

Ueber den
Einfluss des Durchströmungswinkels auf die
elektrische Reizung der Muskelfaser

von

Desiderius Leicher,
cand. med.

Litteratur.

- Du Bois-Reymond: Untersuchungen über thierische Electricität Bd. I. S. 296. Bd. II. Abth. I. S. 355 und 462.
- Pflüger: Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus 1859. S. 178, 283, 410.
- Munk: Untersuchung über das Wesen der Nervenregung. 1868. S. 318.
- Hitzig: Die Querdurchströmung des Froschnerven. Pflüg. Arch. VII 1873.
- Filehne: Ueber die Zuckungsformen bei der sogenannten queren Durchströmung des Froschnerven. Pflüg. Arch. VII 1873.
- Bernheim: Ueber Wirkung des electricischen Stromes in verschiedener Richtung gegen die Längsaxe des Nerven und Muskels. Pflüg. Arch. VIII 1874.
- Sachs: Untersuchungen über Quer- und Längsdurchströmung des Froschmuskels nebst Beiträgen zur Physiologie der motorischen Endplatten. Arch. f. An. u. Phys. 1874.
- A. Fick jun.: Ueber quere Nervendurchströmung. Würzb. Verhandl. N. F. IX. 1876.
- Fick: Ueber den Ort der Reizung an schräg durchströmten Nervenstrecken. Würzb. Verh. N. F. X. 1877.
- Tschirjew: Ueber die Nerven- und Muskelerregbarkeit. Archiv f. An. u. Phys 1877.
- Hermann: Handbuch der Physiologie. Bd. I S. 97 u. II. S. 79. 1879.
- Albrecht, Meyer u. Giuffrè: Untersuchungen über die Erregbarkeit des Nerven und Muskels bei Längs- und Querdurchströmung. Pflüg. Arch. XXI. 1880.
- Biedermann: Beiträge zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysiologie. Sitzb. der kais. Ak. zu Wien. 1879 III. IV., 1881 VII. u. 1882 VIII. Mittheilung.
- Grützner: Ueber das Wesen der electricischen Oeffnungserregung. Breslauer ärztl. Zeitschr. 1882.
- Tigerstedt: Ueber innere Polarisation in den Nerven. Zur Theorie der Oeffnungszuckung. Mittheil. aus dem phys. Lab. zu Stockholm. 1882.

Seit Galvani sind zahlreiche Untersuchungen über die Frage angestellt worden, wie verhält sich die erregende Wirkung des elektrischen Stromes auf den Nerven, wenn dieser unter einer von der longitudinalen Axe verschiedenen Richtung d. i. unter einem beliebigen Winkel durchflossen wird. Das übereinstimmende Resultat fast aller dieser Beobachtungen sagt: Die erregende Wirkung des elektrischen Stromes auf den Nerven, nimmt mit der Zunahme des Winkels, unter welchem der Nerv durchflossen wird, ab, derart, dass sie bei einer genau queren Durchströmung, unter einem Winkel von 90 Grad, gleich Null ist.

Je zahlreicher derartige Beobachtungen an dem Nerven angestellt worden sind, um so weniger analoge Untersuchungen haben wir von dem Muskel gerade in betreff dieser Frage zu verzeichnen. Man begnügte sich damit, das für den Nerven gefundene Gesetz auch auf den Muskel zu übertragen. Die wenigen Forscher, welche Beobachtungen in dieser Beziehung an dem Muskel anstellten, haben jedoch keineswegs für ihn die unbeschränkte Gültigkeit des für den Nerven gefundenen Gesetzes bestätigen können.

Bernheim, welcher neben der Erregung des Nerven bei querer Durchströmung als der Erste auch die des Muskels in gleichen Verhältnissen untersuchte, fand, dass dieselbe ebenso wie die des Nerven mit Zunahme des Durchströmungswinkels sich verringere, jedoch bei genau querer Durchströmung nicht gleich Null wurde, sondern nur ein bestimmtes Minimum erreichte. Bernheim's Versuchsverfahren steht im Princip der später allgemein angewendeten Trogmethode sehr nahe und unterscheidet sich von ihr nur dadurch, dass statt eines Flüssigkeitsprismas ein solches von Thon von parallelen Stromfäden durchflossen wurde. In seiner Arbeit erwähnt Bernheim nichts von einer Ausschaltung der intramuskulären Nervenendigungen. Seine Resultate lassen jedoch vermuten, dass eine Curarisierung der benutzten Tiere stattgefunden hatte, und nur die Erwähnung dieses Umstandes vergessen wurde. Da Bernheim stets den ganzen unversehrten Sartorius der Einwirkung des elektrischen Stromes aussetzte, wurde bei beabsichtigter

querer Durchströmung durch die unregelmässigen Muskelenden das Auftreten von Längscomponenten des Stromes im Muskel befördert, so dass hierdurch das Resultat der Versuche beeinflusst werden konnte.

Eingehender beschäftigte sich Sachs mit der Untersuchung der Erregung des unter einem Winkel von 90 Grad vom elektrischen Strome durchflossenen Muskels. Dieser Forscher kam durch seine Versuche zu einem Resultat, welches dem von Bernheim gefundenen geradezu entgegensteht. Er beobachtete nämlich, dass der Muskel gleiche Erregbarkeit für quere wie für longitudinale Durchströmung besitze. Die von Sachs angewandte Untersuchungsmethode bietet jedoch berechtigte Zweifel, ob ein rein quer den Muskel durchfliessender elektrischer Strom wirksam gewesen ist. Zwei Nadelspitzen dienten in diesen Versuchen als Electroden und wurden so mit dem Muskel in Berührung gebracht, dass ihre Verbindungslinie in genau querer Richtung die Muskelfasern schneidet, also auch ein durch dieses Nadelpaar gehender Strom in einer im wesentlichen queren Richtung die Muskelfasern durchfliessen musste. Sachs war nunmehr der Ansicht, dass die Stromstärke, welche eine minimale Erregung des Muskels bei querer Durchströmung hervorrufe, allein durch den elektrischen Verbindungsfaden der beiden Electroden spitzen wirke. Es würde das aber nur dann zutreffend sein, wenn die Erregung nicht an den beiden Polen lokalisiert wäre, sondern etwa in der Mitte der Stromfäden stattfände, denn hier besitzt der direkte elektrische Verbindungsfaden der beiden Pole eine grössere Intensität, als die weiter entfernten Stromescurven an der entsprechenden Stelle. Da aber die Erregung stets im Bereich der Kathode und Anode stattfindet, unmittelbar an den Polen aber die Längscomponenten des Stromes dieselbe Intensität besitzen wie die Quercomponenten, so können die zur Beobachtung gelangten Erregungen ebenso sehr als Einwirkung der Längscomponenten des Stromes wie der Quercomponenten angesehen werden. Hierzu kommt noch der Umstand, dass bei dem eingeschlagenen Versuchsfahren eine ungenügende Spannung der Muskelfasern und damit eine leichtere Einwirkung der Längscomponenten auf den natürlichen Längsschnitt der Fasern nicht vermieden werden konnte.

