

(Aus dem physiologischen Institut in Jena.)

## Zur Lehre von der elektrischen Erregung quergestreifter Muskeln.

Von

**W. Biedermann.**

Hierzu Tafel VII.

Seit den grundlegenden Untersuchungen von v. Bezold und Engelmann, an welche sich eigene Beobachtungen anreihen, darf die Geltung des Pflüger'schen polaren Erregungsgesetzes auch für den quergestreiften Muskel als über jeden Zweifel sichergestellt betrachtet werden. Die Erregung, welche sich beim Muskel in doppelter Weise äussert, einmal als eine dauernde, im wesentlichen auf den Ort der direkten Reizung beschränkt bleibende Contraction („Schliessungs- und Oeffnungsdauercontraction“) und andererseits als eine von da ausgehende Contractionswelle („Schliessungs- und Oeffnungszuckung“) erfolgt bei Schliessung des Stromes zunächst immer nur an der Kathode, bei Oeffnung des Kreises dagegen stets an der Anode. Dieses Gesetz erfuhr in der Folge eine Ergänzung durch den Nachweis von Hemmungsvorgängen, welche ebenfalls nur an den physiologischen Polen hervortreten und zwar während der Schliessungsdauer an der Anode, nach der Oeffnung an der Kathode<sup>1)</sup>. Auch für die glatten Muskeln schien sich zunächst ein vollkommen gleichartiges Verhalten herauszustellen<sup>2)</sup>; doch wurden in der Folge Thatsachen bekannt, welche zeigten, dass die Folgewirkungen der elektrischen Erregung

1) Biedermann, Wiener akad. Sitzungsber. Bd. XCII, III. Abth., 1885.

2) Engelmann, Pflüger's Arch. Bd. III, pag. 247. — Biedermann, Wiener Sitzungsber. XCI, III. Abth., 1885.

hier wesentlich complicirter sind, als man auf Grund früherer Erfahrungen erwarten durfte. An sehr verschiedenen glattmuskuligen Theilen von Wirbelthieren sowohl, wie auch von Wirbellosen zeigte sich, dass Erregungserscheinungen bei und während der Schliessung nicht nur an der Kathode in der längst bekannten charakteristischen Form einer localen Dauercontraction hervortreten, sondern dass dies auch in der Umgebung der Eintrittsstelle des Stromes, und zwar in einer sehr ausgeprägten Weise der Fall ist<sup>1)</sup>. An der Anode selbst bleibt jedoch die Erregung immer aus oder es macht sich, falls ein „Tonus“ der Muskelemente besteht, eine deutliche „Hemmung“ (als locale Erschlaffung) geltend. Für diese „anodische Schliessungserregung“ schien es am quergestreiften Muskel keinerlei Analogie zu geben. Bei der sonstigen weitgehenden Uebereinstimmung beider Classen contractiler Elemente und bei fernerer Berücksichtigung des Umstandes, dass zahlreiche Uebergangsformen vorkommen, durch welche eine scharfe Grenze auch in physiologischer Beziehung nicht sehr wahrscheinlich gemacht wird, war eine erneute Prüfung mit besonderer Rücksicht auf den erwähnten Punkt unerlässlich.

Es war zu einer derartigen Untersuchung umsomehr Veranlassung, als schon aus der älteren Literatur allerdings nur sehr vereinzelte Angaben vorliegen, welche darauf hindeuten, dass quergestreifte Muskeln, wenn auch nicht immer, so doch unter gewissen Umständen bei elektrischer Reizung ein von dem normalen abweichendes Verhalten erkennen lassen, indem bei Schliessung des Stromes auch auf Seite der Anode Erregung entsteht. Hierher gehören vor Allem Beobachtungen von Aeby aus dem Jahre 1867<sup>2)</sup>, die ihn im Gegensatz zu v. Bezold und Engelmann zu der Annahme einer bipolaren, jedoch ungleich starken Erregung des Muskels durch den Kettenstrom führten. Ausserdem glaubte sich Aeby überzeugt zu haben, dass unter gewissen Bedingungen, insbesondere bei vorgeschrittener Ermüdung der Präparate, das normale Verhalten, wobei die erregende Wirkung der Kathode jene der Anode immer bedeutend überwiegt, sich geradezu umkehrt. Die Versuche Aeby's sind jedoch keineswegs einwandfrei, worauf sowohl Engelmann<sup>3)</sup>, wie auch später

1) Pflüger's Arch. XLVI, pag. 398 ff.

2) Arch. f. Anat. u. Physiol. 1867.

3) Pflüger's Arch. III.

Hering<sup>1)</sup> hingewiesen haben. Es gilt dies insbesondere von einem Versuche, bei welchem die beiden Schenkel eines Frosches, die noch durch das Becken vereint und mittelst desselben aufgehängt waren, durchströmt wurden, indem die beiden als Elektroden dienenden Drähte mit den unteren Enden der beiden Schenkel verbunden wurden. Die Knochen der Oberschenkel waren vorher herausgelöst worden, und es verkürzte sich nun bei der Reizung der absteigend durchströmte Schenkel stärker als der aufsteigend durchflossene, woraus Aeby auf ein Ueberwiegen der Wirkung des negativen Poles schliesst. Es ist dabei einerseits der von Engelmann und Hering betonte Unterschied zwischen physikalischen und physiologischen Elektrodenstellen, andererseits aber auch der Unterschied der Stromdichte am Knie und Beckenende jedes der beiden Schenkel nicht berücksichtigt. Immerhin bleibt aber doch die auch in diesem Falle beobachtete Umkehr der Wirkungen nach längerer Versuchsdauer bemerkenswerth. Aeby zieht daraus den Schluss, dass der ermüdete, absterbende Muskel andere Eigenschaften besitzt als der frische; „ihn regt nicht mehr der negative, sondern der positive Pol zur höheren Thätigkeit an“ (l. c. pag. 694). Engelmann<sup>2)</sup> kam übrigens später auch zu der Anschauung, dass eine solche völlige Umkehr der Erscheinung (d. i. des polaren Erregungsgesetzes) vorkommen könnte.

Aeby stellte auch Versuche an, wobei ein einzelner Muskel (Sartorius, Adductor magnus) in der Mitte durch eine Klemme derart fixirt wurde, dass beide Hälften frei beweglich blieben. Bei wechselnder Richtung der Durchströmung wurde nur die Zuckung der einen (unteren) Hälfte graphisch verzeichnet. „Bei der Schliessungszuckung entwickelte im frischen Muskel der negative Pol ausnahmslos eine viel grössere Energie als der positive“; bei sehr schwachen Strömen zuckte überhaupt nur die kathodische Hälfte. Die Oeffnungszuckung verhielt sich umgekehrt wie die Schliessungszuckung. Engelmann ist geneigt, dies Resultat auf Störungen des Leitungsvermögens an der ge-

---

1) Wiener Sitzungsber. LXXIX, 1879 (Ueber die Methoden zur Untersuchung der polaren Wirkungen des elektrischen Stromes am quergestreiften Muskel).

2) Pflüger's Arch. 1869, pag. 314.

klemmten Stelle zu beziehen, wodurch bewirkt wurde, dass z. B. bei der Schliessung die von der Kathode ausgehende Erregung sich nicht ungeschwächt auf die anodische Hälfte fortpflanzen konnte. Doch scheint auch hier wieder die Behauptung Aeby's beachtenswerth, „dass die negative Zuckung durch Ermüdung weit mehr leidet, als die positive“, und dass bei starker Ermüdung das für den frischen Muskel geltende Verhalten sich umkehren kann.

Ich selbst hatte mehrfach Gelegenheit, die letztere Angabe von Aeby bei meinen graphischen Versuchen an in der Mitte geklemmten Sartorien zu bestätigen, indem sich bei Anwendung starker Ströme und unter dem Einfluss fortschreitender Ermüdung das Verhältniss der Zuckungsgrösse beider Muskelhälften derart umkehrte, dass die Zuckungen der Anodenhälfte, welche anfangs gleich oder kleiner als die der Kathodenhälfte waren, allmählich diese letzteren an Grösse übertrafen. Es kann sogar der Fall eintreten, dass die Kathodenhälfte nur mehr eine schwache Dauercontraction zeigt, während die Anodenhälfte noch deutlich bei jeder neuen Schliessung des Stromes zuckt.

Es dürfen schliesslich auch die viel besprochenen, bisher fast nur von Pathologen untersuchten Veränderungen nicht unerwähnt bleiben, welche im Gefolge peripherer Lähmungen quergestreifter (Warmblüter-) Muskeln in Bezug auf die elektrische Reaction derselben eintreten. Dieselben machen sich theils durch quantitative Veränderungen der Erregbarkeit für inducirte und constante Ströme geltend, theils aber auch durch qualitative Aenderung der polaren Reizerfolge und zwar ganz im Sinne der oben erwähnten Befunde Aeby's an ermüdeten Muskeln. Während unter normalen Verhältnissen bei directer monopolarer Reizung eines Muskels mit einem Kettenstrom der kathodische Reizerfolg (die sogenannte „Kathodenschliessungszuckung“) stets beträchtlich überwiegt, soll sich dies Verhältniss an gelähmten Muskeln in einem gewissen Stadium der Degeneration umkehren („Entartungsreaction“).

Das geringe Interesse, welches diesen letzteren Thatsachen von Seite der Physiologen bisher im allgemeinen entgegengebracht wurde, muss zum Theil wohl darauf zurückgeführt werden, dass die Bedingungen, unter welchen die betreffenden Versuche am Menschen allein angestellt werden können oder an Thieren angestellt worden sind, den strengsten Anforderungen

exacter physiologischer Methodik nicht entsprechen. Auf der anderen Seite standen aber so zahlreiche, durch einwandfreie Versuche an den verschiedensten irritablen Substanzen gewonnene Resultate der Annahme einer Umkehr der Polwirkungen entgegen, dass die Behauptung irgend eines Ausnahmefalles von vorneherein einem gewissen Misstrauen begegnen musste und nur dann auf Anerkennung rechnen konnte, wenn die Bedingungen der Versuche und alle begleitenden Nebenumstände möglichst einfache und übersichtliche waren.

