



EIN BEITRAG ZUR

ELEKTRISCHEN REIZUNG

DES

QUERGESTREIFTEN MUSKELS VON SEINEM
NERVEN AUS.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

IN DER

MEDIZIN, CHIRURGIE UND GEBURTSHILFE

UNTER DEM PRÄSIDIUM

VON

Dr. PAUL GRÜTZNER

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE, VORSTAND DES PHYSIOL. INSTITUTS.

DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT IN TÜBINGEN

VORGELEGT

VON

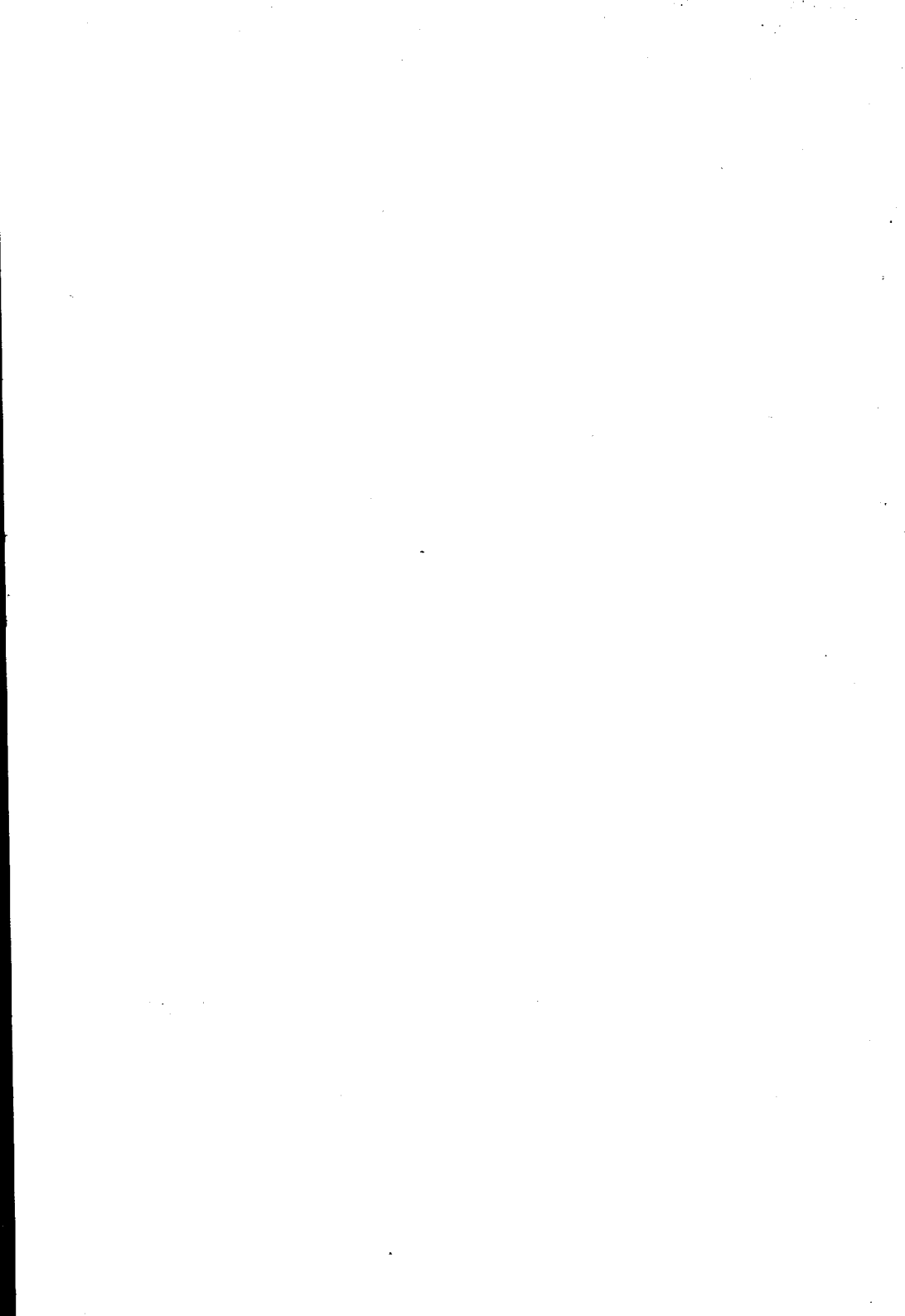
JULIUS SCHOTT
APPROB. ARZT AUS TÜBINGEN



Separat-Abdruck aus dem Archiv für die gesammte Physiologie Bd. XLVIII.

TÜBINGEN 1892.

Umschlagdruck von H. Lämp jr. in Tübingen.



EIN BEITRAG ZUR
ELEKTRISCHEN REIZUNG
DES
**QUERGESTREIFTEN MUSKELS VON SEINEM
NERVEN AUS.**

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
IN DER
MEDIZIN, CHIRURGIE UND GEBURTSHILFE

UNTER DEM PRÄSIDIUM

VON

Dr. PAUL GRÜTZNER

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE. VORSTAND DES PHYSIOL. INSTITUTS.

DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT IN TÜBINGEN

VORGELEGT

VON

JULIUS SCHOTT

APPROB. ARZT AUS TÜBINGEN



Separat-Abdruck aus dem Archiv für die gesammte Physiologie Bd. XLVIII.

TÜBINGEN 1892.



Obwohl seit den bahnbrechenden Arbeiten von Helmholtz¹⁾ zahlreiche Untersuchungen über die Muskelzuckung angestellt worden sind, und obwohl man eine Menge von Bedingungen kennen lernte, welche die Gestalt der Muskelkurven beeinflussen, galt doch als Regel die Annahme, dass ein und derselbe Muskel infolge eines einmaligen Reizes seine Zusammenziehung nahezu in ein und derselben Zeit vollführt; allerdings erwiesen sich Ermüdung, Belastung, Erwärmung als die Contraction des Muskels beeinflussende Momente. Dagegen war bis jetzt noch nicht bekannt, dass ein und derselbe Muskel, bald schnell, bald langsam je nach der Art des angewandten Reizes sich zusammenzieht. Grützner²⁾ macht darüber einige Angaben bei Gelegenheit der Besprechung seiner Versuche betreffs chemischer Reizung des Frosch-Sartorius durch Kalisalpeter. Betupft man nämlich die obere, unmittelbar unter der Haut liegende Fläche dieses Muskels mit einer ein- bis zweiprocentigen Kalisalpeterlösung, die man, um ihre Ausbreitung zu verhindern, mit wenig Thon (Bolus alba) zu einer dünnschmierigen Masse verwandelt hat, so zieht sich der Muskel langsam zusammen; betupft man die untere Fläche in gleicher Weise, so bleibt der Erfolg häufig ganz aus oder ist viel schwächer. Wohl aber zuckt der ganze Muskel blitzartig schnell zusammen, wenn man ihn elektrisch reizt. Die Ursache jenes merkwürdigen Verhaltens liegt einfach darin, dass

1) Arch. f. Anat. u. Physiol. 1850 S. 276 u. 1852 S. 199.

2) Tageblatt der 59. Versamml. deutscher Naturforscher u. s. w. zu Berlin 1886, S. 202. E. Wörtz, Dissertation, Tübingen 1889 und Bonhöffer, Pflügers Archiv Bd. 47. S. 125.

der Sartorius des Frosches im Wesentlichen aus zwei Schichten verschiedener Muskelfasern besteht, indem die obern (die dünnern), sich langsamer zusammenziehen als die untern (die dickern) und nur erstere durch das Kalisalz, beide, namentlich aber die flinken, durch den elektrischen Reiz erregt werden¹⁾.

Ganz ähnliche Beobachtungen kann man übrigens an fast jedem Muskel, auch der Warmblüter, am besten an den dünnen Muskeln (Bauchmuskeln, Zwerchfell) lebender, am besten curarisirter oder eben getödteter Meerschweinchen und Kaninchen machen.

Betupft man sie mit der Salzlösung, so ziehen sie sich ganz langsam (wurm förmig) zusammen; reizt man dieselben Stellen vorher oder nachdem man die Salzlösung abgespült hat, mit einem Induktionsschlag, so erfolgt ihre Zusammenziehung blitzartig schnell. Auch in Folge verschieden starker elektrischer Reize ziehen sich verschiedene Theile ein und desselben Muskels zusammen, wie sich Grützner²⁾ an in physiologischer Kochsalzlösung versenkten Muskeln überzeugen konnte, die sich je nach der Stärke des Reizes bald nach der einen, bald nach der andern Richtung zur Seite bewegten oder sich genau senkrecht in die Höhe hoben.

Es war nun von vornherein wahrscheinlich, dass schnelle Reize wesentlich die schnellen und langsame Reize wesentlich die langsamen Elemente des quergestreiften Muskels in Erregung versetzen würden.

Wusste man doch schon lange, dass die langsam sich zusammenziehenden glatten Muskeln nahezu unempfindlich sind für schnell ablaufende elektrische Reize, z. B. für einfache Oeffnungsinduktionsschläge.

1) Auch anderen Forschern ist schon das verschiedene Verhalten der obern und untern Fläche des Sartorius aufgefallen. Hermann (Pflüger's Archiv Bd. 4. S. 189) äussert sich hierüber folgendermaassen: „An dünnen Muskeln, welche man einzeln hat gefrieren lassen, z. B. Sartorien bemerkt man meist, dass sie sich bei der Erstarrungsverkürzung anfangs sehr stark auf die Fläche krümmen und zwar mit der Concavität nach der anatomischen Vorderfläche, mit welcher Fläche sie auch der kalten Glasplatte aufgelegt haben mögen.“ Eine offenbar sehr interessante Thatsache, welche darauf hinweist, dass diese beiden Muskelarten sich auch gegenüber von Kälteeinwirkungen verschieden verhalten und die langsamen, wie es scheint, intensiver beeinflusst werden, als die schnellen. Weitere Untersuchungen dürften hierüber Aufklärung verschaffen.

2) Pflüger's Archiv Bd. 41. S. 277 u. f.

Und haben doch Fick¹⁾ und Engelmann²⁾ in ihren bekannten Untersuchungen nachgewiesen, dass im allgemeinen langsam verlaufende Reize für träge Muskeln beziehungsweise contractile Apparate, schnell verlaufende dagegen für flinke Organe die geeigneten Reize sind.

