(Aus dem physiologischen Institut der Universität Königsberg i. Pr.)

Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Elektrotonus.

Von

Dr. **M. Gildemeister**, II. Assistenten

und

Dr. **Otto Weiss**, I. Assistenten und Privatdocenten.

(Mit 6 Textfiguren.)

I. Vorbemerkungen. Fragestellung. Versuchsplan.

Wenn der Elektrotonus des Nerven wirklich, wie Hermann annimmt, durch Polarisation an der Grenze von Hülle und Kern der Nervenfasern zu Stande kommt, so muss seine Ausbreitungsgeschwindigkeit unmessbar gross sein, wenn er auch nicht an allen Stellen momentan in voller Höhe entwickelt ist. Ein Theil der Forscher hat Untersuchungsergebnisse erhalten, die in diesem Sinne gedeutet werden müssen. Freilich fehlt es auch nicht an Beobachtern, die im Gegensatz dazu zu dem Schlusse kommen, dass man dem Elektrotonus keine grössere Geschwindigkeit zusprechen dürfe als der Erregungsleitung. Da sich seit der letzten Arbeit auf diesem Gebiete¹⁾ im Stande der Frage nichts geändert hat und in derselben die bisherigen einschlägigen Publikationen ausführlich besprochen und kritisiert sind, kann hier auf dieselbe verwiesen werden.

Für den physikalischen Ausdruck des Elektrotonus ist in der erwähnten Arbeit bereits der Beweis geliefert, dass seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit erheblich grösser ist als die der Erregungswelle. Um zu entscheiden, ob der physiologische Ausdruck sich ebenso verhält, kann man auch von folgender, schon früher²⁾ angestellter Uebersetzung ausgehen.

1) L. Hermann und O. Weiss, Ueber die Entwicklung des Elektrotonus. Dieses Archiv Bd. 71 S. 237—295. 1898.

2) l. c. S. 240 f.

Wenn der Elektrotonus sich schneller fortpflanzt als die Erregungswelle, so muss er sie einholen können.

Es stelle in der vorstehenden Fig. 1 NM einen Nerven dar, dessen Muskel bei M liegt, AK die Richtung eines diesen Nerven polarisierenden Kettenstromes, R eine von der Anode desselben um p entfernt liegende Reizstelle; es sei weiter v die Geschwindigkeit des Elektrotonus und ϑ das Zeitintervall zwischen Schliessung des polarisierenden Stromes und auf dieselbe folgendem Reizmoment, so muss mindestens

$$\vartheta = \frac{p}{v}$$

sein, wenn die Reizung in R unwirksam bleiben soll.

Fig.

Wird aber beabsichtigt, die Erregung während ihres Ablaufes von R zum Muskel durch den Elektrotonus auszulöschen, etwa in einer Entfernung s von R , so muss, wenn u die Geschwindigkeit der Erregungswelle und ϑ' das Intervall zwischen Schliessung der polarisierenden Kette und darauf folgendem Reiz darstellen,

$$\vartheta' = \frac{p + s}{v} - \frac{s}{u} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

sein.

Ist die rechte Seite dieser Gleichung gleich Null, also

$$v = u \left(1 + \frac{p}{s} \right),$$

so wird die Reizung in R noch unwirksam, wenn gleichzeitig der polarisierende Strom geschlossen und der Reiz in R appliziert wird; ist v noch grösser, so wird die rechte Seite der Gleichung negativ, und es tritt eine Abfangung der Erregung auch noch ein, wenn die Polarisation erst nach der Reizung stattfindet. Hieraus ergibt sich ohne Weiteres der Versuchsplan: Man versucht, eine bei R durch einen Oeffnungsinduktionsschlag (von der Stärke, dass der bei M befindliche Muskel eine Minimalzuckung macht) erzeugte Erregung durch den Anelektrotonus zu überholen. Dazu schliesst man ϑ' Sekunden nach Oeffnung des induzierenden Stromkreises den polarisierenden (aufsteigenden, proximal von R in noch wirksamer

Distanz p angebrachten) Strom. Wenn der Elektrotonus die Erregung überholt hat, so dokumentirt sich dies durch Ruhe des Muskels. Aus dem Grenzwert von $\mathcal{S}'$ und p lässt sich v berechnen, wenn man u und $p + s$ kennt. Für u darf man 27 m in der Sekunde annehmen, einen Mittelwerth, der durch zahlreiche Untersuchungen gewonnen ist. Der Werth für $p + s$ jedoch ist auf keine Weise exakt bestimmbar. Für ihn muss man also eine Annahme machen. Man kann nun sicher das Maximum dieser Grösse bestimmen. $p + s$ kann nämlich höchstens gleich dem Maximum derjenigen Entfernung der Reizelektroden von A sein, in welcher die Reizung bei dauernder Schliessung des Kettenstromes noch unwirksam bleibt. Diese Entfernung ist leicht experimentell bestimmbar. Legt man dieselbe der Rechnung zu Grunde, so kann das Resultat niemals eine zu grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Elektrotonus ergeben, da man $p + s$ höchstens zu gross angenommen haben kann.

Der Gedanke der Ueberholung ist zuerst von Tschirjew¹⁾ ausgesprochen und später von v. Baranowski und Garré²⁾ und von Asher³⁾ aufgenommen worden. Ein Plan, wie diese Frage endgültig entschieden werden kann, ist in der mehrfach erwähnten Arbeit von Hermann und Weiss⁴⁾ entworfen und in den folgenden Versuchen zur Ausführung gelangt. Für diesen Zweck wurde der Helmholtz'sche Pendelunterbrecher⁵⁾ verwendet, der mit Rücksicht darauf, dass er unseres Wissens bisher noch nicht zu physiologischen Versuchen benutzt worden ist, zunächst kurz beschrieben werden soll.

II. Instrumentarium. Aichung desselben.

Wir folgen hier den Angaben des Verfertigers⁶⁾:

„Zwischen zwei Lagerkörpern FG (Fig. 2), die durch drei Säulen mne mit einander verbunden sind, schwingt an einem Gestänge das schwere Schmiedeeisenprisma A und zwar um eine zylindrische Welle, die auf zwei Paar Friktionsrollen gelagert ist, von welchen

1) Du Bois-Reymond's Archiv 1879 S. 541.

2) Dieses Archiv Bd. 21 S. 446—461.

3) Zeitschrift für Biologie Bd. 32S. 473—500.

4) l. c. S. 242.

5) Unser sehr exakt ausgeführtes Exemplar stammte aus der Werkstätte von Edelmann in München.

