

## Sitzung am 28. Mai.

Vorsitzender: Herr Prof. Kraus i. V.

Herr **J. Bernstein**

spricht über

### Telephonische Wahrnehmung der Schwankungen des Muskelstromes bei der Contraction.

(Versuche von J. Bernstein und Dr. C. Schönlein gemeinsam  
ausgeführt).

Dass man den Strom des ruhenden Muskels, der vom Längsschnitt und künstlichen Querschnitt oder der Sehne abgeleitet wird, mit Hilfe des Telephon's wahrnehmen kann, ist von Hermann<sup>1)</sup>, d'Arsonval<sup>2)</sup> und Tarchanoff<sup>3)</sup> beobachtet worden. Schaltet man in den Kreis des Muskelstromes ein Telephon ein, so hört man beim Schliessen und Oeffnen ein deutliches leises knackendes Geräusch. Dieses verwandelt sich in einen Ton, sobald man zum Schliessen und Oeffnen eine schwingende Stimmgabel benutzt.

Diese Beobachtungsmethode würde an sich vor der Anwendung des Galvanometers keinen besondern Vorzug verdienen, wenn sich nicht die Möglichkeit darböte, auf diese Weise auch die Schwankungen des Muskelstromes bei der Contraction wahrzunehmen. Ein solcher Versuch ist von L. Hermann angestellt worden, hatte aber zu keinem positiven Resultate geführt<sup>4)</sup>. Auch Tarchanoff ebenso wie

<sup>1)</sup> Pflügers Arch. Bd. XVI. p. 504.

<sup>2)</sup> Compt. rend. 1. April 1878.

<sup>3)</sup> Petersburg. medicin. Wochenschrift 28. Oct. 78 u. 17. März 79.

<sup>4)</sup> l. cit.

Hermann geben an, dass man diese Schwankungen in dem Telephon nicht hören könne, dass man aber bei elektrischer Reizung des Nerven durch Anwendung stärkerer Inductionsströme leicht getäuscht werden könne, sobald Zweigströme derselben in den Muskel selbst eintreten, welche dann in dem Telephon hörbar werden.

Auch wir hatten uns unabhängig von den eben erwähnten Versuchen bemüht mit dem ursprünglichen Bell'schen Telephon die Stromes-Schwankungen eines *M. Gastrocnemius* vom Frosch bei der Reizung vom Nerven aus wahrzunehmen, indessen auch ohne einen sicheren Erfolg. Als wir aber die verbesserten und sehr viel empfindlicheren Telephone von Siemens erhielten, machten wir uns von Neuem an den Versuch. Anfangs war das Resultat nicht sehr befriedigend, sehr bald stellte sich aber heraus, dass die Ursache des Misslingens hauptsächlich an dem grossen Widerstande liegt, den der Muskel selbst in dem Telephonkreise hervorbringt. Um diesen zu verringern legten wir auf die Bäusche der du Bois'schen Zinkgefässe breite Thonplatten auf und lagerten auf diesen 4—6 Muskeln in wirksamer Anordnung nebeneinander, während die Nerven auf gemeinsame Elektroden gebracht wurden. Nun hörten wir in der That während der Reizung ein deutliches Knattern in dem Telephon, das bei anhaltender Reizung mit der Ermüdung des Muskels an Deutlichkeit abnahm. Die Ströme aus dem in einem entfernten Zimmer aufgestellten Schlittenapparat mit Helmholtz'scher Einrichtung waren so schwach, dass sie keine Zweige in die Muskeln geben konnten; denn nach Durchschneidung und Auflegung der Nerven auf die Muskeln blieb die Wirkung gänzlich aus.

Nachdem wir nun so im Princip festgestellt hatten, dass die Schwankungen des Muskelstromes die Telephonplatte in

hörbare Schwingungen versetzen, gingen wir an eine Frage heran, deren Lösung uns von vorn herein als Ziel der Untersuchung vorgeschwebt hatte. Wir wollten zunächst nachweisen, dass die Zahl der Stromesschwankungen im Muskel mit der Anzahl der Reize übereinstimmt, dass sie sich ebenso verhalten wie die Schwingungen des Muskeltones, und dann ermitteln in welcher Weise sich die Schwankungen mit steigender Frequenz der Reize combiniren.