Von diesem Gesichtspunkt aus unternahm ich auf Anregung meines hochverehrten Lehrers, Herrn Professor Grützner, hin, dem ich an dieser Stelle für die freundliche Unterstützung und Berathung bei der Arbeit meinen innigsten Dank ausspreche, in dem physiologischen Institut zu Tübingen nachfolgende Untersuchungsreihe, indem ich anstatt der Nerven und Muskeln des flinken Frosches, auf deren physiologisches Verhalten ein vielleicht allzugrosser Theil der gesammten Elektrophysiologie aufgebaut ist, die gleichen Organe der trägen Kröte untersuchte und beide mit einander verglich.

Und um gleich das Ergebniss meiner Untersuchungen hier vorweg mitzutheilen, zeigte sich auch hier bei so nahe verwandten Gebilden, nämlich den schnell und den langsam sich zusammenziehenden quergestreiften Muskeln dasselbe Gesetz, indem die trägen Muskeln mit ihren zugehörigen Nerven wesentlich durch langsam verlaufende, die flinken aber durch schnelle Reize getroffen wurden.

Technische Vorbemerkungen.

Zur Aufzeichnung der Muskelcontractionen benutzte ich bei meinen Versuchen das Grützner'sche Myographion³⁾, wie solches mir in verbesserter Form zur Verfügung stand.

Den frühern Myographien gegenüber zeichnet sich dasselbe dadurch besonders aus, dass durch eine Feder, die unter einem bestimmten Winkel zum Schreibhebel angebracht ist, Schleudernungen vermieden und, was die Hauptsache ist, innerhalb gewisser, jedoch für die höchsten Zuckungen ausreichender Grenzen eine constante Spannung des Muskels ermöglicht wird.

1) Beiträge zur vergleichenden Physiologie der irritablen Substanzen, Braunschweig 1863.

2) Pflüger's Archiv Bd. 3, S. 247. Betreffs der übrigen Litteratur siehe auch Hermann, Handbuch, Bd. 1, 1. S. 67 u. ff.

3) Pflüger's Archiv Bd. 41. S. 281.

Uebrigens sei hier mitgetheilt, dass bei dem Grützner'schen Myographion in der jetzigen Form nicht mehr die Feder durch Drehung einer Rolle (s. Taf. II, Fig. 4 oben genannter Arbeit) mehr oder weniger gespannt wird, sondern, was sich als viel zweckmässiger erwiesen hat, dass an dem rechtwinkligen Stück CDE der horizontale Schenkel CD etwas verlängert und durch E ein horizontales, rundes Loch gebohrt worden, in welchem ein runder Eisenstab horizontal verschoben und mit einer Schraube in jeder Lage fixirt werden kann. An seinem vordern (C zugewandten) Ende trägt er ein Häkchen, in welchem die Feder FR eingehängt wird.

Um des Weiteren eine möglichst genaue Einstellung bei Belastungs- und Ueberlastungsversuchen zu ermöglichen und namentlich vom ersten Beginn der Contraction des Muskels diesen mit der gewünschten Kraft zu spannen, damit er nicht ein wenn auch kleines Stück leer ginge, war ähnlich wie bei dem Myographion von *Helmholtz* eine Schraube mit steilen Gängen angebracht, die aus dem Glaskasten herausragte und den an ihr in üblicher Weise befestigten Muskel um sehr kleine Grössen zu heben oder zu senken gestattete.

In dieser neuen Form hat sich das Grützner'sche Myographion mir als sehr zweckmässig und bequem bewährt.

Im Verlauf der Arbeit zeigte es sich, dass eben diesem Punkte, der genauen Einstellung, besondere Aufmerksamkeit zugewandt werden musste, sollte nicht eine grobe Fehlerquelle daraus entstehen. Auch jener Mangel, welcher den frühern Myographien mit Gewichtsbelastung mehr oder minder anhaftete, die Schleuderung, liess sich durch Verwendung von Federn leicht vermeiden. Diese letztern, aus verschiedenen starkem Stahldraht gewickelte Spiralen oder Gummifäden sind alle gleich lang und empirisch graduirt. Sie entsprechen Gewichten von 7.5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 200, 300 gr, so dass, wenn ich den Muskel beispielsweise mit 30 gr Belastung arbeiten lassen will, ich anstatt eines Gewichtes von 30 gr einfach die entsprechende Feder einzuspannen habe.

Als stromzuführende Vorrichtung dienen die von Grützner angegebenen, schreibfederförmigen unpolarisirebaren Elektroden, welche zu jedem Versuche frisch mit Kochsalz- und Zinksulfat-Thon gefüllt wurden und in ihren zuführenden Leitungen auf das Sorgfältigste mit Paraffinüberzug isolirt waren. Die Zu-

führung, Abstufung und Wendung der elektrischen Ströme erfolgte in bekannter Weise.

Eigene Versuche.

Wirkung des Schliessungs- und Oeffnungs-Induktionsstromes.

Eine bekannte physiologische Thatsache ist der Unterschied des Schliessungs- und Oeffnungsinduktionsstromes in ihrem zeitlichen Verlaufe und ihrer Wirkung auf den Nerv und Muskel¹⁾. Der physiologisch ausserordentlich viel wirksamere Oeffnungsinduktionsstrom steigt bei den gewöhnlichen Apparaten sehr schnell an bis zu seinem Maximum und fällt jäh wieder zum Nullpunkt ab; der andere (der Schliessungsinduktionsstrom) dagegen zeigt einen flachern, langsamern Verlauf.

Ich zog nun diese beiden Ströme zum Versuche heran: den einen als den Repräsentanten der langsamen, den andern als den der schnell verlaufenden Ströme. Zu diesem Zwecke bediente ich mich eines gewöhnlichen Induktionsapparates, dessen primäre Rolle, in welcher ein Kern von weichen Eisendrähten steckte, ziemlich viele Windungen besass und deshalb zur Bildung von Extracurrenten reichlich Gelegenheit gab. Im Telephon erzeugte der Oeffnungsinduktionsstrom einen scharfen Knack, der Schliessungsinduktionsstrom dagegen einen dumpfen, matten Ton, entsprechend der verschiedenen Schnelligkeit, mit welcher die Telephonplatte hin und her bewegt wurde.

Als Stromquelle dienten zwei mittelgrosse Daniellelemente. Die Leitungsdrähte führten von den Polen zu einer Wippe, von da durch einen Quecksilberunterbrecher zu den Klemmschrauben der Primärspule; die secundäre Spule gab ihre Ströme zu den Elektroden ab. Um Ströme vom Myographion abblenden zu können, leistete ein von Grützn er construirter Schlüssel sehr gute Dienste, welcher vor dem bekannten Schlüssel von Du Bois-Reymond, wie mir Herr Prof. Grützn er mittheilt, ausser dem Vorzug der Billigkeit, auch den grösserer Uebersichtlichkeit und vollkommener Sicherheit hat; denn der Schlüssel von Du Bois-Reymond leidet oft durch den Gebrauch derart,

1) Du Bois-Reymond, Ges. Abhandlungen 1875, Bd. I. S. 228.

dass sein Contact infolge mangelhafter Federung des beweglichen dicken Messingbügels ungenügend wird.

Der genannte Schlüssel ist folgendermassen gebaut. Auf einem kleinen runden Grundbrettchen aus hartem Holz oder Ebonit von 9 cm Durchmesser (Fig. 1) sind im Abstand von 5 cm zwei schmale Messingstücke *AB* und *CD* parallel aufgeschraubt.

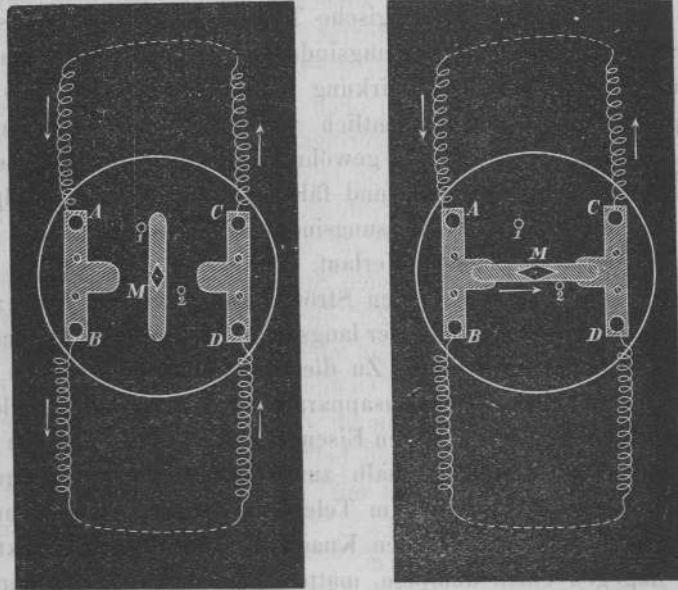


Fig. 1. Schlüssel, offen, $\frac{1}{3}$ Gr. Fig. 2. Schlüssel, geschlossen, $\frac{1}{3}$ Gr.

An ihren Enden bei *A*, *B*, *C* und *D* befindet sich je eine Klemmschraube. Zwischen beiden ist ein um seine Mitte drehbares federndes Messingstück angebracht, welches je nach seiner durch Anschlagstifte (1 u. 2) bestimmten Stellung entweder den Strom von *A* nach *B* in die Elektroden (s. Fig. 1) und von *D* und *C* zurück nach der Stromquelle oder (s. Fig. 2) von *A* durch den federnden Bügel unmittelbar nach *C* und infolge dieses kurzen Schlusses gar nicht in die Elektroden eintreten lässt.

Dieser Schlüssel, der auf seiner untern Fläche kleine Eisen spitzen trägt, welche in den Experimentirtisch eingedrückt werden und ihn so festhalten, erwies sich als sehr praktisch und gab vermöge seines federnden Bügels, der sich bei Querstellung auf die vorspringenden Theile der Messingstücke *AB* und *CD* hinauf.

reiben musste, stets sichern Kontakt. Dass er natürlich bei anderer Einschaltung der Drähte auch zum einfachen Schliessen und Oeffnen eines Stromes benutzt werden kann, darauf sei hier nur flüchtig hingewiesen.

Als Versuchsobjekt benutzte ich den *Musculus gastrocnemius* von *Rana temporaria* und *Bufo vulgaris*. Der Muskel wurde mit dem Nervus ischiadicus sorgfältig herauspräparirt, der Nerv möglichst hoch oben mit einem Faden unterbunden und abgeschnitten; das ganze Nervenmuskelpräparat in 0,6prozentiger Kochsalzlösung abgespült, der Nerv über die Elektroden im Myographion gebrückt¹⁾ und der Muskel in oben beschriebener Weise mit dem Schreibhebel befestigt. Als geringste Spannung diente ein Gummifaden, der einem Gewichte von etwa 7 gr entsprach.