6) Annalen der Physik. Vierte Folge Bd. 3 S. 274. 1900.

m in der Figur allein zum Vorschein kommt. Das Prisma A kann an den Elektromagneten E angehängt werden, und das Pendel fängt an zu schwingen, wenn hier der Strom unterbrochen wird, wobei es mit den beiden, weit unter dasselbe hervorragenden Klinken h k gegen zwei Kontaktmechanismen stösst, welche in dem Moment des Getroffenwerdens Stromkreise öffnen. Den Zeitunterschied zwischen

Fig. 2.

dem Eintritt der ersten bis zur zweiten Auslösung verändert man durch Mikrometerschrauben p q ; da diese zwei Mikrometerschrauben je einen Schlitten bedienen, auf welchem einer der Kontakte befestigt ist, so können letztere längsseitig zu einander verschoben werden.

Die Mechanik der gewöhnlich gebrauchten stromöffnenden Auslöswerke zeigt Fig. 3. Eine (k) der Klinken (mit Achat belegt) kommt in der Richtung des Pfeiles heran und trifft an der Spitze der Schraube a den Hebel b , denselben aus der gezeichneten An-

fangslage nach vorwärts schlagend. An die Welle c des Hebels sind zwei Flächen d f angefeilt; Feder g drückt auf die von beiden Flächen gebildete Ecke h , wodurch in gezeichneter Lage der Hebel b gegen die Kontaktschraube m fest genug ausgedrückt wird. Trifft nun die Klinke k den Hebel b , so schnellt sie denselben um 90° herum, worauf nunmehr die Feder g auf der Fläche f ihre Rast findet; es tritt also das Ende a des Hebels dem ausschwingenden Pendel nicht mehr in den Weg; sollte dies dennoch der Fall sein, so gleitet die Klinke, da sie nach vorwärts ausschlagen kann, über a hinweg, ohne

Fig. 3.

etwas zu zerstören. Zu erwähnen ist bezüglich der Skizze, dass der Hebel b einerseits und die Feder g sammt den Flächen d f andererseits nicht in derselben Ebene liegen. Kontakt m steht mit der Klemmschraube B , die Axe c mit der Klemme A in leitender Verbindung. Der zweite Kontaktmechanismus für die Klinke k ist ein Spiegelbild des ersten; beide sind auf Hartgummiplatten montirt.

An Stelle des oben geschilderten stromöffnenden Schlüssels kann auf den Schlitten q der in Fig. 4 abgebildete Mechanismus gesetzt werden, mit dem sich ein Stromkreis schliesst. Die mit a , b , m , c , d , f , k , g bezeichneten Appartheile bleiben dieselben wie vorhin; jedoch ist auf den Hebel b eine stählerne Rast n auf-

geschraubt, gegen welche sich eine Klinke p , um Axe r drehbar und durch Spiralfeder s gezogen, anlegt. Trifft das Pendel die Schraube a , so fällt p über n herunter, der Kontakt pq kommt zu Stande, wodurch ein zu den Klemmschrauben CD geführter Stromkreis geschlossen wird. Die Korrektionschrauben M und Q besorgen die Tiefe der Einklinkung pn und die Einstellung pq , wodurch die Zeit, welche vom Moment des Pendelstosses gegen a bis zum Moment des Stromschlusses verläuft, auf einen sehr kleinen konstanten Betrag herabgesetzt werden kann.“

Fig. 4.

Unsere erste Aufgabe war, die Zeiten zu bestimmen, welche der Verschiebung des einen Mikrometerschlittens um einen bestimmten Betrag, z. B. einen Umgang der Mikrometerschraube, entsprechen. Eine zur Messung kleiner Zeiten sehr geeignete Methode hat M. Radaković in Innsbruck angegeben¹⁾. Er benutzt nämlich die Entladung eines Kondensators durch einen induktionsfreien Widerstand dazu. Wir zitieren ihn hier fast wörtlich:

„Die Entladung eines Kondensators durch einen induktionsfreien Leiter verläuft nach dem Gesetze:

$$q = q_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

1) M. Radaković, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien. Bd. 109, Abth. 2a. 1900.

In dieser Gleichung bedeuten: q_0 die Elektrizitätsmenge in dem Kondensator vor dem Beginne der Entladung, q die nach Verlauf der Zeit t noch im Kondensator zurückgebliebene Menge, R den Widerstand der Leitung und C die Kapazität des Kondensators. Das hierbei in Anwendung kommende Stromlaufschema ergibt sich aus der untenstehenden Fig. 5. In derselben bedeutet B eine Stromquelle, R einen grösseren induktionsfreien Widerstand, C den Kondensator und G ein ballistisches Galvanometer. ab und cd sind Kontaktmechanismen, welche durch die Klinken hk nach einander aufgeschlagen

Fig. 5.

werden. W ist ein gut isolirter Doppelschlüssel. Die Kontakte 1 und 2 berühren sich in der Ruhelage, 3 und 4 ist offen; der Kondensator C liegt an der Stromquelle B und ladet sich zu demjenigen Potentiale, welches die Enden D und E des Widerstandes R besitzen. Legt man W nach rechts hinüber, so hört der Kontakt 1, 2 auf; es schliesst sich 3, 4 und der Kondensator legt sich an das Galvanometer G , worauf man die Anfangsladung q_0 aus der Elongation der Schwingung bestimmen kann. Nach diesem Vorversuche schliesst man wieder 1, 2, wodurch man den Kondensator an die Enden des Widerstandes R anlegt. Nun erfolgt die Funktion des Pendels. Sobald das Pendel den Kontakt ab eröffnet, ist die Stromquelle B von dem Kondensator getrennt, und die Entladung verläuft durch R hindurch so lange, bis sie durch Oeffnen des zweiten Contactes cd gehemmt wird. Man schliesst nun sofort durch Umlegen von W

nach rechts den Kontakt 3, 4 und verbindet hierdurch den Kondensator zum zweiten Mal mit dem Galvanometer, dessen Ausschlag nunmehr die Restladung misst. Aus den Werthen q_0 und q kann jetzt die Zeit aus der oben angegebenen Formel berechnet werden.“

Als Stromquelle benutzten wir ein Clark'sches Normalelement, dessen Temperatur und damit auch Spannung während eines Versuches konstant gehalten wurde. Der bifilar gewickelte Widerstand hatte, verglichen mit einem Siemens'schen Präzisionsrheostaten, die Grösse von 9806 Ohm. Der Präzisionskondensator (aus mit Stanniol belegten Glimmerplatten) stammte ebenfalls von Edelman und hatte die Kapazität von 0,4005 Mikrofarad. Das Galvanometer nach Deprez-d'Arsonval war von Siemens & Halske bezogen worden. Als Doppelschlüssel diente uns der eine Bügel einer Wippe ohne Kreuz aus Hartgummi; die gewöhnlichen hölzernen genügten den hohen Isolationsansprüchen nicht.