Durch eine vielleicht zu peinliche Berücksichtigung des von Hermann gefundenen Widerstandsunterschiedes des von dem elektrischen Strome longitudinal durchflossenen Muskels gegenüber dem querdurchströmten fand später Tschirjew ein ähnliches Resultat wie Sachs. Aus den direkten Beobachtungen Tschirjews ersieht man zwar, dass zur Erregung des Muskels bei querer Durchströmung eine grössere Stromstärke nötig war, als bei longitudinaler; jedoch wurde dies Verhältnis

durch Einführung des veränderten Widerstandes nach der Hermann'schen Zahl in das gefundene Resultat aufgehoben und durch Berechnung bewiesen, dass der Muskel für quere Durchströmung sogar noch erregbarer sei als für longitudinale. Zu den Versuchen dieses Forschers wurde die sog. Trogmethode in Anwendung gebracht. An die beiden Enden des ausgeschnittenen Muskels wurden Seidenfäden gebunden und der so mit einem Zuckungstelegraphen verbundene Muskel in einen mit Kochsalzlösung gefüllten Trog getaucht, welcher von parallelen Stromfäden durchzogen wurde. Es ist klar, dass durch das Anbinden der Seidenfäden an die Enden des Muskels ein bedeutender Eingriff in die Structur der Faserenden geschah und dadurch die Erregbarkeit in longitudinaler Richtung geschädigt wurde. Tschirjew musste daher viel zu grosse Stromstärken bei longitudinaler Durchströmung in Anwendung bringen, um eine minimale Erregung des Muskels zu bekommen. Das Erregbarkeitsverhältniss musste sich folglich zu Gunsten der Querdurchströmung ändern. Bei den Controllversuchen, zu welchen kleine quadratisch ausgeschnittene Muskelstückchen zwischen breite Electroden gelegt wurden, war, da der Strom in einen künstlichen Querschnitt eintrat, die Längserregbarkeit herabgesetzt, bei querer Durchströmung aber in folge der ungenügenden Spannung der Fasern das Entstehen von Längscomponenten erleichtert. Sodann ist nachdrücklich hervorzuheben, dass bei querer Durchströmung des unversehrten Muskels die parallelen Stromfäden die Muskelfasern nie in ihrer ganzen Ausdehnung vollständig quer treffen können, weil diese an beiden Enden des Muskels mehr oder weniger convergieren.

Nach Tschirjew stellte Giuffrè unter Leitung von L. Hermann weitere Untersuchungen in der Frage der Quererregbarkeit des Muskels an und fand ein gleiches Ergebniss wie Bernheim, nämlich eine Verminderung der Erregbarkeit bei genau querer Durchströmung. Giuffrè versuchte die Schwierigkeiten, welche die unregelmässigen Enden des Muskels mit sich bringen, dadurch zu beseitigen, dass er nur den parallelfaserigen Teil des Sartorius in den Reiztrog eintauchte. Durch dieses Verfahren musste er jedoch, wie er selbst zugiebt, neue Uebelstände hervorrufen, da an den Stellen, wo der Muskel in die Flüssigkeit eintauchte, Unregelmässigkeiten der Stromcurven an der Oberfläche der Flüssigkeit entstanden. Zu denjenigen Versuchen, bei welchen Giuffrè ausgeschnittene Muskelstückchen in einen Kreis schaltete, sind dieselben Bemerkungen zu machen, wie zu den Tschirjew'schen Controllversuchen. Den Einfluss des Widerstandsunterschiedes suchte Giuffrè durch Einschaltung von zwei Muskeln in den Stromkreis aufzuheben, welche hinter einander, der eine quer, der andere longitudinal, vom electricen Strome durchflossen wurden. Giuffrè ge-

lang es nicht, die von ihm gesuchte „transversale Unerregbarkeit“ des Muskels nachzuweisen; jedoch spricht auch er die wohlberechtigte Vermuthung aus, dass die bei querer Durchströmung zur Beobachtung gekommenen Zuckungen die Folge entstehender Längscomponenten des electricen Stromes sein könnten.

Eigene Versuche.

Wie wir aus dieser Betrachtung sehen, haben die bis jetzt angestellten Untersuchungen über die Erregbarkeit des Muskels bei einer electricen Durchströmung unter verschiedenen Winkeln ein vollständig befriedigendes Resultat noch nicht ergeben; deshalb dürfte eine erneute Behandlung dieses Gegenstandes erwünscht sein und manches zur Aufklärung in dieser Sache beitragen. Ich stellte daher unter Leitung des Herrn Prof. Bernstein eine Reihe von Versuchen an, in welchen die Erregung des Muskels bei einer electricen Durchströmung unter gewissen Winkeln, insbesondere von 0° , 45° und 90° geprüft wurde. Die Art der Stromzuleitung, sowie die Zurichtung des Muskels, war je nach Bedürfniss eine wechselnde.

Zu allen Versuchen wurde das Sartoriuspräparat vollkommen curarisierter Frösche verwendet. Bei der Präparation vermied ich sorgfältig jede Verletzung des Muskels und liess die beiden Enden desselben mit Knochenstückchen in Verbindung, so dass sie zur Befestigung des Präparates dienen konnten. Die Untersuchungen eröffneten eine Reihe von Versuchen über die Längserregbarkeit des Muskels oder die Durchströmung des Muskels unter einem Winkel von 0° .

I. Versuchsreihe.

1. Abtheilung.

Zu den ersten Versuchen dieser Reihe wurde der constante Strom verschiedener Daniell'scher Elemente als Reizmittel benutzt. Geschlossen und geöffnet wurde der Strom durch einen in den Kreis eingeschalteten Quecksilberschlüssel, während eine ebenfalls in den Stromkreis eingefügte Pohl'sche Wippe die Veränderung der Stromesrichtung im Muskel ermöglichte. Die auf- und absteigende Richtung bezieht sich auf die anatomische Lage des Muskels, erstere ist dem Beckenende und letztere dem tibialen Ende des Muskels zugewendet. Der electricen Strom wurde dem Muskel vorläufig durch einfache Dratelectroden zugeleitet, welche mit den Knochenstückchen in

geeigneter Weise in Verbindung gebracht waren. Der Muskel selbst, in ein Myographion eingespannt, zeichnete seine Zuckungen auf eine beliebig mit der Hand fortbewegbare berusste Trommel auf. Das Myographion bestand aus einem Fick'schen Hebel von etwa 130 mm Länge, an dessen Axe sich ein Röllchen von 8 mm Radius befand. Der Muskel zog an dem Hebel in einer Entfernung von etwa 50 mm von der Axe, während das Röllchen meist mit einem Gewicht von 25 Gramm belastet war. Die directe Belastung des Muskels betrug also ungefähr 4 Gramm, welche gerade dazu ausreichten, um die Muskelfasern zu strecken. Die Vergrößerung der Zuckung durch den Zeichenhebel war etwa eine 2,6 fache.

Bevor ich jedesmal das Resultat der Versuche mit Worten ausspreche, will ich das Ergebnis ein oder mehrerer als Beispiel dienender Versuche in Tabellen wiedergeben, in welchen die vergrößerten Zuckungen nach Millimetern angegeben werden.

Beispiel 1.

| Anzahl der Elemente. Daniell. | Richtung d. Stromes im Muskel. | Schliessungs-zuckung mm | Tetanus. mm | Oeffnungs-zuckung. mm |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
| 3 | absteigend | 13 | 2 | — |
| 3 | aufsteigend | 6 | 1 | — |
| 3 | abst. | 10 | 1 | — |
| 3 | aufst. | 5 | 1 | — |
| 4 | aufst. | 8 | 2 | — |
| 4 | abst. | 21 | 3 | — |

Beispiel 2.

| Anzahl der Elemente. Daniell. | Richtung d. Stromes im Muskel. | Schliessungs-zuckung. mm | Tetanus mm | Oeffnungs-zuckung. mm |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|--------------------------|
| 2 | ab- u. aufst. | — | — | — |
| 3 | aufst. | 13 | 4 | — |
| 3 | abst. | 14 | 5 | — |
| 3 | aufst. | 13 | 4 | — |
| 3 | abst. | 13 | 4 | — |
| 4 | aufst. | 18 | 6 | 34 |
| 4 | abst. | 44 | 7 | — |
| 4 | aufst. | 13 | 6 | 28,5 |
| 4 | abst. | 42 | 7 | — |
| 4 | aufst. | 15 | 8 | 29 |
| 4 | abst. | 41 | 7 | 10 |

Wie wir aus den angeführten Beispielen sehen, lautet das Ergebnis dieser Versuche folgendermassen: Wird der unversehrte curasirte *Musc. Sartorius* vom constanten Strom durchflossen, so beobachtet man, dass die Schliessungszuckung des im Muskel absteigenden Stromes grösser ist als die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes. Oeffnungszuckungen treten erst bei stärkeren Strömen und dann früher bei aufsteigender als absteigender Stromesrichtung auf.

Bei anderer Gelegenheit beobachtete ich ein analoges Resultat bei Anwendung des Inductionstromes. Ich schalte ein Beispiel dieser Versuche hier ein. Der Muskel wurde durch den Schliessungsinductionstrom und durch den Oeffnungsinductionstrom gereizt. Als Stromquelle diente 1 Daniell für die primäre Spirale.