Mit Hilfe des Rheotoms hatte sich beobachten lassen, dass der Muskel bis auf 10 Reize in der Secunde mit einzelnen Schwankungen seines Stromes antwortet und dies würde sich vielleicht noch bis zu 20 Reizen verfolgen lassen. Da aber für schnellere Reizung das Instrument nicht mehr ausreichen würde, und auch der secundäre Tetanus uns über die Zahl der Schwankungen keine bestimmte Auskunft giebt so bietet das Telephon für eine solche Untersuchung ein sehr willkommenes Hilfsmittel dar. In den mit dem Schlittenapparat angestellten Versuchen hörten wir im Telephon ein dem Schwirren des Wagner'schen Hammers ähnliches Geräusch. Da sich aber hier die Zahl der Stösse, aus denen beide bestehen, nicht bestimmen und vergleichen lässt, so schalteten wir an Stelle des Hammers den „akustischen Stromunterbrecher“ ein, welcher in früheren Versuchen zur Erzeugung hoher Muskeltöne gedient hatte<sup>1)</sup>.

Mit einer Reihe nebeneinander gelagerter Froschmuskeln fielen diese Versuche nicht sehr günstig aus, insofern die Töne des Telephons zu schwach und vergänglich waren um sie mit denen des Unterbrechers zu vergleichen, zumal grosse Vorsicht darauf verwendet werden musste, dass die erregenden Inductionsströme die vorhin bezeichnete Grenze nicht

---

<sup>1)</sup> Bernstein, Untersuchungen u. s. w. p. 98. — Ueber die Höhe des Muskeltones, Pflüger's Archiv XI. p. 191.

überstiegen. Aus diesen Gründen versuchten wir es, die Beobachtungen an den Kaninchenmuskeln anzustellen, in der Erwartung dass der grössere Querschnitt derselben die Stromstärken erheblich steigern und dass der lebende Muskel des Warmblüters gegen frequente Reizung prompter reagiren werde als der trägere Froschmuskel.

Es wurden die Wadenmuskeln des lebenden Kaninchen durch Spaltung der Haut und Fascie blossgelegt und der N. ischiad. in möglichst grosser Länge am Oberschenkel herauspräparirt und durchschnitten. Nun wurden zwei sattelförmige Elektroden aus amalgamirtem Zinkblech auf ihrer concaven Seite mit einem dünnen Fliesspapierbausch bedeckt, der mit der Zinksulphatlösung getränkt war, und diese mit einer dünnen Thonschicht völlig überzogen, so dass sich letztere der gut gefirnisten convexen Fläche der Zinkplatte passend anschmiegte. Von diesen Elektroden wurde die grössere auf den Muskelbauch, die kleinere auf den Achillessehnen Spiegel aufgesetzt und durch Gummibänder daselbst genügend fixirt. Die Elektroden waren durch Drähte mit einem Schlüssel verbunden, so dass beim Oeffnen desselben der Muskelstrom in das mit dem Schlüssel verbundene Telephon eintrat.

Schon der erste Versuch überzeugte davon, dass unsere Erwartung sich bestätigte. Bei einer Rollenentfernung von 100 mm. an einem kleinen Schlitten mit Helmholtz'scher Einstellung von einem Daniell getrieben, hörten wir während der Nervenreizung im Telephon sehr deutlich das charakteristische Muskelgeräusch, das bei dieser Art des Versuches auch durch das mit dem Muskel direkt verbundene Ohr vernommen wird. Besondere Sorgfalt wurde auf die Ausschliessung von Stromzweigen aus dem Schlitten ins Telephon verwendet. Nach der Unterbindung des Nerven mit einem dicken nassen Hanffaden konnte während der Reizung bei

völliger Muskelruhe keine Spur eines Tones gehört werden, selbst nachdem die Rollen des Schlittens über einander geschoben waren.

