, drücken aus, wieviel Schwingungen in der Sekunde hinzugefügt sind. n bedeutet den Gesamtumfang der in jedem Versuch erreichten Veränderung (d. h. die Anzahl der hinzugefügten Schwingungen). t bezeichnet die Dauer der Veränderung in Sekunden. — Da zur Messung dieser Dauern die Benutzung des Chronoskops wegen des damit verbundenen starken Geräusches höchst unbequem gewesen wäre (es hätte im Nebenzimmer aufgestellt werden müssen), und auch bei den verhältnismäßig langen Zeiten eine derartige Genauigkeit der Messung ganz überflüssig war, so benutzte ich eine Fünftel-Sekunden-Uhr (Rennuhr), die mit der Geringfügigkeit des Geräusches den Vorzug der außerordentlich bequemen Handhabung und Ablesung verband.

Zwei Arten des Versuchsverfahrens wurden angewandt: bei den ersten Versuchen das „Urteils“- und bei den späteren das „Reaktionsverfahren“. Bei jenem läßt der Experimentator die Veränderung eine von ihm selbst zu bestimmende Zeit lang währen und läßt nach Ablauf derselben den Beobachter urteilen, ob er sie bemerkt habe oder nicht; bei diesem muß der Beobachter selbst durch eine Reaktionsbewegung den Augenblick markieren, in dem er die Ver-

änderung bemerkt. Das erstere Verfahren hat den Vorzug, daß der komplizierende Faktor der Reaktionszeit fehlt, doch stehen dem manche Nachteile gegenüber. So bedarf man einer unverhältnismäßig größeren Anzahl von Versuchen, um die wirkliche Wahrnehmungsgrenze zu finden, zumal da das Urteil nur unzureichend im stande ist, die verschiedenen Grade der Deutlichkeit, mit der die Veränderung wahrgenommen wurde, wiederzugeben. Auch ist die Verfassung des Beobachters eine viel zwanglosere und daher zur Urteilsfällung geeignetere, wenn er selbst den Augenblick der Veränderungswahrnehmung und damit des Versuchsabschlusses bestimmen darf, als wenn er die Aufmerksamkeit teilen muß zwischen dem sich ändernden Ton und dem fortwährend erwarteten Schlufssignal.

Wenn sich daher auch das Hauptergebnis meiner Versuche, nämlich die Zunahme der Unterscheidungsfähigkeit mit abnehmender Geschwindigkeit, schon beim Urteilsverfahren herausstellt, so kann ich demselben doch nur eine sekundäre Bedeutung zuerkennen gegenüber der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Resultate des Reaktionsverfahrens. Diese letzteren möchte ich daher als den Hauptbestandteil vorliegender Untersuchung betrachtet wissen.

Urteilsverfahren.

Sieht man von einigen nur zur Orientierung und Einübung bestimmten Vorversuchen ab, so habe ich über 433 Einzelversuche zu berichten. Der Vorgang war des Genaueren folgender: Der Experimentator hatte den Blasebalg, den Wasserzufluß und die Uhr zu bedienen, der Beobachter nur zuzuhören und dann das Urteil niederzuschreiben. Nachdem der aus dem Blasebalg austretende Luftstrom zu voller Stärke gebracht war und so der konstante Anfangston erklang, wurde der eigentliche Versuch dadurch eingeleitet, daß der Experimentator laut: 1 — 2 — 3 zählte. Das „1“ diente dem Beobachter als vorbereitendes Signal, bei „3“ begann der Versuch, indem der Experimentator in diesem Moment den Quetschhahn des Zuflussschlauches öffnete und durch Druck auf den Remontoirknopf die Uhr in Gang setzen mußte. Nach der vom Experimentator selbst gewählten Zeit t wurde durch einen zweiten Druck die Uhr arretiert und durch ein gleichzeitig gerufenes „Halt“ die Beobachtung unterbrochen. Der Beobachter hatte nunmehr

zu Protokoll zu geben, ob er in der zwischen „3“ und „Halt“ verflossenen Zeit die Veränderung gehört habe oder nicht. War das Urteil notiert, so schloß sich unmittelbar daran ein zweiter Versuch, d. h. der Ton wurde weiter erhöht u. s. f., bis er etwa im ganzen um 30 — 40 Schwingungen zugenommen hatte. Eine solche „Reihe“ umfaßte gewöhnlich 8 — 10 Versuche, je nachdem die beabsichtigte obere Grenze des Tonbereichs früher oder später erreicht war, und je nachdem die Versuchsperson schneller oder langsamer ermüdete. Nach Beendigung der Reihe wurde Wasser abgelassen, so daß wieder das Anfangsniveau und damit der Anfangston erzielt wurde (am Schwimmer leicht abzulesen), und eine zweite Reihe konnte beginnen. Durch diese Manipulationen war schon von selbst eine kleine Pause zwischen je zwei Reihen nötig gemacht, die aber zuweilen noch bedeutend verlängert wurde. Mehrere aufeinanderfolgende Reihen wurden zu einer „Serie“ zusammengefaßt.