Die Bestimmung von q_0 machte keine Schwierigkeit; wenn man die Kontakte h und k geschlossen liess und dann die Wippe W nach links und kurz darauf nach rechts umlegte, so zeigte das Galvanometer G konstant einen Ausschlag von 469 Skalenteilen. Das Gleiche musste man erwarten, wenn man bei links liegender Wippe vom fallenden Pendel zuerst k , dann h öffnen liess und dann, so schnell es möglich war, W nach rechts umwarf. Es zeigte sich aber, dass der Ausschlag dann kleiner wurde, und zwar desto kleiner, je längere Zeit seit dem Pendelfall verstrichen war. Der Kondensator verlor also rasch seine Ladung. Um diesem Uebelstande zu begegnen, brachten wir zwischen dem Gestänge des Eisenprismas und dem Wippenbügel eine Verbindung an, durch deren Vermittlung das fallende Pendel selbst unmittelbar nach dem Anschlag gegen die Kontakthebel den Schlüssel umwarf. Nun bekamen wir immer den vollen Ausschlag. Diese Einrichtung behielten wir darum auch für die folgenden Versuche bei.

Darauf wurde der auf einem soliden Tische befindliche Pendelapparat gut ausnivellirt und die Mikrometerschlitten so eingestellt, dass die Schrauben der beiden Oeffnungskontakthebel die Achate der Klinken des ruhig herabhängenden Pendels gerade berührten. Die Teilung des linken zeigte dabei die Zahl 47,60¹⁾ (die ganzen Um-

1) Der linke Schlitten behielt seine Stellung während der ganzen zeitmessenden Versuche unverändert.

drehungen wurden auf den seitlich gelegenen, auf der Fig. 2 deutlich sichtbaren Schienen abgelesen, die Hundertstel an den Schraubenköpfen), die des rechten 39,00. Bei dieser Stellung, von der vorläufig angenommen wurde, dass bei ihr beide Kontakte vom fallenden Pendel gleichzeitig geöffnet würden, erfolgte der erste Versuch; dann wurde der Mikrometerschlitten successive um eine Umdrehung verschoben und die resultirenden Galvanometerablenkungen notirt. Jeder derartige Versuch wurde fünf Mal wiederholt und von den vorzüglich übereinstimmenden Beobachtungen das Mittel genommen. So erhielten wir folgende Werthe (die ausführlichen Protokolle sind im Anhange nachzulesen):

Bezeichnung des Versuchs	Rechter Kontakt steht auf	Ablenkung des Galvanometers in Skalentheilen
a	39,00	469,0
b	38,00	451,2
c	37,00	432,2
d	36,00	415,1
e	35,00	398,5
f	34,00	382,1

Formt man nun die Gleichung (2) S. 514 um in

$$t = R \cdot C \log \text{nat} \frac{q_0}{q},$$

legt den Grössen R , C , q_0 die oben S. 516 erwähnten Werthe bei und setzt für q nach einander die Werthe aus der dritten Spalte obiger Tabelle, so erhält man in Milliontel-Sekunden:

$$\begin{aligned} t_a &= 0 \\ t_b &= 156 \\ t_c &= 226 \\ t_d &= 483,5 \\ t_e &= 655 \\ t_f &= 810 \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich die Zeit für einen Schraubenumgang in Milliontel-Sekunden:

$$\left. \begin{aligned} t_c - t_b &= 170 \\ t_d - t_c &= 167,5 \\ t_e - t_d &= 161,5 \\ t_f - t_e &= 165,0 \end{aligned} \right\} \text{im Mittel } 166.$$

Die Zeit $t_b - t_a = 0,000\,156''$ ist nicht verwendbar, weil ja die Stellung a nicht mit Sicherheit der Nullstellung entspricht; vielmehr

ergiebt sich durch Interpolation, dass bei gleichzeitiger Oeffnung beider Kontakte der rechte Schlitten die Stellung 38,90 haben muss, wenn der linke auf 47,60 steht. Dasselbe lehren zwei zu deren Ermittlung angestellte Versuche, deren Protokolle S. 525 mitgetheilt sind.

Darauf wurde noch ein Zeitmessungsversuch angestellt (Protokoll S. 526), der folgende Zahlen ergab:

Bezeichnung des Versuchs	Rechter Kontakt steht auf	Ablenkung des Galvanometers in Skalentheilen
α	38,90	468,8
β	37,90	450,3
γ	36,90	432,3
δ	35,90	414,3
ϵ	34,90	397,3
ζ	33,90	381,3
η	32,90	365,3

Daraus ergeben sich die Zeiten in Milliontel-Sekunden:

$$\left. \begin{array}{l} t_{\beta} - t_{\alpha} = 165 \\ t_{\gamma} - t_{\beta} = 160 \\ t_{\delta} - t_{\gamma} = 167 \\ t_{\epsilon} - t_{\delta} = 162 \\ t_{\zeta} - t_{\epsilon} = 161 \\ t_{\eta} - t_{\zeta} = 167 \end{array} \right\} \text{im Mittel } 164.$$

Wie man sieht, stimmt das Resultat vorzüglich zu dem der ersten Versuchsreihe. Nimmt man nun den Mittelwerth aus allen zehn Zeitbestimmungen, so erhält man den Werth 0,000165", dem höchstens ein Fehler von $\pm 0,000002''$ anhaftet.

Um aus den Dimensionen des Pendels die Zeit zu ermitteln, die einem Umgang der Mikrometerschraube entspricht, verfahren wir nach Edelmann's Beispiel¹⁾ folgendermaassen:

Wir stellten uns aus einem Coconfaden und einer Bleikugel ein Schnurpendel her, das bei gleicher Elongation auch die gleiche Schwingungsdauer wie das Helmholtz-Pendel hatte. Dasselbe hatte eine Länge von 273,2 mm; so gross ist also der Abstand v des Schwingungspunktes von der Drehaxe.

Nummehr bestimmten wir mit einem Kathetometer den Abstand h zweier Horizontalebene, die durch diejenigen Punkte der Klinken

1) l. c. S. 280.

hk gelegt waren, mit denen diese fallend die Spitzen der Schrauben a (Fig. 3) berührten, wobei in dem einen Falle das Eisenprisma A (Fig. 2) am Elektromagneten E hing, während es sich in dem zweiten in der Ruhelage befand. Dieser Abstand, die Fallhöhe der wirkamen Klinkenpunkte, betrug 280,5 mm. Der Abstand des Punktes a von der Drehaxe des Pendels war $l = 370$ mm. Ein Umgang der Mikrometerschraube verschob den Schlitten um $s = 0,453$ mm.