Für mich boten die schon erwähnten Erfahrungen an verschiedenen glattmuskuligen Theilen unmittelbar Veranlassung zu der vorliegenden Untersuchung, welche im wesentlichen nur eine Ergänzung meiner früheren, den gleichen Gegenstand behandelnden Arbeiten darstellt.

Es dürfte sich empfehlen, die Erscheinungen, welche sich während der Dauer der Durchströmung zeigen und jene, welche nur den Moment der Schliessung oder Oeffnung des Stromkreises begleiten, einer gesonderten Besprechung zu unterziehen. Bekanntlich hat zuerst Wundt die dauernde, wiewohl geringe Verkürzung beschrieben, in welcher ein quergestreifter Muskel während der ganzen Zeit der Durchströmung verharrt und deren Localisation an der Kathode später insbesondere von Engelmann nachgewiesen wurde. Mittels eines im Principe mit dem Engelmannschen übereinstimmenden Verfahrens habe ich später selbst unter Anwendung der graphischen Methode eine genauere Analyse der Erscheinungen der Dauererregung nicht nur bei Schliessung, sondern auch nach Oeffnung des Stromes versucht, indem ich vor allem bestrebt war, die Abhängigkeit derselben von Stärke und Dauer des Stromes festzustellen<sup>1)</sup>.

Der curarisirte Muskel (Sartorius vom Frosch) war in dem von Hering<sup>2)</sup> seinerzeit beschriebenen Doppelmyographen mit unpolarisirbaren, beweglichen Elektroden eingespannt und in der Mitte leicht geklemmt, so dass eine mechanische Uebertragung der Bewegung von einer Muskelhälfte auf die andere ausgeschlossen war, während sich die Erregung ungehindert durch die geklemmte Stelle hindurch fortpflanzen konnte. Jede Muskelhälfte stand für

---

1) Wiener Sitzungsber. 1879, Bd. LXXIX, pag. 289 ff.

2) l. c. pag. 258.

sich mittels der zugehörigen, frei beweglichen Elektrode mit einem Schreibhebel in Verbindung, welcher die Gestaltveränderungen der ersteren auf einer beruhten Fläche verzeichnete.

Bei diesen Versuchen zeigte sich in Uebereinstimmung mit Engelmann's früheren Beobachtungen, dass innerhalb gewisser Grenzen der Stromstärke eine während der Schliessungsdauer anhaltende Verkürzung (Schliessungsdauercontraction) nur an der kathodischen Muskelhälfte bemerkbar ist, während die Schliessungszuckung sich über den ganzen Muskel verbreitet. Ueber diese Grenze hinaus erstreckt sich die Dauerwirkung aber auch auf die anodische Hälfte und kann hier unter Umständen denselben oder sogar einen höheren Grad der Entwicklung erreichen, als an der kathodischen Hälfte. Es ist bemerkenswerth, dass dieses Uebergreifen schon bei verhältnissmässig geringer Stromstärke erfolgt<sup>1)</sup> und bei weiterer Steigerung sehr rasch zunimmt, ohne dass die Stärke der Dauercontraction der kathodischen Muskelhälfte eine dementsprechende Zunahme erfährt. Diese erreicht vielmehr bald ihren grössten Werth und nimmt bei weiterem Wachsen der Stromesintensität nicht merklich zu, während die Dauerverkürzung der anodischen Hälfte mehr und mehr anwächst. Ich glaubte seinerzeit aus diesem Verhalten den Schluss ziehen zu dürfen, dass „bei Verstärkung des Stromes die Dauercontraction lediglich dadurch an Mächtigkeit gewinnt, dass, von der Kathode aus gerechnet, eine immer grössere Zahl von Muskelquerschnitten in Contraction geräth, bis endlich bei einer gewissen Stromstärke auch jenseits der Klemme an der Anodenhälfte des Muskels eine deutliche, dauernde Verkürzung nach Ablauf der Schliessungszuckung hervortritt“ (l. c. pag. 299). Zu Gunsten dieser Auffassung schien mir vor Allem auch der Umstand zu sprechen, dass durch einseitige Abtötung des Muskels nicht nur das Zustandekommen der Schliessungs- und Oeffnungszuckung, sondern auch jenes der Schliessungs- und Oeffnungs-Dauercontraction innerhalb gewisser Grenzen der Stromstärke verhindert wird, falls die wirksame Elektrode (Kathode) an dem verletzten Ende liegt.

1) An den Curven 1 und 2, welche auf der meiner oben citirten früheren Arbeit beigegebenen Tafel abgebildet sind, macht sich die erwähnte Erscheinung schon bei 4 Daniell und einem Rheochord-Widerstand von 150, sowie bei 7 Dan. und R.W. 20 deutlich geltend.

Die Intensität der Ströme, deren ich mich bei den letzterwähnten Versuchen bediente, war jedoch fast durchwegs eine so geringe (2 Daniell mit eingeschaltetem Rheochord), dass sie wohl stets unter der Grenze blieb, wo (bei graphischer Verzeichnung der Gestaltveränderungen des unverletzten Muskels) ein Uebergreifen der Dauercontraction von der Kathoden- auf die Anodenhälfte deutlich hervorzutreten pflegt. Es schien daher, besonders auch mit Rücksicht auf die oben erwähnten Angaben Aebys's, wünschenswerth, einerseits die graphischen Versuche am geklemmten Muskel mittels des Hering'schen Doppelmyographen unter Anwendung stärkerer Ströme zu wiederholen; andererseits aber gaben mir die Versuche an glatten Muskeln die Ueberzeugung von dem grossen Vortheil, ja der unbedingten Nothwendigkeit der directen Beobachtung des elektrisch gereizten Muskels.

Ich werde daher im Folgenden zwei Versuchsreihen zu erörtern haben, von denen die eine die Erscheinungen der elektrischen Dauererregung bei direkter Beobachtung mit der Lupe, die andere dagegen die graphische Darstellung der betreffenden Gestaltveränderungen des Muskels zum Gegenstande hat.

## I.

Um die mitzutheilenden Thatsachen mit den an glattmuskeligen Organen gewonnenen Versuchsergebnissen direct vergleichbar zu machen, habe ich mich nicht auf die Untersuchung bei reiner Längsdurchströmung des Sartorius beschränkt, sondern auch jene Fälle berücksichtigt, wo der Reizstrom nur an der einen Seite durch den anhängenden Knochen und die Sehne ein- oder austrat, während die andere Elektrode beliebige Punkte in der Continuität des Muskels mit möglichst feiner Spitze berührte. Es wurde ferner auch die „monopolare“ Reizmethode benützt, welche ja von den Elektrotherapeuten fast ausschliesslich angewendet wird und bei gehöriger Vorsicht ebenfalls brauchbare Resultate liefert.

Wird ein mit möglichster Sorgfalt präparirter, gänzlich unversehrter Sartorius eines stark mit Curare vergifteten Frosches<sup>1)</sup> der Länge nach durchströmt, indem bei mässiger Spannung des

---

1) Alle im Folgenden beschriebenen Versuche sind an Muskeln von *R. temporaria* während der Winter- und Frühlingsmonate angestellt.

Muskels unpolarisierbare Elektroden beiderseits an die Knochenstümpfe angelegt werden, so macht sich das Auftreten der Schliessungsdauercontraction schon bei Anwendung ganz schwacher, nur eben wirksamer Ströme bemerkbar, falls man das kathodische Muskelende mit der Lupe betrachtet. Stets betrifft sie nur die äussersten Faserenden, unmittelbar vor dem Uebergang in die Sehne. Selbst noch bei ziemlich starker Spannung des Muskels sieht man daselbst eine schmale, wulstige Verdickung entstehen, welche während der ganzen Dauer einer auch länger anhaltenden Durchströmung unverändert bestehen bleibt. Bei Verstärkung des Reizstromes nimmt auch die Erscheinung der Schliessungsdauercontraction an Stärke und Ausdehnung erheblich zu, ohne jedoch selbst bei hoher Stromesintensität (6–10 Dan.) den Charakter der localen Beschränktheit zu verlieren. Es kommt niemals vor, dass von der Kathode aus sämtliche Querschnitte des Muskels bis zur Mitte desselben während der Durchströmung im Zustande dauernder Verkürzung verharren.

Man muss sich bei Beurtheilung der räumlichen Ausdehnung irgend einer Contractionserscheinung am Muskel bei directer Betrachtung sehr hüten, die wirkliche Verkürzung mit der nur passiv bewirkten Verziehung der angrenzenden Theile zu verwechseln und es gilt dies in um so höherem Maasse, je stärker die örtliche Contraction ist.

Ein sehr einfaches und zweckmässiges Hilfsmittel der Beobachtung, das mir bei vielen der im Folgenden noch zu beschreibenden Versuche vorzügliche Dienste leistete, besteht darin, an der Oberfläche des Muskels feste Merkzeichen anzubringen, deren gegenseitige Lageänderung bei der Verkürzung die räumliche Ausdehnung derselben zu beurtheilen gestattet. Ist die dem Beobachter zugekehrte Muskelfläche trocken und daher auch nicht spiegelnd, so kann man im auffallenden Lichte wirklich contractirte und gedehnte Faserstrecken oft schon dadurch mit Sicherheit unterscheiden, dass die ersteren fein quengerunzelt erscheinen, während die letzteren glatt bleiben. In viel vollkommener Weise gelingt jedoch diese Unterscheidung, wenn man den zu untersuchenden Muskel seiner ganzen Länge nach senkrecht zur Faserichtung mit Tusche oder Sepia quer bändert, so dass der Abstand zwischen je zwei mit einer feinen Borste auf der trockenen

Aussenfläche des Sartorius gezogenen Querlinien etwa  $\frac{1}{2}$  mm beträgt.

Jede auch noch so beschränkte Contraction verräth sich dann sofort durch eine mehr oder minder erhebliche Verschmälerung eines oder mehrerer Querbänder beziehungsweise der sie trennenden ungefärbten Zwischenräume. Innerhalb der nur passiv beteiligten Muskelstrecken erscheinen dagegen die farbigen Querbänder zwar mannigfach verzogen, ohne jedoch schmaler zu werden. An besonders stark gedehnten Stellen verbreitern sie sich sogar oft sehr erheblich, wie unten noch gezeigt werden soll.