In einem zweiten ebenso eingerichteten Versuche, in welchem der Nerv frei in der Luft ausgespannt mit seinem Ende über zwei einander sehr nahen Platinelektroden lag, die auf einem gut isolirten Glasträger aufgekittet waren, erhielten wir dasselbe Resultat und keine Spur einer Wirkung nachdem der Nerv 10 mm unterhalb der Elektroden mit dem nassen Faden abgeschnürt war.

Um nun aber jeden Verdacht auf erregende Stromzweige auszuschliessen, liessen wir in dem ersten Versuche einen Strychnintetanus folgen, nachdem wir die ableitenden Zinkelektroden dem Muskel der andern Extremität angelegt hatten und vernahmen beim Ausbruch der Krämpfe mit überzeugender Deutlichkeit einen tiefen singenden Ton im Telephon, sobald der Schlüssel geöffnet wurde.

In einem dritten Versuche endlich bedienten wir uns der mechanischen Reizung. Leider erwies sich der Magnet des Heidenhain'schen Tetanomotor's zu schwach, um die mechanische Tetanisirung des Kaninchennerven zu besorgen und wir begnügten uns die Bewegung des Hammers mit dem Finger auszuführen. Nicht nur bei möglichst schnellem Klopfen sondern auch bei einem jeden einzelnen Schläge waren in dem Telephon die Stösse sehr gut hörbar. Passive Verschiebungen des Muskels oder der Elektroden in viel höherem Grade als sie bei den Zuckungen vorkamen hatten gar keine telephonische Wirkung.

So konnten wir denn ohne Besorgniss vor Täuschung zu den Versuchen mit dem „akustischen Stromunterbrecher“

schreiten. Derselbe unterbrach den Strom in der primären Spirale des Schlittens, welche zur Sicherung vor starken Oeffnungsschlägen und aus anderen aus früheren Untersuchungen bekannten Gründen <sup>1)</sup> keine Eisenkerne enthielt und mit einer Nebenschliessung aus einem langen Kupferdrath versehen war. Für die tieferen Töne wurde nur 1, für die höheren 2 oder 4 zu 2 Paaren verbundene Daniell verwendet.

In dem ersten Versuche dieser Art erzeugten wir mit dem Tone  $e'$  und  $e''$  im Unterbrecher sehr deutliche Wirkungen. Das  $e''$  brachte schon bei 50 mm. Rollenentfernung im Muskeltelephon einen schwachen, bei 40 mm. einen sehr deutlichen musikalischen Klang hervor, in welchem derselbe Ton  $e''$  am stärksten vertreten war. Im Uebrigen schien uns noch ein tieferer Ton und ein eigenthümliches Geräusch damit verbunden zu sein, besonders auffallend bei dem tieferen Tone  $e'$ . Nach der Unterbindung des Nerven 10 mm. unterhalb der Reizstelle war selbst nach eingeschobenen Eisenkernen mit der Rollenentfernung Null im Telephon Nichts zu hören.

In einem zweiten Versuche begannen wir mit dem Tone  $dis''$  und stiegen bis zu  $f''$  hinauf. Jedesmal hörten wir bei 20 mm. Rollenabstand <sup>2)</sup> im Muskeltelephon denselben Ton mit musikalischer Reinheit, ohne dass wir abgesehen von der eigenthümlichen Klangfarbe noch einen andern Nebenton erkennen konnten. Wir unterliessen es nicht die Controle durch Unterbindung des Nerven am Schluss folgen zu lassen.

---

<sup>1)</sup> Untersuchungen u. s. w. p. 100.

<sup>2)</sup> Wir bemerken ausdrücklich, dass auch dies wegen der Nebenschliessung zur primären Spirale und der Entfernung der Eisenkerne verhältnissmässig schwache Ströme sind, die gerade ausreichen, einen mässig starken Tetanus zu erzeugen. Je höher die Töne um so schwächer sind *cet. par.* die Inductionsströme.