Der Schwingungspunkt des Pendels fällt jetzt von einer Höhe $h \cdot r/l$ herab und erhält dabei eine Geschwindigkeit von $\sqrt{2g \cdot (h \cdot r/l)}$; diese Geschwindigkeit ist für den Auslösemechanismus nicht im Schwingungspunkt, d. h. im Abstand r , wirksam, sondern an einem Hebel, der die Länge l besitzt; also ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Kontaktmechanismen getroffen werden:

$$\frac{l}{r} \sqrt{2g \cdot \frac{h \cdot r}{l}} \text{ oder } \sqrt{2gh \cdot \frac{l}{r}}.$$

Daraus ergibt sich, wenn man diese Geschwindigkeit während der kleinen Strecke s als gleichförmig ansieht, die zur Durchlaufung dieser Strecke nöthige Zeit:

$$t = \frac{s}{\sqrt{2gh \cdot \frac{l}{r}}}.$$

Setzt man in diese Gleichung die oben angegebenen Zahlen ein, so erhält man:

$$t = 0,000166''.$$

Erwähnt sei noch, dass die hier auf die beiden verschiedenen Methoden abgeleiteten Zeiten, welche gut übereinstimmen, nicht etwa aus einer Reihe von Beobachtungen ausgesucht sind, sondern dass sie das Resultat der beiden einzigen Beobachtungen wiedergeben, die wir unternahmen.

III. Physiologische Versuche.

Die Versuchsordnung ist aus Fig. 6 zu erkennen. In derselben bedeuten: $ÖK$ den rechten (Öffnungs-)Kontakt des Pendels, E eine Akkumulatorzelle von zwei Volt Spannung, W einen Rheostaten von zehn Ohm Widerstand, P die primäre, Q die sekundäre Spirale eines Schlitteninductoriums, R und S Stromschlüssel, E' drei sehr konstante Trockenelemente von zusammen 4,2 Volt Spannung, SK den linken (Schliess-)Kontakt des Unterbrechers,

T eine Pohl'sche Wippe. NM ist ein Nervmuskelpreparat, dessen Nerv an den Stellen d , c , b und a von vier vergoldeten Silberdrähten getragen und durch eine feuchte Kammer vor Vertrocknung geschützt wird. Die Strecke Ma soll der Einfachheit halber f genannt werden.

Nun mussten zunächst die beiden Mikrometerschlitten in eine solche Stellung gebracht werden, dass in demselben Moment das fallende Pendel den einen Kontakt öffnete und den anderen schloss. Zur Ermittlung dieser Stellung (im weiteren Verlaufe dieser Arbeit immer Nullpunktstellung genannt) wurden beide Kontakte und ein

Fig. 6.

Galvanometer hinter einander in den Stromkreis von vier Trockenelementen (5,6 Volt) aufgenommen, wie bei der Pouillet'schen Zeitmessung. Dann war es leicht, mit einem Fehler von höchstens $\pm 0,01$ Schraubenumdrehungen, den Augenblick zu bestimmen, in welchem die Galvanometerausschläge gerade verschwanden. Einige Beobachtungen, welche zum Beleg hierfür dienen, sind unter den Protokollen S. 526 und 527 aufgeführt.

Einige Versuche zeigten, dass trotz der hohen einwirkenden Spannung zuweilen Schliessungszuckungen eintraten, wenn der Kontakt SK vom fallenden Pendel geschlossen wurde, während der Muskel in Ruhe blieb, wenn man die Schliessung vorsichtig bei S ausführte. Daraus schlossen wir, dass im ersten Falle keine reine Schliessung stattfinde. Durch sehr starkes Anziehen der Feder s

(Fig. 4) und Umhüllung derselben mit einem Stückchen Kautschuk-schlauch liess sich dieser Uebelstand vermeiden.

Der Unterschenkel eines Frosches wurde mit einer Nadel am Knie auf einer Korkplatte fixirt und der zugehörige, sorgfältig präparirte Ischiadicus über die Elektroden gebreitet. Der eigentliche Versuch zerfiel in vier Akte:

1. Es wurde constatirt, dass die durch das fallende Pendel bewirkte Schliessung des polarisirenden Stromes keine Zuckung hervorrief¹⁾.

2. Die sekundäre Rolle des Induktoriums wurde so weit (meistens 40—50 cm) von der primären entfernt, bis der Muskel bei Oeffnung von $\ddot{O}K$ regelmässig eine sehr geringe Zuckung machte.

3. Wir schlossen SK und überzeugten uns, dass nun die Oeffnung von $\ddot{O}K$ ohne Einfluss auf den Muskel blieb.

4. Der Eine von uns öffnete SK , schloss $\ddot{O}K$ und den Schlüssel S (Fig. 6) und liess dann das Eisenprisma fallen, während der Andere den Erfolg beobachtete. Gleich darauf wurde S wieder geöffnet.

Wir gingen immer von der Stellung Null aus, d. h. von derjenigen, bei der in demselben Augenblick $\ddot{O}K$ geöffnet und SK geschlossen wurde. Unterblieb dabei die Zuckung, so verschoben wir den Oeffnungskontakt in dem Sinne, dass das fallende Pendel ihn früher traf, und wiederholten den Versuch, bis keine Unterdrückung mehr stattfand. Stromschleifenwirkung war in jedem Versuch ausgeschlossen. Den Beweis dafür lieferte die Thatsache, dass nach Zerquetschung der Strecke cb vorher durch Geschlossensein des polarisirenden Stromes unterdrückte Reize wieder wirksam wurden. Wir fanden dabei die in der folgenden Tabelle vereinigten Resultate (Protokolle s. S. 527).

In dieser Zusammenstellung bedeuten die Zahlen der ersten Spalte die Nummer des Versuchs. Jeder neuen Nummer liegt ein Versuch an einem neuen Präparat zu Grunde. Die zweite Spalte enthält die Zahl der Schraubenumgänge, um welche der Oeffnungskontakt in dem S. 516 und 517 dargelegten Sinne von der Nullstellung entfernt werden durfte, ohne dass die Reizung Effekt hatte. Bestand die Wirkung des Reizes in der Auslösung einer gegenüber den

1) Einige Präparate, besonders die mit glasig-weiss aussehenden Muskeln, gaben immer eine Schliessungszuckung. Diese wurden als für unseren Zweck unbrauchbar verworfen.