Ich begann mit dem Krötenmuskel und liess ihn Minimalzuckungen, wie v. Kries²⁾ sie nennt, aufschreiben, das heisst, ich suchte diejenigen geringsten Stromstärken auf, die eben noch eine Zuckung auslösten. Zu diesem Behufe musste für den Schliessungsinduktionsstrom ein nicht viel geringerer Rollenabstand gewählt werden, als für den Oeffnungsinduktionsstrom, um in beiden Fällen gleich hohe minimale Zuckungen zu bekommen. Im Mittel von mehreren Versuchen betrug der Rollenabstand 14 beziehungsweise 17 cm, das heisst mit anderen Worten: der Oeffnungsinduktionsschlag ist hier verhältnissmässig wenig wirksam.

Uebrigens zeigen die Minimalzuckungen sonst nichts Bemerkenswerthes und sind, so weit man sehen kann, kaum von einander

1) Von der unmittelbaren Reizung des Muskels, die sich ja durch grössere Einfachheit empfiehlt und auch vielfach benutzt wurde, nahm ich Abstand. Da die elektrische Erregung eines Muskels ja nach der Richtung des Stromes an verschiedenen Stellen und in Folge der unregelmässigen Gestalt fast aller Muskeln auch mit verschiedener Dichte stattfindet, werden oder können wenigstens bei mässigen Reizen stets verschiedene Antheile eines Muskels getroffen werden, bald mehr die langsamen, bald mehr die schnellen, bald die einen hinter den andern, wie dies Grützner (*Recueil, zoolog. suisse* 1884 T. 1, p. 665) und Tigerstedt (*Archiv f. Anat. u. Physiol., Phys. Abthl., Suppl.* 1885, S. 198 u. ff.) gesehen haben. Allen diesen Schwierigkeiten geht man bei mittelbarer Reizung des Muskels von seinen Nerven aus dem Wege.

2) *Archiv f. Anatomie u. Physiolog. (Physiol. Abthlg.)* 1884 S. 337.

verschieden, was v. Kries auch für die Minimalzuckungen des Frostmuskels bei Zeit- und Momentanreizen (s. S. 352 seiner Arbeit) gefunden hat (s. Fig. 3a und 3b).



Fig. 3a. Minimalzuckung eines Krötengastrocnem., erzeugt durch den Schliessungsinduktionsstrom.




Fig. 3b. Minimalzuckung desselben Krötengastrocnem., erzeugt durch den Oeffnungsinduktionsstrom.

Anders gestaltete sich das Resultat bei höhern Zuckungen. Wie mir Herr Prof. Grützner mittheilt, hatte er bereits ungemein verschiedene Zuckungen von dem Wadenmuskel der Kröte erhalten, je nachdem er denselben bei mässiger Spannung von seinem Nerven aus mit dem Schliessungs- oder Oeffnungsschlag des betreffenden Apparates gereizt hatte. Bei Vermeidung jeder Schleuderung erhielt er Kurven wie nachstehende (s. Fig. 4a und b).

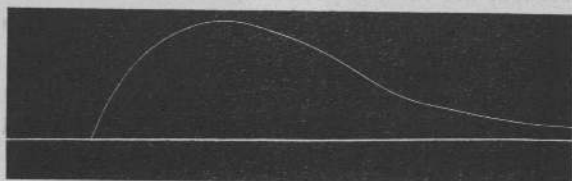


Fig. 4a. Wadenmuskel der Kröte. Schliessungsinduktionszuckung (S J Z).

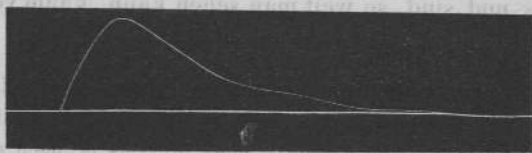


Fig. 4b. Wadenmuskel der Kröte. Oeffnungsinduktionszuckung (O J Z).

Denselben Unterschied, wenn auch nicht in so auffälligem Grade, zeigen die Figuren 5a und b, welche Zuckungskurven des Wadenmuskels der Kröte darstellen. Die Spannung der Feder betrug 15 gr ($F = 15$ gr), die Entfernung der Spulen war in beiden Fällen gleich (Rollenabstand $RA = 11$ cm); die Ströme waren gleichgerichtet, nicht wie in dem Fall von Grützner, in welchem die Zuckungen kurze Zeit hintereinander gezeichnet wurden, entgegengesetzt.

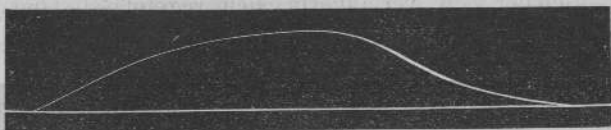


Fig. 5a. Wadenmuskel der Kröte. *SJZ*. $F = 15$ gr, $RA = 11$ cm.

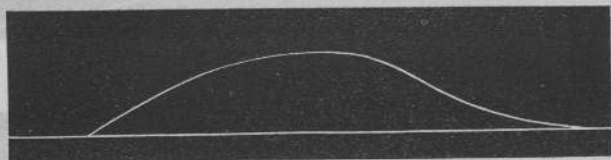


Fig. 5b. Wadenmuskel der Kröte. *ÖJZ*. $F = 15$ gr, $RA = 11$ cm.

Es fällt auf, dass die Zuckungen nahezu gleich hoch sind, aber in ziemlich verschiedener Zeit ihren Höhepunkt erreichen. Die durch den Schliessungsinduktionsstrom erzeugte Zuckungskurve (*SJZ*) besitzt einen erheblich längern Anstieg als die entsprechende Oeffnungszuckungskurve (*ÖJZ*).

Es ist die Dauer des Anstiegs der *SJZ* (Fig. 5a) = 0,13 sec.

„ „ „ „ „ „ „ *ÖJZ* (Fig. 5b) = 0,11 sec.

„ „ „ Höhe „ „ „ *SJZ* (Fig. 5a) = 1,0 cm.

„ „ „ „ „ „ „ *ÖJZ* (Fig. 5b) = 1,1 cm.

Die Vergrösserung ist bei dieser und allen folgenden Kurven eine etwa fünffache.

Als Mittel von verschiedenen derartigen Versuchen, bei denen hauptsächlich darauf gesehen wurde, dass die Zuckungen durch die beiden Ströme möglichst gleich hoch wurden, ergab sich der Unterschied von 0,02 sec im Anstieg. Diese Ergebnisse erhält man im Uebrigen nur bei mässiger Spannung ($F = 15$ gr) und mässiger Reizstärke ($RA = 11$ cm).

Verstärkt man die Spannung auf 40 bis 50 gr, so wird bei gleicher Stromstärke (gleiche Entfernung der Rollen) die Schliessungsinduktionszuckung allmählich grösser als die Oeffnungsinduktionszuckung. Geht man schliesslich bei selbstverständlich frischen und unversehrten Muskeln zu noch grössern Spannungen, etwa zu solchen von 100 gr über, wobei die Reizströme entsprechend verstärkt werden, so ergeben sich Kurven, wie Fig. 6 a und b veranschaulichen. Die durch den Oeffnungsinduktionsstrom erzeugte Kurve wird bei dieser Spannung sehr klein, während die Schliessungszuckung sich noch ziemlich hoch erhält.

Zu gleicher Zeit verlängerte sich regelmässig bei Reizung mit dem Oeffnungsinduktionsstrom die Anstiegsdauer.

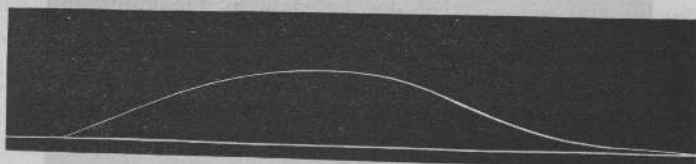


Fig. 6a. Wadenmuskel der Kröte. *SJZ*. $F = 100$ gr.

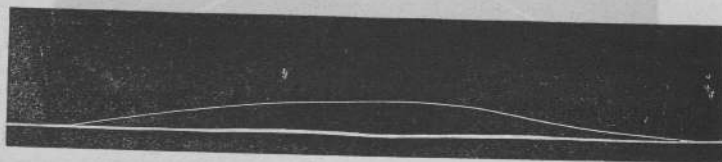


Fig. 6b. Wadenmuskel der Kröte. *ÖJZ*. $F = 100$ gr.

Es ist die Dauer des Anstiegs der	<i>SJZ</i> (Fig. 6 a)	=	0,125 sec.
„ „ „ „ „ „ „	<i>ÖJZ</i> (Fig. 6 b)	=	0,16 sec.
„ „ „ Höhe „ „ „	<i>SJZ</i> (Fig. 6 a)	=	1,0 cm.
„ „ „ „ „ „ „	<i>ÖJZ</i> (Fig. 6 b)	=	0,5 cm.

Ganz anders verhält sich nun, wie allgemein bekannt, das entsprechende Nervenmuskelpräparat des Frosches. Hier ist der Oeffnungsinduktionsstrom unter allen Umständen viel wirksamer als der Schliessungsinduktionsstrom. Dies gilt zunächst für Minimalzuckungen, für welche im Mittel Rollenabstände von 30 beziehungsweise 14 cm nöthig ¹⁾ waren. Dann aber in vielleicht noch höherem Masse für Zuckungen mittlerer Grösse. Da ist der Schliessungsinduktionsstrom noch sehr wenig wirksam, während der Oeffnungsinduktionsstrom schon recht kräftig wirkt. Dass man bei gleichem Rollenabstand und mässiger Spannung des Muskels Kurven erhält, wie Fig. 5 a und b, in denen die Wirkung des Oeffnungs- und Schliessungsinduktionsstroms nahezu gleich, ja sogar die Schliessungszuckung grösser ist, kommt beim Frosch nicht vor.

Der Unterschied wird nach unsern Erfahrungen aber immer grösser mit dem Wachsen der Spannung. Je grösser diese bei dem Krötenmuskel wird, um so besser wirken die langsam ansteigenden, um so weniger die schnell ansteigenden Reize. Beim Frosch da-

1) Bei der Kröte gelten — alles Uebrige gleich gesetzt — die Zahlen 17 und 14.

gegen ist von alledem nicht nur nichts zu bemerken, sondern es gilt geradezu das Entgegengesetzte. Steigert man bei ihm die Spannung (auf 50 bis 100 gr), so wird der langsam ansteigende Schliessungsinduktionsstrom bald ganz unwirksam, der Oeffnungsinduktionsstrom von gleicher Stärke löst aber immer noch eine, wenn auch geringe Zusammenziehung aus.

