

(Aus dem psychologischen Institut der Universität Berlin.)

Ein Contactapparat zur Auslösung elektrischer Signale in variirbaren Intervallen.

Von

F. SCHUMANN.

(Mit 3 Fig.)

Zur Zeit als ich meine ersten Untersuchungen über Zeitschätzung in Göttingen in Angriff nahm, befand sich das dortige psychologische Institut in den ersten Anfangsstadien. Es war nur eine sehr geringe Anzahl von Apparaten vorhanden und es standen keine nennenswerthen Mittel zur Anschaffung neuer Apparate zur Verfügung. Ich war demnach gezwungen, meine Versuchsanordnung möglichst einfach und in möglichster Anlehnung an einen zu anderen Zwecken construirten Rotationsapparat einzurichten. Es ist daher wohl erklärlich, daß der von mir benutzte Apparat Manches zu wünschen übrig liefs. Inzwischen habe ich mir einen neuen Apparat anfertigen lassen, der nicht nur genauer functionirt, und eine mannigfachere Variation der Versuchsbedingungen gestattet, sondern auch außer zu Zeitschätzungsversuchen noch zu vielen anderen Versuchszwecken dienen kann. Bei seiner Construction habe ich die Erfahrungen verwerthet, welche die Physiologen mit dem Rheotom¹ gemacht haben.

¹ Vgl. insbesondere die Beschreibung des ENGELMANN'schen Polyrheotoms (PFLÜGER's *Arch.* Bd. 52, S. 603).

I.

Ein aus zwei gußeisernen Schienen zusammengesetztes lateinisches Kreuz wird von drei Stellschrauben getragen (vgl. Fig. 1). In der Nähe der beiden Enden der längeren Schiene

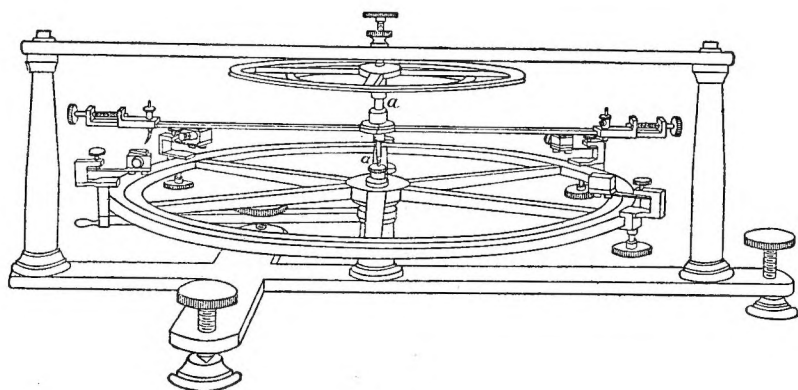


Fig. 1.

erheben sich zwei kräftige Messingsäulen (20 cm hoch), welche oben durch einen gußeisernen Balken mit einander verbunden sind. In der Mitte derselben Schiene erhebt sich eine dritte, niedrigere Säule (9 cm hoch), in welche von oben eine Schraube eingreift, deren oberes gehärtetes Ende mit einer conischen Vertiefung versehen ist. Senkrecht über dieser Schraube durchbricht eine zweite Schraube den gußeisernen Balken, deren unteres gehärtetes Ende ebenfalls mit einer conischen Vertiefung versehen ist. In diesen beiden Vertiefungen ruhen die Spitzen der Axe *aa*. Zur Aufnahme einer die Bewegung vermittelnden Schnur trägt diese Axe nahe ihrem oberen Ende zwei mit Nuten versehene durchbrochene Metallscheiben von ca. 15 und 25 cm Durchmesser. Näher dem unteren Ende trägt sie einen doppelarmigen Hebel von ca. 47 cm Länge, auf dessen Enden bewegliche Schieber aufsitzen, welche mit Hülfe von Micrometer-schrauben in gewissen Grenzen verschoben werden können. An den Stellen, wo die Schieber aufsitzen, befinden sich in dem Hebelarme Schlitze, durch die an den Schiebern befestigte Hartkupferfedern hindurchtreten, deren untere Enden ungefähr unter 30° gegen die Horizontale geneigt sind. Neben den

Schlitzten sind auf den Hebelarmen Scalen angebracht, welche die Stellung der Schieber genau zu bestimmen gestatten.

Die mittlere Säule trägt ferner eine durchbrochene Messingscheibe von 7 mm Dicke und ca. 42 cm Durchmesser. An ihrer Peripherie können kleine Auslösungsapparate befestigt werden. Den senkrechten Querschnitt eines solchen zeigt nebenstehende Figur 2. In das Messingstück $A B C D E F$ greift von unten eine Schraube, welche das Messingstück $G H$ hebt bzw. senkt. Der Apparat wird so auf die Scheibe gesetzt, daß ihr Rand den Ausschnitt $A B C G$ ausfüllt. Dabei greift die Erhöhung h in eine unterhalb der Scheibe befindliche Nute. Ferner trägt das Messingstück $G H$ ($C D$ gegenüber) zwei Führungsstifte, damit die relative Lage von $A B C D E F$ und $G H$ sich nicht verändern kann. Auf $A F$ ist bei F ein Messingaufsatz K aufgeschraubt. Zwischen K und einem weiteren Messingstück O ist das Ende einer Feder

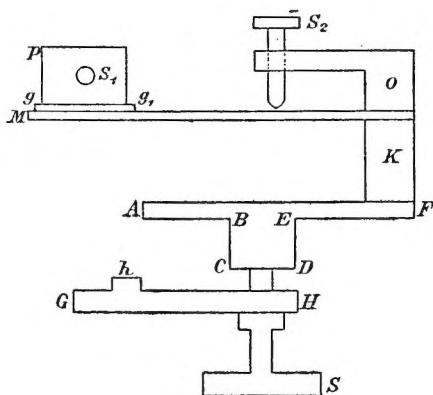


Fig. 2.