Mit Hilfe dieser Methode lässt sich nun die erwähnte Thatsache, dass die kathodische Schliessungsdauercontraction sich selbst bei Anwendung starker Ströme nur über eine verhältnissmässig sehr kurze Strecke des Muskels verbreitet, stets mit Leichtigkeit nachweisen.

Wie bekannt, ist die kathodische Schliessungsdauercontraction eine sehr viel beständigere Erscheinung, als die vom gleichen Orte aus sich fortpflanzende Schliessungszuckung. Wenn man einen Muskel durch oft wiederholte Schliessung bei unveränderter Stromesrichtung einseitig ermüdet, so bleibt die Zuckung in der Regel sehr bald aus, während die Dauercontraction an der Kathode in kaum verminderter Stärke bei jeder neuen Schliessung hervortritt. Bisweilen ist jedoch unter diesen Umständen, besonders bei Anwendung stärkerer Ströme, der zeitliche Verlauf der Erscheinung verändert, indem die Wulstung der kathodischen Faserenden nicht, wie an ganz frischen Präparaten, fast unmittelbar nach Schliessung des Stromkreises vollständig entwickelt erscheint, sondern mehr allmählich unter den Augen des Beobachters entsteht. Nicht selten dauert es dann mehrere Sekunden, ehe die örtliche Contraction den höchsten Grad erreicht hat. Ist dies aber einmal der Fall, so bleibt der Wulst in unverminderter Stärke bestehen, selbst wenn der Stromkreis minutenlang geschlossen gehalten wird.

Bekanntlich wird durch einseitige Verletzung eines längsdurchströmten parallelfaserigen Muskels nicht nur das Zustandekommen der Schliessungs- und Oeffnungszuckung verhindert, wenn der wirksame Pol an der verletzten Seite liegt, sondern es bleibt auch die Schliessungs- und Oeffnungsdauercontraction unter diesen Umständen und zwar selbst bei Anwendung starker Ströme

aus. Auch diese Thatsache lässt sich bei directer Beobachtung des Muskels leicht und mit Sicherheit feststellen. Am zweckmässigsten erweist es sich, den Muskel durch locale Einwirkung starker Kälte am einen Ende zum Gefrieren zu bringen. Nach dem Wiederaufthauen zeigt die abgetödtete Strecke fast völlig normales Aussehen und man hat nun Gelegenheit, das Fehlen jeder Spurdauernder Verkürzung an der Demarkationsgrenze nachzuweisen, wenn der Strom hier austritt.

Die Erscheinungen der Dauererregung an der Kathode treten noch schöner hervor, wenn der Strom nicht durch die natürlichen Faserenden, sondern an einem beliebigen Punkte in der Continuität des Muskels austritt. Die Berührung der Elektrodenspitze mit der Muskeoberfläche soll dabei eine möglichst begrenzte sein. Man verwendet daher entweder einen sehr fein zugespitzten Pinsel oder verlängert denselben noch durch ein dünnes Fadenstück. In beiden Fällen hat man ferner sehr darauf zu achten, dass nicht etwa Flüssigkeit von der Elektrode auf die Oberfläche des Muskels gelangt, wodurch natürlich der angestrebte Zweck einer möglichst scharfen Begrenzung der Austrittsstellen des Stromes vereitelt würde. Es sollen daher Pinsel oder Faden sowie auch die Oberfläche des zu reizenden Muskels nur eben feucht sein. Bei allen derartigen Versuchen empfiehlt es sich den Sartorius horizontal, mit der äusseren Fläche dem Beschauer zugewendet, auszuspannen und bei Lupenvergrößerung im durchfallenden Lichte zu beobachten. Hat man den Muskel in der oben beschriebenen Weise mit Tusche gebändert und berührt die Spitze der Kathode gerade irgend einen Querstreifen, während der Eintritt des Stromes durch die natürlichen Faserenden der einen oder anderen Seite erfolgt, so lässt sich bei gehöriger Abstufung der Stromstärke eine ausserordentlich scharfe Begrenzung der Schliessungsdauercontraction erzielen. Da dieselbe hier in der Continuität des Muskels entsteht, so erleiden natürlich die benachbarten Theile eine entsprechende und zwar um so stärkere Dehnung, je näher sie dem Orte der Erregung gelegen sind. Dies tritt an einem mit Tusche gebänderten Muskel jederzeit überaus deutlich hervor. Während bei schwacher Reizung nur der direct mit der Elektrode berührte Querstreif sich verschmälert, bei Anwendung stärkerer Ströme aber auch die nächst benachbarten Segmente an der Contraction theilnehmen, erscheinen die entfernteren Partien des Muskels mehr oder weniger gedehnt

und die entsprechenden Querstreifen nach dem kathodischen Wulste hin convex gekrümmt. Dabei ist bemerkenswerth, dass die Schliessungsdauercontraction nach der intrapolaren wie nach der extrapolaren Strecke ganz gleichmässig entwickelt ist, soweit dies nach der Zahl der zu beiden Seiten der Berührungsstelle an der Contraction, beziehungsweise Dehnung beteiligten Querbänder beurtheilt werden kann. Dadurch grenzt sich auch der gebildete Wulst immer scharf von der nicht erregten Umgebung ab und tritt daher noch viel deutlicher als solcher hervor, wie bei reiner Längsdurchströmung. Im Uebrigen gilt aber Alles, was für diesen letzteren Fall schon bemerkt wurde, auch dann, wenn der Strom irgendwo in der Continuität des Muskels austritt. Dies liess von vorneherein erwarten, dass auch bei „monopolarer“ Reizung die Erscheinungen der kathodischen Dauererregung sich im wesentlichen in gleicher Weise äussern würden.

Enthäutet man bei einem stark mit Curare vergifteten Frosch die ventrale Fläche eines Oberschenkels und legt die eine (indifferente) Elektrode an die Kehlhaut, während die andere, möglichst fein zugespitzte Pinselelektrode, frei in der Hand gehalten wird, so treten bei jeder Berührung der sorgfältig mit Fliesspapier getrockneten Muskeloberfläche sehr charakteristische Reizerfolge hervor, welche durchaus verschieden sind, je nachdem die Berührung mit der Kathode oder Anode erfolgte. Im Anschluss an die zuletzt besprochenen Thatsachen sollen zunächst nur die ersteren hier erwähnt werden und ich könnte mich füglich darauf beschränken, die vollkommene Uebereinstimmung der Erscheinungen der kathodischen Schliessungserregung im vorliegenden Falle und bei Längsdurchströmung des *M. sartorius* zu betonen. Ich möchte aber doch im Hinblick auf später zu erwähnende Thatsachen nicht unterlassen noch besonders darauf hinzuweisen, dass es sich hier um Befunde an ganz normalen, unter den günstigsten Ernährungsbedingungen stehenden Muskeln handelt. Man bedient sich zweckmässig sehr schwacher Ströme, um die Schliessungszuckung möglichst zu beschränken, durch welche unter den gegebenen Bedingungen starke und sehr störende Verschiebungen zwischen der berührenden Elektrodenspitze und der Muskeloberfläche bewirkt werden. Zudem treten alle wesentlichen Veränderungen schon bei ganz schwachen Strömen mit vollster Deutlichkeit hervor. Ich bin daher in der Regel kaum über ein Daniell'sches Element

hinausgegangen und schaltete in der Mehrzahl der Fälle noch sehr geringe Rheochordwiderstände ein (20—30 cm). Im Momente der Berührung mit der Pinselspitze sieht man die unmittelbar unter derselben verlaufenden Faserbündel zusammensucken, wodurch sich für einen kurzen Augenblick eine schmale Längsfurche an der ebenen glatten Muskeloberfläche bildet, während sich an der Berührungsstelle selbst ein kleiner aber scharf begrenzter Querwulst erhebt, der nun, vorausgesetzt, dass die Berührung eine stetige ist, während der ganzen Schliessungsdauer unverändert bleibt.

Dass es sich hier um die kathodische Schliessungsdauercontraction handelt, kann wohl nicht bezweifelt werden. Verstärkt man die Intensität des Reizstromes, so nimmt natürlich sowohl die Zuckung wie die Dauercontraction an Stärke zu, ohne dass jedoch die letztere auch bei dieser Reizmethode den Charakter der localen Beschränktheit verlieren würde.

Ueberblickt man die Gesammtheit der Erscheinungen, wie sie sich am quergestreiften Muskel bei und während der Schliessung eines Kettenstromes an der Kathode darbieten, so ist die fast vollkommene Uebereinstimmung wohl nicht zu verkennen, welche, soweit es sich um die Folgen der Dauererregung handelt, zwischen quergestreiften und glatten Muskeln besteht. Dass eine ebensolche Uebereinstimmung auch in Bezug auf die an der Anode hervortretenden Veränderungen besteht, werde ich im Folgenden zu zeigen versuchen.

Es soll auch hier an den einfachsten Fall der Längsdurchströmung des ganzen Muskels angeknüpft werden. Wählt man zur Beobachtung das schmale Knieende des Sartorius, so lässt sich an demselben auch bei starker Vergrößerung keine sichtbare Gestaltveränderung wahrnehmen, wenn der mässig gespannte Muskel nach Abtödtung des Beckenendes (durch Gefrieren oder Hitze) von einem sehr schwachen Strome in aufsteigender Richtung durchflossen wird. Es ist dies bemerkenswerther Weise auch dann in kaum merklichem Grade der Fall, wenn die Stromstärke soweit gesteigert wird, dass bei absteigender Richtung bereits eine deutliche Schliessungsdauercontraction entsteht. Um sich daher über die hier in Betracht kommenden Erscheinungen vorläufig zu orientiren, ist es gerathen, von vorneherein stärkere Ströme in Anwendung zu ziehen. 4—6 Daniell'sche Elemente ohne Rheochord reichen unter allen Umständen

aus. Durch Querverbänderung der betreffenden Muskelhälfte mit Tusche oder Sepia wird auch hier wieder die Beobachtung ganz wesentlich erleichtert. Ausnahmslos tritt nun unter den erwähnten Umständen eine während der ganzen Dauer der Schliessung in gleicher Stärke anhaltende Contraction innerhalb der anodischen Muskelhälfte hervor, die sich über ein ziemlich grosses Gebiet erstreckt, niemals aber zu einer Wulstung der äussersten Faserenden führt, welche letztere vielmehr deutlich gedehnt worden.