Es war hiermit festgestellt, dass die Schnelligkeit der Stromesschwankungen im Muskel mindestens bis zu 700 in 1 Sec. heranreichen kann und wahrscheinlich würde man dieselbe noch weiter in die Höhe treiben können. Nun wissen wir aber aus den Versuchen mit dem Rheotom, dass die Dauer der einzelnen Stromesschwankung im Kaninchen-Muskel etwa  $\frac{1}{400}$  Sec.<sup>1)</sup> beträgt. Wenn nun 700 Stromesschwankungen in der Secunde an dem Muskel wahrgenommen werden können, so müsste man annehmen, dass die Schwankungen fast zur Hälfte übereinanderfallen, so dass nur ihre oberen Hälften zur Wirkung kommen. Es bliebe nur noch die Möglichkeit offen, dass die Dauer der elektrischen Schwankung im Muskel sich der Schnelligkeit der Reize akkomodire, worüber uns das Telephon keinen Aufschluss geben kann.

Dagegen bezeugt uns der Telephonversuch mit Sicherheit, dass bei einer so hohen Reizfrequenz keineswegs eine Summation mehrerer Reize zu einem einfachen Reize von längerer Periode im Muskel oder Nerven eintritt, sondern dass jeder Reiz eine einzelne Stromesschwankung im Muskel zur Folge hat.

Bis zu welcher Reizfrequenz dieselben noch nachweisbar sein werden, das wird zunächst von der Leistung der Reizapparate und der Telephone abhängen. Für den Muskel ist jedenfalls bei der Zahl 700 in 1 Sec. bei Weitem nicht diejenige Grenze erreicht, bei welcher der elektrische Zustand desselben während der Reizung ein stationärer würde.<sup>2)</sup>

Eine Complication des Vorganges an dem unverletzten Muskel könnte man darin zu erblicken glauben, dass be-

---

<sup>1)</sup> Siehe: Bernstein und Steiner, Reich. du Bois' Archiv 1875. S. 541.

<sup>2)</sup> Die in den früheren Untersuchungen hierüber gemachten Voraussetzungen haben sich demnach vollkommen bestätigt. Siehe: Bernstein, Untersuchungen über den Erregungsvorgang. p. 113 w. folg.

kanntlich der *M. gastrocn.* und ähnlich gestaltete Muskeln zwei abwechselnd gerichtete Schwankungen geben, von denen die erste (negative) im Muskel absteigend, die zweite (positive) aufsteigend gerichtet ist. Indessen man sieht leicht ein, dass die Periode der Stromescurve also auch die der Telephonplatte dadurch nicht geändert wird. Die Maxima und Minima der Curven werden in diesem Falle eine grössere Differenz erhalten, je stärker die zweite Schwankung ist, welche immer die schwächere zu sein pflegt. So lange die einzelnen Schwankungen sich nicht decken, wird daraus eine Verstärkung des Tones folgen, sobald aber die positive mit den nächsten Negativen anfängt zusammenzufallen, so kann daraus zwar eine Schwächung des Tones hervorgehen, aber keine Aenderung der Periode.

Hingegen wird man mit Recht noch die Frage aufwerfen, wesshalb wir in unsern Versuchen in dem Muskeltelephon nicht vielmehr die Octave des Unterbrechertones gehört haben, da ja jeder Schwingung der Feder des Apparates zwei entgegengesetzte Inductionsschläge entsprechen, von denen jeder als Reiz wirken sollte. Die Ursache hierfür kann erstens darin liegen, dass überhaupt nur einer der beiden Schläge gewirkt hat, weil der andre nicht stark genug war. In der That war die Bedingung für die Gleichheit der beiden Inductionsströme in unsern Versuchen nicht ganz erfüllt, weil hierzu eine primäre Kette von sehr grossem Widerstande im Verhältniss zu dem Widerstande der Nebenschliessung der primären Spirale nöthig gewesen wäre. Aber auch bei völliger Gleichheit würde die Wirkung keineswegs eine ganz gleiche sein, weil beide Ströme verschiedene Richtung haben, und daher sieht man auch in solchem Falle, dass schwächere Oeffnungs- und Schliessungsströme nur dann gleiche Zuckungen erzeugen, wenn man ihnen dieselbe Richtung giebt. Endlich ist es immerhin möglich, dass die ein-