M festgepreßt, deren freies Ende ein durch die Hartgummiplatte $g g_1$ isolirtes Hartkupferprisma P trägt. Eine Klemmschraube S_1 gestattet diesem Prisma einen Strom zuzuführen. Mit Hülfe der Schraube S_2 stellt man die Höhe des Prismas so ein, daß bei Rotation der Axe aa die Spitze der Hartkupferfeder die obere dreieckige Fläche des Prismas gerade eben streift. Führt man dann von dem einen Pole einer Batterie einen Leitungsdraht nach der Klemmschraube S_1 und von dem anderen Pole nach einer in Figur 1 nicht sichtbaren Klemmschraube, welche an dem gußeisernen Balken des Hauptapparats befestigt ist, so

wird bei jeder Berührung von Feder und Prisma ein Strom geschlossen, ohne daß die minimale Reibung die Constanz der Geschwindigkeit stört. Die Dauer des Stromschlusses wird dadurch variirt, daß man die Hartkupferfeder näher der Grundlinie oder näher der Spitze des Dreiecks das Prisma passiren läßt, indem man durch Drehung der Mikrometerschraube den Schieber auf dem Hebelarme verschiebt.

Damit man bei Versuchen über die Unterschiedsempfindlichkeit für Zeitstrecken die Größe der Vergleichszeit bequem und rasch variiren kann, ist ein Auslösungsapparat auf einem starken Hebelarme befestigt, der um die mittlere Messingsäule drehbar ist. Will man z. B. mit zwei unmittelbar aufeinander folgenden Intervallen operiren, so schraubt man 2 Auslösungsapparate in dem der gewünschten Normalzeit entsprechenden Abstände an der mit Kreistheilung versehenen Scheibe fest und benutzt als dritten den beweglichen Auslösungsapparat, welcher auf dem drehbaren Hebelarme befestigt ist. Da der Kreis in Viertelgrade eingetheilt ist und die kleinen Auslösungsapparate Zeiger tragen, so kann man den Abstand in sehr bequemer Weise variiren und hinsichtlich seiner Größe bestimmen.¹ Es lassen sich so in einfachster Weise Versuche sowohl nach der Methode der r. und f. Fälle wie nach derjenigen der Minimaländerungen ausführen; auch ermöglicht der bewegliche Hebelarm eine rasche Veränderung der Zeitlage der Normalzeit. Damit die ausgelösten Signale ganz gleichmäÙig ausfallen, ist es bei gewissen Signalen erforderlich, daß die Schließungsdauer des Stromes bei allen Auslösungsapparaten ganz genau gleich ist. Es ist deshalb darauf geachtet, daß die Hartkupferplatten möglichst gleich und so orientirt sind, daß bei Aufsetzung sämtlicher Auslösungsapparate auf die Scheibe die Spitzen der Platten genau auf einer Kreislinie liegen, welche mit der Drehungsaxe concentrisch ist. Trotzdem noch vorhandene Ungleichheiten können dadurch ausgeglichen werden, daß man durch Drehung der Schrauben S_2 die Hartkupferprismen ein wenig hebt oder senkt.

Wie erwähnt ist der an der Axe aa befestigte Hebel doppelarmig und auf jedem Arme sitzt ein Schieber, welcher eine

¹ Selbstverständlich kann man sich bei sehr feinen Untersuchungen nicht ohne Weiteres auf die Angaben der Zeiger verlassen; man hat erst zu controliren, ob der Abstand der Zeiger auch dem Abstände der Contactflächen genau entspricht.

Hartkupferfeder aufnehmen kann. Diese Einrichtung kann besonders dann gute Dienste leisten, wenn es sich um Herstellung sehr kleiner Intervalle handelt, die durch Nebeneinandersetzen von zwei Auslösungsapparaten (in Folge der nicht unerheblichen Breite derselben) nicht mehr erhalten werden können. Dann setzt man zwei Auslösungsapparate einander diametral gegenüber auf die Scheibe und benutzt beide Federn. Damit der Experimentator bei den Versuchen auf den ersten Blick die beiden Hebelarme unterscheiden kann, trägt der eine Arm einen mattgeschwärzten Messingschieber, der andere einen polirten. Da bei größeren Geschwindigkeiten der doppelte Hebelarm stört, ist eine Ersetzung desselben durch einen einarmigen, durch Gegengewicht ausbalancirten Hebel vorgesehen.

Treibt man den Apparat durch einen genügend constanten Motor, so kann man beliebige Zeitstrecken auf das Genaueste herstellen. Außerdem gestattet der Apparat auch die mannigfachsten Variationen der zeitbegrenzenden Signale, da jeder Auslösungsapparat in einen besonderen Stromkreis eingeschaltet werden kann.

Während die eben beschriebenen Auslösungsapparate dazu dienen, einen Strom für ganz kurze Zeit zu schliessen, sind andere Auslösungsapparate vorhanden, um einen Strom erst schliessen bzw. öffnen und dann nach längerer variirbarer Zeit wieder öffnen bzw. schliessen zu können. Der untere zum Anschrauben dienende Theil derselben ist genau so beschaffen, wie der entsprechende Theil der eben beschriebenen Auslösungsapparate. Den oberen Theil zeigt nebenstehende Figur 3. Eine Hart-

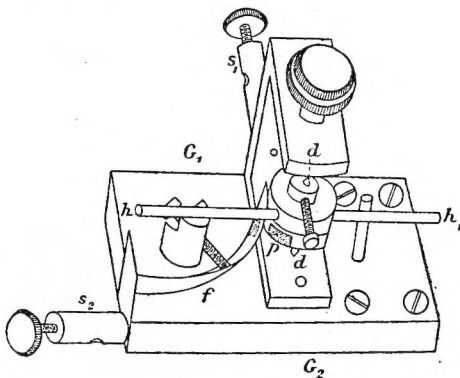


Fig. 3.

gummiplatte GG_1 isolirt ihn von dem unteren Theile und damit von dem Hauptapparate. Auf der Platte ist ein \square förmiges Messingstück festgeschraubt, welches die Lager für die drehbare Axe dd trägt und eine Klemmschraube s_1 . Auf die Axe dd ist eine kleine Hartgummischeibe aufgepaßt, welche an ihrer Peripherie ein Platinplättchen p trägt, das in leitender Verbindung mit der Axe dd steht. Durch Drehung der Axe dd kann dies Plättchen zur Berührung gebracht werden mit der Feder f , welche auf der Peripherie der Hartgummischeibe gleitet und mit Hülfe einer Schraube mehr oder weniger fest angepreßt werden kann. Die Feder f ist an der Klemmschraube s_2 befestigt. Stehen s_1 und s_2 in leitender Verbindung mit den Polen einer Batterie und wird dann durch Drehung der Axe dd eine Berührung von Platinplättchen und Feder herbeigeführt, so wird dadurch der Strom geschlossen. Die Drehung besorgt ein an dem langen Hebelarme des Hauptapparats befindlicher Stift, welcher bei der Rotation gegen einen an der Axe dd befestigten Hebel hh_1 stößt. In denselben Stromkreis wird ferner ein zweiter derartiger Auslösungsapparat in beliebigem Abstände eingeschaltet, welcher anfangs so eingestellt wird, daß der Strom geschlossen ist und erst durch Drehung der Axe dd geöffnet wird. Durch Anschlag des Stiftes an den Hebelarm h wird nur eine geringe Drehung herbeigeführt und die Stellung von Feder und Platinplättchen ist so zu orientiren, daß bei der geringen Drehung auch ihre Berührung herbeigeführt bzw. aufgehoben wird. Um die betreffende Stellung der Axe dd leicht wieder finden zu können, erhebt sich auf der Hartgummischeibe GG_1 noch ein Stift, gegen den der Hebelarm h_1 bei der betreffenden Stellung gerade anschlägt.