Ich unterlasse es diese ja für den Froschmuskel allgemein bekannten Thatsachen durch besondere Kurven zu belegen.

Wirkung von Magnetinduktionsströmen verschiedenartigen Anstiegs.

Der Frage, wie verschiedene magnetoelektrische Induktionsströme auf das Nerv-Muskelpräparat wirken, ist Grützner¹⁾ in seiner Arbeit über die Stöhrer'sche Maschine zuerst näher getreten. Veranlasst durch diese Untersuchungen hat er einen Apparat angegeben, mittelst welchem sich Induktionsströme von verschiedenem schnellem Anstieg erzeugen lassen. Das Princip der Maschine ist folgendes:

Die Pole eines hufeisenförmigen Stahlmagneten seien mit je einer Drahtspule umgeben und die Verbindungen der Spulenden so geführt, dass sie einmal hintereinander, das andere Mal neben einander geschaltet werden können. Wird nun in das magnetische Kraftfeld der beiden Pole ein Stück weiches Eisen gebracht, so wird die magnetische Kraft durch dieses gebunden und zwar um so mehr, je näher es gebracht wird und je grösser es — bis zu einem gewissen Grade — ist. Durch die Abschwächung der magnetischen Kraft wird nach der Lenz'schen Regel in den Drahtspulen ein Strom inducirt, welcher den im Stahlmagneten selbst gedachten circulären Strömen gleich gerichtet ist, bei der Entfernung des Eisens — dem Wiederansteigen des Magnetismus zur frühern Höhe — entgegengesetzt ist.

Die Art und Weise nun, in welcher der Magnetismus gebunden wird, ist maassgebend für den Anstieg des inducirten Stromes; je langsamer dies geschieht, um so flacher steigt der Strom an, je schneller, um so steiler erhebt er sich zu seinem Maximum.

1) Pflüger's Archiv Bd. 41. S. 256 u. Tageblatt der Naturforscher-Vers. zu Köln 1889 S. 70.

Grützner versuchte dies zuerst dadurch zu erreichen, dass er aus Scheiben von weichem Eisen, welche sich zwischen den Spulen des Magneten drehten, verschieden geformte Löcher aus-schneiden liess. Indem die peripher durchlöcherten Theile der Scheibe bei den Polen vorüber gingen, wurden je nach der Gestalt derselben verschiedenartige Ströme inducirt. Da jedoch die Herstellung der eisernen Scheiben, die ähnlich denjenigen einer Sirene an ihrer Peripherie viele Löcher von verschiedener Gestalt trugen, auf Schwierigkeiten stiess, verwendete er statt dieser durchlöcherten Scheiben eiserne Zähne von verschiedener Form, die verhältnissmässig leicht nach einem Modell zu feilen sind und auf die Peripherie einer Scheibe von Messing aufgesetzt werden konnten.

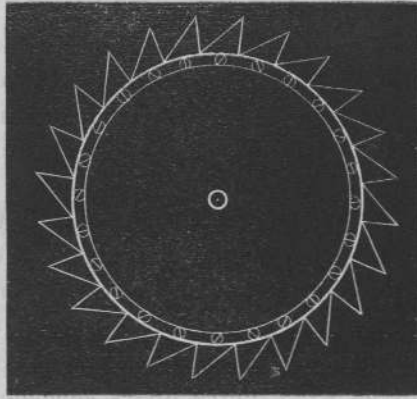


Fig. 7. Scheibe mit asymmetrischen Zähnen besetzt.

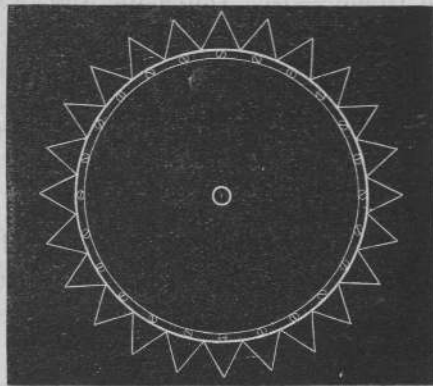


Fig. 8. Scheibe mit symmetrischen Zähnen besetzt.

Fig. 7 und 8 veranschaulichen zwei mit einfachen Zähnen (24 Stück) besetzte Scheiben. Fig. 7 hat asymmetrische Zähne, Fig. 8 symmetrische Zähne.

Jeder Zahn erzeugt bekanntlich zwei einander entgegengesetzte Ströme und zwar sind bei den symmetrischen Zähnen, wenn selbstverständlich die Pole zu ihnen symmetrisch gestaltet sind, diese beiden Ströme von gleichem oder nahezu gleichem Verlauf; bei den asymmetrischen dagegen nicht. Legt man daher die Elektroden des Apparates an einen Froschnerven nahe seinem Querschnitte, wo wesentlich absteigende Ströme wirksam sind, so hat das Umlegen eines in den Reizkreis eingeschalteten Kommutators kaum Einfluss auf die Erregung des Nerven, beziehungsweise seines Muskels. Setzt man dagegen die asymmetrischen Zähne ein, so ist dies von sehr bedeutendem Einfluss; denn hier sind so wie die Seiten der Zähne, auch die durch sie erzeugten Ströme verschieden. Die flach ansteigende Seite des Zahns erzeugt auch einen flach ansteigenden Strom, die jäh abfallende dagegen einen jäh ansteigenden. Dreht man also die Scheibe stets in der gleichen Richtung, so entstehen einmal, auf den Nerven bezogen, absteigende von langsamem Verlauf und aufsteigende von schnellem Verlauf, im andern Falle bei Wendung der Wippe absteigende von jähem Verlauf und aufsteigende von tragem Verlauf. Die letztere Wippenlage würde sich also am Querschnitt des Froschnerven bei Weitem wirksamer erweisen als die umgekehrte, was auch tatsächlich der Fall ist, wie man sich leicht durch Versuche in ganz ähnlicher Weise wie Grützner an der Stöhrer'schen Maschine und Kraft an dem Telephon bez. Mikrophon¹⁾ überzeugen kann.

Grützner nannte ausserdem den Apparat Reizsirene deshalb, weil man durch ihn auf sehr einfache Weise Klänge von verschiedener Stärke, Höhe und Farbe erzeugen kann. Man hat die von den Spulen abgehenden Drähte nur zu einem Telephon zu leiten und hört dann bei langsamer Drehung einzelne Stösse, bei schneller dagegen Klänge, die selbstverständlich mit der Drehungsgeschwindigkeit an Höhe zunehmen. Ihre Stärke kann ebenfalls auf mannigfache Art verändert werden und was die Hauptsache ist, je nach der Gestalt der Zähne auch ihre Klangfarbe. So

1) Siehe Grützner, Pflüger's Archiv Bd. 41 S. 260 und Kraft Bd. 44, S. 352.



gaben die symmetrischen Zähne bei gleicher Drehungsgeschwindigkeit einen ganz andern Klang, als die asymmetrischen, die ersten einen mehr dumpfen u-artigen, die letztern einen schärfern mehr ä-artigen.

Diese elektrische Sirene von Grützner ist von den übrigen elektrischen Sirenen ebenso verschieden wie das Bell'sche Telephon von dem ursprünglichen Telephon von Reis. In diesem wie in den elektrischen Sirenen, z. B. derjenigen von Weber¹⁾, werden die Töne erzeugt durch mehr oder weniger häufige Schliessung und Oeffnung von Strömen. Es kann also durch diese Apparate nur die Tonhöhe und nebenher die Tonstärke, aber nicht die Tonfarbe beeinflusst beziehungsweise übertragen werden. Anders bei dem heutigen Telephon und der Sirene von Grützner. Ersteres gestattet die Uebertragung von Klängen verschiedenster Färbung, letztere ermöglicht deren Erzeugung.

Werden die Pole der Magneten, welche die Spulen tragen, nahezu linear genommen, so ist die Gestalt der Zähne, welche durch sie hindurch zu gehen haben, um bestimmte, ihren Formen entsprechende elektrische Ströme zu erzeugen, verhältnissmässig einfach. Thatsächlich gelingt es, allerdings mehr auf dem Wege des tastenden Versuchs als der Rechnung, je nach der Gestalt der Zähne verschieden vokalisch gefärbte Klänge zu bilden, die Vokale gewissermaassen elektrisch zusammen zu setzen. Weitere hierüber anzustellende Versuche, mit denen sich augenblicklich Herr Prof. Grützner beschäftigt, dürften mancherlei interessante Ergebnisse liefern. Soviel über den Apparat im Allgemeinen. Im besondern ist er nun folgendermassen gebaut:

Ein Stahlmagnet *A* (von einem Siemens'schen Telephon (s. Fig. 9.) ruht auf zwei Säulen *B* und *B'*, vorn an seinen Polen trägt er mittelst eiserner Ansätze die beiden Induktionsspulen *C* und *C'*, welche ihre Drahtenden zu den 4 Polklemmen I—IV abgeben. Die Spulen lassen sich mit ihren Kernen, welche je aus 3 Theilen bestehen, vermittelst der Schrauben *D* und *D'* mehr oder weniger von einander entfernen, sodass der intrapolare Raum zwischen *C* und *C'* vergrössert oder verkleinert und so die Intensität der inducirten Ströme verkleinert beziehungsweise vergrössert werden kann.

1) Annalen der Phys. u. Chemie. N. F. Bd. 24. S. 671.