Was den Wortlaut der Urteile betrifft, so ergaben sich ganz von selbst sechs Kategorien, die ich, um sie zu Mittelwerten verarbeiten zu können, mit Zahlensymbolen belegen mußte. Die Urteilsskala mit diesen Zahlenwerten lautet:

„Nein.“ (— 1) „Nein?“ (— $\frac{1}{2}$; sehr selten vorkommend)

„Unbestimmt“ (0)

„Ja?“ (+ $\frac{1}{2}$) „Ja.“ (+ 1) „Ja!“ (d. h. die Veränderung wurde sehr deutlich und lange vor dem Endsignal bemerkt: + $1\frac{1}{2}$).

Indem ich diese Zahlen den Einzelurteilen substituierte, konnte ich für jede Reihe Mittelwerte finden, die ein Ausdruck für die größere oder geringere Sicherheit des positiven bzw. negativen Urteils sind.

Um mir zunächst einen allgemeinen Überblick über die Zeit- und Geschwindigkeitswerte zu verschaffen, bei denen die Veränderung eben bemerkt wird, stellte ich mehrere Serien „gleicher Geschwindigkeit“ an, d. h. solche, innerhalb deren die Geschwindigkeit der Tonänderung konstant blieb, wogegen von Reihe zu Reihe die Beurteilungsdauern und damit die zu beurteilenden Umfänge der Veränderung wechselten. Es sind dies im ganzen neun Serien mit zusammen 279 Versuchen. Jede Serie hatte drei Reihen mit den Zeiten $t = 3, 4, 5$ Sekunden. Als Beobachter fungierten die Herren

cand. med. HIRSCHLAFF, Dr. phil. WEINMANN, stud. phil. DROUIN. Die Numerierung der Serien geschieht für jede Versuchsperson besonders; so bedeutet We 3) die dritte von Herrn Dr. WEINMANN gemachte Serie.

Die Resultate sind in Tabelle I niedergelegt; S bedeutet den oben definierten Grad der Sicherheit des Urteils, n die Anzahl der zu einer Reihe gehörigen Versuche, aus denen die darunter stehende Zahl den Mittelwert für S angiebt.

Die Zahlen der Tabelle I zeigen schon manches Bemerkenswerte. Zunächst steigt, was ja zu erwarten war, die Sicherheit des Urteils, je länger man bei gleicher Geschwindigkeit (v) die Veränderung wahren liefs; nur vereinzelte und dann meist geringfügige Abweichungen sind erkennbar.

Wichtiger ist, daß bei gleicher Dauer der Veränderung (t) größere Sicherheit des Urteils durchaus nicht immer dort zu finden ist, wo die Geschwindigkeit und daher auch der innerhalb jeder Dauer erreichte Umfang der Veränderung (u) größer war. Im Gegenteil, es ist eher eine Tendenz dazu vorhanden, daß bei der geringeren Geschwindigkeit das Urteil sicherer ist. Vergleicht man bei je zwei benachbarten Geschwindigkeiten die Sicherheitswerte, die für die gleichen Zeitdauern sich ergaben — z. B. bei We 1) und We 2) die Zahlen — 0,038 und — 0,1 etc. —, so wird man auf seiten der geringeren Geschwindigkeit zehnmal eine größere Sicherheitszahl und nur fünfmal eine kleinere finden. Und vergleicht man bei Hi die Werte für $v = 0,4$ mit den Werten für die doppelte Geschwindigkeit 0,8, so zeigen die letzteren auch nur einen ganz minimalen Sicherheitszuwachs in zwei Fällen, einmal aber eine beträchtliche Abnahme der Sicherheit.

Ein noch frappanteres Resultat ergibt sich, wenn man die Sicherheitswerte nicht für gleiche t , sondern für gleiche Umfänge der Veränderung zusammenhält. Die Anzahl von zwei Schwingungen z. B. wurde hinzugefügt sowohl bei der Geschwindigkeit 0,4 in 5 Sekunden, als auch bei der Geschwindigkeit 0,667 in 3 Sekunden (Rubriken c und d), und was zeigen die Ergebnisse? Stets die weitaus größeren Sicherheitswerte bei der langsameren Veränderung! Werte, die sämtlich über dem Nullpunkt der Sicherheit liegen, während bei der größeren Geschwindigkeit die entsprechenden Werte sämtlich negativ sind! Dasselbe ergibt sich für die

Tabelle I.

	a		b		c	d	e	f	g	h	i
										$v = 0,8$	
	<i>t</i>	3	4	5		<i>t</i>	3	4	5		
	<i>u</i>	1,2	1,6	2,0		<i>u</i>	2,0	2,67	3,33		
WEINMANN (We 1), We 2) (9. 12. 95.)	(<i>n</i>)	(13)	(10)	(9)		(<i>n</i>)	(10)	(8)	(7)		
	<i>S</i>	− 0,038	− 0,05	+ 0,389		<i>S</i>	− 0,1	− 0,062	+ 0,143		
(Hi 1), Hi 2) (9. 12. 95) HIRSCHLAFF (Hi 4), Hi 3), Hi 5) (11. 12. 95.)	(<i>n</i>)	(13)	(10)	(9)		(<i>n</i>)	(10)	(8)	(7)		
	<i>S</i>	− 0,5	+ 0,25	+ 0,667		<i>S</i>	− 0,2	+ 0,125	0,350		
DROUIN (Dr. 4), Dr. 3) (11. 12. 95.)	(<i>n</i>)	(11)	(13)	(13)		(<i>n</i>)	(13)	(12)	(11)	(10)	(6)
	<i>S</i>	0,091	0,5	0,292		<i>S</i>	− 0,154	+ 0,042	+ 0,545	0,2	0,091 0,333
Kombinations- gruppe.	(<i>n</i>)	(11)	(12)	(10)		(<i>n</i>)	(11)	(12)	(10)	(11)	(9)
	<i>S</i>	0,273	0,083	0,450		<i>S</i>	0,273	0,083	0,450	0,25	0,136 0,333