Von dieser zweiten Classe von Auslösungsapparaten ist ebenfalls einer auf einem um die mittlere Messingsäule drehbaren Hebelarme befestigt.

Diese Hilfsapparate ermöglichen eine sehr genaue und doch bequeme Messung der Fehlzeit (Vergleichszeit) bei Versuchen nach der Reproductionsmethode. Man setzt zu diesem Zweck zwei Auslösungsapparate erster Art für die die Normalzeit begrenzenden Signale auf die Scheibe und unmittelbar hinter den zweiten einen Auslösungsapparat zweiter Art, so daß gleich nach dem zweiten Signale ein Strom geöffnet bzw. geschlossen wird, welchen die Versuchsperson durch eine kleine Fingerbewegung

dann wieder zu schliessen bzw. zu öffnen hat. Die Dauer der Stromöffnung bzw. Stromschliessung wird mit dem HIPP'schen Chronoskop gemessen und das constante Intervall zwischen dem zweiten Signal und der Stromöffnung ein für alle Mal auf graphischem Wege bestimmt.

Ferner gestatten diese Apparate Untersuchungen über die Schätzung der Dauer von Empfindungen z. B. Tonempfindungen anzustellen. Ich habe zu dem Zweck den Ton einer elektromagnetisch angeregten, schwingenden Feder mit Hülfe eines Resonators auf ein Mikrophon übertragen und dann vom Mikrophon aus eine Stromleitung zu einem im Nebenzimmer befindlichen Telephon geführt. Indem ich die Leitung durch die Auslösungsapparate führte, konnte ich die Dauer des Tones im Telephon in bequemer Weise variiren.

Die Verwendbarkeit des Contactapparates ist nicht auf Zeitschätzungsversuche beschränkt. Da ich einen sehr constanten Motor zur Verfügung habe, benutze ich den Apparat z. B. auch um das HIPP'sche Chronoskop sowohl für ganz kleine wie für grössere Zeiten zu controliren, indem ich den durch die Elektromagnete der Uhr gehenden Strom durch zwei Auslösungsapparate zweiter Art leite. Ich bestimme dann zunächst mehrere Male die Dauer von 50 Umdrehungen mit der Fünftelsecundenuhr (die natürlich hinsichtlich ihres Ganges geprüft sein muß), so daß ich daraus die Dauer einer Umdrehung mit einem sehr geringen Fehler (der jedenfalls 4σ nicht erreicht) berechnen kann. Da ferner für die Controlzeit im Allgemeinen nur ein Bruchtheil einer Umdrehung in Frage kommt, so reducirt sich der Fehler noch erheblich weiter. Hinsichtlich der Constanz controliren sich Chronoskop und Contactapparat gegenseitig. Man kann daher bei sehr genauen Versuchen den Contactapparat in bequemer Weise vor und nach jeder Versuchsreihe controliren.

Sodann läßt sich der Apparat bei Reactionsversuchen verwerthen, wenn man dem Reize ein vorbereitendes Signal in einem constanten oder auch variablen Intervall voranschicken will; ferner läßt er sich anwenden bei Versuchen über den Umfang des Bewußtseins, bei sog. Complicationsversuchen u. s. w.

Zum Treiben des Apparats benutze ich den elektromagnetischen Rotationsapparat, welchen v. HELMHOLTZ construirt hat. Man scheint mit diesem Apparat vielfach keine guten Er-

fahrungen gemacht zu haben und auch mir hat er anfangs nicht unerhebliche Schwierigkeiten bereitet. Nachdem ich ihn aber einmal in Gang gebracht und seine Eigenheiten durch Erfahrung kennen gelernt habe, kann ich ihn sehr bequem handhaben. Wichtig ist die Ersetzung des Quecksilbercontacts durch einen Trockencontact, welche ich nach dem Vorgange BERNSTEINS vorgenommen habe. Vom Standpunkte der modernen Elektrotechnik aus ist der Apparat allerdings veraltet, doch ist mir kein anderer Motor bekannt, der so constant läuft.

Die Gleichmäßigkeit des Ganges habe ich früher im Göttinger Institut mit meinem Chronographen geprüft. Derselbe unterscheidet sich vom WUNDT-KRILLE'schen Chronographen, wie schon in meiner früheren Arbeit erwähnt ist, nur in zwei wesentlichen Punkten. Erstens wird derselbe nicht durch Uhrwerk, sondern durch ein durch Treten in Bewegung zu setzendes Schwungrad oder (bei sehr genauen Messungen) durch einen Wassermotor getrieben, und zweitens habe ich den von WUNDT benutzten Zeitmarkirer durch den PFEL'schen Zeitmarkirer ersetzt, weil mir dieser handlicher und auch genauer zu sein schien. Bei Untersuchungen, welche TIGERSTEDT an einem solchen Zeitmarkirer vorgenommen hat, hat sich nämlich die Latenzzeit bei der Stromöffnung als sehr klein ($< 1 \sigma$) und äußerst constant erwiesen. Damit ich prüfen konnte, ob die zum Chronographen verwendeten Zeitmarkirer dieselbe Genauigkeit besäßen, liefs ich mir eine kleine Vorrichtung zur Bestimmung der Latenzzeit am Chronographen anbringen. Bei einer bestimmten Lage der rotirenden Trommel stößt ein an ihr befestigter Stift gegen den einen Arm eines rechtwinkligen Doppelhebels und öffnet dadurch einen Platincontact, der durch Federkraft gleich darauf wieder geschlossen wird. Läßt man nun durch diesen Platincontact denselben Strom gehen, welcher einen Zeitmarkirer durchströmt und bewegt die Trommel einmal mit der Hand ganz langsam durch die zu durchlaufende Bahn, so wird der Contact langsam geöffnet; die Schreibspitze des Zeitmarkirers zeichnet dann auf der beruften Fläche eine Marke auf, welche demjenigen Punkte der beruften Fläche entspricht, der bei Berührung von Stift und Hebelarm gerade von der Schreibspitze berührt wird, da in Folge der langsamen Bewegung die Trommel sich während der Latenzzeit nur unmerklich weiter bewegt hat. Dann führt man die Schreibfläche zurück, schließt den Contact aufs Neue und führt