Probezuckungen deutlich geschwächten Zuckung, so ist dem betreffenden Versuch ein Ausrufungszeichen hinzugefügt. In diesem Falle überholte also der Elektrotonus zwar die Erregungswelle, war aber an der Abfangungsstelle nicht stark genug, um sie ganz auszulöschen. In der dritten Spalte stehen die aus den Zahlen der zweiten Spalte und aus den Konstanten des Apparats berechneten Werthe für die Zeit, um welche der primäre Kreis des Induktoriums eher geöffnet wurde, als die Schliessung des polarisirenden Stroms erfolgte. Es ist die Einführung dieser Zeit mit negativem Vorzeichen in die Gleichung (1), S. 510 erlaubt, wenn es feststeht, dass der Reiz im Moment der Oeffnung des primären Stromes wirksam wird. Das ist aber nicht der Fall. Besondere Versuche zeigen, dass bei der verwendeten Reizstärke der Induktionsstrom mindestens 0,000 055 Sekunden wirken muss, um zu erregen, d. h. dass erst nach dieser Zeit die Erregung eintritt¹⁾. Diese Zeit ist also für die Berechnung von den in der Tabelle aufgeführten Zeiten zu subtrahiren. In der vierten Spalte ist die Länge der Strecke cb (Fig. 6) angegeben, in der fünften der Abstand ba der Reizelektroden. Da die Reizkathode bei Versuch 1—15 bei b , bei Versuch 16—28 bei a lag²⁾, so ist die in Spalte 6 angegebene Länge p (siehe S. 510) in der ersten Hälfte der Versuche gleich cb , in der zweiten gleich $cb + ba$. Die siebente Spalte enthält die Werthe von $p + s$, d. h. der Strecke, nach deren Durchlaufung der Anelektrotonus die Erregung einholt. Hierfür gedachten wir anfangs bei allen Nerven dieselbe Zahl anzunehmen, etwa 12 mm, überzeugten uns aber bald von der Unzulässigkeit dieser Annahme und ermittelten daher den Werth für $p + s$ bei den letzten Versuchen. In der achten Spalte endlich stehen die aus Gleichung (1) für v errechneten Werthe in Metern.

Die Berechnung ist in den Versuchen 1—15, 17 und 19 unterblieben, weil $p + s$ nicht bestimmt war. Nimmt man in diesen durchweg $p + s = 18$ mm an, was gewiss zu gross ist, so bekommt man auch hier in allen Fällen Werthe, die weit über die Nervenleitungsgeschwindigkeit hinausgehen.

1) Ueber die hier mitgetheilte Beobachtung werden wir demnächst ausführlich berichten.

2) In den ersten Versuchen achteten wir nicht auf die Lage der Reizkathode und nahmen deshalb hier den für die Rechnung ungünstigeren Fall an, dass sie bei b gelegen hätte.

1 Nummer des Versuchs	2 Zahl der Um- drehungen	3 Negatives Intervall β' in Milliontel- Sekunden	4 cb mm	5 ba mm	6 p mm	7 $p + s$ mm	8 v m
1	0,57	94	3		3		
2	1,35	223	2,5		2,5		
"	1,50 !	247 !	2,5		2,5		
3	1,50	247	5		5		
4	1,50 !	247 !	2,5		2,5		
"	1,00	165	2,5		2,5		
5	1,50	247	2,5		2,5		
6	2,00	330	2,5		2,5		
7	1,00	165	6		6		
8	1,50	247	10,5		10,5		
9	0,50	82	8		8		
10	1,50 !	247 !	10,5		10,5		
"	1,00	165	10,5		10,5		
11	1,50	247	8,5		8,5		
12	0,50	82	10,5		10,5		
13	0,00	00	8,5		8,5		
14	1,00	165	10		10		
"	1,00	165	14		14		
"	1,00 !	165 !	15		15		
"	1,50	247	14		14		
15	1,00	165	6		6		
"	0,00	00	11		11		
16	0,00 !	00 !	10	3,5	13,5	< 17,5	> 86
"	1,50	247	9	3,5	12,5	"	∞
"	0,50	82	11	3,5	14,5	"	> 206
17	0,00 !	00 !	12	4	16		
"	0,00 !	00 !	10	3,5	13,5		
"	0,50 !	82 !	8	3,5	11,5		
"	0,25	41	8	3,5	11,5		
18	1,00	165	8	3,5	11,5	< 13	∞
19	0,25	41	9	3	12		
20	1,00	165	10	3	13	< 20	> 130
"	1,50 !	247 !	10	3	13	"	> 270
"	1,50 !	247 !	12	3,5	15,5	"	∞
"	1,00	165	12	3,5	15,5	"	> 330
"	1,00 !	165 !	15	3	18	"	∞
"	0,50	82	15	3	18	"	> 415
21	1,83	302	5	4	9	17	291
22	0,83	137	8	4	12	15,5	308
23	0,66	109	4,5	4	8,5	10	2700
24	1,58	261	5	3,5	8,5	11	∞
25	0,25	41	4	3	7	8	159
26	0,35	58	4	3	7	11	76
27	0,48	79	7	3	10	11	691
28	0,33	54	8	4	12	13,5	243
"	0,83	137	7	3	10	"	266

Die Betrachtung dieser Tabelle zeigt, dass bei kleinem p die Reizung beträchtlich früher erfolgen kann als der Schluss des Kettenstromes (Versuch 3, 5, 8, 11, 14, 16 um $\frac{1}{4700}$, Versuch 6 um $\frac{1}{3300}$, Versuch 21 um $\frac{1}{3700}$ Sekunde u. s. w.), ohne dass eine Muskelzuckung eintritt. Bei Vergrößerung von p verkleinert sich naturgemäss das

Zeitintervall, bis es schliesslich Null wird. Die mit einem Ausrufungszeichen versehenen Versuche lehren, dass der Anelektrotonus nicht sofort in voller Stärke einsetzt.

Die mitgetheilten Versuche stehen in vollem Einklang mit denen von Helmholtz¹⁾, Grünhagen²⁾ und namentlich v. Baranowski und Garrè³⁾. Ausserdem zeigen sie noch, dass eine bereits zum Muskel ablaufende Erregung durch den später central von der Reizstelle erzeugten Elektrotonus eingeholt werden kann.

Demnach beweisen sie, dass der physiologische Ausdrück des Elektrotonus gleich dem physikalischen eine unvergleichlich grössere Ausbreitungsgeschwindigkeit besitzt als die Erregungswelle.

Anhang.

Versuchsprotokolle.