Beispiel 3.

| Rollen- entfernung. mm | Zuckung durch den Schliessungs- schlag. mm | Richtung des Schliessungs- schlages im Muskel. | Zuckung d. d. Oeffnungs- schlag. mm | Richtung d. Oeffnungs- schlages im Muskel. |
|------------------------------|---|---|--|---|
| 170 | — | abst. | 3,5 | aufst. |
| 170 | — | aufst. | 5 | abst. |
| 150 | — | abst. | 9,5 | aufst. |
| 150 | — | aufst. | 11 | abst. |
| 130 | 1,5 | abst. | 9 | aufst. |
| 130 | — | aufst. | 7,5 | abst. |
| 100 | 6 | abst. | 4 | aufst. |
| 100 | — | aufst. | 7 | abst. |
| 80 | 3,5 | abst. | 4 | aufst. |
| 80 | 2 | aufst. | 5,5 | abst. |
| 60 | 4 | abst. | 3 | aufst. |
| 60 | 2 | aufst. | 5 | abst. |
| 40 | 4 | abst. | 3 | aufst. |
| 40 | 3 | aufst. | 4 | abst. |

Der absteigende Oeffnungsschlag hat fast durchweg eine stärkere Wirkung als der im Muskel aufsteigende. Erregung durch schwächere Schliessungsschläge stellt sich nur bei absteigender Richtung derselben ein. Erfolgen Erregungen durch den Schliessungs- und Oeffnungsschlag bei derselben Rollenentfernung, so kann sogar eine grössere Erregung durch den Schliessungsschlag stattfinden, wenn ersterer eine im Muskel aufsteigende, dieser aber absteigende Richtung besitzt.

Diese uns bei den angeführten Versuchen entgegretende Erscheinung erklärt sich offenbar aus der eigentümlichen Gestalt des Muskels. Nur die Unregel-

mässigkeiten der Muskelenden verursachen die verschiedene Wirkung des Stromes, je nachdem er eine im Muskel auf- oder absteigende Richtung besitzt. Dass eine jede Erregung, welche an dem schmalen tibialen Muskelende stattfindet, (durch die Schliessung des abwärts und die Oeffnung des aufwärts gerichteten constanten Stromes, ferner durch den abwärts gerichteten Inductionsstrom) eine stärkere ist als die an dem breiten Beckenende ausgelöste Erregung (durch die Schliessung des aufwärts und die Oeffnung des abwärts gerichteten constanten Stromes, ferner durch den aufwärts gerichteten Inductionsstrom) beruht auf dem Umstande, dass der geringere Querschnitt, welchen das schmale tibiale Ende des Muskels besitzt, eine grössere Dichtigkeit des Stromes an dieser Stelle zur Folge hat, während an dem breiten Beckenende die Stromesdichtigkeit notwendigerweise geringer sein muss. Ausserdem dürfte jedenfalls der convergirenden Anordnung der Muskelfasern einige Bedeutung für die verschiedene Wirkung des elektrischen Stromes je nach seiner Richtung in dem Muskel zugemessen werden; denn der elektrische Strom tritt an dem tibialen Muskelende nicht nur in den natürlichen Querschnitt, sondern auch theilweise in den natürlichen Längsschnitt ein. An dem Beckenende dagegen findet eine Einwirkung auf den natürlichen Längsschnitt des Muskels wahrscheinlich weit weniger statt. Auch dieser Umstand kann, wie aus nachfolgenden Resultaten hervorgeht, zu einer Begünstigung der Erregungen an dem schwächeren tibialen Sehnenende führen.

Diese Erscheinung ist für die folgenden Untersuchungen von Wichtigkeit, da bei allen das gleiche Muskelpräparat, der Sartorius des Frosches verwendet wurde.

2. Abtheilung.

Wenn wir bei der longitudinalen elektrischen Durchströmung des Muskels schon den störenden Einfluss der unregelmässigen Muskelenden empfanden, so würden dieselben noch weit grössere Schwierigkeiten bei der Durchströmung des Muskels unter einem Winkel verursacht haben. Es muss daher vor allem daran gedacht werden, die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die unregelmässigen Faserenden zu verhindern. Dieser Zweck wurde dadurch erreicht, dass vermittelst eines heissen Drates die beiden Muskelenden wärmestarr gemacht wurden, sodass nur noch der mittlere parallelfaserige Theil des Sartorius lebend verblieb. Dieses Abtöten der Faserenden des Muskels zog natürlicherweise eine Veränderung der Erregbarkeit des longitudinal durchströmten Muskels nach sich. Um eine annähernde Vergleichung des Ergebnisses herbeizuführen, wenn der Muskel einmal von der toten, das andere mal von der lebenden Substanz aus vom elektrischen Strome durchflossen wurde, mussten bei diesen

Versuchen die Electroden, welche aus Schlingen von feinen Kupferfäden bestanden, durch Verschieben abwechselnd an die tote und die lebende Substanz angelegt werden. Bei Anlegung der Electroden an die tote Substanz trat der elektrische Strom an den künstlichen Querschnitten, bei Anlegung an die lebende Substanz an den natürlichen Längsschnitten des Muskels ein und aus.

Beispiel 1 a.

Strom = 4 D. Anlegung der Electroden an die tote Substanz.

| Richtung d. Stromes im Muskel. | Schliessungszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm |
|--------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|
| aufst. | 4 | 2 | — |
| abst. | 5 | 1 | — |
| aufst. | 3 | 2 | — |
| abst. | 4 | 1 | — |

Beispiel 1 b.

Strom = 4 D. Anlegung der Electroden an die lebende Substanz.

| Richtung d. Stromes im Muskel. | Schliessungszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm |
|--------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|
| aufst. | 24 | 3 | 7 |
| abst. | 26 | 1 | — |
| aufst. | 7 | 4 | 9 |
| abst. | 25 | 1 | — |
| aufst. | 10 | 8,5 | 13 |
| abst. | 24 | 5 | 4,5 |

Beispiel 2 a.

Strom = 4 D. Anlegung der Electroden an die tote Substanz.

| Richtung d. Stromes im Muskel. | Schliessungszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm |
|--------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|
| aufst. | — | — | — |
| abst. | — | — | — |
| aufst. | — | — | — |
| abst. | — | — | — |

Beispiel 2 b.

Strom = 4 D. Anlegung der Electroden an die lebende Substanz.

| Richtung d. Stromes im Muskel. | Schliessungszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm |
|--------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|
| aufst. | 6,5 | 4 | 7 |
| abst. | 14 | 7 | — |
| aufst. | 8 | 5 | 6,5 |
| abst. | 14 | 3 | 4 |

Tritt der elektrische Strom von der toten Substanz aus an den künstlichen Querschnitten des Muskels ein und aus, so zeigt sich keine oder doch nur eine geringe Erregung, während dieselbe Stromstärke bei Ein- und Austritt in die noch lebende Muskelsubstanz, den natürlichen Längsschnitt, Schliessungszuckungen, Tetanus und Oeffnungszuckungen hervorruft. Die geringen Erregungen, welche, wenn auch selten, bei Reizung von der toten Substanz aus zur Beobachtung kommen, scheinen entweder eine Folge der Einwirkung des elektrischen Stromes auf noch nicht zerstörte Faserenden des Muskels zu sein oder sie rühren von unregelmässiger nicht

parallel fasriger Gestaltung des Muskels her; denn es lässt sich bei diesen Zuckungen regelmässig ein Unterschied in ihrer Grösse bemerken, je nachdem sie der absteigende oder aufsteigende Strom veranlasste. Diese Zuckungen bei Ein- und Austritt des Stromes in die künstlichen Querschnitte zeigen sich gewöhnlich nur in dem ersten Versuche nach der Abtötung; bei Wiederholung des Versuches an demselben Präparate blieben sie dagegen aus. Es könnte sich diese Erscheinung daraus erklären, dass inzwischen von den abgetöteten Enden der Absterbungsprocess weiter vorge-schritten ist und die etwaigen vorher noch unversehrten Faserenden zerstört hat.