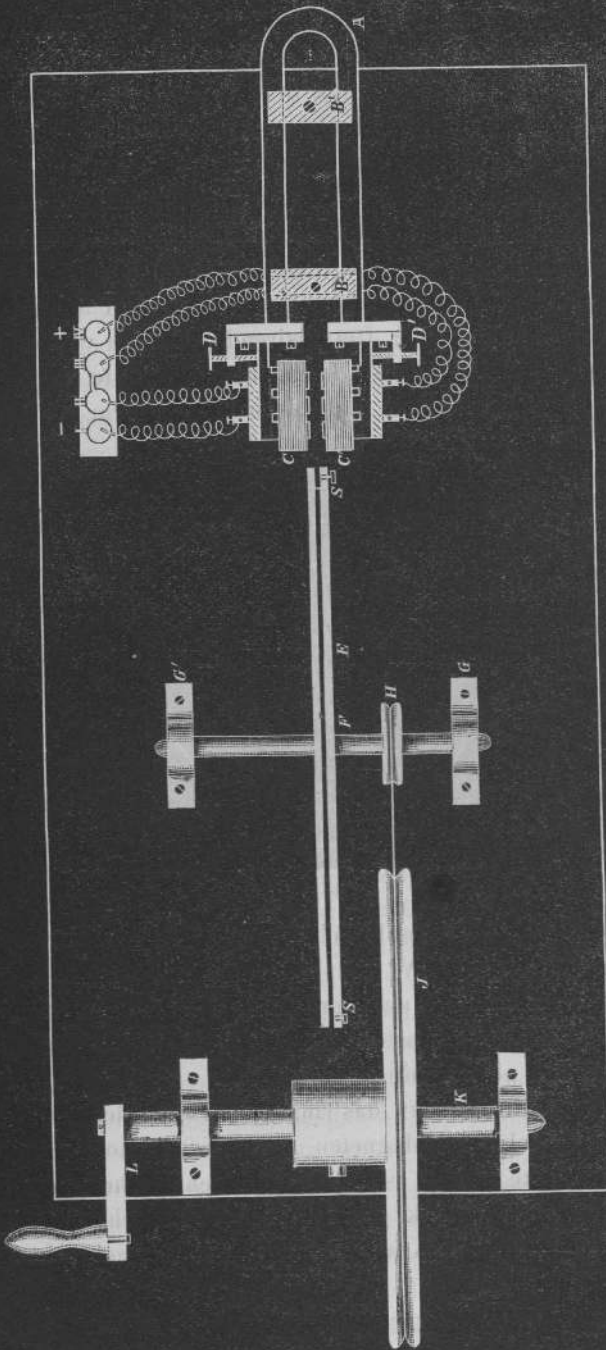


Fig. 9. Reizirene von oben. Etwa $\frac{1}{3}$ nat. Grösse.

E stellt eine ungefähr $\frac{1}{2}$ cm starke Messingscheibe von 22 cm Durchmesser dar, welche mit der in den beiden Lagern *G* und *G'* sich drehenden Axe in fester Verbindung steht. Mitteltst des Triebes *H* lässt sich *E* durch Drehung der Kurbel *L* beziehungsweise der Scheibe *I* mittelst eines Motors in schnelle Bewegung setzen.

Auf der Peripherie der Scheibe *E* nun verläuft rings eine Nute, in welcher sich durch seitlich angebrachte kleine Schrauben *S* Zähne von weichem Eisenblech in beliebiger Form und Grösse aufschrauben lassen, wie die Figuren 7 und 8 zeigen.

Zu meinen Versuchen, bei denen es darauf ankam, einfache, nicht sich wiederholende (tetanisirende) Ströme von sehr steilem, und solche von möglichst langsamem Verlaufe zu bekommen, wählte ich einen Ring von Eisenblech in der Form, wie ihn Fig. 10

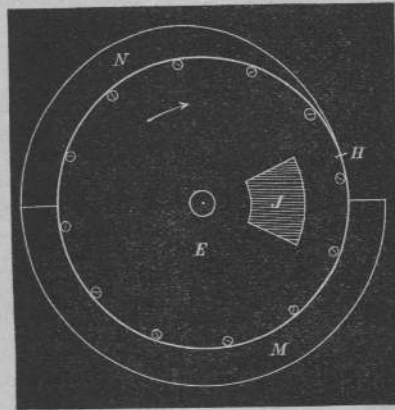


Fig. 10.

veranschaulicht. Derselbe besteht aus den beiden Theilen *M* und *N*, von welchen der eine *N* (bei Drehung der Scheibe nach rechts) von seiner Basis bei *H* auf der Messingscheibe ganz flach bis zu seiner grössten Höhe ansteigt, *M* dagegen in der Richtung des Scheibenradius abgeschnitten ist.

Denken wir uns nun das ringartige Eisenstück *MN* zwischen die linearen Pole des Magneten *A* (Fig. 9) genommen und zwar von dem Punkte *H* aus, so tritt (bei Rechtsdrehung der Scheibe) ein immer höheres Stück des Eisenringes zwischen die Pole des Magneten und dessen Kraft wird immermehr gebunden. Dieser langsamen Abschwächung des Magnetismus entspricht ein in den Spulen verlaufender Magnetoinduktionsstrom; es wird derselbe um

so langsamer ansteigen, je flacher der Eisenring sich erhebt und je langsamer die Scheibe rotirt.

Andrerseits wird der Theil M des Ringes unter denselben Bedingungen (das heisst wenn er sofort mit seiner ganzen Breite zwischen die Pole tritt) mit seiner scharf abschneidenden Kante einen fast momentan ansteigenden Strom induciren.

Ganz ähnliche Ströme, natürlich von entgegengesetzter Richtung, erzeugt die Maschine, wenn die Zähne nicht plötzlich oder allmählich zwischen die Pole eintreten, sondern aus ihnen austreten. Den genauern Verlauf der Ströme anzugeben, das dürfte wegen der hierbei stattfindenden Selbstinduktion und der mehr oder weniger grossen Trägheit der Magnete grosse Schwierigkeiten haben. Für uns genügt die Thatsache des jähen und langsamen Anstiegs der Ströme, die man sich auch durch das Telephon wieder sehr gut hörbar machen kann, indem in dem einen Fall (scharfer Zahn) ein lauter, spitzer Knack, in dem andern (flacher Zahn) ein mattes, schwer bestimmbares Geräusch gehört wurde. Würde jetzt die Scheibe mit den Einsätzen MN (Fig. 10) gedreht, so folgten bei jedesmaligem Umlauf zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung auf einander, ein steiler und ein flacher. Da dies aber für die Versuchsanordnung nicht günstig war, so musste einer von beiden Strömen beseitigt werden. Dies liess sich leicht erreichen dadurch, dass ich ihn mittelst kurzen Schlusses, welchen die Maschine selbst einschaltete, sich ausgleichen liess und so vom Nerven abblendete. Es geschah dies folgendermaassen: An die Messingscheibe E der Fig. 9 beziehungsweise 10 wurden zwei Schleifbürsten neben einander angelegt, so dass sie stets in innigem Contact mit derselben standen, von ihnen führten Drähte zu den Polen der Maschine. Auf der Scheibe wurde ein Sektor J (s. Fig. 10) von isolirender Substanz aufge kittet, welche beim Passiren der Schleifbürsten an dieser Stelle, den kurzen Schluss, der zuvor durch die Scheibe selbst gebildet wurde, aufhob. Dieser isolirende Sektor der Scheibe war verschieden gross und wurde immer so gross gewählt, dass er der Zeit des Verlaufs je eines der beiden genannten Ströme entsprach. Je nachdem nun die Schleifbürsten eingestellt wurden, konnte der flach oder der schnell ansteigende Strom heraus gegriffen werden. Es folgten einander also jetzt nur noch Ströme von gleichartigem Verlauf.

Um von diesen mit jeder Umdrehung der Scheibe sich wie-

derholenden Strömen einzelne dem Nerven zusenden zu können. bediente ich mich zweckmässiger Weise einer Wippe ohne Kreuz, Bezeichnet man die Klemmschrauben derselben von derjenigen Stelle ausgehend, wo die eine Seite des Bügels befestigt ist, der Reihe nach mit 1, 2 bis 6, so waren die Klemmen 2 mit 3 und 5 mit 6 je durch einen kurzen Draht verbunden. Durch die mittlern Klemmschrauben (1 und 4), welche mit dem Bügel in Verbindung standen, führte je ein Leitungsdraht von der Maschine zu den Elektroden. Befand sich nun die Wippe nach der oder jener Seite in Ruhelage, so gab sie kurzen Schluss und blendete die Ströme vom Nerven ab. Nur solange sie von einer Lage in die andere bewegt wurde, war die Nebenschliessung nicht vorhanden. Es liessen sich auf diese Weise bei einiger Uebung leicht eine oder zwei, untereinander vollkommen gleiche Reizungen herausgreifen, bez. Zuckungen erzielen, zumal die Maschine immer nur mässige Geschwindigkeit besass.

Da es sich zeigte, dass der Strom, welchen der verschwindende (flache oder scharfe) Zahn erzeugte, wirksamer war, wurde bei allen folgenden Versuchen diese Drehungsrichtung der Scheibe beibehalten.

Zuerst machte ich nun Versuche am Froschgastrocnemius, den ich in oben beschriebener Weise von seinem Nerven aus reizte. Ich spannte den Muskel im Myographion mit einem Gummifaden, der einem Gewicht von 15 gr entsprach, und reizte ihn mit dem Strom des verschwindenden scharfen Zahns bei mässiger Umdrehungsgeschwindigkeit. Es ergab sich eine Zuckung mit steilem Anstieg und ziemlich grosser Zuckungshöhe. Bei verschwindendem flachem Zahn dagegen beschrieb der Muskel, natürlich unter sonst gleichen Umständen (gleiche Stromrichtung, gleiche Drehungsgeschwindigkeit u. s. w.) eine bedeutend flacher ansteigende und niedrigere Kurve, wie es vollständig im Einklang steht mit den längst bekannten Thatsachen betreffs der Reizung mit dem Induktionsstrom, indem, wie kaum besonders hervorzuheben, der Strom des scharfen Zahns gleich wie der Oeffnungsschlag auf den Froschnerven sich als wirksamer erwies. (S. Fig. 11 a und b.)

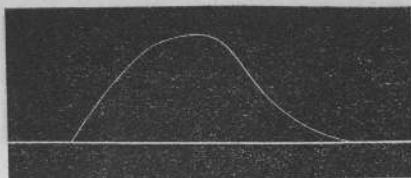


Fig. 11a. Wadenmuskel des Frosches. Scharfer Zahn.

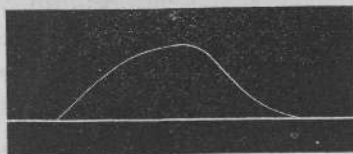


Fig. 11b. Wadenmuskel des Frosches. Flacher Zahn.

Es ist die Dauer des Anstiegs (Fig. 11 a scharfer Z.) = 0,055 sec.
 " " " " " " (Fig. 11 b flacher Z.) = 0,06 sec.
 Es ist die Höhe der Zuckung (Fig. 11 a scharfer Z.) = 1,4 cm.
 " " " " " " (Fig. 11 b flacher Z.) = 1,0 cm.