nun eine sehr rasche Bewegung der Trommel aus, indem man jetzt zugleich die Stimmgabel ihre Schwingungen neben dem Zeitmarkirer aufschreiben läßt. Die jetzt gezeichnete Marke ist um eine die Gröfse der zu messenden Latenzzeit entsprechende Strecke gegen die erst gemachte Marke verschoben. Die zeitliche Differenz bestimmt man mit Hülfe der daneben befindlichen Curve der Stimmgabelschwingungen. Da der Schreibapparat sich während der Bewegung der Trommel genau parallel ihrer Axe verschiebt, so kann man gleich eine ganze Reihe (in einer Linie liegende) Marken hintereinander bei langsamer Bewegung der Trommel und dann ebensoviel bei rascher Bewegung erhalten. Man bestimmt dann einerseits die Gröfse der Latenzstrecke bis auf $\frac{1}{10}$ mm und andererseits die Strecke, welche eine Doppelschwingung der Stimmgabel ausfüllt. Um letztere Bestimmung möglichst genau zu erhalten, mißt man die Strecke, welche fünf oder zehn zusammenhängende (theils vor theils nach der Stromöffnung stattgefundene) Doppelschwingungen ausfüllen und nimmt dann den Durchschnitt. Dabei ist es natürlich wünschenswerth, daß die Trommel sich möglichst gleichmäfsig bewegt, wie sie es z. B. thut, wenn sie durch den Wassermotor getrieben wird.

Ich erhielt nun z. B. bei 13 Bestimmungen der Latenzzeit folgende Werthe:

Latenzstrecke	Ausdehnung einer Schwingung (= 4 σ)	Latenzzeit
4 mm	6,40 mm	2,50 σ
4,2 „	6,60 „	2,55 „
4,2 „	6,60 „	2,55 „
4,2 „	6,80 „	2,46 „
4,5 „	6,86 „	2,60 „
4,6 „	6,96 „	2,63 „
4,4 „	6,64 „	2,65 „
4,5 „	6,94 „	2,60 „
4,7 „	6,80 „	2,76 „
4,6 „	6,96 „	2,64 „
4,7 „	6,90 • „	2,71 „
5,1 „	6,80 „	3,00 „
4,8 „	6,76 „	2,84
		<hr/> m = 2,65 σ
		mv = 0,11 σ

Die Latenzzeit betrug im Mittel $2,65 \sigma$, war also etwas gröfser als die von TIGERSTEDT gefundene. Dies rührt daher, dafs ich in Rücksicht auf die nicht unbedeutenden Erschütterungen des Chronographen die Schreibhebel etwas kräftiger anfertigen liefs, als es sonst bei dem PFEL'schen Zeitmarkirer geschieht. Die Constanz ist dadurch nicht merklich beeinflusst, wie die geringe mittlere Variation zeigt.

Bei der grofsen Constanz der Latenzzeit des Zeitmarkirers sind die bei der Controle des Contactapparates gefundenen Schwankungen im Wesentlichen auf Kosten dieses Apparates zu setzen. Es ergab sich nämlich z. B. für zehn auf einander folgende Umdrehungen, deren jede durchschnittlich $1,232 \text{ Sec.}$ dauerte, eine mittlere Variation von $0,9 \sigma$. Intervalle von 300σ zeigten ferner bei derselben Umdrehungsdauer eine mittlere Variation von $0,4 \sigma$ u. s. w. Es ist demnach auch die Genauigkeit des neuen Apparates ganz wesentlich gröfser als die des früheren. Jedoch ist zu bemerken, dafs die Angaben sich auf eine Reihe unmittelbar auf einander folgender Umdrehungen beziehen. Wurde dagegen zu jeder Bestimmung der Dauer einer Umdrehung der Rotationsapparat ganz von Neuem in Gang gesetzt, so waren die Schwankungen etwas gröfser, indem z. B. die mittlere Variation bei einer Umdrehungsdauer von $1,232 \text{ Sec.}$ ca. 2σ betrug.

Eine so grofse Genauigkeit, wie sie mit meinem Chronographen erreicht werden kann, ist indessen nur in äufserst seltenen Fällen erforderlich. Ich benutze daher zur graphischen Controle im hiesigen Institut ein grofses HERING'sches Kymographion (geliefert von Mechaniker R. ROTHE in Leipzig) mit einer Papierschleife von $2\frac{1}{2} \text{ m}$ Länge und 25 cm Breite, welches durch Uhrwerk getrieben wird. Die Geschwindigkeit kann variirt werden von 2 mm bis 500 mm in der Secunde. Auch benutze ich statt des PFEL'schen jetzt einen OEHMKE'schen Zeitmarkirer, welcher nicht nur Stromschlufs und Stromöffnung markirt, sondern auch die Schwingungen eines Stimmgabelunterbrechers (bezw. einer elektromagnetisch angeregten schwingenden Feder) wiedergiebt und zwar kann man ihn auf die Wiedergabe von 100 bis 300 Schwingungen einstellen.¹ Mit Hülfe dieser

¹ Ein Exemplar dieses Zeitmarkirers habe ich gelegentlich im Göttinger Institut mit meinem Chronographen hinsichtlich der Constanz der Latenzzeit untersucht, welche sich als eben so grofs erwies wie beim PFEL'schen Zeitmarkirer. Herr OEHMKE, Mechaniker des hiesigen physiologischen