1. Zu S. 517. Aichung des Pendelunterbrechers.

Der rechte Kontakt steht auf	Des Galvanometers		Differ.	Mittelwerth		Der rechte Kontakt steht auf	Des Galvanometers		Differ.	Mittelwerth
	Nullpunkt	Ausschlag					Nullpunkt	Ausschlag		
39,00	18	487	469	469	36,00	18,5	433,5	415	415,1	
	17,5	486,5	469			18,5	433,5	415		
	17	486	469			18	433	415		
	17	486	469			18,5	434	415,5		
	17	486	469			18	433	415		
38,00	18	469	451	451,2	35,00	18	416,5	398,5	398,5	
	17,5	468	450,5			18	416,5	398,5		
	18	470	452			18	416,5	398,5		
	18	469,5	451,5			18,5	417	398,5		
	18	469	451			18,5	417	398,5		
37,00	18,5	450	431,5	432,2	34,00	18	400	382	382,1	
	18,5	449	430,5			18,5	400,5	382		
	18,5	452	433,5			18,5	401	382,5		
	18,5	451,5	433			18,5	400,5	382		
	19	451,5	432,5			18,5	400,5	382		

1) Monatsber. d. Berliner Akademie 1854 S. 329.

2) Dieses Archiv Bd. 4 S. 550.

3) l. c.

2. Zu S. 518. Bestimmung der „Nullstellung“ der beiden Oeffnungskontakte.

Der rechte Kontakt steht auf	Des Galvanometers		Differ.	Mittelwerth		Der rechte Kontakt steht auf	Des Galvanometers		Differ.	Mittelwerth
	Nullpunkt	Ausschlag					Nullpunkt	Ausschlag		
39,10	18	487	469	468,8		38,90	18,5	486,5	468	468,3
	18,5	487	468,5				18,5	487	468,5	
	18	487	469				18,5	486,5	468	
	18	486,5	468,5				18,5	487	468,5	
	18	487	469				18,5	487	468,5	
39,00	18	487	469	469		38,80	18	485	467	467,1
	17,5	486,5	469				18	485	467	
	17	486	469				18	485	467	
	17	486	469				18	485,5	467,5	
	17	486	469				18	485	467	

3. Zu S. 518. Derselbe Versuch, jedoch sind die Drähte, die zu *a* und *b* gingen (Fig. 5 S. 515), zu *c* und *d* geführt, und umgekehrt.

Der rechte Kontakt steht auf	Des Galvanometers		Differenz	Mittelwerth
	Nullpunkt	Ausschlag		
38,00	18,5	487	468,5	469,1
	18,5	487,5	469	
	18,5	488	469,5	
	18,5	488	469,5	
	18,5	487,5	469	
39,00	18,5	486	467,5	467,4
	18,5	485,5	467	
	18,5	485,5	467	
	18,5	486,5	468	
	18,5	486	467,5	
38,90	18,5	487,5	469	469,2
	19	487,5	468,5	
	18,5	487,5	469	
	18,5	488	469,5	
	18,5	487,5	469	

4. Zu S. 518. Aichung des Pendelunterbrechers.

Der rechte Kontakt steht auf	Des Galvano-meters		Differ.	Mittel-werth	Der rechte Kontakt steht auf	Des Galvano-meters		Differ.	Mittel-werth
	Null-punkt	Aus-schlag				Null-punkt	Aus-schlag		
38,9	22,5	491	468,5	468,8	34,9	22,5	420,5	398	397,6
	22,5	491	468,5			23,5	420	397,5	
	22,5	491,5	469			22,5	420	397,5	
	22,5	491,5	469			22,5	420	397,5	
	22,5	491,5	469			22,5	420	397,5	
37,9	22,5	473	450,5	450,3	33,9	21	403	382	381,6
	21,5	472	450,5			21	403	382	
	21,5	472	450,5			21,5	403,5	382	
	22,5	472,5	450			22	403	381	
	22	472	450			22,5	403,5	381	
36,9	21,5	454	432,5	432,3	32,9	21,5	487	365,5	365,7
	21,5	454	432,5			21,5	487	365,5	
	22	454	432			22	488	366	
	22	454,5	432,5			22	488	366	
	22	454	432			22,5	488	365,5	
35,9	22,5	437	414,5	414,3					
	22,5	437	414,5						
	23	437	414						
	23	437	414						
	22,5	437	414,5						

5. Zu S. 520. Nullpunktbestimmung nach Pouillet.

a) Links 47,60.

b) Links 50,00.

Der rechte Kontakt steht auf	Benutzte Spannung in Volt	Galvano-meter-ausschlag Skalenthelle	Der rechte Kontakt steht auf	Benutzte Spannung in Volt	Galvano-meter-ausschlag Skalenthelle
39,50	2,0	0	46,50	6,8	21
40,00	—	0	46,40	—	14
45,00	—	30 ca.	46,30	—	9,5
44,00	—	10,5	46,20	—	2,5
43,00	—	0	46,10	—	0
43,50	—	0	46,15	—	0
43,70	—	4	46,18	—	Spur
43,60	—	1,5	46,19	—	1
43,60	5,6	3	46,18	—	3
43,60	—	5	46,17	—	0
43,50	—	0	46,18	—	0
43,55	—	?	46,19	—	2,5
43,57	—	4	46,18	—	1
43,57	—	4	46,17	—	0
43,56	—	3	46,18	—	0
43,55	—	0	46,19	—	2
43,56	—	3	46,18	—	0
43,55	—	0	46,19	—	1
43,55	—	0	46,18	—	1
Also Nullpunkt: L. 47,60; R. 43,55.			46,17	—	0
			46,18	—	1
			46,19	—	2,5
			46,25	—	5
			46,40	—	14
			Also Nullpunkt: L. 50,00; R. 46,18.		

c) Links 50,00.

d) Links 50,00.

Der rechte Kontakt steht auf	Benutzte Spannung in Volt	Galvanometer-ausschlag Skalenteile	Der rechte Kontakt steht auf	Benutzte Spannung in Volt	Galvanometer-ausschlag Skalenteile
46,40	6,8	0	48,00	6,8	> 100
47,40	—	27	47,00	—	< 100
47,00	—	0	46,00	—	35
47,20	—	10,5	45,50	—	6
47,10	—	5	45,40	—	0
47,05	—	2	45,45	—	2
47,02	—	0	45,43	—	2
47,04	—	1	45,41	—	Spur
47,03	—	Spur	45,40	—	0
47,02	—	1	45,41	—	0,5
47,01	—	0	45,42	—	1
47,02	—	0	45,41	—	1
47,03	—	Spur	45,40	—	0
47,04	—	2	45,41	—	0,5
47,03	—	Spur	45,42	—	1,5
47,02	—	0	45,41	—	1
47,03	—	0	45,40	—	0,5
47,04	—	0	45,39	—	0
47,05	—	Spur	45,40	—	0
47,06	—	2	45,41	—	0
47,05	—	1	45,42	—	0,5
47,04	—	Spur	45,50	—	7
47,03	—	0	45,60	—	11,5
47,04	—	1	Also Nullpunkt: L. 50,00; R. 45,40.		
47,05	—	1,5			
47,10	—	4			
47,20	—	18			

Also Nullpunkt: L. 50,00; R. 47,03.