Bei grösserer Belastung (z. B. $F = 50$ gr) war der Unterschied in der Höhe der Zuckung wohl noch vorhanden, aber nicht mehr so bedeutend. Immer aber blieb, ähnlich wie der schnell ansteigende Oeffnungsinduktionsstrom, der Strom des scharfen Zahns wirksamer als der des flachen.

Ganz anders der Krötenmuskel. Dieser reagirte bei derselben Drehungsgeschwindigkeit wie zuvor und bei einer für ihn im Verhältniss zum Froschmuskel mässigen Spannung — am deutlichsten etwa bei einer Spannung von 50 gr — bedeutend stärker auf den langsamen als auf den schnellen Reiz. Der Unterschied ist viel bedeutender als in den schon beschriebenen Fällen mit Reizung durch Schliessungs- und Oeffnungsinduktionsströme, (vergl. Fig. 12 a und 12 b mit Fig. 5 a und 5 b), weil offenbar der Zeitunterschied in dem Verlauf der beiden magnetoelctrischen Ströme viel grösser ist, als derjenige zwischen den beiden Strömen des gewöhnlichen Induktionsapparates. Möglicherweise ist auch die Intensität des zweiten (bei dem Frosch wirksameren) Stromes vom scharfen Zahn etwas geringer als die des ersten

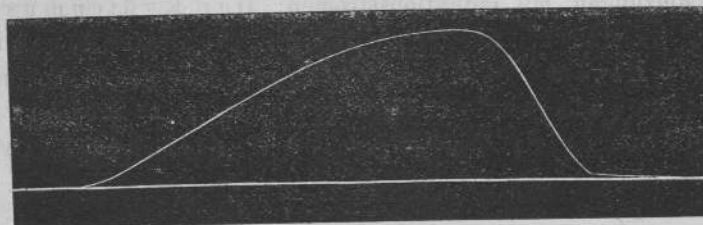


Fig. 12a. Wadenmuskel der Kröte. Flacher Zahn.

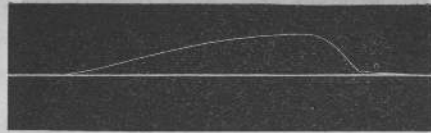


Fig. 12b. Wadenmuskel der Kröte. Scharfer Zahn.

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 12a flacher Z.) = 0,17 sec.

„ „ „ „ „ „ „ „ (Fig. 12b scharfer Z.) = 0,12 sec.

Es ist die Höhe der Kurve (Fig. 12a) = 2,0 cm.

„ „ „ „ „ „ „ „ (Fig. 12b) = 0,6 cm.

Wurde die Umdrehungsgeschwindigkeit so gewählt, dass Ströme von möglichst verschiedenem Anstieg erzeugt wurden, d. h. passierte der scharfe Zahn schnell und der flache langsam, und achtete ich darauf, dass unter den besagten Bedingungen die Zuckungen gleich hoch ausfielen, so war auch der Unterschied im Anstieg beider Kurven noch sehr deutlich. Wie die beiden folgenden Kurven (siehe Fig. 13 a und b) zeigen, welche bei einer Spannung von 15 gr gewonnen sind, dauert der:



Fig. 13a. Wadenmuskel der Kröte. Scharfer Zahn.



Fig. 13b. Wadenmuskel der Kröte. Flacher Zahn.

Anstieg der Kurve (Fig. 13 a scharfer Z.) = 0,105 sec.

„ „ „ „ (Fig. 13 b flacher Z.) = 0,13 sec.

Die Höhe der Kurven 13 a und b = 1 cm.

Bei sehr starker Belastung verschwand allmählich die durch den scharfen Zahn erzeugte Zuckung, während der flache Zahn fortwirkte. Es bestanden also ganz ähnliche Verhältnisse wie bei den Reizungen mit Induktionsströmen: Der Krötenmuskel wird hiernach überhaupt durch langsam ansteigende Ströme besser gereizt, als durch schnell ansteigende und diese Wirkung tritt höchst beachtenswerter Weise um so deutlicher hervor,

je stärker der Muskel gespannt wird, eine Thatsache, auf die wir später noch zurückkommen werden.

Wirkung schnell und langsam ansteigender galvanischer Ströme.

Nachdem nun verschieden steil verlaufende Induktionsströme bei Frosch und Kröte erhebliche Unterschiede in der Art der Zusammenziehung ergeben hatten, war es von Interesse, auch galvanische Ströme von langsam und schnell verlaufendem linearem Anstieg in ihrer Wirkung auf den Frosch- und Krötenmuskel zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke benutzte ich einen sehr sinnreichen und zweckmässigen Apparat, das v. Kries'sche¹⁾ Rheonom, welches mir von dem Erfinder auf einige Zeit in freundlichster Weise zur Verfügung gestellt wurde, wofür ich ihm hier meinen besten Dank ausspreche.

Der Zweck des Apparates besteht darin, einen galvanischen Strom in einem Leitungskreis von Null zu einem gewissen Werte ansteigen zu lassen und dann auf dieser Höhe constant zu erhalten, also Ströme zu erzeugen, wie sie Fig. 14 für gleiche Stromintensitäten veranschaulicht.

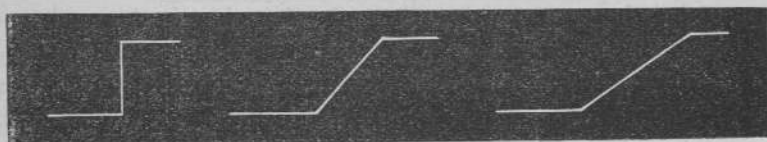


Fig. 14.

Indem ich betreffs der Einzelheiten in dem Bau und der Handhabung des Apparates auf die genannte Arbeit von v. Kries verweise, sei hier nur soviel mitgeteilt, dass ich selbstverständlich dessen Anweisungen folgte und bei der Kürze der mir zugemessenen Zeit mich im Wesentlichen auf zwei Fälle beschränkte.

Da es nämlich für meine Zwecke darauf ankam, einander zwei Ströme von sehr verschiedenem Anstieg gegenüber zu stellen, so wählte ich einerseits den direkten Schluss durch Quecksilbercontact, andererseits einen Stromanstieg von $\frac{1}{10}$ Secunde. Bestimmt wurde diese Zeitdauer derart, dass ich den Abstand der beiden Zink-

1) Archiv für Anatomie und Physiolog. (Physiol. Abthl.) 1884 S. 337 und 1885 S. 79.

plättchen, durch welche der Zinkstift passirte, mit zwei Wachspfröpfen abspernte und diesen Raum mit Quecksilber ausfüllte. Sobald nun der Stift an die Stelle kam, wo er vorher Strom bekam, gab er Contact mit dem Quecksilber. An der Stelle der andern Elektrode aber trat er wieder aus dem Quecksilber heraus. Die Dauer dieses Contactes wurde nun in einfacher Weise auf eine schnell rotirende Trommel verzeichnet und gemessen.

Ich begann meine Versuche mit dem Krötenmuskel und zwar mit Schliessungszuckungen, wie solche einerseits durch momentanes Ansteigen des reizenden Stromes (Momentanreiz *MR*), andererseits durch langsames (Zeitreiz *ZR*) vom Muskel ausgelöst wurden. Es zeigte sich, dass Minimalzuckungen bei Momentan- und Zeitreiz sowohl in Form als Höhe keinen nachweisbaren Unterschied ergaben (siehe Fig. 15 a und b), wie dies auch von v. Kries und ich in Uebereinstimmung mit genanntem Autor an Fröschen beobachtet haben. Erwähnenswerth ist, dass die Stromstärken von Momentan- und Zeitreizen zur Auslösung von Minimalzuckungen bei der Kröte nahezu gleich hoch waren (oder wie v. Kries sich ausdrücken würde, der Reizungsdivisor nahezu = 1 war), während sie bekanntlich beim Frosch (wie auch v. Kries angibt) sehr verschieden sind zu Gunsten des viel wirksameren Momentanreizes. Es war bei letzterem nicht selten für Zeitreiz ein Abstand von 50 cm, für Momentanreiz ein solcher von 6 cm am geraden Compensator erforderlich, d. h. Grössenverhältnisse, welche diejenigen von v. Kries (s. dessen Abhandl. S. 349, Reihe 5 u. 7) noch um ein wenig übertreffen.



Fig. 15a. Minimalzuckung des Wadenmuskels der Kröte durch Momentanreiz (*MR*).



Fig. 15b. Minimalzuckung des Wadenmuskels der Kröte durch Zeitreiz (*ZR*).

Wurde nun der Krötenmuskel stärker gereizt, die Klemme des Compensators auf 45 cm Abstand gebracht, so ergab der Zeitreiz eine ziemlich höhere Zuckung als unter gleichen Bedingungen der Momentanreiz (die Spannung] betrug 15 gr). (Siehe Fig. 16 a und b.)

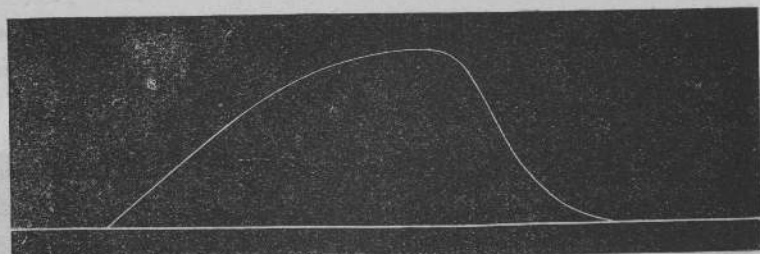


Fig. 16a. Wadenmuskel der Kröte, Momentanreiz *MR*.

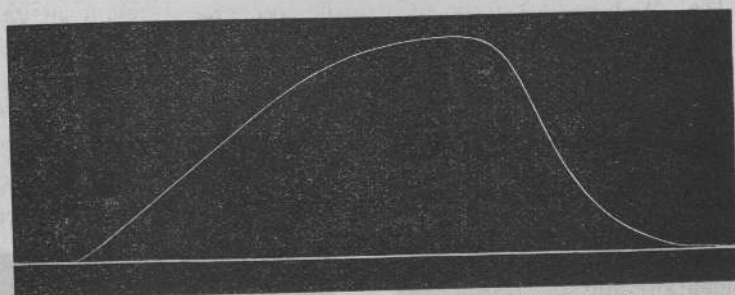


Fig. 16b. Wadenmuskel der Kröte, Zeitreiz *ZR*.

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 16a *MR*) = 0,15 sec.