Apparate kann man die Controlen auch leicht bis auf 1σ genau anstellen.¹

Schon meine frühere Versuchsanordnung hatte vor denjenigen meiner Vorgänger den Vorzug, daß die physikalischen Fehlerquellen wesentlich geringer und hinsichtlich ihrer Gröfse genau bestimmt waren. Aber selbst diesen Vorzug hat MEUMANN, welcher sich offenbar vorgenommen hatte, nichts Gutes an meiner Arbeit zu lassen, durch folgende Bemerkung abzuschwächen gesucht: „Die Controlen, die der Verfasser an seinen Apparaten ausgeführt hat, können für die Constanz des Uhrwerks sehr viel, für den Ausfall der Versuche gar nichts beweisen. Wenn die Apparate (insbesondere die Quecksilberkuppen!) sorgfältig vor der Controle in Stand gesetzt werden, so ist es ja begreiflich, daß ein BALTZAR'sches Uhrwerk eine sehr constante Rotationsgeschwindigkeit zeigt, aber den correcten Ausfall der Versuche würden diese Controlen nur dann beweisen, wenn sie einmal nach der Versuchsstunde angestellt worden wären und in dieser Hinsicht offenbaren die SCHUMANN'schen Tabellen ganz andere Verhältnisse. Wenn nämlich Seite 63 Versuchsreihe *E* für 755 σ Hauptzeit bei 11 Versuchen eine mittlere Variation der Normalzeit = 15 σ gefunden wurde, so beweist das, daß die Versuchseinrichtung weit gröfsere Schwankungen aufwies, als die oben erwähnten Controlen angeben, wonach die mittlere Variation bei zehn Einzelprüfungen 0,003 Sec. = 3 σ , also $\frac{1}{5}$ der vorigen Angabe betrug.“ — In der That, wenn nach den Tabellen die mittlere Variation der Intervalle bei den eigentlichen Versuchen das Fünffache von dem bei den Controlen gefundenen Werthe betrüge, so wäre natürlich auf den Ausfall der Controlen nicht viel zu geben, und MEUMANN würde sich mit seiner Bemerkung vollständig im Rechte befinden. In Wirklichkeit offenbaren aber die Tabellen gar nicht so ganz andere Verhältnisse. MEUMANN verschweigt nämlich erstens, daß ich die mittlere Variation speciell für ein Intervall von 300 σ angegeben und zugleich hervorgehoben habe, daß gröfsere Intervalle eine entsprechend gröfsere mittlere Variation gezeigt hätten. Bei einem gleichen Procentsatze entsprach also nach den Controlen einem Intervall von 750 σ eine mittlere Variation von 7,5 σ . Immerhin ist aber der von MEUMANN aus meinen Tabellen angeführte Werth noch doppelt so grofs. MEUMANN verschweigt aber zweitens, daß die Angaben über den Ausfall der Controlen sich nur (!) beziehen auf Versuche, welche nach der Methode der r. und f. Fälle ausgeführt sind, daß dagegen der von MEUMANN angeführte Werth von 15 σ sich in einem ganz anderen Abschnitte meiner Arbeit findet, nämlich in einer Tabelle, welche die Resultate der nach der Reproductionsmethode angestellten Versuche enthält. Ausserdem kommt aber in dieser Tabelle der Werth von 15 σ nur ein einziges Mal

Instituts, bezeichnet in seinem Preisverzeichnifs diesen Zeitmarkirer als Chronographen.

¹ Contactapparat, elektromagnetischer Rotationsapparat und Chronograph sind vom Mechaniker C. DIEDERICHs in Göttingen hergestellt.

vor und die anderen Werthe übersteigen 7 σ nicht. Schliesslich kann ich noch hinzufügen, daß ich die Apparate nicht nur für die Controlen besonders in Stand gesetzt habe, wie MEUMANN ohne jeden Grund annimmt, sondern selbstverständlich auch für die Versuche, und daß ich die Controlen auch nach den Versuchsstunden vorgenommen habe, ohne das Geringste an den Apparaten zu ändern.

Vor Kurzem habe ich an einem ersten Beispiel (*diese Zeitschr.* 17, S. 147) die Art und Weise, wie mein Gegner Kritik übt, in das rechte Licht gesetzt. Der obige Fall kann als ein weiteres Beispiel dienen.

II.

1. Eine Versuchsreihe nach der Methode der richtigen und falschen Fälle. — Trotz der grossen Genauigkeit, mit der der Apparat functionirt, habe ich doch die grössten Schwierigkeiten gehabt, um die Unterschiedsempfindlichkeit einer Versuchsperson (Dr. phil. WEINMANN) einigermaassen festzustellen, welche ein aufsergewöhnlich feines Unterscheidungsvermögen besitzt. Schon am ersten Versuchstage erkannte sie bei unmittelbar aufeinander folgenden Intervallen und bei einer Hauptzeit von 400 σ Differenzen $\pm \frac{1}{30}$ fast ausnahmslos richtig. Als ich darauf nach einigen Tagen zu einer Hauptzeit von 300 σ überging, hielt sie schon in der dritten Versuchsreihe (jede Reihe bestand aus 28 Einzelversuchen) bei einer Differenz $\pm \frac{1}{60}$ nie eine positive Differenz für negativ und umgekehrt (nur kamen einige Gleichheitsfälle vor). Dabei war in allen Fällen das Verfahren ein streng unwissentliches.

Ich habe bei dieser Versuchsperson sowohl Telephonknalles wie Hammerschläge als zeitbegrenzende Signale angewendet. Die Hammerschläge haben erstens den Vorzug, daß der Versuchsleiter sie auch hört und daher Ungleichheiten leichter erkennt, und zweitens haben sie den Vorzug, daß ihre Zeitverhältnisse auf graphischem Wege controlirt werden können. Eine solche Controle ist natürlich durchaus erforderlich, wenn die Unterschiedsschwelle nur 2 σ und weniger beträgt. Ich habe daher den Stiel meines Schlaghammers mit einem leichten Schreibhebel verbunden, und diesen auf dem beruften Papier des HERINGschen Kymographions unterhalb einer schwingenden Feder schreiben lassen. Nachdem ich mich mit den Eigenheiten des Schlaghammers genügend vertraut gemacht hatte, erreichte ich es, daß die mittlere Variation der kleinen Intervalle (300, 200, 150 σ) nur 1 σ betrug. Daß aber auch Telephonknalles recht

gut benutzt werden können, wird schon dadurch bewiesen, daß ich bei einer Hauptzeit von 150 σ mit den Telephonknallen dieselben Resultate erzielte wie bei der Hauptzeit 200 σ mit den graphisch controlirten Hammersignalen. Bei den kleinsten von mir untersuchten Hauptzeiten (150 und 75 σ) konnte ich überhaupt nur Telephonknalle benutzen, da der Schlaghammer nicht mehr genügend functioniren wollte. Immerhin brauchte aber diese Versuchsperson erst längere Zeit, bis sie sich an die Telephonknalle gewöhnt hatte.