Hat man den Muskel vorher gebändert, so lässt sich das Freibleiben des anodischen äussersten Endes von der Dauercontraction sehr deutlich wahrnehmen, indem die 2 oder 3 äussersten Querbänder sowie ihre ungefärbten Zwischenräume sich nicht merklich verschmälern oder zusammenrücken (was bei absteigender Schliessung so charakteristisch ist), wogegen die weiter nach der Mitte hin folgenden unter Verschmälerung zusammenrücken und sich nach der Anode hin convex krümmen. Dabei verdickt sich die betreffende Muskelstrecke und giebt so zur Entstehung eines Contractionswulstes Anlass, der eigentlich in der Continuität des Muskels, aber sehr nahe dem anodischen Ende liegt. Derselbe erstreckt sich zwar über einen grösseren Abschnitt des Muskels als die kathodische Schliessungsdauercontraction unter gleichen Umständen, ist aber andererseits niemals so scharf begrenzt wie diese und verliert sich nach der Mitte hin mehr allmählich. Am stärksten ist die Zusammenziehung stets in der Nähe der anodischen Faserenden und nimmt von da aus rasch an Intensität ab.

Man muss sich auch hier wieder hüten, die wirkliche Contraction mit der nur passiven Verziehung der Theile des Muskels zu verwechseln, umsomehr als die letztere gerade in diesem Falle viel bedeutender ist, als bei der kathodischen Reizung, wo die Dauercontraction mehr begrenzt bleibt.

Eine sehr nahe Beziehung scheint zwischen der anodischen Schliessungsdauercontraction und dem „galvanischen Wogen“ zu bestehen, welches ja nach Hermanns Untersuchungen<sup>1)</sup> zweifel-

---

1) Pflüger's Arch. Bd. 39, pag. 547—623. — Pflüger's Archiv Bd. 45, pag. 593.

los als eine Erregungserscheinung aufzufassen ist, wenngleich über die Art der Entstehung noch keine genügende Klarheit herrscht. Ob es sich nur um ein durch das Wirksamwerden secundärer Elektrodenstellen bedingtes Phänomen handelt oder ob noch andere Momente mit in's Spiel kommen, muss vorläufig noch unentschieden bleiben und dasselbe wird man wohl auch in Bezug auf die Ursache der anodischen Schliessungsdauercontraction in manchen Fällen gelten lassen müssen.

Bedient man sich zur Reizung eines Stromes von solcher Intensität, dass das Wogen eben deutlich hervortritt, so erscheint dasselbe stets in derjenigen Muskelstrecke am deutlichsten und stärksten entwickelt, welche während der Schliessung in dauernder Contraction verharret. Es kommt dann sehr häufig vor, dass sowohl die äussersten Faserenden auf Seite der Anode wie auch die ganze kathodische Muskelhälfte keine Spur des Wogens erkennen lassen, während der grösste Theil der anodischen Hälfte in lebhaftestem Wogen begriffen erscheint. Unter allen Umständen aber beginnt dasselbe in nächster Nähe des anodischen Muskelendes und verbreitet sich von hier aus erst bei sehr viel stärkeren Strömen über den ganzen Muskel.

Was nun die zeitlichen Verhältnisse der anodischen Schliessungsdauercontraction anlangt, so stimmen dieselben im wesentlichen mit jenen der kathodischen überein. Wenn diese in einzelnen Fällen, besonders nach oft wiederholter Reizung desselben Präparates nach der Schliessung erst allmählich sich zu voller Stärke entwickelt, dann aber lange unverändert bestehen bleibt, um erst bei Oeffnung des Stromkreises rasch zu schwinden, so gilt das Gleiche nur in viel stärkerem Maasse auch bezüglich der anodischen Schliessungsdauercontraction.

Wendet man hinreichend starke Ströme an, so entsteht insbesondere nach längerer Schliessungsdauer gleichzeitig mit dem Verschwinden der anodischen Schliessungsdauercontraction bei Oeffnung des Stromkreises neuerdings eine ziemlich anhaltende Verkürzung (Oeffnungsdauercontraction), welche in Bezug auf ihre Localisation und Ausbreitung durchaus mit der kathodischen Schliessungsdauercontraction übereinstimmt und demgemäss nur auf die äussersten Faserenden (an der Anodenseite) des Muskels beschränkt erscheint.

Noch bleibt das Verhalten des einseitig verletzten oder abgetödteten Muskels bei „a b m o r t a l e r“ Durchströmung zu erwähnen übrig, zumal da dasselbe in sehr auffallender Weise mit dem bereits geschilderten bei „a d m o r t a l e r“ Durchströmung contrastirt, soweit es sich dabei um die Erscheinungen der Dauererregung handelt. Während nämlich die kathodische Schliessungsdauercontraction gänzlich fehlt, wenn der Strom am verletzten Muskelende austritt, erscheint die anodische Schliessungsdauercontraction nach Wendung des Stromes nur wenig vermindert. Besonders überzeugend tritt diese Thatsache hervor, wenn der Muskel in der Continuität durch Erhitzen, Quetschen oder am besten durch Gefrieren innerhalb einer 4—5 mm breiten Zone abgetödtet wird, wodurch er gewissermaassen in zwei durch die todte Strecke getrennte Muskeln zerfällt. Leitet man dann einen starken Strom (4—6 Dan.) hindurch, so dass der Ein- und Austritt beiderseits durch die natürlichen Faserenden erfolgt, so entsteht bei der Schliessung eine Dauercontraction stets nur an jener Seite der abgetödteten Muskelstrecke, an welcher der Strom aus toder in lebende, erregbare Substanz eintritt, d. i. an der physiologischen Anode.

Die geschilderten Erscheinungen der anodischen Schliessungsdauererregung treten in mancher Beziehung noch deutlicher und schärfer hervor, wenn der Reizstrom nicht durch die natürlichen Faserenden, sondern an irgend einem Punkte in der Continuität des Muskels eintritt. Wird die eine Elektrode (Kathode) an einen der beiden Knochen gelegt, während die Anode wieder mit möglichst feiner Spitze die Oberfläche des mässig gespannten Muskels direct berührt, so zeigt sich schon bei verhältnissmässig schwachen Strömen (2—3 Dan.) sehr deutlich, dass an der Eintrittsstelle selbst keine Spur von Contraction erfolgt und hat man mit Tusche Querlinien gezogen, so ist leicht zu erkennen, dass an gleicher Stelle sogar eine nicht unbedeutliche Dehnung der Fasern bewirkt wird, die sich ganz zweifellos durch eine entsprechende Verbreiterung des mit der Elektroden spitze berührten Querbandes sowie der nächst angrenzenden Faserstrecken verräth. Diese passive Dehnung unmittelbar an der Eintrittsstelle

des Stromes wird bewirkt durch eine mehr oder minder starke Contraction, welche beiderseits von der Anode sofort bei der Schliessung entsteht und während der Schliessungsdauer bestehen bleibt.

Bei gehöriger Abstufung der Stromstärke kann man es leicht erreichen, dass bei Schliessung des Kreises nur eben das direct mit der Anode berührte farbige Querband und höchstens noch die nächst angrenzenden ungefärbten Zwischenräume sich verbreitern, während die darauffolgenden 3—4 Tuschestreifen in Folge der Contraction der betreffenden Faserstellen nicht nur schmaler werden, sondern sich ausserdem gegen die Anode von beiden Seiten her convex ausbiegen. Diese Verziehung der ursprünglich geraden Querstreifen macht sich selbst bei schwächeren Strömen innerhalb ziemlich ausgedehnter Strecken bemerkbar; doch handelt es sich dabei zum grössten Theil um eine passive Dehnung und nur in der Nähe der Anode um eine wirkliche, active Contraction. Ein merklicher Unterschied in der Stärke der letzteren an der der Kathode zugewendeten und von ihr abgekehrten Seite lässt sich in der Regel nicht nachweisen.

Mit zunehmender Stärke des Reizstromes nehmen auch alle erwähnten Erscheinungen an Intensität und Ausdehnung zu und man sieht dann oft mehrere (2—3) Querbänder rechts und links von dem mit der Anode direct berührten Tuschestreifen sich infolge der Dehnung verbreitern und gegen die Elektrode concav krümmen, während erst die folgenden convex ausgebogen und verschmälert erscheinen. Bemerkenswerth ist bei hinreichend starken Strömen das Verhalten des galvanischen Wogens, welches sich immer nur innerhalb der intrapolaren Strecke, niemals aber extrapolar zeigt.

Vergleicht man das eben geschilderte Verhalten des quergestreiften Muskels bei elektrischer Reizung mit jenem regelmässig gebauter glatter Muskeln (wie etwa der Längsmuskeln der Holothurien oder der Kaumuskeln von Echinus), so drängt sich sofort wieder die ganz auffallende Uebereinstimmung der Erscheinungen in beiden Fällen auf. Als Unterschied in Bezug auf den anodischen Reizerfolg könnte höchstens der Umstand geltend gemacht werden, dass sichtbare Hemmungswirkungen an der Eintrittsstelle des Stromes am quergestreiften Muskel nicht nachweisbar sind,

was sich aus dem Nichtvorhandensein eines Tonus leicht erklärt. Die beobachtete Dehnung lässt eben nur auf das Fehlen der Erregung an der betreffenden Stelle schliessen. Doch ist es nicht schwer, den Beweis der Uebereinstimmung auch in Bezug auf den erwähnten Punkt zu liefern und zu zeigen, dass eine bestehende Erregung auch am quergestreiften Muskel unter dem Einfluss der Anode gehemmt wird.

Ich habe diesen Nachweis an dem mit Veratrin vergifteten Sartorius des Frosches schon vor Jahren mittelst der graphischen Methode geliefert<sup>1)</sup> und nur zur Ergänzung des damals Gesagten möchte ich hier noch einige Bemerkungen über die am veratrinisirten Muskel bei directer Beobachtung sich darbietenden Folgewirkungen der elektrischen Reizung anschliessen. Wenn es vielleicht einige Schwierigkeiten darbietet und etwas Uebung erfordert, mittels der graphischen Methode die anodische Schliessungshemmung überzeugend nachzuweisen, so gelingt dies bei directer Beobachtung des gereizten Muskels um so leichter und sicherer.