6. Physiologische Versuche. (Zu S. 521). Stand des linken Kontaktes: 50,00. Es bedeutet: *N.P.* Nullpunkt. — *R* Ruhe. — *Z* Zuckung.

Nummer und Datum	Stellung des rechten Kontaktes	Umdrehungen ¹⁾	Erfolg	Längen in mm (Fig. 6)
1. 5. Juli 1902 <i>N.P.</i> = 46,57	46,50	0,07	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 3 \\ cb = 3 \\ ba = 4 \\ f = 45 \end{array} \right\}$
	"	"	<i>R</i>	
	46,00	0,57	<i>schw. Z</i>	
	"	"	<i>R</i>	
	"	"	<i>R</i>	
	45,50	1,07	<i>Z</i>	
	"	"	<i>Z</i>	
	"	"	<i>Z</i>	

1) In dieser Spalte steht die aus dem Nullpunkt und den Angaben der zweiten Spalte errechnete Anzahl von Schraubenumdrehungen, um die der rechte (Öffnungs-)Kontakt gegen die Pendelfallrichtung verschoben worden ist.

Nummer und Datum	Stellung des rechten Kontaktes	Um- drehungen ¹⁾	Erfolg	Längen in mm (Fig. 6)
2. 12. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 2 \\ cb = 2,5 \\ ba = 2 \\ f = 40 \end{array} \right\}$
	"	"	<i>R</i>	
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	"	"	<i>R</i>	
	42,67	3,00	<i>Z</i>	
	43,67	2,00	<i>schw. Z</i>	
	44,17	1,50	<i>schw. Z</i>	
	44,32	1,35	<i>schw. Z</i>	
	"	"	<i>R</i>	
	"	"	<i>R</i>	
3. 15. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 5 \\ cb = 5 \\ ba = 5 \\ f = 32 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>Z</i>	
	44,17	1,50	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>Z</i>	
4. 18. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 2,5 \\ cb = 2,5 \\ ba = 2,5 \\ f = 35 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>Z</i>	
	44,17	1,50	<i>s. schw. Z</i>	
	44,67	1,00	<i>R</i>	
5. 18. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 2,5 \\ cb = 2,5 \\ ba = 2,5 \\ f = 25 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>Z</i>	
	44,17	1,50	?	
	44,17	1,50	<i>R</i>	
6. 18. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 2,5 \\ cb = 2,5 \\ ba = 2,5 \\ f = 25 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>R</i>	
	43,17	2,50	<i>Z</i>	
7. 18. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 4 \\ cb = 6 \\ ba = 5 \\ f = 25 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>Z</i>	
	44,17	1,50	<i>Z</i>	
8. 18. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 2,5 \\ cb = 10,5 \\ ba = 3 \\ f = 22 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	44,17	1,50	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>Z</i>	
	44,17	1,50	<i>s. schw. Z</i>	
9. 18. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 2 \\ cb = 8 \\ ba = 4 \\ f = 25 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>Z</i>	
	45,17	0,50	<i>R</i>	
10. 19. Juli <i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 2,5 \\ cb = 10,5 \\ ba = 3 \\ f = 25 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	44,17	1,50	<i>s. schw. Z</i>	

1) Siehe Anm. S. 527.

Nummer und Datum	Stellung des rechten Kontaktes	Um- drehungen ¹⁾	Erfolg	Längen in mm (Fig. 6)
11.	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 3 \\ cb = 8,5 \\ ba = 5 \\ f = 22 \end{array} \right\}$
19. Juli	44,67	1,00	<i>R</i>	
<i>N.P.</i> = 45,67	43,67	2,00	<i>Z</i>	
	44,17	1,50	<i>R</i>	
12.	44,67	1,00	<i>Z</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 2,5 \\ cb = 10,5 \\ ba = 3 \\ f = 25 \end{array} \right\}$
19. Juli	44,67	1,00	<i>Z</i>	
<i>N.P.</i> = 45,67	45,67	0	<i>R</i>	
	45,17	0,50	<i>R</i>	
	44,67	1,00	<i>Z</i>	
13.	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 3 \\ cb = 8,5 \\ ba = 5 \\ f = 15 \end{array} \right\}$
19. Juli	45,17	0,50	<i>Z</i>	
<i>N.P.</i> = 45,67				
	44,67	1,00	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 5,5 \\ cb = 7 \\ ba = 3 \\ f = 30 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 5 \\ cb = 10 \\ ba = 3 \\ f = 30 \end{array} \right\}$
14.	44,67	1,00	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 4 \\ cb = 14 \\ ba = 3 \\ f = 28 \end{array} \right\}$
19. Juli				
<i>N.P.</i> = 45,67				
	44,67	1,00	<i>schw. Z</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 3 \\ cb = 15 \\ ba = 3 \\ f = 27 \end{array} \right\}$
	44,67	1,00	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 4 \\ cb = 14 \\ ba = 3 \\ f = 28 \end{array} \right\}$
	44,17	1,50	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>Z</i>	
15.	44,67	1,00	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 3 \\ cb = 6 \\ ba = 3 \\ f = 25 \end{array} \right\}$
19. Juli				
<i>N.P.</i> = 45,67				
	44,67	1,00	<i>Z</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 3 \\ cb = 11 \\ ba = 4 \\ f = 28 \end{array} \right\}$
	45,67	0	<i>R</i>	
	45,17	0,50	<i>Z</i>	
16.	45,67	0	<i>s. schw. Z</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 3,5 \\ cb = 10 \\ ba = 3,5 \\ f = 24 \end{array} \right\}$
23. Juli				
<i>N.P.</i> = 45,67				
Die Kathode d. Oeffnungs- induktionsstroms liegt in diesem und den folgenden Versuchen proximal dem Muskel.	45,67	0	<i>R</i>	$\left. \begin{array}{l} dc = 3,5 \\ cb = 9 \\ ba = 3,5 \\ f = 25 \end{array} \right\}$
	45,17	0,50	<i>R</i>	
	44,67	1,00	<i>R</i>	
	43,67	2,00	<i>Z</i>	
	44,17	1,50	<i>R</i>	

1) Siehe Anm. S. 527.