Dass der Ein- und Austritt des elektrischen Stromes in die künstlichen Querschnitte des Muskels weit weniger wirksam ist, als seine Einwirkung auf die natürlichen Längsschnitte ist zuerst von Biedermann nachgewiesen worden. Es wird dieses wichtige Factum durch nachfolgende Versuche bestätigt und mannigfach erweitert werden.

Die Biedermann'schen Versuche habe ich mehrfach wiederholt und vollkommen bestätigt gefunden. Dieselben bestehen bekanntlich darin, dass man die eine Electrode an das abgetötete Sehnenende, die andere an den lebenden Längsschnitt des Muskels bringt. Während nun beim unversehrten Muskel die Schliessung des nach dem Sehnenende hingerichteten und die Oeffnung des von dem Sehnenende abgewendeten Stromes starke Erregungen hervorruft, sind dieselben nach Abtötung dieses Endes entweder ganz aufgehoben oder doch wesentlich geschwächt. Die zuletzt angeführten und noch nachfolgenden Versuche unterscheiden sich aber von denen Biedermanns dadurch, dass der Strom nicht dem Querschnitt und Längsschnitt, sondern von zwei Querschnittten aus- zu und abgeleitet wurde. Die letztere Anordnung ist deshalb gewählt worden, damit sich nicht der Muskelstrom zu dem erregenden addirt oder von ihm subtrahirt. Bei schwachen Strömen kommt dieser Umstand wesentlich in Betracht, wie dies schon Hering angegeben hat.

3. Abtheilung.

Die bisherigen Versuche konnten nur als vorläufige betrachtet werden, da in ihnen auf mehrere Fehlerquellen keine Rücksicht genommen war. Erstens war bei der Anlegung der Electroden an lebende und tote Stellen des Muskels der Widerstand im Kreise ein verschiedener und sogar zu Ungunsten der Reizung von den abgetöteten Enden aus wegen der grösseren intrapolaren Strecke ein grösserer. Zweitens waren der Bequemlichkeit halber Metallelectroden beibehalten worden, deren Polare-sation störend wirken konnte.

In den folgenden Versuchen wurde nun, um die Stromstärke im Muskelkreise constant zu erhalten, ein kleiner Multiplicator und ein Siemens'scher Widerstandskasten in den Stromkreis eingeschaltet. Den constanten Strom lieferten zu diesen Versuchen kleine Grove'sche Elemente, welche schon an und für sich einen bedeutenden Widerstand besitzen. Die Zuführung des Stromes zum Muskel geschah durch unipolarisirbare Fadenelectroden. Ein amalgamirter Zinkstreifen war von einem Wollfaden umwickelt, welcher mit conc. Zinksulfatlösung getränkt wurde. Ein zweiter, mit Kochsalzlösung befeuchteter Faden wurde um das umwickelte Zinkstäbchen geschlungen und leitete den Strom von da zum Muskel.

Die Widerstandsveränderung, welche uns der Ausschlag der Multiplicatornadel anzeigte, war derart, dass zur Herstellung gleicher Stromstärken für beide Versuchsarten bei Reizung der lebenden Substanz etwa 4000—4900 Siemens'sche Widerstandseinheiten eingeschaltet werden mussten.

Beispiel 1.

| * Das Präparat wird befeuchtet. | Anzahl der Elemente. | Anlegung d. Electr. a. d. leb. od. tote Substanz. | Einschalt. Siem. Widerstände. | Ablenk. der Multiplicat.-nadel. Grad. | Schliess.-zuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungs-zuckung. | Entf. d. Elect. v. einander. mm |
|---------------------------------|----------------------|---|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------------|--------------------|---------------------------------|
| | Grove. | | | | | | | |
| | 7 | tot | 4900 | 12 | 27 | 14 | — | 38 |
| | 3 | tot | 4900 | 6 | 15 | 2 | — | 38 |
| | 2 | leb. | 4900 | 1 | 15 | 5 | — | 18 |
| | 2 | tot | — | 1 | — | — | — | 38 |
| | 2 | leb. | 4900 | 1 | 14 | 4 | — | 9 |
| | 2 | tot | — | 1 | — | — | — | 37 |
| | 2 | leb. | 4900 | 1 | — | — | — | 9 |
| | 2 | leb. | — | 4 | 7 | 6 | — | 6 |
| | 2 | leb. | 4900 | 2 | 7 | 4 | — | 6 |
| | 2 | tot | — | 1 | — | — | — | 40 |

Beispiel 2 a.

Strom = 2 Grove. Stromesrichtung im Muskel absteigend.

| Anlegung d. Electr. a. d. leb. od. tote Substanz. | Einschalt. Siem. Widerstände. | Ablenk. der Multiplicat.-nadel. Grad. | Schliess.-zuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungs-zuckung. | Entf. d. Elect. v. einander. mm |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------------|--------------------|---------------------------------|
| tot | — | 3 | — | — | — | 44 |
| leb. | 4900 | 1,5 | 11 | 3 | — | 17 |
| tot | — | 3 | — | — | — | 37 |
| leb. | 4000 | 3 | 11,5 | 4,5 | — | 14 |
| tot | — | 3 | — | — | — | 39 |
| leb. | 4000 | 3,5 | 12 | 5 | — | 14 |
| tot | — | 4 | — | — | — | 44 |
| leb. | 4500 | 4 | 9 | 5 | — | 8 |

Beispiel 2 b.

Strom = 2 Grove. Stromesrichtung im Muskel aufsteigend.

| Anlegung d. Electr. a. d. leb. od. tote Substanz. | Einschalt. Siem. Widerstände. | Ablenk. der Multiplicat.-nadel. Grad. | Schliess.-zuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungs-zuckung. | Entf. d. Elect. v. einander. mm |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------------|--------------------|---------------------------------|
| tot | — | 2 | — | — | — | 41 |
| leb. | 4000 | 3 | 8 | 3 | — | 10 |
| tot | — | 2 | — | — | — | 44 |
| leb. | 4000 | 2,5 | 4 | 3,5 | — | 10 |
| tot | — | 2 | — | — | — | 44 |
| leb. | 4000 | 3 | — | 3,5 | — | 9 |

In den beiden nachfolgenden Versuchen, welche später von Herrn Prof. Bernstein angestellt worden sind, war die Beobachtungsmethode eine mehrfach verbesserte. Statt des nicht sehr empfindlichen kleinen Multipliers wurde der du Bois'sche Multiplier in einen passenden Nebenzweig der erregenden Kette eingeschaltet und bei jeder Schliessung der erste Ausschlag der Nadel abgelesen. Die beiden Hälften der Windungen waren nebeneinander angeordnet und bildeten zu einem im Hauptkreise befindlichen Widerstand von 20 Siemens eine Nebenschliessung. Durch einen Stromwender zum Multiplier wurde auch dafür gesorgt, dass die Ablenkung bei jeder Stromesrichtung im Muskel nach derselben Seite erfolgte.

Statt des Fick'schen Myographen und der Zeichentrommel wurde das Pflüger'sche Myographion in etwas abgeänderter Gestalt gebraucht. Eine über dem Hebel in einiger Entfernung aufgestellte grössere feuchte Kammer verhütete die in den vorigen Versuchen sehr lästige Austrocknung der zuleitenden Fäden, durch die sich der Widerstand im Kreise beständig änderte. Der Strom wurde durch du Bois'sche unipolarisierbare Electroden, welche auf dem Boden der feuchten Kammer standen, und von den Thonspitzen derselben aus durch passend umschlungene feuchte Baumwollenfäden dem Muskel zugeführt. Die Belastung betrug nach Aequilibrirung des Hebels 5 Gramm. Der Hebel zeichnete mit seinem Stift auf berusstem Glanzpapier in zweifacher Vergrösserung.

Die Schliessung des Stromes wurde durch einen Pflüger'schen Fallapparat (in verkleinerter Form) besorgt, die Oeffnung durch Hebung des Hammers mit der Hand. In dem Hauptkreise befanden sich, wie vorher, ein Siemens'scher Widerstandskasten zur Ausgleichung des Muskelwiderstandes, daneben die oben erwähnten 20 Siemens zur Ableitung nach dem Multiplier.