Selbstverständlich hat man auch sorgfältig darauf zu achten, daß die zeitbegrenzenden Signale genau gleich stark sind. Bei den Hammerschlägen konnte ich auch während der Versuchsreihe darauf achten, bei den Telefonsignalen habe ich es vor jeder Versuchsreihe controlirt. Auch war die Versuchsperson angewiesen, jede Aenderung im Protokoll zu vermerken. Bei den Hammersignalen war am Anfang jeder Versuchsstunde das dritte Signal vielfach stärker, offenbar weil von den beiden vorangegangenen Erregungen des Elektromagneten noch Magnetismus zurückgeblieben war, wodurch das Wiederaanwachsen des Magnetismus beim dritten Stromschluß erheblich begünstigt wurde. Da ich jedoch den Strom innerhalb einer Versuchsstunde immer in gleicher Richtung durch die Elektromagnete gehen liefs, bildete sich allmählich ein permanenter Magnetismus aus, der allen drei Signalen zu Gute kam. Neben diesem permanenten Magnetismus machte sich die Verstärkung bei rasch aufeinander folgenden Signalen nicht mehr geltend. Da man sich bei rasch aufeinander folgenden Signalen leicht über ihr Stärkeverhältniß täuschen kann (in Folge rhythmischer Auffassung etc.), so habe ich auch die Signale einzeln probirt, indem ich erst das erste Signal einige Male allein angab, dann das zweite Signal u. s. w. Auf diese Weise werden Stärkeunterschiede sicherer erkannt. Bei den kleinsten Intervallen von 75 σ wäre ich fast durch eine besondere Fehlerquelle irre geführt. Die Versuchsperson gab an, daß das dritte Signal verstärkt erschiene, wenn das zweite Intervall länger wäre, dagegen schwächer bei kürzerem Intervall. Zuerst glaubte ich, es käme die rhythmische Auffassung in Frage. Als ich jedoch aus Vorsicht die Signale einzeln durchprobirte, zeigte sich, daß das dritte Signal thatsächlich bei einer minimalen Verlängerung des zweiten Intervalls objectiv stärker und bei Verkürzung objectiv schwächer war. Dies konnte daher rühren, daß

die Contactfeder durch die Berührung der ersten beiden Hartkupferflächen in Schwingungen gerieth und dafs daher die Berührung der dritten Fläche mehr oder weniger innig ausfiel, je nachdem die Feder in dem Momente, wo sie bei dem dritten Auslösungsapparate ankam, gerade in ihrer tiefsten oder höchsten Lage sich befand. Um diese Fehlerquelle auszuschliessen klebte ich auf die Rückseite der Feder ein Stück Gummi, welches die Schwingungen dämpfen sollte; in der That blieben dann die Signale bei den verschiedenen Stellungen des dritten Auslösungsapparates im Allgemeinen gleich stark. Allerdings gab die Versuchsperson bei dieser Gruppe von Versuchsreihen noch im Ganzen zehn Mal zu Protokoll, das dritte Signal wäre verstärkt erschienen, doch waren in diesen Fällen die Vergleichszeiten fast eben so oft kleiner wie gröfser (5 Mal gröfser, 1 Mal gleich, 4 Mal kleiner). Ob es sich dabei um eine objective oder um eine subjective Verstärkung (etwa in Folge rhythmischer Auffassung) gehandelt hatte, konnte ich nicht feststellen. Eine ähnliche Fehlerquelle zeigten aber auch die Hammersignale bei Zeiten von 150 σ . Die graphische Controle ergab, dafs der Hammer, nachdem er vom Elektromagneten losgelassen war, erst einige Schwingungen vollführte, bevor er zur Ruhe kam. Da diese Schwingungen nach 150 σ noch nicht beendet waren, so fiel bei einer kürzeren Vergleichszeit der Hammerschlag leiser aus.

Die Thatsache, dafs ich bei dieser Versuchsperson mit den Telephonknallen und mit den graphisch registrirten Hammersignalen ganz gleiche Resultate erzielt habe, beweist wohl schon genügend, dafs ein von MEUMANN gegen die Telephonkalle erhobener Einwand stark übertrieben ist. Er schreibt nämlich (*Phil. Stud.* VIII, S. 461): „Es ist ganz unglaublich (!), dafs SCHUMANN über die Art, wie das Telephon gehalten wurde, nichts mittheilt, und doch kann man sich leicht überzeugen, dafs selbst die kleinste Veränderung in der Entfernung des Telephons vom Ohre, ja selbst die verschiedene Stärke, mit der dasselbe aufs Ohr gedrückt wird (bezw. die Dichtigkeit, mit der es das Ohr verschließt), bedeutende Schwankungen in der Intensität und Veränderungen der Qualität des Schalles erzeugt.“ — Dafs man die Entfernung des Telephons vom Ohr während einer Versuchsreihe nicht ändern darf, ist eine für jeden mit den Elementen des Experimentirens vertrauten Forscher so selbstverständliche Thatsache, dafs ich sie in meiner ersten Arbeit

nicht besonders erwähnt habe. Ich lasse meine Versuchspersonen das Telephon fest gegen das Ohr drücken, dann sind die Signale erst zeitlich so scharf präcisirt, wie sie es bei derartigen Versuchen sein müssen. Etwas mehr oder weniger starker Druck kommt dann aber nicht in Frage, wie meine Versuche genügend beweisen. Ist der Versuchsperson das Halten des Telephons unbequem (bei nervösen Personen tritt das leicht ein), dann befestigt man dasselbe an einem Stativ und die Versuchsperson legt das Ohr fest dagegen.