(Fig. 16 b *ZR*) = 0,185 sec.

Die Höhe der Zuckung (Fig. 16 a) = 2,3 cm.

(Fig. 16 b) = 2,6 cm.

Sollten bei Momentanreiz dieselben Zuckungshöhen erreicht werden, wie bei Zeitreiz, so musste die Stromstärke bedeutend, nahezu auf das Doppelte erhöht werden. Es entsprechen einander dann Abstände der Compensatorklemme von 45 und 95 cm.

So lagen die Verhältnisse beim Krötenmuskel; ganz anders — wie nach dem frühern zu erwarten — gestalteten sie sich bei dem schnellen Froschmuskel. Gerade das Umgekehrte war hier der Fall.

Um mittlere Zuckungshöhen zu erhalten, musste für den Zeitreiz fast die ganze Stromstärke der zwei Daniellelemente angewandt werden, während der Momentanreiz schon bei einem Klemmenabstand von 10 cm dieselbe Kurvenhöhe ergab. Was die Dauer des Anstiegs der Zuckungskurven anbelangt, so konnte diese am besten dann verglichen werden, wenn Momentan- wie Zeitreiz bei geringer Belastung (Federspannung = 15 gr) gleich hohe Zuckungen auslösten. Es zeigte sich bei beiden, Frosch- wie Krötenmuskel ganz unverkennbar eine längere Anstiegsdauer beim

Zeitreiz als beim Momentanreiz (siehe die Fig. 17 a und b und 18 a und b), Verhältnisse, welche ja v. Kries (l. c. S. 360) ebenfalls festgestellt, wenn auch anders als Grützner gedeutet hat.



Fig. 17a. Wadenmuskel der Kröte (ZR).



Fig. 17b. Wadenmuskel der Kröte (MR).

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 17 a ZR) = 0,09sec.
 " " " " " " " " (Fig. 17 b MR) = 0,07sec.
 Es ist die Höhe der Zuckung (Fig. 17 a ZR) = 1,35 cm
 " " " " " " " " (Fig. 17 b MR) = 1,40cm.



Fig. 18a. Wadenmuskel des Frosches (ZR).



Fig. 18b. Wadenmuskel des Frosches (MR).

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 18a ZR) etwa ¹) = 0,08sec.
 " " " " " " " " (Fig. 18b MR) etwa = 0,065 sec.
 Es ist die Höhe der Kurve (Fig. 18 a ZR) = 1,2 cm.
 " " " " " " " " (Fig. 18 b MR) = 1,15 cm.

Beim Frosch wirken also, wenn wir uns die einzelnen Reize in der üblichen graphischen Form schematisiren, zur Auslösung von Minimalzuckungen gleich stark momentan ansteigende Ströme (Anstiegszeit = 0) von sehr geringer Intensität (s. Fig. 19), nämlich der Intensität *AB* und langsamer ansteigende Ströme wie etwa *AC*, *AD*, *AE* von um so bedeutenderen Intensitäten *CF*, *DG*, *EH*, je länger sie zu diesem Anstieg brauchen, nämlich *AC* die Zeit *AF*, *AD* die Zeit *AG* und *AE* die Zeit *AH*.

Bei der Kröte dagegen sind zur Auslösung von Minimalzuckungen einander gleichwerthig momentan ansteigende und langsam (in $\frac{1}{10}$ Sec.) ansteigende von nahezu gleicher Intensität, *AB*, in

1) Die Geschwindigkeit der Trommel war hier etwas vergrößert, wurde aber erst später annähernd bestimmt.

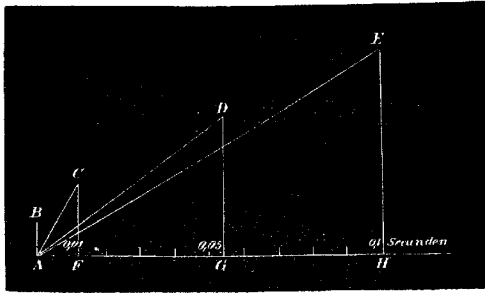


Fig. 19.

Fig. 20 eben so wirksam wie $AB_{,,}$ ($AH = 0,1$ Sec). Zur Auslösung von mittelgrossen Zuckungen erweisen sich die langsameren aber noch viel wirksamer.

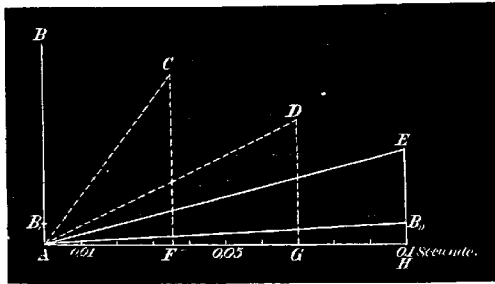


Fig. 20.

Nach meinen Versuchen (oben S. 22) würde der Strom AB von der Intensität AB und der Anstiegsdauer $= 0$ gleichwertig sein dem Strom AE von der Intensität EH (etwa $= 1/2 AB$) und der Zeit $AH = 0,1$ Sekunde. Würde man, wozu ich, wie gesagt, keine Zeit hatte, schneller ansteigende Ströme auf ihre Wirkung untersuchen, so ergäbe sich höchst wahrscheinlich, dass einander gleichwertig sind die Ströme AB, AC, AD, AE von den bezüglichen Anstiegszeiten $0, AF, AG$ und AH , also gerade umgekehrt wie beim Frosch. Hiezu bemerke ich, dass die ausgezogenen Linien $AB, AB_{,,}, AB_{,,}$ und AE durch Versuche festgestellt, die punktirt dagegen als höchst wahrscheinlich anzunehmen sind.

Es ist hier vielleicht der Ort, auf die oben angedeutete Meinungsverschiedenheit und insonderheit auf die Anschauungen von Grätzner, die ich mir hier mit seinen eignen Worten wiederzugeben erlaube, etwas näher einzugehen. v. Kries sagt: Wenn

ein Muskel in Folge von verschiedener Reizung einmal schnell, das andere Mal wenn auch nicht langsam, so doch weniger schnell zuckt, so sind das ganz dieselben Faserelemente, welche diese beiden verschiedenen Wirkungen hervorgebracht haben. Grützner findet dies höchst unwahrscheinlich und bestreitet es. Er behauptet natürlich nicht, wie aus der Darstellung von v. Kries hervorgehen könnte, dass in dem einen Falle bei schneller Zusammenziehung nur die einen und bei etwas langsamerer Zusammenziehung nur andere Muskelelemente zur Thätigkeit kommen. Das ist ganz sicher nicht der Fall und auch nie von Grützner behauptet worden. (Es tritt dies vielleicht nahezu ein bei den chemischen Reizungen curarisirter Muskeln, wie sie oben (S. 1) beschrieben wurden.)

Bestände z. B. ein Muskel aus 100 flinken und 30 langsamen Fasern, so ist es bis jetzt noch Niemandem gelungen, durch Reizung vom Nerven aus nur die 100 schnellen oder nur die 30 langsamen Fasern zu reizen. Wohl aber gelingt es nach der Anschauung von Grützner bei einem passenden Reiz vielleicht 50 schnelle und 5 langsame, bei einem andern ebenso viel schnelle und 20 langsame u. s. f. zu treffen, so dass Curven von verschiedener Anstiegsdauer entstehen. Im Allgemeinen aber dürfte eine bedeutende Mehrheit von Muskelfasern in einem Muskel ihm immer den Charakter seiner Zuckung aufprägen, selbstverständlich nur bei unseren unvollkommenen künstlichen Reizmethoden, nicht etwa bei den normalen physiologischen Reizen im lebenden Organismus.

Was Grützner in seiner Anschauung bestärkt, ist zunächst der Umstand, dass thatsächlich in den meisten hier in Betracht kommenden Muskeln zweierlei Fasern vorhanden sind und je nach ihrer Mehrheit den Charakter der Zuckung bestimmen (S. 1), dass ferner je nach der Art und Stärke des Reizes (S. 2) andere Fasern in ein und demselben Muskel sich zusammenziehen, wie dies in ähnlicher Weise bei ganzen Muskelcomplexen der Fall ist. (Verschiedene Erregbarkeit der Beuger und Strecker, Oeffner und Schliesser u. s. w.)

Für Grützner ist ein Muskel, den man als anatomische Einheit zu betrachten gewohnt ist, durchaus keine physiologische Einheit, sondern er ist eine Mischung von einer grossen Menge von mindestens zwei, vielleicht von noch mehr physiologisch

verschiedenen Elementen, die, wie er sich ausdrückt, eben so wenig alle zu gleicher Zeit und alle gleich schwach in Action gerathen, wie jeder Mann eines ganzen Armeecorps, welches nur eine kleine strategische Aufgabe zu lösen hat, an dem Gefechte in geringem Maasse Theil nimmt. Hier wie dort werden, wenn eine geringe Arbeit zu leisten, nur wenig Elemente zur Thätigkeit herangezogen, die anderen ruhen.

Zu einer ganz ähnlichen Anschauung ist übrigens kürzlich — freilich auf ganz anderem Wege, nämlich durch die Eigenschaften der Dehnungcurve eines Muskels — Dreser¹⁾ geführt worden. Dieselbe lässt sich nämlich am einfachsten deuten, wenn man annimmt, dass ein Muskel aus verschiedenen langen Einzelementen besteht, die bei der Dehnung desselben natürlich in verschiedenem Grade in Anspruch genommen werden.

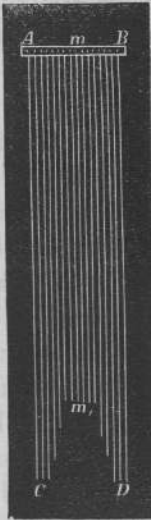


Fig. 21a.



Fig. 21b.

Vorstehende schematische Zeichnung (s. Fig. 21 a) wird die Verhältnisse klar machen. *AB* sei eine feste Holzleiste, an welcher eine Menge verschieden langer, aber sonst gleichartiger Gummifäden befestigt ist. Die mittelsten *mm*, sind die kürzesten, die seitlichen *AC* und *BD* sind die längsten.