Beispiel 3.

Lebende intrapolare Strecke = 10 mm, Länge des Muskels = 40 mm.

| Nr. | Anlegung d. Electr. a. d. leb. od. tote Substanz. | Strom und Richtung. | Schliessungs-zuckung. | Tetanus. | Öffnungs-zuckung. | Ablenkung a. Multiplie. | Siemens'sche Widerstände. |
|-----|---|---------------------|-----------------------|----------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | Daniell. | mm | | mm | Grad. | |
| 1 | tot | 6 abst. | — | — | — | 28 | — |
| 2 | | 6 abst. | — | — | — | 28 | — |
| 3 | | 6 abst. | 3 | 0,5 | 2,5 | 32 | 5000 |
| 4 | leb. | 6 abst. | 1 | — | 2,5 | 28 | 9000 |
| 5 | | 6 aufst. | 6 | 1 | — | 36 | 9000 |
| 6 | | 4 aufst. | 1 | — | — | 25 | 9000 |
| 7 | | 4 abst. | — | — | — | 20 | 9000 |
| 8 | | 4 abst. | — | — | — | 22 | 5000 |
| 9 | | 6 abst. | 0,5 | — | 1 | 30 | 5000 |
| 10 | | 6 aufst. | 5,6 | 1 | 1 | 31 | 5000 |
| 11 | | 6 aufst. | 5 | 1 | — | 30 | 7000 |
| 12 | | 6 aufst. | 4,5 | 0,5 | — | 28 | 9000 |
| 13 | | tot | 6 aufst. | — | — | — | 36 |
| 14 | leb. | 6 aufst. | 2 | 0,3 | — | 32 | 9000 |

Beispiel 4.

Lebende intrapolare Strecke = 10 mm, Länge des Muskels = 45 mm.

| Nr. | Zuleitung. | Strom und Richtung. | Schliessungs-zuckung. | Tetanus. | Öffnungs-zuckung. | Ablenkung a. Multiplie. | Siemens'sche Widerstände. |
|-----|------------|---------------------|-----------------------|----------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | Kl. Grove. | mm | | mm | Grad. | |
| 1 | tot | 6 aufst. | 3 | — | — | 52 | — |
| 2 | | 3 aufst. | — | — | — | 30 | — |
| 3 | | 4 aufst. | — | — | — | 37 | — |
| 4 | | 5 aufst. | — | — | — | 45 | — |
| 5 | | 5 abst. | — | — | — | 46 | — |
| 6 | | 2 abst. | 3,7 | 0,5 | — | 23 | — |
| 7 | | 2 aufst. | 1,5 | 0,5 | — | 23 | — |
| 8 | | 3 abst. | 3,8 | 1 | — | 33 | — |
| 9 | | 3 abst. | 1,2 | 0,5 | — | 32 | 1000 |
| 10 | | leb. | 3 aufst. | 2,8 | 0,8 | — | 32 |
| 11 | 3 aufst. | | 1 | 0,5 | — | 29 | 5000 |
| 12 | 4 aufst. | | 1,2 | 0,5 | — | 37 | 5000 |
| 13 | 4 abst. | | 3,2 | 1,8 | — | 37 | 5000 |
| 14 | 5 abst. | | 3,5 | 0,5 | — | 44 | 5000 |
| 15 | 5 aufst. | | 3 | 0,5 | — | 45 | 5000 |
| 16 | tot | 5 aufst. | — | — | — | 38 | — |
| 17 | | 6 aufst. | — | — | — | 45 | — |
| 18 | | 6 abst. | — | — | — | 48 | — |
| 19 | leb. | 5 aufst. | 1,2 | 0,7 | — | 42 | 5000 |
| 20 | | 5 abst. | 2 | 0,5 | — | 44 | 5000 |

Es fand sich in diesen Versuchen, dass bei Durchströmung des Muskels von der toten Substanz aus, also bei Ein- und Austritt des Stromes in die künstlichen Querschnitte, eine Stromstärke, welche von den natürlichen Längsschnitten aus Schliessungszuckung und Tetanus hervorrief, keine Erregung des Muskels verursachte. Nur ein Strom von grosser Intensität veranlasste auch in diesem Falle Zuckungen. Indessen erschienen diese Zuckungen auch hier nur während der ersten Versuche nach der Abtötung, später blieben sie aus. Deshalb könnte man wieder an den Einfluss noch nicht vollkommen abgetöteter Faserenden des Muskels denken. Wahrscheinlicher ist es aber, dass starke Ströme wegen ihres unregelmässigen Verlaufes mehrfache kathodische und anodische Stellen an den lebenden Längsschnitten der Fasern bilden.

4. Abtheilung.

Dieser Theil der Versuche unterscheidet sich von der vorhergehenden Abtheilung nur dadurch, dass in ihm der Inductionsstrom als Reizmittel benutzt wurde; im übrigen blieb die Tendenz der Versuche dieselbe. Ein Daniell lieferte den Strom für die primäre Spirale. In dem primären Stromkreis war wiederum ein Quecksilberschlüssel zum öffnen und schliessen des Stromes, im secundären Stromkreis die Pohl'sche Wippe zur Veränderung der Stromesrichtung im Muskel, ferner der Siemens'sche Widerstandskasten und ein du Bois'scher Schlüssel eingeschaltet. Die sonstige Anordnung des Muskels im Stromkreis blieb unverändert wie in der ersten Versuchsreihe. Abwechselnd wurde der Strom von den abgetöteten Enden aus in den Muskel geschickt, abwechselnd direct in die lebende Substanz. Die Zuleitung vermittelten wieder die oben beschriebenen unpolarisirbaren Fadenelectroden.

Bei Reizung der lebenden Substanz wurde zur Ausgleichung der Widerstandsverhältnisse, die bei den letzten Versuchen gefundene Anzahl Siemens'scher Widerstandseinheiten = 4900 eingeschaltet. Später führte ich jedoch einen zweiten, an beiden Enden abgetöteten, auf einem Korkplättchen ausgespannten Sartorius mittelst unpolarisirbarer Thonelectroden als integrierenden Bestandtheil in den secundären Stromkreis ein. Es geschah dies in der Weise, dass bei Reizung der lebenden Substanz der ganze zweite Muskel einschliesslich der abgetöteten Enden sich im Stromkreis befand, bei Reizung von der toten Substanz aus jedoch nur der mittlere lebende, parallelfaserige Theil des zweiten Muskels. Es wurde darauf geachtet, dass die eingeschalteten Muskellängen immer abwechselnd dieselben waren. Beide Methoden der Widerstandsausgleichung können freilich keinen Anspruch auf Genauigkeit machen,

da die Stromstärken nicht direct gemessen wurden; doch reichten sie bei richtig gewählten intrapolaren Strecken des Muskels jedenfalls aus, um das für den constanten Strom erhaltene Resultat auch für den inducirten Strom zu bestätigen. Eine Messung der Ablenkungen des letzteren mit einem Galvanometer hätte den Versuch in diesem Falle unnütz complicirt.

Beispiel 1.
Strom der primären Spirale = 1 Daniell.

| Anlegung d. Electr. a. d. leb. od. tote Substanz. | Zuck. d. d. Schliessungsschlag. mm | Zuckung d. d. Oeffnungsschlag. mm | Rollenentfernung. mm | Einschalt. Siem. Widerstände. | Entf. d. Elect. v. einander. mm |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| tot | — | — | 170 | — | 40 |
| leb. | 5,5 | 8,5 | 170 | 4900 | 15 |
| tot | — | — | 170 | — | 40 |
| leb. | 4,5 | 8 | 170 | 4900 | 9 |
| * leb. | 7 | 6,5 | 170 | 4900 | 9 |
| tot | — | — | 170 | — | 40 |
| tot | — | — | 150 | — | 38 |
| leb. | — | 11 | 150 | 4900 | 15 |
| tot | — | — | 150 | — | 38 |
| leb. | 8 | 10 | 150 | 4900 | 15 |
| tot | — | — | 150 | — | 38 |
| leb. | — | 4,5 | 150 | 4900 | 15 |
| tot | — | — | 130 | — | 37 |
| leb. | 1 | 4 | 130 | 4900 | 18 |
| * leb. | 9 | — | 130 | 4900 | 18 |
| tot | — | — | 130 | — | 37 |
| leb. | 2 | 6 | 120 | 4900 | 17 |
| tot | — | — | 120 | — | 38 |
| leb. | — | 5 | 120 | 4900 | 17 |
| tot | — | — | 120 | — | 32 |

* Wechsel der Stromesrichtung.