Die Versuchsperson befand sich in demselben Zimmer wie der Apparat. Auch bei meinen früheren Untersuchungen hatte ich die gleiche Anordnung getroffen und ich bin von ihr nicht abgewichen, obwohl MEUMANN sie als eine „unbegreifliche Nachlässigkeit“ bezeichnet. Es kommt zwar vor, daß Versuchspersonen (besonders nervöse), wenn sie in unmittelbarer Nähe der Apparate sitzen, durch das leise Geräusch derselben gestört werden. Hat man jedoch ein etwas größeres Versuchszimmer zur Verfügung, so läßt sich die Störung leicht vermeiden, da in einer Entfernung von einigen Metern das Geräusch unhörbar wird. Die Präcision, mit der die hier in Rede stehende Versuchsperson ihre Schätzung ausführte, beweist wohl genügend, daß sie nicht merklich durch das Geräusch des Rotationsapparates beeinflusst wurde. Die Manipulationen des Experimentators aber waren, ebenso wie bei meinen früheren Versuchen, geräuschlos, da er nach dem vorbereitenden Signal nur noch einen Stift in Quecksilber zu tauchen hatte.

Viel Gewicht lege ich auf eine rasche Aufeinanderfolge der einzelnen Versuche, da die Versuchsperson dann am besten aufpaßt, weil ihr die Sache am wenigsten langweilig wird. Die regellose Reihenfolge, in der fünf verschiedene Vergleichszeiten (Vergleichszeit immer an zweiter Stelle) dargeboten wurden, schrieb ich vor Beginn der Versuche auf, damit ich nicht während der Versuche durch das Aufschreiben Zeit verlor.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate, und zwar findet sich unter D die positive bzw. negative Differenz, um welche sich die Vergleichszeiten von der Hauptzeit unterschieden; unter l , g , k die Anzahl der Fälle, in denen die Vergleichszeit für länger (l), gleich (g) oder kürzer (k) gehalten wurde, ausgedrückt in Prozenten der Gesamtzahl der Fälle. Als Zeiteinheit ist $1 \sigma = 0,001$ Sek. genommen.

1. Hammersignale.

Hauptzeit 300 σ .

ca. 250 Versuche.				ca. 100 Versuche.				ca. 80 Versuche.			
<i>D</i>	<i>l</i>	<i>g</i>	<i>k</i>	<i>D</i>	<i>l</i>	<i>g</i>	<i>k</i>	<i>D</i>	<i>l</i>	<i>g</i>	<i>k</i>
$+ \frac{1}{60}$	76 %	7 %	17 %	$+ \frac{1}{45}$	66 %	17 %	17 %	$+ \frac{1}{30}$	92 %	8 %	0 %
$+ \frac{1}{120}$	58 „	18 „	24 „	$+ \frac{1}{90}$	68 „	23 „	9 „	$+ \frac{1}{60}$	63 „	29 „	8 „
0	42 „	29 „	29 „	0	43 „	36 „	21 „	0	30 „	50 „	20 „
$- \frac{1}{120}$	30 „	22 „	48 „	$- \frac{1}{90}$	4 „	23 „	73 „	$- \frac{1}{60}$	8 „	21 „	71 „
$- \frac{1}{60}$	10 „	21 „	69 „	$- \frac{1}{45}$	—	25 „	75 „	$- \frac{1}{30}$	—	—	100 „

Hauptzeit 200 σ (180 Versuche).

<i>D</i>	<i>l</i>	<i>g</i>	<i>k</i>
$+ \frac{1}{48}$	83 %	11 %	6 %
$+ \frac{1}{120}$	62 „	19 „	19 „
0	50 „	22 „	28 „
$- \frac{1}{120}$	31 „	11 „	58 „
$- \frac{1}{48}$	11 „	11 „	78 „

2. Telefonsignale.

Hauptzeit 150 σ (390 Versuche).Hauptzeit 75 σ (390 Versuche).

<i>D</i>	<i>l</i>	<i>g</i>	<i>k</i>	<i>D</i>	<i>l</i>	<i>g</i>	<i>k</i>
$+ \frac{1}{60}$	72 %	10 %	18 %	$+ \frac{1}{40}$	63 %	18 %	19 %
$+ \frac{1}{120}$	62 „	15 „	23 „	$+ \frac{1}{80}$	54 „	15 „	31 „
0	44 „	23 „	33 „	0	44 „	17 „	39 „
$- \frac{1}{120}$	29 „	17 „	54 „	$- \frac{1}{80}$	29 „	10 „	61 „
$- \frac{1}{60}$	32 „	12 „	56 „	$- \frac{1}{40}$	29 „	13 „	58 „

Hervorheben möchte ich, daß ich durchaus nicht beabsichtigt habe, feinste Untersuchungen über die Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes nach allen Regeln der Kunst anzustellen. Es ist mir ziemlich gleichgültig, ob der genaue relative Werth der Schwelle für die Hauptzeiten 150—300 σ nun $\frac{1}{100}$ oder $\frac{1}{120}$ oder $\frac{1}{130}$ ist, es kommt mir nur darauf an, einen Begriff von dem feinen Unterscheidungsvermögen dieser Versuchsperson zu geben. Auch dürfte es schwer sein, einen genauen Werth für die Unterschiedsschwelle zu erhalten, da das GAUSS'sche Fehlergesetz für derartige Versuche nicht gültig ist. Schon durch meine früheren Versuche habe ich gezeigt, daß mit Verkleinerung der benutzten Differenz auch der berechnete Werth der Unterschiedsschwelle in auffallendem Maasse abnehmen kann und die obigen Tabellen zeigen ein gleiches Verhalten. So finden wir

bei der Hauptzeit 75 σ , daß die Differenz $-\frac{1}{40}$ ebenso oft falsch beurtheilt ist wie die Differenz $-\frac{1}{80}$, und bei der Hauptzeit 150 σ sogar, daß die Differenz $-\frac{1}{60}$ öfter falsch beurtheilt ist als die Differenz $-\frac{1}{120}$. Ich habe daher den Werth der Unterschiedsschwelle überhaupt nicht berechnet. Bei einer Schätzung dieses Werthes wird man sehr vorsichtig sein müssen, doch kann man wohl mit ziemlicher Sicherheit annehmen, daß bei Hauptzeiten von 150—300 σ der relative Werth der Unterschiedsschwelle $\frac{1}{100}$ nicht erheblich übersteigt. Ferner folgt aus der letzten Tabelle, daß bei der Hauptzeit 75 σ der relative Werth jedenfalls größer ist, als bei den anderen Hauptzeiten.

Ein wesentlicher constanter Zeitfehler ist nicht vorhanden, wie die Tabellen zeigen.