Versuchspersonen Hi und Dr. bei Vergleichung der Rubriken f und h. (Umfänge 3,33 und 3,2.)

Da die in Tabelle I enthaltenen Sicherheitswerte meist nur die Mittel aus einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Versuchen sind, so suchte ich allgemeinere Resultate dadurch zu gewinnen, daß ich für $v = 0,4$ immer die drei untereinanderstehenden Serien zusammenfaßte und das Gleiche that mit den drei entsprechenden Seriengruppen für 0,667, die in jeder Beziehung jenen parallel gingen. (Dr. 4) konnte nicht mit einbezogen werden, da die entsprechende Gruppe für $v = 0,4$ bei ihm fehlte.) Die letzte Horizontalreihe von Tabelle I zeigt die so gewonnenen Sicherheitswerte, die nunmehr Durchschnittszahlen aus circa je 30 Versuchen sind. Auch hier treten die drei erwähnten Resultate deutlich hervor.

Bei obiger Diskussion mußte ich die Sicherheitszahlen für Änderungen von gleichem u und verschiedenem v aus verschiedenen Serien entnehmen. Da mir diese Seite des Problems jedoch die wichtigste war, so suchte ich in weiteren Experimenten schon die einzelne Serie zur Beantwortung dieser Frage einzurichten. Dies geschah in folgender Weise: Bei jeder der Reihen einer Serie wurde eine andere Geschwindigkeit und eine andere Veränderungsdauer angewandt, und zwar so, daß das Produkt aus beiden, d. i. der Umfang der Veränderung, konstant blieb. Nach dieser Methode habe ich zwei Doppelserien¹ und drei einfache Serien, im ganzen 154 Versuche, angestellt; Versuchspersonen waren wieder Herr Dr. WEINMANN und Herr HIRSCHLAFF, außerdem Herr cand. phil. WIKSZEMSKI (Wi). S. Tabelle II.

Tabelle II.

We 4) 5) Doppelserie.
(12. 12. 95.)

v	0,4	0,667	0,8
t	6	3,6	3
$u = v \cdot t$	2,4	2,4	2,4
n	17	16	17
S	0	-0,281	-0,471

Wi 3) 4) Doppelserie.
(13. 12. 95.)

v	0,4	0,633	0,833
t	6	3,8	3
$u = v \cdot t$	2,4	2,405	2,499
n	18	17	17
S	0,833	0,470	0,412

¹ Unter einer Doppelserie verstehe ich eine solche, die, aus einer größeren Anzahl von Versuchen bestehend, zur Vermeidung der Er-

Hi 6)
(14. 12. 95.)

v	0,4	0,633	0,833
t	6	3,8	3
$u = v \cdot t$	2,4	2,405	2,499
n	8	8	8
S	0,875	0,062	0,062

Hi 10)
(18. 12. 96.)

v	0,4	0,6
t	6,2	4,2
$u = v \cdot t$	2,48	2,52
n	8	8
S	0,812	0,75

Hi 11)
(18. 12. 96.)

v	0,467	0,6
t	4,4	3,4
$u = v \cdot t$	2,055	2,04
n	6	6
S	0,667	0,583

Die Werte der Tabelle II bestätigen durchgehend den schon oben angedeuteten Satz: Bei gleichem Umfange der Veränderung ist das Urteil um so sicherer, je geringer die Geschwindigkeit (oder je länger die Dauer) ist. Nur bei Hi 6) sind die beiden letzten Sicherheitswerte gleich; vielleicht ist hier wie auch bei Wi der Sicherheitswert für die größte Geschwindigkeit dadurch etwas erhöht, daß der Umfang etwas größer als in den beiden anderen Fällen war (2,5 gegen 2,4). Insbesondere zeigt eine Vergleichung der ersten und dritten Rubriken in jeder der drei größeren Serien, in welch' hohem Maße die Unterscheidungsfähigkeit für Veränderungen abnimmt, wenn die Geschwindigkeit verdoppelt und die Dauer auf die Hälfte verkürzt wird.

Der Übersichtlichkeit wegen habe ich in Tabelle II innerhalb jeder Serie die Reihen nach der angewandten Geschwindigkeit geordnet; in Wirklichkeit war die Aufeinanderfolge der Reihen innerhalb der Serien eine bunt wechselnde, so daß die Abnahme der Sicherheit von links nach rechts nicht etwa auf Ermüdung zurückgeführt werden darf. Außerdem war die Pause zwischen je zwei Reihen auch lang genug, um eine hinreichende Erholung zu gestatten.

müdung in zwei völlig homologe Serien geteilt ist, die natürlich an demselben Tage stattfanden.