Beispiel 2.

| Anlegung d. Electr. a. d. leb. od. tote Substanz. | Zuck. d. d. Schliessungsschlag. mm | Zuckung d. d. Oeffnungsschlag. mm | Rollenentfernung. mm | Anlegung d. Thonelect. a. d. Widerst.-musk. |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---|
| tot | — | — | 146 | leb. |
| leb. | — | 11 | 146 | tot |
| tot | — | — | 107 | leb. |
| leb. | — | 5 | 107 | tot |
| tot | — | — | 84 | leb. |
| leb. | — | 4 | 84 | tot |

Wie man aus den angeführten Beispielen ersieht, verändert sich das Resultat bei Anwendung des Induktionsstromes durchaus nicht. Der Induktionsstrom lässt den

Muskel bei longitudinaler Durchströmung unerregt, wenn er von der toten Substanz aus an den künstlichen Querschnitten des Muskels ein- und austritt. Der gleichstarke Induktionsstrom ruft dagegen, wenn er unmittelbar in die lebende Substanz den natürlichen Längsschnitt des Muskels eintritt, Zuckungen hervor. Bei allen Versuchen dieser Reihe war die Erregbarkeit durch die Abtötung der Muskelenden für den in den Querschnitt eintretenden Strom so sehr herabgesetzt, dass bei dieser Reizmethode die angewendeten Stromstärken nie eine Erregung veranlassten. Man dürfte hieraus wiederum schliessen, dass die Erregbarkeit für diesen Fall, wenn nicht total aufgehoben, so doch ausserordentlich herabgesetzt ist.

II. Versuchsreihe.

In den nunmehr folgenden Versuchen wurde der Muskel unter drei verschiedenen Winkeln, von 0° , 45° und 90° , von parallelen elektrischen Stromfäden durchflossen. Es kam hierbei die bekannte Trogmethode zur Anwendung. (Siehe Figur auf beifolgender Tafel.) Ein gefirnisstes parallelepipedisches Holzkästchen, welches 222 mm lang, 106 mm breit und 30 mm hoch war, diente als Reiztroge. Die zwei kleineren gegenüberstehenden Wände waren mit zwei gleich grossen amalgamirten Zinkplatten bekleidet, welche den Strom zuleiteten. In einiger Entfernung parallel mit ihnen durchzogen zwei Gypswände den Troge und schieden so zwei kleinere parallele Räume von dem eigentlichen Trogeinnern ab. Diese Nebenräume wurden mit concentrirter Zinksulfatlösung gefüllt, zuvor aber die ihnen zugekehrte Seite der Gypswände mit Modellirthon sorgfältig bestrichen, da die Zinklösung leicht durch den Gyps diffundirte. In der Mitte des Troges befand sich auf dem Boden eine Kreistheilung, nach welcher die Richtung des Muskels zu den parallelen Stromfäden bestimmt wurde. Der grössere innere Raum des Kästchens war mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt; in diese wurde der in einen passenden Halter durch Fäden horizontal eingespannte Muskel getaucht. Die Veränderung des Winkels, unter welchem der Muskel vom elektrischen Strom getroffen werden sollte, wurde durch Drehen des Troges herbeigeführt. Der Muskel zog über eine kleine am Halter befestigte Rolle mittelst eines Fadens an einer Marey'schen Trommel und übertrug auf diese Weise seine Zuckungen auf eine Zeichentrommel. Zuerst wurde er unversehrt in den Apparat eingespannt, in die Flüssigkeit getaucht und in den drei Richtungen von 0° , 45° und 90° von parallelen elektrischen Stromfäden durchströmt. Hiernach wurden regelmässig die beiden Muskelenden abgetötet und der Muskel von neuem in diesen drei Richtungen der Wirkung des elektrischen Stromes ausgesetzt. Die in die Flüssigkeit eintauchenden

Enden des Halters nebst dem Röllchen waren von dem Muskel weit genug entfernt, um in diesem keine Ablenkung der Stromescurven zu verursachen.

In den von früheren Beobachtern angestellten Versuchen wurde der Muskel in verschiedenen Winkeln dem Einflusse des elektrischen Stromes ausgesetzt und die Erregbarkeit desselben nach der angewendeten eine minimale Erregung hervorrufenden Stromstärke gemessen; uns schien es jedoch zweckmässiger, um schneller zum Ziele zu kommen, den Muskel unter den drei bestimmten Winkeln von 0° , 45° und 90° von einem Strom von gewisser Stärke durchströmen zu lassen und die Grösse der Zuckungen zu betrachten. Die Anwendung anderer Winkel schien uns überflüssig, da das gefundene Resultat einen Schluss auf den Erfolg bei der Einstellung der dazwischen liegenden Winkel gestattet, andererseits beabsichtigten wir nicht, das Verhältniss der Erregung zur Grösse des Winkels zu bestimmen. Auch die Beobachtung der minimalen Erregung erschien uns unthunlich, da die Aufzeichnung der Zuckungsgrösse bei einer angenommenen Stromstärke leichter und auch zuverlässiger ist, als jene.

Anwendung des constanten Stromes.

Beispiel 1 a.

Strom = 9 Daniell. Reizung des unversehrten Muskels.

| Eintrittswinkel des Stromes. Grad. | Schliesszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm |
|---------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
| 0 | 5 | 1 | — |
| * 0 | 7 | 1 | — |
| 45 | 6 | 1 | — |
| * 45 | 6 | 1 | — |
| 90 | — | — | — |
| * 90 | — | — | — |

* Wechsel der Stromesrichtung.

Beispiel 1 b.

Strom = 9 Daniell. Reizung des an den Enden abgetöteten Muskels.

| Eintrittswinkel des Stromes. Grad. | Schliesszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm |
|---------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
| 0 | — | — | — |
| * 0 | — | — | — |
| 45 | — | — | — |
| * 45 | — | — | — |
| 90 | — | — | — |
| * 90 | — | — | — |

Beispiel 2 a. Strom = 9 Daniell.
Reizung des unversehrten Muskels.

| Eintrittswinkel des Stromes. Grad. | Schliesszuckung. mm | Tetaaus. mm | Oeffnungszuckung. mm |
|---------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
| 0 | 8 | 1 | — |
| * 0 | 7,5 | 1 | — |
| 45 | 8 | 1 | — |
| * 45 | 7 | 1 | — |
| 90 | — | — | — |
| * 90 | — | — | — |

* Wechsel der Stromesrichtung.

Beispiel 2 b. Strom = 9 Daniell.
Reizung des an den Enden durch Abquetschen abgetöteten Muskels.

| Eintrittswinkel des Stromes. mm | Schliesszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm |
|------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
| 0 | — | — | — |
| * 0 | — | — | — |
| 45 | 1,5 | — | — |
| * 45 | 3 | 1 | — |
| 90 | 2,5 | 1 | — |
| * 90 | 4 | 1 | — |

Beispiel 3 a.

Strom = 9 Daniell. Reizung des unversehrten Muskels.

| Eintrittswinkel des Stromes. Grad. | Schliesszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm | Richtung d. Stromes n. d. längsdurchströmten Ml. |
|---------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|--|
| 0 | 5 | 1 | — | aufst. |
| 0 | 12 | 1 | — | abst. |
| 45 | 5 | 1 | — | aufst. |
| 45 | 9 | 1 | — | abst. |
| 90 | 1 | — | — | Wechsel d. |
| 90 | 2 5 | — | — | Str.-Richt. |

Beispiel 3 b.