Hat man einen Frosch (*R. temporaria*) in der seinerzeit geschilderten Weise mit Veratrin vergiftet, so erscheint es am zweckmässigsten, den mässig gespannten Muskel wieder nur zur Hälfte zu durchströmen und zwar so, dass der Strom in der Continuität eintritt. Nach möglichst kurzer Schliessung, welche nur den Zweck hat, die andauernde Veratrincontraction hervorzurufen, schliesst man abermals länger und kann nun überaus deutlich die Erschlaffung und Verlängerung der Fasern im Bereich der Eintrittsstellen des Stromes beobachten. Der Versuch lässt sich mit immer gleichem Erfolg an demselben Präparate oftmals wiederholen, obschon natürlich in Folge der Oeffnungserregung eigentlich nur die erste Reizung als streng beweisend angesehen werden kann. Es braucht kaum besonders hervorgehoben zu werden, dass an veratrinisirten Präparaten die in der Umgebung der Anode auftretenden Contractionserscheinungen sich verhältnissmässig weniger bemerkbar machen, als am nicht vergifteten Muskel, obschon sie keineswegs fehlen.

Die geschilderten anodischen Reizerfolge lassen sich, wie zu erwarten war, auch an jedem noch *in situ* befindlichen, blutdurch-

---

1) Wiener Sitzungsber. 1885, Bd. XCII (Ueber Hemmungserscheinungen bei elektrischer Reizung quergestreifter Muskeln etc.).

strömten Muskel mittels der monopolen Reizmethode nachweisen und zwar in diesem Falle schon bei Anwendung sehr schwacher Ströme. Es wurde schon bei Besprechung der katholischen Schliessungsreizung bemerkt, dass die Dauercontraction an der Austrittsstelle des Stromes bei monopolarer Reizung schon deutlich wahrnehmbar ist, wenn nur ein Daniell'sches Element und fast der gesammte Widerstand des Rheochords eingeschaltet ist. Eine geringe Verstärkung des Stromes lässt aber unter denselben Umständen auch die anodischen Reizerfolge hervortreten.

Während bei punktförmiger Berührung der Muskeloberfläche mit der Kathode nach Ablauf der Schliessungszuckung nur an der Berührungsstelle selbst eine ganz locale Dauercontraction entsteht, die übrige Fläche aber vollkommen glatt bleibt, bildet sich bei anodischer Reizung in Folge der zu beiden Seiten der Eintrittsstelle des Stromes auftretenden Dauererregung der betreffenden Faserbündel an der Oberfläche des Muskels eine vertiefte, bleibende Längsfurche, während die berührte Stelle selbst und deren nächste Umgebung unerregt ist und daher mehr oder weniger gedehnt wird, wodurch eine flache, dellenförmige Einziehung entsteht. Sehr deutlich tritt bei dieser Art der Reizung die Oeffnungserregung in Gestalt eines kleinen Wulstes hervor, der sich sofort nach Oeffnung des Kreises an der Eintrittsstelle des Stromes erhebt und längere Zeit sichtbar bleibt.

Wie sich aus dem bisher Mitgetheilten ergibt, treten unter den verschiedensten Umständen bei elektrischer Reizung quergestreifter Muskeln Contractionerscheinungen in der Umgebung der Anode auf, welche bei genügender Intensität und Dichte des Stromes eine sehr grosse Mächtigkeit erlangen können und in ganz ähnlicher Weise auch an glattmuskeligen Theilen zu beobachten sind. Es ist nicht zu läugnen, dass die sichere Deutung dieser Erscheinungen grossen Schwierigkeiten begegnet, die vor allem in der Natur des elektrischen Reizes begründet sind. Liesse sich mit voller Sicherheit der Nachweis führen, dass die Schliessungserregung in der Umgebung der Anode (ob entsprechende Hemmungserscheinungen in der Umgebung der Kathode vorhanden sind, muss vorläufig unentschieden bleiben) nicht oder doch nicht allein durch das Wirksamwerden secundärer Elektrodenstellen bedingt wird, so bliebe wohl kaum eine andere Annahme übrig, als die einer gegenseitigen Beeinflussung aneinander grenzender, in verschiedenen Zu-

ständen befindlicher Faserabschnitte eines Muskels. Man würde mit anderen Worten an die Möglichkeit zu denken haben, dass unmittelbar aneinandergrenzende Theile der erregbaren, contractilen Substanz hinsichtlich ihres physiologischen Zustandes in einer gewissen Abhängigkeit von einander stehen und sich wechselseitig und zwar im entgegengesetzten Sinne zu beeinflussen vermögen.

Ohne für ein solches Verhalten zwingende Beweise beibringen zu können, möchte ich doch im Folgenden noch einige Thatsachen besonders hervorheben, welche, wie es scheint, mit der Annahme nicht wohl zu vereinen sind, dass jene anodischen Erregungserscheinungen nur durch das Wirksamwerden secundärer Kathoden bedingt werden.

Wenn man zunächst absieht von jenen Fällen, wo der Strom in der Continuität des Muskels eintritt, wobei ja infolge des queren und schrägen Verlaufes der Stromfäden zur Entstehung secundärer kathodischer und anodischer Stellen reichlich Gelegenheit gegeben ist, so bleibt doch zu erwähnen, dass, wie gezeigt wurde, dieselben Folgewirkungen der elektrischen Reizung auch dann zu beobachten sind, wenn der Strom durch die natürlichen Faserenden ein- und austritt und zwar ebensowohl, wenn die Anode am Knieende, wie wenn sie am Beckenende des Sartorius liegt. Infolge der geringeren Dichte des Stromes muss allerdings die Intensität erheblich grösser sein, wenn es am Beckenende zu anodischer Schliessungserregung kommen soll, als im umgekehrten Falle. Doch ist auch hier die erforderliche Stromstärke immerhin eine ziemlich bedeutende und die Möglichkeit des Wirksamwerdens secundärer Elektrodenstellen umsoweniger auszuschliessen, als bekanntlich die Fasern des Sartorius am schmal zulaufenden Knieende nicht alle in derselben zur Faserrichtung senkrechten Ebene endigen, sondern von sehr verschiedener Länge sind. Dieser Einwand verliert jedoch an Bedeutung in Bezug auf das breite Beckenende desselben Muskels. Es gelingt hier noch viel leichter als am Knieende, selbst schon bei geringerer Stromesintensität (2—4 Dan.) starke anodische Schliessungserregung auszulösen, wenn man nur die Dichte dadurch steigert, dass man den Muskel der Länge nach halbirt und die eine Hälfte ganz entfernt. Hat man vorher die platte Sehne ganz rein präparirt und die Muskeoberfläche sorgfältig getrocknet, so lässt sich bei

Schliessung eines absteigenden Stromes noch viel schöner als am Knieende erkennen, dass die Faserenden selbst unerregt bleiben und gedehnt werden, während dicht daneben eine nach der Mitte des Muskels hin nicht scharf begrenzte Dauercontraction entsteht, die sich anfangs nur an einem mit Tusche gebänderten Präparat deutlich verräth, bei Anwendung stärkerer Ströme aber als deutlicher Wulst hervortritt. An gleicher Stelle beginnt bei einer gewissen Stromesintensität auch stets das galvanische Wogen.

Wenn der Einfluss der Entstehung secundärer Kathoden vielleicht auch in diesem Falle nicht ganz ausgeschlossen ist, was ja überhaupt über eine gewisse Grenze der Stromstärke hinaus kaum möglich erscheint, so dürfte er doch gewiss von minderer Bedeutung sein, als am Knieende des Muskels. Dasselbe gilt auch in Bezug auf den schon oben erwähnten Versuch, bei welchem die Fasern des Sartorius in der Continuität durch Kälte innerhalb einer schmalen Zone abgetödtet werden, worauf bei Längsdurchströmung ein Schliessungswulst immer an der Anodenseite hervortritt. Offenbar enthält hier die eine Demarcationsfläche bei einer gegebenen Stromesrichtung sämmtliche kathodische Stellen der einen Muskelhälfte und repräsentirt daher für dieselbe die „physiologische Kathode“, während die andere Grenzfläche der abgetödteten Strecke als die „physiologische Anode“ der zweiten Muskelhälfte zu bezeichnen ist. Sowohl in Bezug auf die Dichte, wie auch hinsichtlich des Verlaufes der einzelnen Stromfäden besteht hier, wie man leicht sieht, fast vollständige Congruenz an der Ein- und Austrittsstelle des Stromes in der Continuität des Muskels und da ausserdem die abgetödtete Strecke ihr normales Aussehen fast völlig bewahrt hat, so dürften secundäre Kathoden in diesem Falle kaum eine wesentliche Rolle bei Entstehung des anodischen Schliessungswulstes spielen. Viel verwickelter liegen die Verhältnisse, wenn, wie bei monopolarer Reizung, der Strom in qucrer und schräger Richtung ein- oder austritt. Dann entstehen unter allen Umständen secundäre Elektrodenstellen und es kommt nur darauf an, ob sie in einem gegebenen Falle auch schon wirksam sind. Die scharfe Begrenzung der Erregungserscheinungen auf das mit der Elektrodenspitze direkt berührte Faserbündel sowie der Umstand, dass schon sehr schwache Ströme die charakteristischen Reizerfolge auszulösen im Stande sind, soferne nur die Dichte an der wirksamen Elektrode eine möglichst grosse ist,

scheinen aber darauf hinzuweisen, dass auch in diesem Falle bei Entstehung der anodischen Schliessungserregung noch andere Momente mit in Betracht kommen. Für diese Auffassung spricht endlich auch das Verhalten polymerer Muskeln bei monopolarer, anodischer Reizung.