Daß die obigen Zahlen in der That ein einigermaßen zutreffendes Bild der subjektiven Sicherheit des Urteils geben, läßt sich aus einigen Selbstbeobachtungen entnehmen, die Wi nach der ersten Hälfte seiner Doppelserie zu Protokoll gab. Er sagt: „In der ersten Reihe war die Veränderung viel sicherer zu unterscheiden als in der dritten Reihe.“ In der dritten Reihe nennt er die Urteile „sehr unbestimmt. Bejahende Fälle sind hier nicht so streng zu nehmen wie in der ersten Reihe“. Nicht ganz zu den Zahlen stimmt es dagegen, wenn er den Unterschied zwischen Reihe 1 und 2 „nicht bedeutend“ fand.

In den drei Serien von Hi (die übrigens wegen ihrer geringen Versuchszahlen nicht so zuverlässig sind), tritt jene Sicherheitsabnahme zwar auch noch mit voller Deutlichkeit, doch nicht so frappant hervor, wie bei We und Wi. Dagegen läßt eine Vergleichung von Hi 6) und Hi 10) ein anderes Phänomen erkennen: das Fortschreiten der Übung. In der Zwischenzeit waren nämlich drei ziemlich umfangreiche Serien nach einer anderen Methode erledigt worden. Die durch Übung herbeigeführte Vervollkommnung beschränkt sich nur auf die Versuche bei der Geschwindigkeit 0,6, d. h. auf diejenigen, bei welchen ursprünglich der Nullpunkt der Sicherheit lag; dagegen ist bei $v = 0,4$, wo schon von Anfang an der Sicherheitsgrad ein sehr hoher war, kein Fortschritt zu konstatieren. Dies stimmt sehr gut mit jener vielseitig gemachten Beobachtung, daß der Grad des Übungsfortschrittes im umgekehrten Verhältnis zur ursprünglichen Geübtheit stehe.

Reaktionsverfahren.

Das Urteilsverfahren hat, wie schon oben angedeutet, mehrere Mängel, außerdem die Unannehmlichkeit, daß eine verhältnismäßig große Anzahl von Versuchen nötig ist, um zu einem endgültigen Ergebnis zu gelangen. Hierzu kommt noch, daß bei jenem Verfahren die Handhabung für den Experimentator eine außerordentlich unbequeme ist, da er gleichzeitig Uhr, Blasebalg und Wasserzuleitung bedienen muß.

Bedeutend vollkommener ist das Reaktionsverfahren, das ich in der Folge allein zur Anwendung gebracht habe. Bei dieser Methode bedient der Beobachter selbst die Uhr, die er in dem Augenblick, da der Experimentator „drei“ zählt, in Bewegung setzt. und in dem Moment, da er die Veränderung

bemerkt, arretiert. So läßt sich die Veränderungsdauer direkt ablesen und, da die Veränderungsgeschwindigkeit bekannt ist, durch Multiplikation auch der bis zum Moment der Reaktion durchlaufene Tonumfang feststellen. Diese Versuche sind für den Beobachter schwerer, dafür aber psychologisch bedeutend lehrreicher als die früheren. Sie gewähren einen Einblick in die psychischen Ursachen der mehrfach erwähnten merkwürdigen Gesetzmäßigkeit; sie zeigen, daß neben der Abstufung der Empfindungen noch ganz andere Momente das Zustandekommen des Veränderungsurteils in entscheidender Weise beeinflussen; und indem sie darthun, daß die Wahl des Merklichkeitspunktes stets von einer gewissen Willkür begleitet ist, lassen sie vermuten, daß in eben dieser Willkür ein wichtiger Faktor der Stetigkeits- und Allmählichkeitsvorstellung enthalten sein könnte. — Ich muß mich an dieser Stelle, wo es sich nur um eine Schilderung der Versuche und ihrer thatsächlichen Ergebnisse handelt, auf diese Andeutungen beschränken.

Bei der Berechnung der Versuche wirkte es komplizierend, daß in der von der Uhr abgelesenen Zeit nicht nur die Dauer bis zum Moment der Veränderungswahrnehmung, sondern auch noch die Reaktionszeit des Beobachters mit enthalten war. Letztere muß in Abzug gebracht werden, aber mit welchem Betrage? Nach irgend einer der herkömmlichen Methoden die Reaktionszeit des Beobachters für Schalleindrücke zu messen, nützt nicht viel, weil dort eben ganz andere Bedingungen, vor allem keine allmählichen Veränderungen, vorliegen, für welche die Reaktion wahrscheinlich eine beträchtlich verzögerte ist. Vor einer gleichen Schwierigkeit stand ich schon einmal, bei meinen Experimenten über die Wahrnehmung von Helligkeitsveränderungen. Dort nahm ich auf Grund einiger besonderer Versuche einen Reaktionswert von 0,5 Sekunden an.¹ Dieser Wert scheint freilich etwas zu hoch zu sein, dennoch entschloß ich mich, auch für die gegenwärtigen Experimente eine gleiche Zeit in Anrechnung zu bringen: Folgende Erwägungen mögen dies rechtfertigen.