zelenen Schliessungs- und Oeffnungsströme nur dann als einzelne Reize wirken, so lange sie durch Pausen getrennt sind, dass dies aber nicht mehr der Fall ist, sobald sie mit zunehmender Frequenz continuirlich in einander übergehen. Von dieser Grenze ab wird die continuirliche Wellencurve der Inductionsströme so ablaufen, dass man je einen Schliessungs- und Oeffnungsstrom als eine einzige Periode des elektrischen Vorganges betrachten und daher auch als einen Reiz auffassen kann. Denn würde die Wellencurve der Ströme über der Abscisse bleiben, so würde eine Periode unstreitig nur als ein Reiz gelten. Das Sinken unter die Abscisse, d. h. die Umkehr der Ströme, dürfte aber im Princip Nichts wesentliches ändern, denn Oeffnung in der einen und Schliessung in der andern Richtung scheinen im Nerven und Muskel dieselben Vorgänge zu sein, zumal sie am selben Pole stattfinden<sup>1)</sup>.

Es spricht also eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei hoher Frequenz je ein Schliessungs- und Oeffnungsstrom nur als ein Reiz wirkt. Wie dem aber auch sein mag, es haben in unsern Versuchen jedenfalls nur so viel Reize hauptsächlich erregt, als die Unterbrechungsfeder ganze Schwingungen machte. Indessen lassen wir es dahingestellt, ob nicht ein feineres Ohr auch die Octave des Haupttones herausgehört hätte.

Wir haben zum Schlusse uns auch eines zweiten Telephones als Reizapparat bedient, indem wir dasselbe an die Stelle der Inductionsvorrichtungen setzten, da es interessant war, zu erproben ob die Muskelerregung etwa auch Sprach-

---

<sup>1)</sup> Man hat bekanntlich auch in einem Inductionsstrome Schliessungs- und Oeffnungsreiz unterschieden und dies mag bei länger dauernden Schliessungsschlägen in Betracht kommen. Wollte man so weit gehen, so musste man in diesem Falle jeder Periode sogar vier Reize zuertheilen.

laute wiedergeben könnte. Beim Hineinrufen in das Muskeltelephon hatten wir sogar schon Zuckungen in dem Muskel auftreten sehen und erhielten daher vom Nerven aus durch das mit ihm verbundene Reiztelephon ganz kräftige Contractionen. Jeder in dieses hineingesungene Ton war deutlich vom Muskel aus wahrzunehmen, mit der der Stimme charakteristischen Klangfarbe. Auch die hineingesprochenen Vokale hörte man in dem Muskeltelephon, besonders O und U ziemlich deutlich, dagegen waren a, e und i schwer zu unterscheiden, das r wieder ausserordentlich deutlich; die Consonanten gaben nur unbestimmte Geräusche, so dass Worte nicht zu verstehen waren. Letzteres ist schon ein Beweis dafür, dass wir auch hier nicht etwa die erregenden Ströme gehört haben, doch unterliessen wir nicht, den Controlversuch anzustellen.

### Sitzung am 18. Juni.

Vorsitzender Herr Prof. v. Fritsch.

Herr **Kraus**

legt nachträglich das Manuscript vor zu dem am 27. November vorigen Jahres gehaltenen Vortrages.<sup>1)</sup>

#### Die Verdünnung geschüttelter Sprosse.

Die Dimensionsänderungen, welche bei den sog. „Erschütterungskrümmungen“ stattfinden, sind bekanntlich wiederholt Gegenstand der Untersuchung geworden.

Der erste Entdecker der merkwürdigen Erscheinung, W. Hofmeister, hat gleich in seinem grundlegenden Aufsatz „Ueber die Beugungen saftreicher Pflanzentheile durch

---

<sup>1)</sup> S. Sitzungsber. 1880, p. 105.