Denkt man sich an irgend einer Stelle in der Continuität eines parallelfaserigen Muskels sämtliche Fasern durch eine dünne Schichte einer unerregbaren und daher die Erregung auch nicht leitenden Substanz unterbrochen, wie dies z. B. an den sehnigen Inscriptionen der geraden Buchmuskeln sowie einiger Oberschenkelmuskeln des Frosches der Fall ist, und tritt ein eben wirksamer Strom an irgend einem Punkte einer solchen, zwei benachbarte Muskelsegmente vollständig trennenden Querscheidewand durch eine fein zugespitzte Elektrode ein, während die andere mit breiter Fläche an einer indifferenten, von der gereizten möglichst weit obliegenden Stelle angelegt wird, so ist der Verlauf der Stromfäden gewiss ein ähnlicher, wie in dem Falle, wenn die Anode sich in der Continuität eines Muskelsegmentes zwischen je zwei Inscriptionen befindet. Die Gelegenheit zum Wirksamwerden secundär kathodischer Stellen in der Umgebung der Eintrittsstelle des Stromes ist daher wohl in beiden Fällen gegeben. Gleichwohl zeigt sich, dass bei Schliessung schwacher, aber schon deutlich wirksamer Ströme keine Spur von Erregung beiderseits von der Inscription hervortritt, wenn die fein zugespitzte Anode genau in der Linie der letzteren sich befindet. Eine kleine Verschiebung nach der einen oder anderen Seite genügt dann stets, um sofort eine Contraction in der Nachbarschaft der Eintrittsstelle hervorzurufen. Doch erscheint dieselbe auch dann, wenn die wirksame Elektrode (Anode) sich dicht neben der Inscription befindet, nur auf das direct berührte Muskelsegment beschränkt, während sich jenseits der Inscription auch noch bei viel stärkeren Strömen nur eine passive Dehnung bemerkbar macht.

## II.

### Graphische Versuche.

Als nothwendige Ergänzung der bisher beschriebenen Versuche, sowie zur weiteren Begründung der sich daraus ergebenden

Folgerungen, soll nun noch eine Reihe von Thatsachen Erwähnung finden, welche an dem gleichen Objecte (dem Sartorius des Frosches) bei Anwendung der graphischen Methode beobachtet wurden. Das Verfahren, dessen ich mich bediente, war genau dasselbe, wie bei meinen, schon vor Jahren veröffentlichten ersten Versuchen<sup>1)</sup> über die polaren Erregungserscheinungen bei elektrischer Reizung quergestreifter Muskeln. Der beiderseits mit den zugehörigen Knochen in Verbindung stehende Muskel wurde in dem von Hering seinerzeit angegebenen Doppelmयोगraphen mit beweglichen, unpolarisirbaren Elektroden eingespannt und in der Mitte zwischen Oelthon leicht geklemmt. Die Gestaltveränderungen jeder Muskelhälfte werden dann mittels besonderer Schreibstifte, welche übereinander zeichnen, auf dem berussten Papier eines Kymographions dargestellt. Bezüglich der meisten Erscheinungen, welche sich unter diesen Umständen am unversehrten Muskel bei Reizung mit Strömen verschiedener Intensität darbieten, darf ich wohl auf meine schon erwähnten, älteren Arbeiten verweisen, da ich dem dort Mitgetheilten kaum wesentlich Neues hinzuzufügen habe.

In Bezug auf das Verhalten der Dauererregung muss als charakteristisch in allen Fällen das scheinbare Uebergreifen der zuerst immer nur an dem kathodischen Muskelende auftretenden Schliessungsdauercontraction über die fixirte Muskelmitte hinaus bezeichnet werden, sobald die Stromstärke über ein gewisses Maass gesteigert wird (Taf. VII, Fig. 1 und 2). Dabei ist besonders bemerkenswerth, dass nicht, wie man vielleicht von vorneherein erwarten könnte, der Grad der Dauerverkürzung auf Seite der Kathode stets und unter allen Umständen ein höherer bleibt, als auf Seite der Anode, sondern das Verhältniss kehrt sich bei Strömen von einer gewissen Stärke in der Regel um. (Taf. VII, Fig. 1.)

Hinsichtlich der Schliessungszuckung hat schon Aeb y auf ein analoges Verhältniss aufmerksam gemacht. Bei allen derartigen Versuchen ist die Assymetrie des Sartorius recht störend, da durch dieselbe von vorneherein eine Ungleichheit der Reizerfolge an beiden Muskelhälfen bei wechselnder Stromesrichtung bedingt wird. Damit steht es auch in Zusammenhang, dass die vorhin erwähnte Ausbreitung der Schliessungsdauercontraction über beide Muskelhälfen sich bei aufsteigender Stromesrichtung stets früher

---

1) Wiener Sitzungsber. 1879, Bd. LXXIX, pag. 289 ff.

und in einem höheren Grade bemerkbar macht, als bei absteigender. Es ist dieser Umstand auch insofern noch besonders bemerkenswerth, als in Folge der grösseren Dichte am schmal zulaufenden unteren Muskelende und der dadurch bedingten stärkeren Schliessungserregung bei absteigender Durchströmung eher ein gegentheiliges Verhalten hätte erwartet werden können, wenn der Grad der Ausbreitung wirklich in erster Linie von der Stärke der Erregung an der Kathode abhinge.

Unter der bisher geltenden Voraussetzung, dass bei und während der Schliessung des elektrischen Stromes nur an kathodischen Stellen des Muskels Erregung und Contraction entstehen kann, bleiben offenbar nur zwei Möglichkeiten übrig, um das Uebergreifen der ursprünglich streng localen Dauercontraction von der einen auf die andere Muskelhälfte zu erklären. Entweder muss es sich um eine Weiterverbreitung der bei wachsender Stromstärke ebenfalls zunehmenden kathodischen Erregung von Querschnitt zu Querschnitt handeln oder es werden bei starken Strömen secundäre, kathodische Stellen irgendwo im Verlaufe des Muskels wirksam. Beispielsweise könnte ja schon die, wenn auch nur geringfügige Verbiegung der Fasern an der Klemmstelle genügend sein. Ein Mittel der Entscheidung schien in der Untersuchung des Verhaltens einseitig verletzter Muskeln unter sonst gleichen Bedingungen zu liegen. Dürfte man annehmen, dass durch Abtödtung der Faserenden an der einen Seite eines parallelfaserigen Muskels das Zustandekommen der Schliessungsbeziehungsweise Oeffnungserregung unter allen Umständen ausgeschlossen ist, wenn der Aus- oder Eintritt des Stromes an dem abgetödteten Muskelende erfolgt, so würde die Entscheidung der obigen Frage leicht sein. Einer solchen Annahme scheint aber der Versuch zu widersprechen. Es ist richtig, dass ein derartig abgetödteter Sartorius innerhalb eines gewissen Intervalles der Stromstärke bei admortaler Richtung des Stromes unerregt bleibt, während der entgegengesetzt gerichtete Strom bei gleicher Intensität starke Schliessungswirkungen giebt. Allein über eine gewisse, in den meisten Fällen nicht einmal sehr hochliegende Grenze der Stromstärke hinaus, tritt eine wirksame Schliessungserregung wieder bei beiden Stromerichtungen hervor, wobei allerdings anfangs noch jene Zuckung an Grösse überwiegt, welche bei abmortaler

Durchströmung ausgelöst wird. Aber auch dieses Verhältniss kehrt sich bei Anwendung stärkerer Ströme sehr bald um, indem dann die Schliessungszuckung bei admortal gerichtetem Strome jene bei abmortaler Stromesrichtung an Grösse weit übertrifft (Taf. VII, Fig. 4 b).

Bei stärkerer Belastung oder in dem Falle wenn der Muskel (wie z. B. im Doppelmyographen) nicht unerhebliche Widerstände bei der Contraction zu überwinden hat, erscheint natürlich die Grenze der Stromstärke, bei welcher eine Schliessungszuckung auch dann erfolgt, wenn die Kathode am verletzten Ende liegt, scheinbar höher gerückt.

Es liegt nahe, die erwähnte Thatsache darauf zu beziehen, dass an der Grenze zwischen todter und lebender Muskelsubstanz die Bedingungen für das Zustandekommen einer Erregung zwar sehr ungünstige sind, dass aber demungeachtet bei Steigerung der Reizstärke über ein gewisses Maass hinaus daselbst doch noch Erregung erfolgen könne. Man konnte ferner auch daran denken, das Wirksamwerden der Schliessung stärkerer admortal gerichteter Ströme der Entstehung secundärer Austrittsstellen in der Nähe des abgetödteten Muskelendes zuzuschreiben, wozu möglicherweise die Verdickung und Krümmung der Faserenden bei gewissen Methoden der Abtödtung (durch Hitze) Anlass geben konnte. Abgesehen davon, dass man diese Wulstbildung ohne Aenderung des Reizerfolges leicht vermeiden kann (bei Gefrierenlassen), machen aber schon die im ersten Theil der Arbeit mitgetheilten Beobachtungen wahrscheinlich, dass die Erklärung nach einer anderen Richtung hin zu suchen ist.

Wenn, wie wohl nicht zu bezweifeln ist, Zuckung und Dauererregung hinsichtlich der Ursache ihrer Entstehung übereinstimmen, indem beide durch Veränderungen bedingt werden, welche der elektrische Strom an seiner Aus- und Eintrittsstelle in die normale contractile Substanz erzeugt, so darf man füglich auch erwarten, dass beide Erscheinungen durch alle jene Eingriffe in gleicher Weise beeinflusst werden, welche die Bedingungen für die Auslösung der Erregung an den betreffenden Faserstellen im einen oder anderen Sinne zu ändern vermögen. Man sollte daher auch erwarten, dass mit einseitiger Abtödtung nicht nur die Schliessungszuckung, sondern auch die Dauercontraction wengleich in geringerer Stärke und Ausdehnung als vorher, wieder bemerkbar

werden müsste, sobald bei admortaler Durchströmung die Intensität des Stromes eine gewisse Grenze übersteigt. Diese Voraussetzung erscheint um so berechtigter, als man in allen Fällen, wo die Erregbarkeit des Muskels aus irgendwelchem Grunde herabgesetzt ist, immer die Zuckung in erster Linie beeinträchtigt findet, während die Dauercontraction erst viel später in Mitleidenschaft gezogen wird. Es braucht in dieser Beziehung nur an die Folgen der localen Ermüdung nach oft wiederholter Schliessung bei unveränderter Stromesrichtung erinnert zu werden.