Strom = 9 Daniell. Reizung des an den Enden abgetöteten Muskels.

| Eintrittswinkel des Stromes. Grad. | Schliesszuckung. mm | Tetanus. mm | Oeffnungszuckung. mm | Richtung d. Stromes n. d. längsdurchströmten Ml. |
|---------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|--|
| 0 | — | — | — | aufst. |
| 0 | — | — | — | abst. |
| 45 | — | — | — | aufst. |
| 45 | — | — | — | abst. |
| 90 | — | — | — | Wechsel d. |
| 90 | — | — | — | Str.-Richt. |

Die Resultate der angeführten Versuche sind folgende:

a) Reizung des unversehrten Muskels:

Wird der unversehrte Sartorius der Länge nach, unter einem Winkel von 0° von parallelen Fäden des constanten Stromes durchflossen, so sieht man stets Schliesszuckungen und Tetanus auftreten. Oeffnungszuckungen wurden bei den angewendeten Stromstärken niemals beobachtet. Die absteigende Stromesrichtung zeigt sich in ihrer Wirkung überlegen. Diese Erscheinung hat wieder ihre Ursache in den unregelmässigen Muskelenden; an dem tibialen Muskelende treten die Stromfäden in grösserer Ausdehnung aus dem natürlichen Längsschnitt des Muskels aus, als an dem Beckenende. Unterschiede der Dichtigkeit sind bei der Trogmethode an beiden Muskelenden nicht anzunehmen, abgesehen etwa von dem Einfluss der specifischen Widerstände der Muskelsubstanz und Flüssigkeit. Treffen die parallelen Stromfäden den Muskel unter einem Winkel von 45° , so zeigen sich ebenfalls Schliesszuckungen und Tetanus. Die Grösse dieser Erregungen ist etwas geringer als die bei longitudinaler Durchströmung. Die absteigende Stromesrichtung

giebt sich auch hier als die begünstigte kund. Lässt man endlich den Strom genau quer, unter einem Winkel von 90° den Muskel durchfliessen, so bleibt er in der Regel in Ruhe. Selten findet bei querer Durchströmung eine schwache Erregung statt, die trotz ihrer geringen Grösse einen Unterschied bemerken lässt, sobald die Stromesrichtung verändert wird.

b) Reizung des an den Enden abgetöteten Muskels.

Sind die beiden Muskelenden durch einen heissen Drat wärmestarr gemacht und wird jetzt der Muskel in dem Trog von parallelen Stromfäden durchzogen, so ändert sich das Resultat total. Es bleibt jetzt der Muskel sowohl bei longitudinaler Durchströmung, als auch bei der Durchströmung unter einem Winkel von 45° und 90° , folglich unter einem jeden beliebigen Winkel, in Ruhe.

Nach einer unvollkommenen Abtötung der Muskelenden z. B. durch Abquetschen war in einem Falle die Erregbarkeit des Muskels für die drei angeführten Durchströmungsarten noch nicht ganz erloschen. Die hier auftretenden Zuckungen sind daher die Folge einer Erregung der in ihrer Structur noch unversehrt gebliebenen Faserenden.

Dass der Muskel nach der Abtötung an den Enden während der Anstellung der Versuche in seinem mittleren lebenden Theil noch erregbar war für Ströme von derselben Intensität und Dichtigkeit, von denen er in der Flüssigkeit durchflossen wird, wurde bei allen Versuchen dieser Reihe durch Reizung der mittleren Muskelpartie ausserhalb der Flüssigkeit und zwar durch einen Stromzweig derselben nachgewiesen. Es wurden zu diesem Zwecke auf dem Boden des Troges zwei kleine Thonspitzen aufgesetzt, welche aus der Flüssigkeit herausragten. Der aus dem Troge herausgenommene Muskel wurde nun mit seinem lebenden Mittelstück den Spitzen angelegt und in dieser Weise mit den durch den Trog geleiteten, vorher angewendeten Strömen gereizt. Bei diesem Verfahren fliesst ein Zweigstrom der Flüssigkeit durch den Muskel, welcher annähernd dieselbe Intensität besitzt, wie die Summe der in der Flüssigkeit durch den Muskel ziehenden Stromfäden. Hierbei zeigten sich regelmässig Zuckungen von 3—4 mm Höhe und überzeugten uns so von der noch bestehenden Erregbarkeit des mittleren parallelfaserigen Muskeltheiles für die in Betracht kommenden Muskelstücken. Obgleich die angewendete Kette eine ziemlich kräftige war, so waren die erregenden Stromstärken immerhin nur mittlere in Folge der Vertheilung des Stromes auf den Querschnitt des Troges. Dieses ergibt sich auch daraus, dass bei den Versuchen wohl Schliessungstetaus aber keine Oeffnungs-

zuckung beachtet wurde. Um diese herbeizuführen, bedarf es so starker Ströme, dass eine Einwirkung unregelmässiger Strömungen nicht mehr ausgeschlossen werden könnte.

Anwendung des Inductionsstromes.

Beispiel 1.

Strom der primären Spirale = 8 Bunsen.

| a. | | | | | b. | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Unversehrter Muskel. | | | | | Muskelenden abgetötet. | | | | |
| Eintrittswinkel d. Stromes. Grad. | Zuck. d. d. Schliessschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Oeffenschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Schliessschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Oeffenschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Rollenentfern. mm |
| 0 | 2,5 | abst. | 2 | aufst. | — | abst. | — | aufst. | 120 |
| 0 | — | aufst. | 3,5 | abst. | — | aufst. | — | abst. | 120 |
| 45 | — | abst. | — | aufst. | — | abst. | — | aufst. | 120 |
| 45 | — | aufst. | 1 | abst. | — | aufst. | — | abst. | 120 |
| 90 | — | — | — | — | — | — | — | — | 120 |
| 90 | — | * | — | * | — | * | — | * | 120 |
| 90 | — | — | — | — | — | — | — | — | 90 |
| 90 | — | * | — | * | — | * | — | * | 90 |
| 45 | 1 | abst. | 2 | aufst. | — | abst. | — | aufst. | 90 |
| 45 | — | aufst. | 3 | abst. | — | aufst. | — | abst. | 90 |
| 0 | 10 | abst. | 8,5 | aufst. | — | abst. | — | aufst. | 90 |
| 0 | 8 | aufst. | 11 | abst. | — | aufst. | — | abst. | 90 |

* Wechsel der Stromesrichtung.

Beispiel 2.

Strom der primären Spirale = 8 Bunsen.

| a. | | | | | b. | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Unversehrter Muskel. | | | | | Muskelenden abgetötet. | | | | |
| Eintrittswinkel d. Stromes. Grad. | Zuck. d. d. Schliessschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Oeffenschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Schliessschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Oeffenschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Rollenentfern. mm |
| 90 | — | — | — | — | — | — | — | — | 60 |
| 90 | — | * | — | * | — | * | — | * | 60 |
| 45 | — | aufst. | 8 | abst. | — | aufst. | — | abst. | 60 |
| 45 | 5,5 | abst. | — | aufst. | — | abst. | — | aufst. | 60 |
| 0 | 3 | aufst. | 8 | abst. | — | aufst. | — | abst. | 60 |
| 0 | 7 | abst. | 5 | aufst. | — | abst. | — | aufst. | 60 |
| 0 | 5 | aufst. | 9 | abst. | — | aufst. | — | abst. | 0 |
| 0 | 8 | abst. | 5 | aufst. | — | abst. | — | aufst. | 0 |
| 45 | — | aufst. | 4 | abst. | — | aufst. | — | abst. | 0 |
| 45 | 2 | abst. | — | aufst. | — | abst. | — | aufst. | 0 |
| 90 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0 |
| 90 | — | * | — | * | — | * | — | * | 0 |

* Wechsel der Stromesrichtung.

Beispiel 3.

Strom der primären Spirale = 8 Bunsen.

a.

b.

Unversehrter Muskel.