Fast alle anderen Personen, mit denen ich gelegentlich Versuche angestellt habe, konnten bei Weitem nicht so genau schätzen. Die Meisten hatten schon mit Differenzen $\pm \frac{1}{30}$ große Schwierigkeiten. Nur ein Herr (stud. philos. EBHARDT) schien eine annähernd gleich große Unterschiedsempfindlichkeit zu besitzen. Leider konnte er sich aus Zeitmangel nicht genügend oft an den Versuchen betheiligen, um sichere Resultate zu erhalten. Auch von den übrigen Versuchspersonen habe ich nicht genügend zahlreiche Resultate, um die Größe der Unterschiedsempfindlichkeit genügend sicher schätzen zu können. Die Versuche hatten nur den Zweck, die Versuchspersonen einigermaßen auf die Zeitschätzung einzüben, weil ich durch weitere Versuche den Einfluß verschiedener Umstände auf das Zeiturtheil feststellen wollte. Nur zwei größere Versuchsreihen stehen mir noch zu Gebote mit den Hauptzeiten 400 und 300 σ . Versuchsperson war Dr. phil. WENTSCHER. Als Signale wurden Telephonknaile benutzt. Die Resultate waren:

Hauptzeit 400 σ . (ca. 530 Versuche).				Hauptzeit 300 σ . (420 Versuche).			
D	l	g	k	D	l	g	k
$+\frac{2}{45}$	68 %	20 %	12 %	$+\frac{2}{45}$	60 %	27 %	13 %
$+\frac{1}{30}$	62 „	26 „	12 „	$+\frac{1}{30}$	52 „	36 „	12 „
$+\frac{1}{45}$	61 „	27 „	12 „	$+\frac{1}{45}$	44 „	44 „	12 „
0	34 „	31 „	35 „	0	29 „	33 „	38 „
$-\frac{1}{45}$	16 „	32 „	52 „	$-\frac{1}{45}$	13 „	37 „	50 „
$-\frac{1}{30}$	25 „	16 „	59 „	$-\frac{1}{30}$	10 „	30 „	60 „
$-\frac{2}{45}$	9 „	13 „	78 „	$-\frac{2}{45}$	10 „	27 „	63 „

Die Unterschiedsempfindlichkeit ist also auch noch ganz erheblich. Ferner zeigt sich wieder, daß es zu groben Täuschungen über den Werth der Schwelle führen würde, wenn man die Versuche mit nur einer Differenz anstellen und dann etwa nach den MÜLLER'schen Formeln die Schwelle berechnen wollte. So hat sich bei der Hauptzeit 400 σ für die Differenz $+ \frac{1}{30}$ fast dieselbe Anzahl richtiger und falscher Fälle ergeben wie für die Differenz $+ \frac{1}{45}$ und bei der Hauptzeit 300 σ stimmen die Resultate für die Differenzen $- \frac{1}{30}$ und $- \frac{2}{45}$ fast ganz genau überein. FECHNER hat im Gegentheil bei seinen bekannten Gewichtsversuchen aus den bei verschiedenen Differenzen erhaltenen Versuchsergebnissen fast ganz genau gleiche Werthe der Schwelle berechnet. Die relativen Werthe unterscheiden sich erst bei der dritten Decimalstelle um höchstens zwei Einheiten (vgl. G. E. MÜLLER, Zur Grundlegung der Psychophysik, S. 197). Dies rührt wohl einerseits daher, daß seine Versuche viel zahlreicher sind. Andererseits ist aber auch noch zu bedenken, daß bei seinen Versuchen die Fehler im Wesentlichen äußere waren (wie er selbst nachgewiesen hat) und daß das GAUSS'sche Fehlergesetz für die äußeren (physikalischen) Fehlerquellen wohl besser zutrifft als für die inneren.

Was meine eigene Unterschiedsempfindlichkeit anbetrifft, so habe ich schon früher erwähnt, daß ich bei Intervallen von 400 und 300 σ Differenzen, welche gleich dem dreißigsten Theile der Hauptzeit sind, fast ausnahmslos richtig erkenne. Ich kann hinzufügen, daß das Gleiche noch für Differenzen $\pm \frac{1}{40}$ gilt und daß ich auch noch mit Differenzen $\pm \frac{1}{60}$ einen großen Procentsatz richtiger Fälle erziele, doch nur bei gutem Befinden.

Die Besprechung meiner früheren Versuche beschliesse ich mit dem Satze (a. a. O. S. 60): „Nach dem Vorangegangenen dürfte klar sein, daß feinere Untersuchungen über den Gang der Unterschiedsempfindlichkeit auf außerordentlich große Hindernisse stoßen, zu deren Ueberwindung eminent viel Zeit gehört.“ — Hieraus geht doch wohl genügend deutlich hervor, daß ich selbst meine Untersuchungen nur als verhältnißmäßig grobe betrachtete. Wenn daher MEUMANN nachzuweisen versucht, daß meine Versuche den Gang der Unterschiedsempfindlichkeit und andere damit zusammenhängende Fragen nicht mit aller ihm wünschenswerth erscheinenden Genauigkeit feststellen, so rennt er offene Thüren ein. Ich habe zu zeigen gesucht, und ich werde es in einer weiteren Abhandlung noch ausführlicher nachweisen, daß das Urtheil bei derartigen Versuchen ein mittelbares ist, daß insbesondere das feine Unterschiedsurtheil auf der

„Einstellung der Aufmerksamkeit“ beruht. Die Versuche über die Unterschiedsempfindlichkeit sollten einen Begriff davon geben, was dieser Factor zu leisten vermag. Hätte sich nicht im Laufe der Untersuchung herausgestellt, dafs der berechnete Werth der Unterschiedsschwelle, in so starkem Maafse mit der benutzten Differenz variirt, so würde ich mit gröfserer Genauigkeit die Frage, ob die Unterschiedsempfindlichkeit bei 300—400 σ ein Maximum erreicht, entschieden haben. Die Frage schien mir aber nicht wichtig genug, um den Aufwand von Mühe zu lohnen, welcher unter den obwaltenden Umständen erforderlich gewesen wäre. Für die psychologische Forschung kommt in erster Linie die Frage nach der Grundlage des Zeiturtheils in Betracht. Die Entscheidung darüber, ob das Zeiturtheil bei derartigen Versuchen ein mittelbares oder unmittelbares ist, wird aber nicht durch Untersuchungen über die Unterschiedsempfindlichkeit, sondern auf anderem Wege herbeigeführt.

(Eingegangen den 19. Februar 1898.)