Die Versuche am einseitig abgetödteten Sartorius ergeben nun, wie schon oben mitgetheilt wurde, ein gegentheiliges Resultat: Selbst sehr starke, admortal gerichtete Ströme bewirken, obschon der Muskel bei Schliessung des Kreises kräftig zuckt, keine Spur von Dauerverkürzung an der Demarcationsgrenze. Dagegen macht sich dann regelmässig am anodischen Muskelende eine Dauercontraction bemerkbar, die um so stärker hervortritt, je stärker der Strom ist. (Taf. VII. Fig. 2, 3, 4.) Wenn diese Thatsache schon bei Betrachtung mit blossem Auge oder mit der Lupe unzweifelhaft hervortritt, so lassen sich doch manche Details mittels der graphischen Methode noch besser erkennen. Reizt man einen im Doppemyographen eingespannten, am Beckenende abgetödteten und in der Mitte geklemmten Sartorius mit Strömen von zunehmender Stärke (ich bediente mich einer Kette von 4—8 Dan. mit Rheochord), so zeigt sich anfangs nur jenes hinreichend bekannte Verhalten einseitig verletzter Muskeln, welches ich schon vor Jahren beschrieb. Bei absteigender Durchströmung erfolgt eine kräftige und an beiden Muskelhälften etwa in gleicher Weise sich ausprägende Schliessungszuckung mit darauffolgender Dauercontraction, welche ausschliesslich an der Kathodenhälfte zur Geltung kommt. Die Schliessung des aufsteigenden Stromes bleibt zunächst ganz wirkungslos und es ist dies auch noch bei einer Stromstärke der Fall, bei welcher voraussichtlich am unversehrten Muskel unter sonst gleichen Bedingungen maximale Schliessungszuckungen ausgelöst worden wären. Jenseits einer gewissen Intensitätsgrenze beginnt jedoch auch der aufsteigende („admortale“) Strom wieder bei der Schliessung erregend zu wirken, oft, ehe noch bei gleicher Stromesrichtung eine wirksame Oeffnungserregung hervortritt, für

deren Auslösung die Bedingungen günstig sind, da der Strom mit grösster Dichte am unteren schmalen Muskelende austritt.

Die Schliessungserregung äussert sich unter diesen Umständen immer zunächst als eine auf Seite der Anode merklich stärker entwickelte Zuckung ohne erhebliche Dauercontraction.

Bei weiterer Verstärkung des Stromes tritt aber auch die letztere bald hervor und zwar ausschliesslich an der Anodenhälfte des Muskels; die kathodische Hälfte erschlafft nach Ablauf der Schliessungszuckung vollkommen (Taf. VII, Fig. 3 und 4).

Diese letztere übertrifft bei einer gewissen Stromstärke an Höhe fast immer die Zuckung bei Schliessung des absteigenden („abmortalen“) Stromes. Mit wachsender Stromesintensität nimmt auch die anodische Schliessungsdauercontraction am unteren Muskelende rasch an Grösse zu und übertrifft nun ihrerseits ebenfalls sehr bald die kathodische Schliessungsdauercontraction bei absteigender Stromesrichtung an Grösse und Ausdehnung. (Taf. VII, Fig. 4.)

Es wurde schon früher bemerkt, dass ein Uebergreifen der letzteren über die Mitte des Muskels hinaus niemals vorkommt. Das Gleiche gilt auch als Regel für die anodische Schliessungsdauercontraction. Selbst wenn dieselbe, wie es bei Anwendung starker Ströme oft der Fall ist, den kathodischen Schliessungswulst am gleichen Muskelende um mehr als das Doppelte an Stärke übertrifft, bleibt die kathodische Muskelhälfte dadurch gänzlich unbeeinflusst (Taf. VII, Fig. 2 a, 3, 4); dabei ist allerdings vorausgesetzt, dass die Klemmung der Muskelmitte genügend ist, um ein passives Verzogenwerden zu verhindern. Da der Druck aber andererseits auch nicht zu stark sein darf, so erfordert es eine gewisse Uebung, um in dieser Beziehung das richtige Maass einzuhalten. Die bei der Schliessung eintretende Zuckung verbreitet sich, wie erwähnt, über den ganzen Muskel; doch ist sie auf Seite der Anode bei graphischer Darstellung nicht immer scharf von der Curve der Dauercontraction gesondert und es treten hier ganz ähnliche Verhältnisse auf, wie ich sie seinerzeit hinsichtlich der von der Kathode ausgehenden Schliessungszuckung und Dauercontraction erörterte. Benützt man frische, leistungsfähige Präparate, so zeigen die Curven, welche nach Abtödtung des einen oder an-

deren Endes bei Schliessung stärkerer Ströme von der anodischen Muskelhälfte gezeichnet werden, im allgemeinen eine ganz ähnliche Form, wie in dem Falle, wenn ein schwächerer Strom am gleichen Ende austritt: Im Beginn der Schliessung erfolgt eine rasche Verkürzung, woran sich unmittelbar eine theilweise Wiederverlängerung schliesst, so dass die betreffende Muskelhälfte während der übrigen Schliessungszeit in mehr oder weniger hohem Grade dauernd verkürzt bleibt. Oft, insbesondere bei mehrfacher Wiederholung der Reizungen und Anwendung starker Ströme ist diese Dauercontraction so bedeutend, dass die Zuckung nur als kleiner Höcker an der Curve erkennbar wird oder selbst gar nicht hervortritt. (Taf. VII, Fig. 2, 3, 4.)

Dabei lässt sich sehr häufig, ja fast regelmässig, ein allmähliches Anschwellen der Dauercontraction beobachten, das sich bisweilen über einen Zeitraum von mehreren Sekunden erstreckt und in diesem Grade an der Kathode kaum je beobachtet wird. (Taf. VII, Fig. 2 a.)

Reizt man bei gleicher Stromesrichtung (ab- oder admortal) mehrmals hintereinander, so sieht man regelmässig die Höhe der Schliessungszuckungen abnehmen, während die Dauerverkürzung entweder unverändert bleibt oder gar noch an Stärke zunimmt. Das letztere beobachtet man besonders häufig an der anodischen Schliessungsdauercontraction, welche nur im Verlaufe einer längeren Reizfolge bei gleicher Stromesrichtung oder während einer einmaligen, langanhaltenden Schliessung merklich abnimmt.

Wenn man die Versuche bei wechselnder Stromesrichtung aber unveränderter Stromstärke länger fortsetzt und zwischen je zwei zusammengehörigen (auf- und absteigenden) Reizungen eine Pause von mehreren Minuten einschaltet, so sieht man am einseitig abgetödteten Muskel regelmässig den Schliessungsreizerfolg bei abmortaler Durchströmung sehr viel rascher abnehmen, als bei admortal gerichteten Ströme. Es kann dies soweit gehen, dass ersteren Falles nur mehr eine schwache, gedehnte Zuckung erfolgt, während die anodische Muskelhälfte noch in starke Dauerverkürzung geräth, wenn der Strom am unversehrten Ende eintritt. (Taf. VII, Fig. 4 a und b.)

Es wurde bisher meist vorausgesetzt, dass das breite Beckenende des Sartorius abgetödtet wird, das schmal zulaufende Knie-

ende des Muskels dagegen normal und unversehrt bleibt und es ist dies auch in der That die für Anstellung der beschriebenen, graphischen Versuche günstigste Anordnung, da der anodische Schliessungsreizerfolg ganz ebenso wie der kathodische nicht nur von der Intensität, sondern vor Allem auch von der Dichte des Stromes abhängig erscheint. Daher kommt es, dass bei Längsdurchströmung eines in der Mitte geklemmten und beiderseits unversehrten Sartorius die Schliessung eines aufsteigenden Stromes von bestimmter Intensität eine starke Dauercontraction beider Muskelhälften bewirkt (unter Umständen auf Seite der Anode stärker als auf Seite der Kathode), während die Schliessung desselben, aber absteigend gerichteten Stromes zwar eine deutliche Dauercontraction des kathodischen Muskelendes zur Folge hat, auf Seite der Anode aber eine nur wenig entwickelte Dauerverkürzung bewirkt, obschon beide Muskelhälften kräftig zucken (Taf. VII. Fig. 2). In jedem solchen Falle kann man aber, ohne die Stromesintensität zu steigern, das Grössenverhältniss der beiderseitigen Schliessungsdauercontractionen sofort ändern, wenn man die breite, platte Sehne am Beckenende des Muskels durch Einschneiden von der einen Seite her theilweise ablöst und so bewirkt, dass der Strom nunmehr an beiden Enden annähernd gleiche Dichte besitzt. Dann erscheint auch sofort die Schliessungsdauercontraction bei beiden Stromesrichtungen gleichmässig an beiden Muskelhälften entwickelt. Freilich ist dadurch auch wieder dem Einwande Raum gegeben, dass durch die unter diesen Umständen nicht zu vermeidende Verziehung der losgetrennten Faserenden nunmehr auch am Beckenende secundäre Austrittsstellen geschaffen werden, welche am Knieende von vorne herein gegeben sind. Um diesem Einwande zu begegnen, kann man jedoch wieder den Muskel von vorne herein der Länge nach halbiren und so die Stromdichte am Beckenende sehr beträchtlich steigern, ohne daselbst zu einer Nebenschliessung des Stromes Anlass zu geben.

Der anodische Schliessungswulst tritt dann, wie bereits früher erwähnt wurde, schon bei absteigenden Strömen von etwa gleicher Ordnung hervor, wie bei aufsteigender Durchströmung am unversehrten Knieende.

Es wurde schon mehrfach darauf hingewiesen, dass die Erscheinungen der Schliessungsdauererregung auf Seite der Anode durch vollständige Abtödtung des betreffenden Muskelendes zwar

vermindert, aber nicht wie jene an der Kathode völlig unterdrückt werden (Taf. VII, Fig. 3). Daher kommt es, dass an einem Sartorius, dessen beide Enden vorher in beliebiger Ausdehnung abgetötet wurden, Schliessung eines stärkeren Stromes immer noch Erregungserscheinungen bewirkt, welche aber, soferne es sich um die Dauererregung handelt, dann stets nur auf Seite der Anode localisirt sind.