1) Zu der eigentlichen Reaktionszeit kommt hier eine, wenn auch kurze, so doch nicht ganz zu vernachlässigende Zeit der „Entschliesung“: Man läßt das Urteil erst eine gewisse Sicherheit gewinnen, ehe man sich zur Bewegung entschließt; die Anregung zur motorischen Aktion

¹ S. diese Zeitschr. Bd. VII. S. 270.

ist bei allmählichen Veränderungen eine sehr geringe.¹ Das geht aus der Selbstbeobachtung meiner Versuchspersonen aufs klarste hervor. 2) Es ist anzunehmen, daß bei der Fünftelsekundenuhr eine kurze Latenzzeit zwischen dem Moment, da der Druck auf den Knopf beginnt, und dem, da das Uhrwerk zum Stillstand kommt, vorhanden sei. 3) Selbst eine nicht ganz richtige Schätzung der Reaktionszeit ist ohne große Tragweite, insbesondere dann, wenn eine Überschätzung vorliegt. Denn uns kommt es ja nicht so sehr auf die absoluten Grenzwerte, als auf die Verhältnisse an, in denen die Grenzwerte bei verschiedenen Geschwindigkeiten stehen. Ein zu groß genommener Reaktionswert würde nun bewirken, daß die bei größeren Geschwindigkeiten erzielten Umfänge im Vergleich mit denen bei geringeren Geschwindigkeiten zu klein werden. Um so verlässlicher wird daher das Endresultat sein, wenn trotz dieses negativ wirkenden Faktors dennoch bei größeren Geschwindigkeiten sich größere Umfänge ergeben.² — Und dies Endresultat läßt sich ohne weiteres aus Tabelle III ablesen.

Tabelle III enthält sechs an verschiedenen Tagen hergestellte Serien; je eine von den Versuchspersonen We, Wi und mir selbst (Ste), drei, darunter eine Doppelserie, von Hi. Für die drei erstgenannten Serien ist die Tabelle folgendermaßen eingerichtet. Jede wagerechte Linie enthält die zu einer Reihe gehörigen Werte, unter n die Anzahl der Einzelversuche, unter v die angewandte Änderungsgeschwindigkeit, unter t die von der Uhr abgelesene Zeit (in Sekunden), unter u den bis zum Moment des Bemerktwerdens erreichten Umfang der Veränderung, d. h. die Anzahl der hinzugefügten Schwingungs-

¹ Man denke an die von PREYER und dessen Schülern untersuchten Frösche, die ganz langsam verbrüht, zerquetscht etc. werden konnten, ohne daß sie irgend eine Reaktion zeigten. (S. u. a. *diese Zeitschr.* VII. S. 241.) Auch hier handelt es sich meiner Ansicht nach nicht sowohl um „Unempfindlichkeit“, wie PREYER annimmt, sondern darum, daß die Veränderung zu langsam war, um in irgend einem Moment eine genügende Anregung zur Bewegung bieten zu können.

² Ein Beispiel mag dies erläutern. Es seien gefunden: bei den Änderungsgeschwindigkeiten 0,4 und 0,6 die vollen, unverkürzten Zeiten 3,5 und 3. Es ergeben sich für den Umfang u :

bei Abzug von 0,2 Sek. Reaktionszeit die Werte 1,32 u. 1,98 (Differenz 0,66)

„ „ „ 0,3 „ „ „ „ 1,28 „ 1,92 („ 0,64)

„ „ „ 0,5 „ „ „ „ 1,20 „ 1,80 („ 0,60)

Die Annahme der größten Reaktionszeit ruft somit für die Umfänge bei den verschiedenen Geschwindigkeiten die kleinste Differenz hervor, und die berechneten Werte geben somit höchstens ein abgeschwächtes, keinesfalls ein übertriebenes Bild der in Wirklichkeit bestehenden Differenzen. Um so besser, daß trotz dieser Abschwächung ein bestimmtes Gesetz noch mit voller Deutlichkeit hervortritt.

zahlen, berechnet durch $(t-0,5) \cdot v$. Bei Hi habe ich alle drei Serien zu einer Tabelle vereinigt, so daß bei sonst gleicher Anordnung jede der Rubriken n , t , u in drei Unterabteilungen (eine für jede Serie) zerfällt.

Die u -Werte entsprechen also dem, was man nach bisherigem Sprachgebrauche als die „absolute Änderungsempfindlichkeit“ bezeichnen würde. Ich möchte hier dafür lieber den harmloseren und daher in einem Thatsachenbericht besser angebrachten Terminus „Merkbarkeit“ oder „Wahrnehmbarkeit“ der Veränderung, auch „Unterscheidungsfähigkeit“ anwenden. Je kleiner der absolute u -Wert, um so feiner die Wahrnehmbarkeit.

Sämtliche Werte der Tabelle III ohne auch nur eine einzige Abweichung zeigen das Resultat:

Tabelle III.