Es werden nun an eine zweite Holzleiste wie *AB* die ver-

1) Archiv für experimentelle Pathologie u. Pharmakol. Bd. 27, S. 50.

schiedenen Gummifäden AC , mm u. s. w. in gleicher Weise wie an AB befestigt und diese zweite Leiste C,D , (s. Fig. 21 b) parallel AB in der Entfernung A,C , etwa $= AC$ gehalten, dann ist A, B, C, D , in Fig. 21 b das Modell eines unthätigen Muskels im thierischen Körper. Ein Theil seiner Fasern, hier die mittleren (schraffirt gezeichneten) sind in einer gewissen Spannung, andere in geringerer und noch andere, die seitlichen, sind ganz schlaff. Sie können sogar ein wenig gekrümmt in ganz flachem Bogen verlaufen, wodurch ein derartiges Muskelschema, wenn die Leisten A,B , und C,D , ganz kurz genommen werden, einem bauchigen Muskel (etwa dem biceps brachii) ähnlich wird.

Spannen wir nun das Muskelschema mit immer grösseren Gewichten, so werden zwar die alten Elemente immer stärker, aber auch fortwährend neue und frische Elemente erst von Anfang an gespannt und dadurch in ihrer Erregbarkeit (bei zu gleicher Zeit bestehender Erregung) derart erhöht, dass sie sich ebenfalls zusammenziehen.

So versteht man, warum die Muskeln sich an die ihnen gestellten Aufgaben anpassen, warum bei ihnen ebenso wenig wie sonstwo in der Natur mit Kanonen nach Sperlingen geschossen wird. Man begreift ohne Weiteres, dass gewisse (namentlich langsam arbeitende) Muskeln bei zweckmässiger Versuchsanordnung eine um so grössere Arbeit leisten, je stärker sie gespannt werden, z. B. ein grösseres Gewicht höher heben als ein kleines (Fick¹), Heidenhain²), ferner, dass, wie die bekannten Untersuchungen von Heidenhain²) lehren, mit der Spannung des Muskels die Zersetzungen in ihm, die ihren Ausdruck finden in der gebildeten Wärme und in den chemischen Umsatzprodukten, u n a b h ä n g i g von der Thätigkeit der motorischen Nerven zunehmen müssen, denn die Zahl der arbeitenden Elemente wird eben mit zunehmender Spannung ebenfalls grösser.

Die Muskelmaschine ist also stets so eingestellt, dass bei dem Befehl zur Action gewisse Elemente sofort ihre Arbeit beginnen und wenn keine weiteren Anforderungen an den Muskel gestellt

1) Fick, Irritable Substanzen S. 52 u. ff.

2) Heidenhain, Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung u. s. w. Leipzig 1884, S. 114.

werden, auch allein durchführen. Es sind wohl in der Regel die von Haus aus stärker gespannten (in dem Schema *A, B, C, D*, die mittleren *mm.*), die der Mehrzahl nach höchst wahrscheinlich flinke Fasern sein dürften. Wächst die Spannung des Muskels und besteht — wie man als selbstverständlich annehmen muss — der Reiz fort, so rücken immer neue Truppen ins Gefecht und zwar, wie wir gleich hinzufügen müssen, immer massigere, weniger bewegliche, nämlich die trägeren, seitlichen Elemente (*A, C., B, D.*).

Da nun diese wesentlich von langsameren Reizen getroffen werden, so ist es wiederum leicht verständlich, dass gerade stark gespannte (an und für sich ausreichend träge) Muskeln wesentlich durch langsame Reize kräftig erregt werden (siehe S. 20).

Auch die von Grützner gefundene Thatsache, dass ein Muskel, der an seiner Verkürzung verhindert wird, bei Reizung eine um so bedeutendere und längere Zeit dauernde Spannung erreicht (nach der Ausdrucksweise von Fick eine um so höhere und längere isometrische Curve zeichnet), je stärker (natürlich bis zu gewissen Grenzen) er schon von Haus aus gespannt ist, wird ohne Weiteres verständlich.

Diejenigen Muskelantheile, die sich in hervorragender Weise der Spannung anpassen und deren Thätigkeit mit dieser zunimmt, sind, wie schon erwähnt und übrigens in der Natur der Sache liegt, wesentlich die langsamen Elemente, wie sie sich z. B. in grosser Menge in den Krötenmuskeln vorfinden. Die schnellen Elemente dagegen, die wesentlich den Froeschmuskel zusammensetzen, reagieren sicherlich wenig, manche vielleicht gar nicht auf Spannung. Für die Grösse ihrer Arbeit ist wohl wesentlich die Grösse und Art des Innervationsreizes von Bedeutung, wie ja auch aus den Untersuchungen von Feuerstein¹⁾ hervorgeht. Denn reizt man einen stark oder schwach gespannten schnellen Muskel mit ausreichend kräftigen Reizen, so erreicht er nahezu immer dieselbe bedeutende (nahezu maximale) Spannung. Reizt man aber einen stark oder schwach gespannten langsamen Muskel in gleicher Weise, so erreicht er in Folge des Reizes eine um so bedeutendere Spannung, je stärker er schon von Haus aus gespannt war. —

Dresser macht auch noch ganz mit Recht darauf aufmerk-

1) Pflüger's Archiv Bd. 43. S. 347.

sam, dass ein aus verschiedenen stark gespannten Elementen zusammengesetzter Muskel auch im Ruhezustand eine ungemein zweckmässige und vortheilhafte Zusammensetzung schon um desswillen aufweist, weil er gegenüber kleineren passiven Excursionen einen weit geringeren Widerstand bietet, als wenn alle Fasern gleich lang und gleich gespannt sind. Erst bei stärkeren passiven Längenveränderungen bewirkt der in Action tretende grössere Querschnitt des gedehnten ruhenden Muskels eine prompte Dämpfung der sonst leichter eintretenden schädlichen Zerrung der Gewebe, während eine ebenso starke Dämpfung der kleineren Excursionen deren Leichtigkeit und deren Spielraum unnöthig behindern würde.

Chemische Reizung des Nerven.

Hieran anschliessend möchte ich noch des Versuches Erwähnung thun, die durch chemische Reizung des Nerven erzeugten Muskelzuckungen graphisch aufzuzeichnen und unter einander zu vergleichen. Zu diesem Zwecke war es nöthig, auf einer möglichst langen Bahn sämmtliche Zuckungskurven schreiben zu lassen; ich spannte daher ein etwa 6m langes Stück Papier zwischen der Trommel des Myographions und einer andern um eine parallele Axe drehbaren, ähnlich wie bei den Apparaten von Hering und Hürthle, auf und liess es so mit möglichst grosser Geschwindigkeit am Schreibhebel vorbeigehen.

Das Nervenmuskelpräparat befand sich im Myographion; sein Nerv wurde mit zehnpromcentiger Kochsalzlösung gereizt, indem ich ihn in ein mit dieser Flüssigkeit getränktes Wattebäuschehen einlegte. Als nach einiger Zeit der Muskel zu zucken begann, setzte ich das Werk in Gang.

Die Kurven, welche sich zuerst zeigten, hatten einen langsamen Anstieg; später, nachdem inzwischen eine Ruhepause eingetreten, erschienen schnell ansteigende Zuckungen, bis zuletzt Superposition und Tetanus sich einstellten.

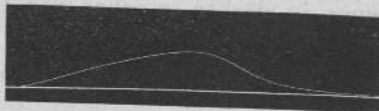


Fig. 22a. Wadenmuskel des Frosches, chemische Reizung, anfangs.

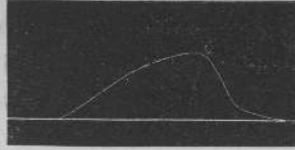


Fig. 22b. Wadenmuskel des Frosches, chemische Reizung, später.

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 22a) = 0,08 sec.

" " " " " " " " (Fig. 22b) = 0,07 sec.

" " " " " " " " Höhe der Zuckung (Fig. 22a) = 0,5 cm.

" " " " " " " " (Fig. 22b) = 0,9 cm.

Diese Erscheinung erklärte ich mir durch die Annahme, dass in Folge dieser besonderen Reizungsart anfangs mehr die langsamen, später die schnellen Fasern zur Aktion kommen. Im Uebrigen habe ich nach dieser Richtung nur einige Versuche aber immer mit demselben Resultat gemacht. Es ist sehr wohl möglich, dass andere chemische Reizmittel oder dieselben in andern Concentrationen durchaus andere Ergebnisse liefern¹⁾.

Fasse ich hiernach die Ergebnisse meiner Untersuchungen kurz zusammen, so zeigt sich, dass das bekannte von Du Bois-Reymond formulirte Gesetz: dass nicht die absolute Dichte eines Stromes, sondern die möglichst schnelle und möglichst bedeutende Veränderung derselben erregend wirkt, nur Geltung hat für diejenigen locomotorischen Apparate, an denen der genannte Forscher experimentirt hat, nämlich für die Muskeln und Nerven des flinken Frosches. Das Gesetz gilt aber schon nicht mehr für die entsprechenden Organe der langsamen Kröte und natürlich noch viel weniger, wie schon früher bekannt, für noch langsamere locomotorische Apparate (glatte Muskeln, Muskeln von Wirbellosen u. s. w.). Indem diese vermöge ihrer Langsamkeit eine grössere physiologische Zeit²⁾ haben, sind sie von Haus aus auch wesentlich für langsam verlaufende und langsam ansteigende Reize eingestellt. Es ist, um mich hier eines von Herrn Professor Grützner herangezogenen Gleichnisses zu bedienen, wie mit der Bewegung grosser träger Massen durch andere bewegte Massen. Schiessen wir z. B. mit einer Flintenkugel gegen eine grosse, sich aber sonst leicht in ihren Angeln drehende schwere Thüre von

1) Vergleiche Grützner, Pflüger's Archiv Bd. 17, S. 270.

2) Siehe Engelmann, l. c. Pflüger's Archiv Bd. 3 S. 300 und ff.

Holz, so durchschlägt die Flintenkugel die Thüre, ohne sie irgendwie in ihren Angeln zu drehen. Lassen wir aber ganz dieselbe Energiemenge, welche in der bewegten Flintenkugel enthalten ist, in der Weise auf die Thüre wirken, dass wir die Masse der Kugel bedeutend vergrössern, ihre Geschwindigkeit aber bedeutend verkleinern, so würde eine derartig bewegte Kugel die Thür mit Leichtigkeit in ihren Angeln drehen. So schädigt auch ein jäh ansteigender Induktionsschlag träge (namentlich glatte) Muskeln viel eher, als er sie zur Contraction bringt, während dieselbe Electricitätsmenge auf längere Zeit vertheilt, ihn vielleicht zu kräftiger Zusammenziehung veranlasst, ohne ihn zu schädigen. Für langsam sich abspielende Vorgänge sind eben naturgemäss langsam verlaufende Reize die adäquaten.



16719

26324