Nummer und Datum	Stellung des rechten Kontaktes	Um- drehungen ¹⁾	Erfolg	Längen in mm (Fig. 6)
16. 23. Juli <i>N.P.</i> = 45,67 Die Kathode d. Oeffnungs- induktionsstroms liegt in diesem und den folgenden Versuchen proximal dem Muskel.	45,17	0,50	<i>R</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 3,5 \\ cb = 11 \\ ba = 3,5 \\ f = 22 \end{array} \right.$
	44,67	1,00	<i>Z</i>	
	44,67	1,00	<i>Z</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 3,5 \\ cb = 15 \\ ba = 3,5 \\ f = 19 \end{array} \right.$
	45,17	0,50	<i>Z</i>	
Bei der letzten Stellung wird der Kettenstrom dauernd geschlossen; die Zuckungen werden nicht mehr unterdrückt. Also $p + s = 17,5$ mm oder kleiner.				
17. 31. Juli <i>N.P.</i> = 45,70	45,70	0	<i>schw. Z</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 6 \\ cb = 12 \\ ba = 4 \\ f = 15 \end{array} \right.$
	45,70	0	<i>schw. Z</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 3 \\ cb = 10 \\ ba = 3,5 \\ f = 20 \end{array} \right.$
	45,70 45,20 45,45	0 0,50 0,25	<i>R</i> <i>schw. Z</i> <i>R</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 4 \\ cb = 8 \\ ba = 3,5 \\ f = 20 \end{array} \right.$
	45,70 45,20 44,70 44,20	0 0,50 1,00 1,50	<i>R</i> <i>R</i> <i>R</i> <i>Z</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 4 \\ cb = 8 \\ ba = 3,5 \\ f = 23 \end{array} \right.$
18. 31. Juli <i>N.P.</i> = 45,70	44,20 45,20	1,50 0,50	<i>Z</i> <i>Z</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 3 \\ cb = 10 \\ ba = 4 \\ f = 25 \end{array} \right.$
	Bei der letzten Stellung findet keine Unterdrückung mehr statt, wie bei Versuch 16. Also $p + s = 13$ mm oder kleiner.			
	45,70 45,20 44,70 44,20	0 0,50 0,25 0,25	<i>R</i> <i>Z</i> <i>schw. Z</i> <i>R</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 4 \\ cb = 9 \\ ba = 3 \\ f = 22 \end{array} \right.$
	45,20	0,50	<i>Z</i>	$\left\{ \begin{array}{l} dc = 5 \\ cb = 8,5 \\ ba = 4 \\ f = 23 \end{array} \right.$

1) Siehe Anm. S. 527.

Nummer und Datum	Stellung des rechten Kontaktes	Um- drehungen ¹⁾	Erfolg	Längen in mm (Fig. 6)
20. 31. Juli N.P. = 45,70	45,70	0	R	$dc = 4$
	45,20	0,50	R	$cb = 10$
	45,45	1,00	R	$ba = 3$
	45,45	1,50	schw. Z	$f = 20$
	44,20	1,50	schw. Z	$dc = 3$
	44,70	1,00	R	$cb = 12$
				$ba = 3,5$
				$f = 20$
	44,70	1,00	schw. Z	$dc = 3$
	44,20	1,50	Z	$cb = 15$
21. 5. Dezember N.P. = 45,91 $p + s = 17$ mm	45,58	0,33	R	$ba = 3$
	45,08	0,83	R	$f = 21$
	44,58	1,33	R	$dc = 3$
	44,08	1,83	R	$cb = 18$
	43,58	2,33	Z	$ba = 3$
	43,83	2,08	Z	$f = 18$
22. 5. Dezember N.P. = 45,91 $p + s = 15,5$ mm	45,58	0,33	R	$dc = 6$
	45,08	0,83	R	$cb = 8$
	44,58	1,33	Z	$ba = 4$
	44,83	1,08	Z	$f = 35$
23. 6. Dezember N.P. = 45,91 $p + s = 10$ mm	45,58	0,33	R	$dc = 7$
	45,08	0,83	Z	$cb = 4,5$
	45,25	0,66	R	$ba = 4$
				$f = 40$
24. 6. Dezember N.P. = 45,91 $p + s = 11$ mm	45,58	0,33	R	$dc = 7$
	45,08	0,83	R	$cb = 5$
	44,58	1,33	R	$ba = 3,5$
	44,08	1,83	Z	$f = 30$
	44,33	1,58	R	
25. 6. Dezember N.P. = 45,83 $p + s = 8$ mm	45,58	0,25	R	$dc = 7$
	45,08	0,75	Z	$cb = 4$
	45,25	0,58	Z	$ba = 3$
	45,33	0,50	Z	$f = 7$
	45,38	0,45	Z	
	45,48	0,35	Z	
26. 6. Dezember N.P. = 45,83 $p + s = 11$ mm	45,58	0,25	R	$dc = 7$
	45,08	0,75	Z	$cb = 4$
	45,25	0,58	Z	$ba = 3$
	45,33	0,50	Z	$f = 10$
	45,43	0,40	Z	
	45,48	0,35	R	

Keine Unterdrückung mehr.
Also $p + s = 20$ mm oder kleiner.

1) Siehe Anm. S. 527.

Nummer und Datum	Stellung des rechten Kontaktes	Um- drehungen ¹⁾	Erfolg	Längen in mm (Fig. 6)
27. 6. Dezember $N.P. = 45,83$ $p + s = 11$ mm	{ 45,50 45,00 45,25 45,35	{ 0,33 0,83 0,58 0,48	{ <i>R</i> <i>Z</i> <i>Z</i> <i>R</i>	{ $dc = 7$ $cb = 7$ $ba = 3$ $f = 20$
28. 6. Dezember $N.P. = 45,83$ $p + s = 13,5$ mm	{ 45,50 45,25 45,35 45,50 44,50 44,75 44,83 44,90	{ 0,33 0,83 0,58 0,48 1,33 1,08 1,00 0,93	{ <i>R</i> <i>Z</i> <i>Z</i> <i>Z</i> <i>R</i> <i>Z</i> <i>Z</i> <i>Z</i>	{ $dc = 7$ $cb = 8$ $ba = 4$ $f = 7$ $dc = 7$ $cb = 7$ $ba = 3$ $f = 8$

1) Siehe Anm. S. 527.