We 6)
(19. 12. 95.)

n	t	v	u
10	7,26	0,4	2,704
10	7,50	0,5	3,500
9	7,66	0,575	4,117
7	8,14	0,767	5,860

Wi 5)
(19. 12. 95.)

n	t	v	u
10	8,68	0,5	4,090
19	8,08	0,575	4,358
10	7,48	0,767	5,353

Ste 3)
(23. 12. 95.)

n	t	v	u
7	3,88	0,575	2,232
7	3,77	0,88	3,316
13	4,29	1	3,793

Hi.
a. Doppelserie Hi 7) 8). (16. 12. 95.)
b. Serie Hi 9) (18. 11. 95.)
c. Serie Hi 12) (21. 12. 95.)

n			t			v	u		
a.	b.	c.	a.	b.	c.		a.	b.	c.
6	20		4,13	3,28		0,4	1,452	1,110	
12	10		4,55	3,66		0,467	1,890	1,476	
		10			3,36	0,5			1,430
12			4,06			0,567	2,018		
	10			3,40		0,6		1,745	
12			3,79			0,667	2,190		
		10			3,14	1,00			2,640

Die Wahrnehmbarkeit allmählicher Veränderungen ist (für die von mir angewandten Zeit- und Tonverhältnisse) um so feiner, je geringer die Geschwindigkeit ist, und zwar sind die Differenzen der Wahrnehmbarkeit ganz beträchtlich; das zur Veränderungswahrnehmung nötige Quantum der Veränderung ist in grober Annäherung proportional der angewandten Geschwindigkeit.

Der erste Teil dieses Satzes steht durchaus in Einklang mit den Ergebnissen des Urteilsverfahrens, nur daß wir dort lediglich den Sicherheitsgrad des Urteils zu konstatieren, hier aber direkt die Grenze der Wahrnehmungen selbst zu messen, den Gang der Unterscheidungsfähigkeit genauer zu verfolgen und vor allem jene eigentümliche Proportionalität zu erkennen im stande sind. Aber auch der tiefere Grund der letzteren geht aus der Tabelle hervor: er ist in der *t*-Reihe gegeben. Betrachtet man in jeder Serie die Zeiten, die vom Beginn der Änderung bis zum Merkbarwerden verflossen sind, so zeigt sich eine auffallende Konstanz; die Variationen betragen (mit Ausnahme von Wi, wo einmal eine Differenz von 1,2 Sekunden vorkommt) nicht mehr als eine Sekunde, oft viel weniger. Hierfür scheint mir keine andere Deutung möglich als die: Es giebt eine gewisse Zeitgegend, innerhalb welcher die Tendenz zur Fällung des Veränderungs-urteils am größten ist. Dieser Zeitwert ist freilich nicht ein für allemal der gleiche, er ist verschieden für verschiedene Personen, ja auch verschieden für dieselbe Person bei ver-

schiedenem Grade der Übung, der Aufmerksamkeit, der Erwartung etc. Aber er ist in hohem Maße unabhängig von der absoluten Geschwindigkeit der Änderung.

Ein solches Zeitoptimum ist übrigens nicht ohne Parallele, vielmehr hat sich auch bei Zeitschätzungs- und bei Gedächtnisversuchen Ähnliches ergeben. Auf den Zusammenhang der gefundenen zeitlichen Beziehungen mit den Aufmerksamkeitsperioden, mit den Phänomenen des „primären“ Gedächtnisses etc. einzugehen, ist hier nicht der Ort. Nur darauf möchte ich hinweisen, daß obige Ergebnisse meine Scheu rechtfertigen werden, hier von „Empfindlichkeit“ zu sprechen, da für das Zustandekommen der Änderungswahrnehmung nicht-sensorische Prozesse, insbesondere Urteilsakte, einen maßgebenden Einfluß zu haben scheinen.

Verglichen mit der Unterscheidungsfähigkeit für diskrete unmittelbar sich folgende Töne scheint die Merkbarekeit von Veränderungen gering zu sein. Ich habe bei meinen Beobachtern Versuche der ersteren Art nicht gemacht. Doch ist bekannt, daß für Personen mit einigermaßen feinem Gehör — und dies gilt von meinen Beobachtern — bei diskreten succesiven Tönen in der von mir benutzten Gegend des Tonreiches Differenzen von $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ Schwingung merklich sind, während bei meinen Experimenten die merklichen Differenzen für H_i zwischen 1 und 2, für alle übrigens jenseits von 2 Schwingungen liegen. Diese Thatsache der geringeren Unterscheidungsfähigkeit für allmähliche Veränderungen im Vergleich zu der für diskrete Unterschiede erwähnt schon PREYER,¹ und ganz Entsprechendes habe ich auch bei Helligkeitsveränderungen beobachtet.²

Aus den drei Serien von H_i kann man wieder deutlich den Gang der Übung ersehen.

Wir kommen zur letzten hier zu schildernden Versuchsgruppe. Bei allen bisherigen Versuchen war die Tonerhöhung in jedem einzelnen Falle wirklich vorgenommen worden, so daß eigentliche Täuschungen der Versuchspersonen nicht möglich waren. Hierin könnte man eine Quelle jener konstanten Zeitwerte vermuten, indem der Beobachter, da er ja

¹ Diese Zeitschr. VII S. 241.