Muskelenden abgetötet.

| Eintrittswinkel d. Stromes. Grad. | Zuck. d. d. Schliessstrom. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Oeffenschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Schliessschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Zuck. d. d. Oeffenschlag. mm | Richtung desselb. i. Muskel. | Rollenentfern mm |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|
| 0 | 3,5 | abst. | 0,5 | aufst. | — | abst. | — | aufst. | a = 110, b = 50 |
| 0 | — | aufst. | 6,5 | abst. | — | aufst. | — | abst. | " |
| 45 | 1 | abst. | 0,5 | aufst. | 0,5 | abst. | — | aufst. | " |
| 45 | — | aufst. | 2,5 | abst. | — | aufst. | 0,5 | abst. | " |
| 90 | 1 | * | 1 | * | 2 | * | 1 | * | " |
| 90 | — | * | 4 | * | 0,5 | * | 3 | * | " |
| 0 | 5 | abst. | 1,5 | aufst. | — | abst. | — | aufst. | a = 50, b = 0 |
| 0 | 1 | aufst. | 6 | abst. | — | aufst. | — | abst. | " |
| 45 | — | abst. | — | aufst. | 1 | abst. | — | aufst. | " |
| 45 | — | aufst. | 2,5 | abst. | — | aufst. | 1 | abst. | " |
| 90 | — | * | — | * | 1,5 | * | 1 | * | " |
| 90 | — | * | — | * | 0,5 | * | 2 | * | " |

* Wechsel der Stromesrichtung.

a) Reizung des unversehrten Muskels.

Lässt man parallele Stromfäden des Inductionsstromes den Muskel longitudinal durchfliessen, so zeigen sich bei einer gewissen Stromstärke sowohl Erregungen durch den Schliessungs- wie auch durch den Oeffnungsschlag. Die Stromesrichtung macht sich wieder durch die zu Gunsten des absteigenden Stromes ausfallende Wirkung bemerkbar. Trifft der Strom den Muskel unter einem Winkel von 45° , so sind die zur Beobachtung kommenden Zuckungen kleiner. Zuerst bleibt nach Verminderung der Stromstärke die Erregung durch den aufwärts steigenden Schliessungsschlag, sodann die durch den aufwärts steigenden Oeffnungsschlag, weiterhin die durch den abwärts steigenden Schliessungsschlag und zuletzt die Erregung durch den abwärts steigenden Oeffnungsschlag aus. Ist der Durchströmungswinkel gleich 90° , so bleibt der Muskel in der Regel ohne jede Erregung.

b) Reizung des an den Enden abgetöteten Muskels.

Nach der Abtötung der Enden zeigt die Reizung des Muskels mittelst paralleler Stromfäden des Inductionsstroms keine erregende Wirkung, mag der Durchströmungswinkel gleich 0° , 45° oder 90° sein.

Nur in einem Falle traten Zuckungen bei dem Durchströmungswinkel von 45° und 90° auf. Wahrscheinlich rührte dies von einer schlechten Lagerung und nicht genügenden Spannung des Muskels her, welche eine Schlingelung der Fasern zur Folge hatte, sodass Längscomponenten des Stromes auf den natürlichen Längsschnitt des Muskels wirkten.

Anwendung des tetanisirenden Inductionsstroms.

Beispiel 1.

Strom der primären Spirale = 8 Bunsen.

a.

Unversehrter Muskel.

| Eintrittswinkel d. Stromes. Grad. | Tetanus. mm | Rollen- entfernung. mm |
|--------------------------------------|----------------|------------------------------|
| 0 | 11 | 0 |
| 45 | 2,5 | 0 |
| 90 | 2 | 0 |

b.

Muskelen abgetötet.

| Eintrittswinkel d. Stromes. Grad. | Tetanus. mm | Rollen- entfernung. mm |
|--------------------------------------|----------------|------------------------------|
| 0 | — | 0 |
| 45 | — | 0 |
| 90 | — | 0 |

Beispiel 2.

Strom der primären Spirale = 8 Bunsen.

a.

Unversehrter Muskel.

| Eintrittswinkel d. Stromes. Grad. | Tetanus. mm | Rollen- entfernung. mm |
|--------------------------------------|----------------|------------------------------|
| 0 | 21 | 50 |
| 45 | 20 | 50 |
| 90 | — | 50 |

b.

Muskelen abgetötet.

| Eintrittswinkel d. Stromes. mm | Tetanus. mm | Rollen- entfernung. mm |
|-----------------------------------|----------------|------------------------------|
| 0 | — | 30 |
| 45 | — | 30 |
| 90 | — | 30 |

Durchströmt der tetanisirende Inductionsstrom den unversehrten Muskel in der Längsrichtung, so stellt sich ein starker Tetanus ein. Ist der Durchströmungswinkel gleich 45° , so ist der auftretende Tetanus schwächer. Bei 90° jedoch riefen die angewendeten Stromstärken meist keine Erregung des Muskels hervor.

Nach Abtötung der Enden antwortet der Muskel bei jedem der verschiedenen

Durchströmungswinkel nicht mehr auf den Reiz des tetanisirenden Stromes, sondern bleibt vollständig in Ruhe, selbst bis zu verhältnissmässig starken Strömen.

Fassen wir kurz das Resultat der vorhergehenden Versuche zusammen, so ergibt sich folgendes.

Die Erregung des Muskels ist am grössten, wenn er in longitudinaler Richtung von dem elektrischen Strome durchflossen wird, und dieser an den unverletzten Sehnenenden oder dem Längsschnitt der Muskelfasern ein- oder austritt. Sind die Muskelenden im Absterben begriffen, so sinkt die Erregbarkeit für den längsdurchfliessenden Strom, denn er tritt zum Theil in den künstlichen Querschnitt des Muskels ein. Der elektrische Strom, welcher allein auf den künstlichen Querschnitt des Muskels wirkt, ruft keine Erregung hervor. Stellen sich nach begonnenem Absterben der Enden doch noch Erregungen bei longitudinaler elektrischer Durchströmung ein, so rühren sie höchstwahrscheinlich immer von einer Einwirkung des Stromes auf den natürlichen Längsschnitt an dem zugespitzten Faserende her. Erst nach vollständiger Abtötung der unregelmässig gestalteten Muskelenden ist eine solche Einwirkung in der Regel ausgeschlossen, und es bleibt bis zu einer gewissen Stromstärke bei der Längsdurchströmung des Muskels jede Erregung aus. Nur starke Ströme erregen auch in diesem Falle trotz des Eintritts in den verletzten Querschnitt den Muskel zu Zuckungen, jedoch muss man annehmen, dass wegen des nicht absolut parallelen Verlaufs der Ströme und Muskelfasern sich kathodische und anodische Stellen im Muskel bilden, und die Erregungen daher von einer Einwirkung des Stromes auf den unversehrten Längsschnitt der Fasern herrühren.

Die Erregung des unversehrten Muskels, wenn er von parallelen elektrischen Stromfäden unter einem Winkel von 45° durchflossen wird, ist geringer als die bei longitudinaler Durchströmung. Nach der vollkommenen Abtötung der Muskelenden erregt der elektrische Strom bei diesem Eintrittswinkel den Muskel nicht mehr. Da in diesem Falle ebenso wie bei dem unversehrten Muskel die Stromfäden in den natürlichen Längsschnitt des Muskels ein- und austreten, so können bei dem unversehrten Muskel die Erregungen nur an den beiden Enden stattfinden, denn nach Abtötung derselben bleibt die Erregung aus.

Während bei einer Durchströmung des unversehrten Muskels unter einem Winkel von 45° die Erregbarkeit nur vermindert erschien, führte eine Durchströmung des Muskels unter einem Winkel von 90° in der Regel gar keine Erregung herbei. Die sehr selten zur Beobachtung gekommenen Zuckungen bei diesem Durchströmungswinkel, fielen sofort aus nach einer vollkommenen Abtötung der Enden. Eine Einwirkung des elektrischen Stromes, welcher gegen den mittleren Theil des Muskels senkrecht fließt, auf die Faserenden, kann daher von entstehenden Längscomponenten hergeleitet werden, da an den Enden keine genau quere Durchströmung herbeigeführt werden kann. Eine genau quere Durchströmung der Muskelfaser, wie sie nach Abtötung der Enden stattfindet, ruft keine Erregung des Muskels hervor. Die Unerregbarkeit des Muskels für quer gerichtete Ströme ist hierdurch nachgewiesen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft Halle](#)

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: [17](#)

Autor(en)/Author(s): Leicher Desiderius

Artikel/Article: [Ueber den Einfluss des Durchströmungswinkels auf die elektrische Reizung der Muskelfaser 109-134](#)