Ein derartiges Präparat verhält sich daher in Bezug auf die Localisation der Schliessungsdauercontraction gerade entgegengesetzt wie ein nur einseitig abgetödteter Muskel bei Schliessung mittelstarker „abmortal“ gerichteter Ströme.

Es bleiben schliesslich nur noch wenige Bemerkungen hinsichtlich der Oeffnungsdauererregung übrig. Bekanntlich erfolgt eine wirksame Oeffnungserregung immer erst bei viel höherer Stromesintensität, als zur Auslösung einer Schliessungszuckung oder Dauercontraction erforderlich ist. Insbesondere gilt dies in Bezug auf die Oeffnungsdauercontraction, welche, wenn die Stromdichte nicht sehr gross ist, nur bei Anwendung starker Ströme und nach längerer Schliessungsdauer deutlich hervortritt. Dies ist besonders dann der Fall, wenn der Muskel bei seiner Contraction erheblich Widerstände zu überwinden hat, wie es gerade bei graphischer Verzeichnung der Gestaltveränderungen der Fall ist. Da eine Dauererregung nach Oeffnung des Kreises am anodischen Muskelende immer erst bei einer Stromesintensität hervortritt, bei welcher auch schon eine starke anodische Schliessungsdauercontraction vorhanden ist, so empfiehlt es sich, den Strom so lange geschlossen zu lassen, bis diese letztere vollständig geschwunden ist. Man beobachtet dann bei der darauffolgenden Oeffnung in der Regel eine starke Zuckung, an welche sich unmittelbar eine anfangs noch schwach entwickelte Dauercontraction anschliesst. Sowohl die Stärke dieser letzteren, wie auch die Höhe der Zuckung nimmt aber noch sehr beträchtlich zu, wenn man den Strom immer wieder für mehrere Minuten schliesst und dann öffnet.

Nicht nur am anodischen sondern auch am kathodischen Muskelende kann es zu einer graphisch nachweisbaren Oeffnungsdauererregung kommen, welche der ersteren an Stärke keineswegs nachsteht und

im gewissen Sinne ein Analogon der anodischen Schliessungserregung darstellt. Doch ist auch hierzu eine längere Schliessungsdauer erforderlich.

Wenn im Vorstehenden der Nachweis geliefert wurde, dass bei Längsdurchströmung eines Muskels unter Umständen an beiden Enden sowohl während der Schliessung wie auch nach Oeffnung eines Kettenstromes Erscheinungen von Dauererregung hervortreten, so bliebe jetzt noch übrig, den gleichen Beweis auch in Bezug auf die Schliessungs- und Oeffnungszuckung zu erbringen.

Man darf wohl mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die Zuckung, welche nach einseitiger Abtödtung bei Schliessung eines „admortal“ gerichteten hinreichend starken Stromes der Entwicklung der Dauercontraction am unversehrten anodischen Muskelende vorangeht, auch an gleicher Stelle wie diese ausgelöst wird und dass ebenso auch eine Oeffnungszuckung vom katholischen Muskelende ausgehen kann. Leider war ich bisher nicht in der Lage, zeitmessende Versuche anzustellen, durch welche die schwebende Frage voraussichtlich leicht zu entscheiden sein würde. Doch scheint mir in dieser Beziehung schon bemerkenswerth, dass an einem einseitig abgetödteten, in der Mitte geklemmten Sartorius bei Schliessung eines admortal gerichteten Stromes die Zuckungscurve der anodischen Hälfte jene der katholischen fast ausnahmslos an Grösse übertrifft, während in allen Fällen, wo die Erregung von der Kathode allein ausgeht, auch die entsprechende Muskelhälfte sich stärker contrahirt. Es dürfte dieses auffallende Decrement der fortgeleiteten Erregung, welches sich besonders stark bei eben wirksamen Strömen geltend macht, zum Theil wohl auf einer Verminderung des Leitungsvermögens an der Klemmstelle beruhen.

Wie sich gelähmte Muskeln in Bezug auf die in der vorliegenden Abhandlung geschilderten Reizerfolge verhalten, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, aus welchen sich dann vielleicht auch fernere Anhaltspunkte in Betreff der Deutung der Befunde ergeben dürften.

---

### Erklärung der Abbildungen auf Tafel VII.

Sämmtliche Curven stammen vom Sartorius curarisirter Frösche (*Rana temporaria*). Der Muskel war im Hering'schen Doppelmyographen ein-

gespannt und in der Mitte leicht geklemmt. Beide Muskelhälften verzeichnen ihre Contractionen gesondert und nach entgegengesetzter Richtung. Die mit U bezeichnete Curvenreihe entspricht der unteren, die mit O bezeichnete der oberen (Becken-) Hälfte des Muskels. Zur Reizung diente eine Kette von 6 bis 8 Daniell'schen Elementen. Die eingezeichneten Pfeile und Zahlen entsprechen der Richtung des Stromes und dem Rheochordwiderstand. Die kleinen Vertikalstriche der beistehenden Zeitmarkirungslinie entsprechen einzelnen Sekunden. Jede fünfte Sekunde ist durch einen höheren Strich markirt.

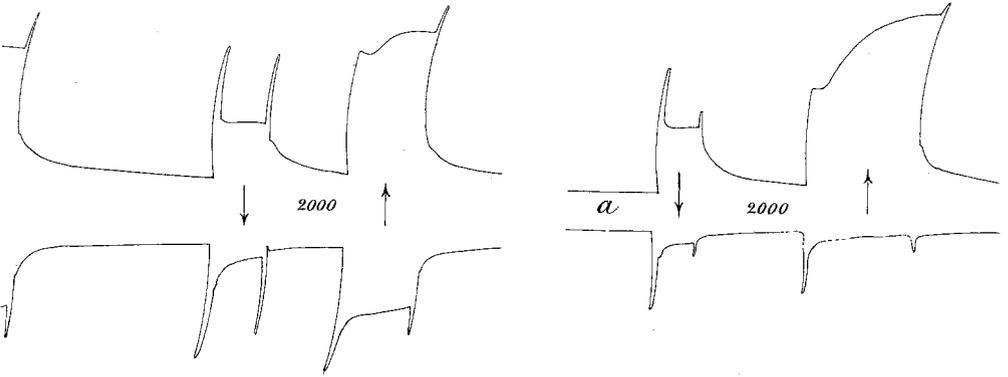
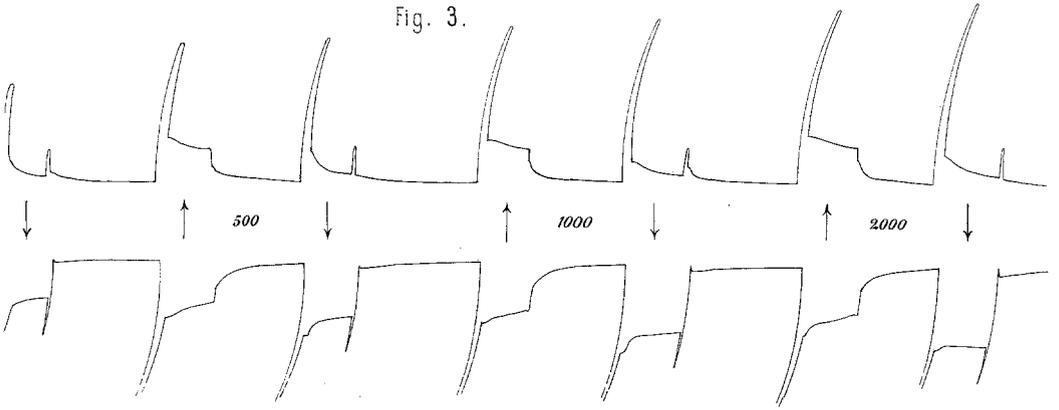
Fig. 1. Sartorius an beiden Enden unversehrt. 7. Dan. Allmähliches Anwachsen der anodischen Schliessungsdauercontraction, welche am Knieende des Muskels früher auftritt und rascher wächst, als am breiten Beckenende. Die Schliessungszuckung bei  $\uparrow$  Richtung ist wesentlich stärker als jene bei  $\downarrow$  Strome; ebenso die SDC der anodischen Hälfte.

Fig. 2. Sartorius an beiden Enden unversehrt. 8 Dan. Die anodische SDC am unteren Muskelende (bei  $\uparrow$  Strom) ist in diesem Falle noch stärker entwickelt; auch ist der Grössenunterschied der  $\downarrow$  und  $\uparrow$  SZ (Schliessungszuckung) noch stärker ausgeprägt, als im vorigen Falle. Nach Abtödtung des Beckenendss (bei a) fehlt die SDC der oberen Muskelhälfte bei  $\uparrow$  Strom vollständig, während sie an der unteren Hälfte unvermindert erscheint. Bemerkenswerth ist das allmähliche Anwachsen derselben nach Schliessung des Stromes. Auch die ÖZ bei  $\downarrow$  sowie die SZ bei  $\uparrow$  Strom erscheinen sehr verkleinert. Die nur wenig ausgeprägte SDC der oberen Muskelhälfte bei  $\downarrow$  Strom wird durch die Abtödtung nur wenig beeinflusst.

Fig. 3. Sartorius am Knieende abgetödtet. 7 Dan. Ungeachtet der Abtödtung tritt hier die anodische SDC bei  $\uparrow$  Stromesrichtung an der unteren Muskelhälfte sehr deutlich hervor, während an gleicher Stelle bei  $\downarrow$  Strom keine SDC sich entwickelt, dagegen an der oberen (anodischen) Hälfte dann sehr stark hervortritt.

Fig. 4. Sartorius am Beckenende abgetödtet. 8. Dan. ohne Rheochord. Unmittelbar nach der Abtödtung ist bei  $\uparrow$  Stromesrichtung die anodische SDC sehr stark entwickelt. Sie übertrifft die kathodische SDC bei  $\downarrow$  Strom sehr bedeutend an Grösse. Die SZ ist dagegen etwa gleichstark bei beiden Stromesrichtungen ausgeprägt. Nach einer Ruhepause von 12 Min. (bei b) hat der Schliessungsreizerfolg bei  $\downarrow$  Strom insbesondere die Zuckung sehr stark abgenommen, während die Wirkung des  $\uparrow$  Stromes fast unverändert blieb.

Fig. 3.



2.