² Diese Zeitschr. VII S. 272/273 Ergebnisse 1. und 4.

wußte, er könne nicht irren, einfach dann reagiert habe, wenn es ihm am bequemsten und adäquatesten war. Die Illusion der Veränderung ist ja so leicht erweckt!

Um dies zu untersuchen, stellte ich an Hi und mir je eine Serie an, bei der in unregelmäßiger Folge zwischen die objektiven Erhöhungen Vexierversuche geschaltet wurden, d. h. solche, in denen überhaupt keine Veränderung des Tones stattfand. Der Beobachter wußte im allgemeinen, daß solche Vexierversuche (durch „V. V.“ abgekürzt) vorkommen würden, aber natürlich nicht, wann. Hiedurch war jene Zuversicht des Nicht-Irren-Könnens genommen, das Urteil erfolgte erst, wenn der Beobachter seiner Sache sicher war, und der Grad der Sicherheit geht dann daraus hervor, wie oft Erhöhungen für V. V. und V. V. für Erhöhungen gehalten wurden. Mehrmals kam es vor, daß die Reaktion auffallend spät erfolgte, wobei dann aber stets sofort der Beobachter zu Protokoll gab, daß er ursprünglich geglaubt hatte, es mit einem V. V. zu thun zu haben, und daher erst zu spät den wahren Charakter der Veränderung erkannte — ein Zeichen, wie stark die Richtung der Aufmerksamkeit und Erwartung die Unterscheidungsfähigkeit beeinflussen kann.

Die Tabellen IV A und C (über B und D siehe weiter unten) zeigen die so gewonnenen Zahlen. Die ersten drei Rubriken enthalten für jede Reihe: die Gesamtzahl der Versuche (n), die richtig bemerkten V. V. und die richtig bemerkten Veränderungen, der Rest besteht dann aus inkorrekten Beobachtungen. Zu letzteren sind auch diejenigen gezählt, bei welchen in oben geschilderter Weise auf Grund falsch gerichteter Erwartung die Wahrnehmung zu spät eingetreten ist. Die Anzahl dieser Inkorrektheiten ist nur gering. t , v und u haben dieselbe Bedeutung wie in Tabelle III.

Aus den korrekt bemerkten Veränderungen nahm ich das Mittel der Zeitwerte (t) und berechnete den Veränderungsumfang genau wie in Tab. III. Da zeigt sich denn, daß auch hier die Konstanz der Zeitwerte bei wechselnder Geschwindigkeit vorhanden ist, daß man diese somit nicht auf Illusionen zurückführen darf.

Aber ein vielleicht noch bemerkenswerteres Resultat ergibt sich durch Vergleichung einer solchen Serie mit einer ganz analogen — von derselben Person an demselben Tage mit

Tabelle IV.

A.

<i>n</i>	Darunter richtig bemerkt		<i>t</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	
	V. V.	Veränderung				
Hi 13)	16	5	8	5,38	0,50	2,44
	16	4	10	5,13	1,00	4,63
21. 12. 96.	B.					
	<i>n</i>		<i>t</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	
Hi 12)	10		3,36	0,50	1,43	
	10		3,14	1,00	2,64	

C.

<i>n</i>	Darunter richtig bemerkt		<i>t</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	
	V. V.	Veränderung				
Ste 4)	8	2	3	5,32	0,575	2,776
	8	1	6	4,73	0,88	3,722
	16	3	13	4,59	1,00	4,091
23. 12. 96.	D.					
	<i>n</i>		<i>t</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	
Ste 3)	7		3,88	0,575	2,232	
	7		3,77	0,88	3,316	
	13		4,29	1,00	3,793	

denselben Geschwindigkeiten angestellten — Serie nach früherer Methode, d. h. ohne Einschaltung und Erwartung von Vexierversuchen. Die Serien Hi 12) und Ste 3), die wir schon oben (Tab. III) in einem anderen Zusammenhang vorlegten, sind eigens zum Zweck dieser Vergleichung ausgeführt worden, und ich habe sie daher in Zusammenstellung mit den entsprechenden *V. V.*-Serien sub *B* und *D* der Tab. IV noch einmal zum Abdruck gebracht. — Aus der Vergleichung nun geht hervor, daß *ceteris paribus* die Zeiten länger sind in den Fällen mit Erwartung von *V. V.* als in den anderen. Dies war von vornherein zu erwarten; daß aber die Differenz so groß ist,

wie bei Hi, wo die Dauern der ersten Serie das 1,6 fache der zweiten betragen, ist überraschend. Bei Ste ist der Unterschied viel geringer. Die große Differenz bei Hi hängt wohl mit seiner durch 11 vorgängige Serien erworbenen großen Geübtheit zusammen, infolge deren er (in den Versuchen ohne V. V.) schon reagierte, wenn das Urteil nur einen mäßigen Grad von Sicherheit hatte; in den Fällen aber, wo eine Täuschung möglich war, erfolgte erst die Reaktion bei einer viel höheren Sicherheit des Urteils. Ste dagegen, der noch nicht so eingeübt war, ließ auch dort, wo keine V. V. zu erwarten waren, das Urteil erst auf einen einigermaßen hohen Grad der Sicherheit steigen, ehe er es durch eine Reaktion besiegelte. Aber auch er bedurfte eines noch höheren Sicherheitsgrades dort, wo er sich vor Täuschungen in acht nehmen mußte. Es ist somit die größere oder geringere Differenz zwischen Serien mit und ohne V. V. eine Art Maßstab für den Grad der Urteilssicherheit, bei dem in den Versuchen ohne V. V. die Reaktion erfolgte.¹

Die zuletzt geschilderten Serien führten mich endlich zu Versuchen, bei denen nicht nur zwischen Erhöhung, und Konstanz des Tones, sondern zwischen Erhöhung, Gleichheit und Vertiefung variiert wurde. Die Vorlegung der Resultate behalte ich mir für eine zweite Mitteilung vor.

Ich bin übrigens weit davon entfernt, der von mir gefundenen Gesetzmäßigkeit (Zunahme der Unterscheidungsfähigkeit bei Abnahme der Änderungsgeschwindigkeit) eine so universelle Deutung zu geben, wie

¹ Deshalb vermag vielleicht eine konsequente Durchführung der letztgeschilderten Versuchsanordnung auch nach einer ganz anderen Seite hin, nämlich für die Psychologie der individuellen Differenzen, sich nutzbringend erweisen. Denn der Grad der Sicherheit, den eine Wahrnehmung haben muß, wenn wir uns berechtigt glauben, darüber durch einen motorischen Akt Zeugnis abzulegen, gleichsam zu quittieren, ist höchst verschieden je nach der Individualität; ja ich glaube hierin sogar eine höchst charakteristische Äußerung der individuellen Beanlagung sehen zu dürfen, für die sich mit obigem eine Messungsmöglichkeit bietet. — Vielleicht, daß der Kontrast zwischen Hi und Ste nicht nur auf verschiedener Geübtheit, sondern auch zum Teil auf individuellen Differenzen beruht.

es PREYER mit der entgegengesetzten (Abnahme der Empfindlichkeit mit Abnahme der Geschwindigkeit) gethan hat. Im Gegenteil, jene Beziehung gilt meines Erachtens nur da, wo man es mit Zeitwerten zu thun hat, innerhalb deren eine kontinuierliche und gleichmäßig angespannte Beobachtung möglich ist. Die Konstanz der Veränderungsdauern in meinen Versuchen drängt zu dieser Annahme. Sobald eine Veränderung so langsam vor sich geht, daß sie überhaupt in einer einzelnen Beobachtungsperiode nicht wahrgenommen wird, mag das PREYERSche Gesetz in Wirkung treten.

Immerhin aber ist es bemerkenswert, daß meine obigen Ergebnisse nicht ganz allein stehen, daß vielmehr auch auf anderen Gebieten der Veränderungswahrnehmung eine Zunahme der Unterscheidungsfähigkeit bei Abnahme der Änderungsgeschwindigkeit konstatiert ist. Ich stelle zum Schluß die mir bekannten Fälle ohne weiteren Kommentar zusammen:

a) Bei der Wahrnehmung von Helligkeitsveränderungen fand ich: Bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit wird, wenn die absolute Geschwindigkeit abnimmt, die relative Empfindlichkeit schärfer.¹

b) Bei der Wahrnehmung von Bewegungen vermittelt des Auges fand ich an einer vom Auge weit entfernten langsam oscillierenden Bewegung von geringer Elongation, daß die langsamste Bewegung (72 Schwingungen in der Minute) deutlicher wahrgenommen wurde, als die doppelt so schnelle von gleicher Elongation.²

c) SCRIPTURE³ ließ einen Ton allmählich von 0 an entstehen und durch ein Telephon beobachten. Die Geschwindigkeit des Ansteigens der Tonstärke war variierbar. Je größer diese Geschwindigkeit war, um so höher war die objektive Reizstärke, bei der eben die schwächste Wahrnehmung eintrat.

d) STANLEY HALL und Y. MOTORA veröffentlichten schon im Jahre 1887 eine bisher wenig beachtete Arbeit über die Hautempfindlichkeit für allmähliche Druckänderungen.⁴ Aus den Tabellen II und V derselben läßt sich berechnen, daß

¹ Diese Zeitschr. VII. S. 268—70.

² Diese Zeitschr. VII S. 347.

³ Am. Journal of Psych. IV. S. 580.

⁴ Am. Journal of Psych. I. S. 72.

die Unterscheidungsfähigkeit mit abnehmender Geschwindigkeit der Veränderung stark zunahm, falls der ganze Beobachtungsakt innerhalb eines Zeitraumes von etwa 10 Sekunden beendet war. Dauerte er länger, so fand eine ganz langsame Abnahme der Unterscheidungsfähigkeit statt.

Auch für die oben von mir konstatierte annähernde Proportionalität von Geschwindigkeit und Veränderungsschwelle, der eine annähernde Konstanz der Veränderungsdauern zu Grunde lag, finden sich bei ST. HALL und bei meinen Helligkeitsversuchen Analoga.

Herrn Professor STUMPF spreche ich für das Interesse, das er meinen Versuchen entgegengebracht, sowie für die Freundlichkeit, mit der er mir Räume und Mittel seines Instituts zur Verfügung stellte, an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank aus.
